



III Міжнародна конференція

ПРОБЛЕМИ ЗНЯТТЯ

З ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ЯДЕРНОЇ

ЕНЕРГЕТИКИ ТА ВІДНОВЛЕННЯ

НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

**Third International Conference
on Nuclear Decommissioning
and Environment Recovery**

INUDECO'18

(25-27 квітня 2018 року, м. Славутич)



СЛАВУТИЦЬКА МІСЬКА РАДА
КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

III Міжнародна конференція

**ПРОБЛЕМИ ЗНЯТТЯ
З ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ЯДЕРНОЇ
ЕНЕРГЕТИКИ ТА ВІДНОВЛЕННЯ
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

**Third International Conference
on Nuclear Decommissioning
and Environment Recovery
INUDECO 18**

(25-27 квітня 2018 року, м. Славутич)

Збірник матеріалів

Чернігів 2018

УДК 621.039
П78

Друкується за Рішенням виконавчого комітету Славутицької міської ради Київської області від 16.01.2018 № 22 «Про проведення III Міжнародної конференції INUDECО 18».

П78 Проблеми зняття з експлуатації об'єктів ядерної енергетики та відновлення навколишнього середовища (INUDECО 18): збірник матеріалів III Міжнародної конференції (25-27 квітня 2018 року, м. Славутич). – Чернігів : ЧНТУ, 2018. – 410 с.

Збірник матеріалів III Міжнародної конференції «Проблеми зняття з експлуатації об'єктів ядерної енергетики і відновлення навколишнього середовища», яка пройшла 25-27 квітня в місті Славутич, з метою розгляду проблем і перспектив, підвищення рівня ефективності науково-практичних досліджень, налагодження співпраці та обміну досвідом у сфері зняття з експлуатації об'єктів ядерної енергетики й поводження з радіоактивними відходами та відпрацьованим ядерним паливом.

Збірник призначений для вчених і фахівців з атомної енергетики та промисловості.

У збірнику представлені тези доповідей засідання конференції, а також рішення, прийняте за підсумками проведення конференції. Конференція організована за підтримки: Славутицької міської ради Київської області, виконавчого комітету; Інституту проблем безпеки атомних електростанцій Національної академії наук України; Державного спеціалізованого підприємства «Чорнобильська атомна електростанція»; Інституту проблем математичних машин і систем НАН України.

ISBN 978-617-7571-44-4

Програмний науковий комітет (Оргкомітет)

Співголова оргкомітету

Фомічев Юрій Кирилович – Славутицький міський голова

Співголова оргкомітету

Носовський Анатолій Володимирович – директор Інституту проблем безпеки атомних електростанцій Національної академії наук України

Заступник голови оргкомітету

Линкевич Олександр Бернатрович – заступник міського голови з питань діяльності виконавчих органів ради

Члени оргкомітету:

Бондарьков Михайло Дмитрович – генеральний директор Державної науково-дослідної установи «Чорнобильський центр з проблем ядерної безпеки, радіоактивних відходів та радіоекології»

Грамоткін Ігор Іванович – генеральний директор ДСП «Чорнобильська АЕС»

Згуровський Михайло Захарович – ректор Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені І. Сікорського»

Литвинов Віталій Васильович – голова Чернігівського осередку АТН України

Морозов Анатолій Олександрович – Президент Академії технологічних наук України

Удовиченко Володимир Петрович – керівник Офісу реформ у Київській області

Шикун Віталій Анатолійович – директор ВП «Атомремонтсервіс»

УДК 621.039

ISBN 978-617-7571-44-4

ЗМІСТ

Артамонов Є. Б., Орлова А. О. Принципи реалізації навігаційної системи для осіб з вадами зору.....	7
Балакин В., Машинистов В., Коверя А. Исследование технологической возможности промышленного рециклинга радиоактивно загрязненного металла на основе его плавления.....	14
Бегун В. В., Гречанинов В. Ф. Человеческий фактор в авариях и его зависимость от ментальности.....	24
Березин В. В., Сунил Кумар Рой Отходы – в электроэнергию и тепло.....	30
Білушак Ю., Чапля Є., Чернуха О. Моделювання та прогнозування міграції радіоактивних забруднень у ґрунтах за каскадного розпаду радіонуклідів.....	39
Бовкун А. О. Стронцій та здоров'я людини.....	56
Бугай О. М., Москаленко В. Б. Прискорювальна мас-спектрометрія в задачах екологічних.....	59
Войцеховська М. М., Дорош М. С. Використання експертної системи на базі нечіткої логіки для визначення рівня культури інформаційної безпеки організації.....	61
Высотский Е. Д., Годун Р. Л., Дорошенко А. А., Сущенко К. А. Динамика нейтронной активности и подкритичность ядерно-опасного скопления в условиях комплекса НБК-ОУ.....	64
Габелков С. В., Жиганюк И. В., Кудлай В. Г., Носовский А. В., Пархомчук П. Е., Скорбун А. Д., Чиколовец С. А. Кристаллические фазы топливосодержащих материалов НБК-ОУ.....	67
Godun R., Sushchenko K. The level of nuclear safety of fuel-containing materials inside the NSC “ARKA”.....	70
Головань Ю. Є. Солодкі газовані напої: користь чи шкода?.....	72
Горобченко М. Особливості впровадження системи мобільного зв'язку за технологією LTE в зоні розташування Чорнобильської атомної електростанції.....	75
Godun R., Doroshenko A., Skoribun A., Vysotsky E., Sushchenko K. Statistical analysis of neutron activity, registered by the nuclear safety monitoring system (NSMS IAMS) NSC-SO.....	87
Дымар О., Сторожилова Н., Попп Ю. Электромембранный метод очистки радиоактивных сточных вод хвостохранилищ.....	88
Zhdanyuk N. Organoclay supported nZVI used for radioactive waste water treatment.....	91
Жеребнов П. А. Листопад як основне фенологічне явище.....	93
Жиганюк И. В., Носовский А. В., Габелков С. В., Зубко А. В. Особенности процессов гидратации урана и плутония в водных растворах.....	95
Задунай О. С., Євланов В. М., Азаров С. І. Принципи і критерії безпеки експлуатації СВЯП-1.....	98
Заставнюк О. О. Екологічна свідомість як базова складова екологічної культури особистості.....	111
Іванік О. М. Інформаційне забезпечення моделювання впливу геонебезпек на об'єкти критичної інфраструктури.....	114

Каглин О., Гудков Д., Кірєєв С., Юрчук Л. Оцінка рівнів радіонуклідного забруднення та потужності поглиненої дози для риб у водоймах Чорнобильської зони відчуження	117
Казимиров А. С., Беккер Б. И., Иевлев С. М., Качалин И. Г., Мартынюк Л. Б., Чорный Е. В. Приборы и методология обращения с РАО при снятии с эксплуатации объектов ядерной энергетики.....	126
Каленчук-Порханова А. А. О работах Института кибернетики по математическому моделированию состояний природных объектов.....	134
Калиновский А. К., Сизов А. А. Оценки ингаляционных доз облучения персонала при сооружении нового безопасного конфайнмента «АРКА».....	148
Кашпарова Е. В., Левчук С. Е., Процак В. П., Павленко В. С., Гудков И. Н., Кашпаров В. О. Динамика накопления и выведения радиоцезия из серебряного караса (<i>Carassius gibelio</i>) при разной температуре воды	158
Колтунов К. Д. Соціальна адаптація населення, що постраждало внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС.....	159
Кременовська І., Святогор О., Дорохов О. Будівництво централізовано-го сховища відпрацьованого ядерного палива у зоні відчуження Чорнобильської АЕС	161
Круковский П., Полубинский А., Кончуковский П., Скляренко Д., Тадля О., Дейнеко А., Хуторный В. Разработка мониторинга состояния нового безопасного конфайнмента на основе CFD-модели (для поддержки преобразования объекта «Укрытие»).....	165
Кряжич О., Коваленко О. Изотопний обмін між тритійованою водою та природними мінералами (на прикладі білої глини)	172
Купріячук С. В., Пашинов М. В., Годун Р. Л. Проблеми характеристики РАВ на заводі з переробки твердих радіоактивних відходів ЧАЕС.....	176
Левенец В. В., Лонин А. Ю., Омельник А. П., Щур А. А. Использование цеолитов для очистки жидких радиоактивных отходов.....	178
Левенец В. В., Кожевникова М. Ф. Проблема миграции изотопов Рс и ²⁴¹ Am в результате деятельности предприятий ядерно-топливного цикла	179
Лимарченко О. С. Анализ гипотез, применяемых в нелинейных моделях динамики резервуаров с жидкостью	189
Липницький А. М., Стоянов О. І. Концептуальні підходи щодо поводження з радіоактивним графітом енергоблоків ЧАЕС на етапі зняття їх з експлуатації	191
Лозінський А. П. Приватна локальна хмарна платформа	194
Лукомський Я. Використання Bluetooth 4.2 в сенсорних MESH-мережах.....	199
Машинистов В., Балакин В., Коверя А. Исследование возможности утилизации техногенных объектов, загрязненных радионуклидами вследствие аварии на ЧАЭС	202
Метель М., Круковский П., Скляренко Д., Полубинский А., Олейник В. CFD-моделирование влажностного и радиационного состояния нового безопасного конфайнмента (анализ и прогнозирование)	215

Molitor N., Zabulonov Y, Krzystek P., Siebold Karl H., Haneke K., Nitzsche O., de Groot J., Antropov V., Tretyak O., Briechle S., Sizov A., Bugai D., Kovach V., Bayer P., Drace Z., Bachmaier B. New developments in airborne geophysical survey technologies and their application for investigation and radiological assessment of highly contaminated areas and legacy radioactive waste storages in the Chernobyl Exclusion Zone.....	217
Морозов Ю. В., Сторов В. В., Павловський Л. І. Зняття з експлуатації Чорнобильської АЕС. Аспекти забезпечення безпеки при створенні сховища високоактивних відходів у машинному залі і черги.....	241
Муха А. А. Гарантоспособность компьютерных систем – способность предоставлять требуемые услуги с высоким уровнем доверия.....	252
Нефьодов О. О. Поведінка конструкцій з ридиною на маятниковому підвісі при сейсмічному збуренні руху.....	260
Одинцов А., Хан В. Радиоактивно загрязненная вода в объекте «УКРЫТИЕ» после установки «АРКИ» НБК в проектное положение	262
Панасюк М. І., Матросов Д. Т., Левін Г. В., Люшня П. А., Сізов М. О., Паламар Л. А., Чикур Л. Б., Онищенко І. П. Умови формування радіоактивного забруднення підземних вод проммайданчика Чорнобильської АЕС та засоби обмеження його розповсюдження.....	264
Паскевич С. А., Егоров В. В., Павловский Л. И., Балан О. В. Опыт и перспективы использования экранирования при выполнении работ по преобразованию объекта «УКРЫТИЯ» в экологически безопасную систему	273
Пашиннов М. В. Методика оцінки розрахунку радіоактивних аерозолів в атмосфері з використанням функції уточнення ймовірності розповсюдження хмари викиду	281
Розко А. М., Федоренко Ю. Г. Застосування глинополімерних композитів для сорбції ¹³⁷ Cs з води та водних розчинів солей.....	283
Розоринов Г., Пилькевич Ю. Новая методика измерения малых интенсивностей ионизирующих излучений.....	288
Ролік І. Л., Левенець В. В., Хованський М. О., Широков Б. М. Перспективи екологічно безпечного застосування газофторидних технологій в ядерній енергетиці	295
Рудько В. М., Бамбура А. М., Корчагін П. О., Говоров В. О. Концептуальні рішення щодо «раннього» демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття».....	301
Saveliev M. IT-systems required on the stage of nuclear decommissioning.....	310
Савенко М. О. Система інформаційної взаємодії в проєкті.....	312
Сакаль О., Коваленко А. Реабілітація і розвиток радіаційно забруднених територій в Україні.....	315
Сидоренко В., Азаров С. Питання техногенної безпеки в процесі зняття ЧАЕС з експлуатації	318
Сидоренко В., Азаров С. Оцінка стану пожежної безпеки об'єкта «Укриття»	322
Синкевич Р. О. Огляд проекту впровадження системи ядерного аварійного реагування ПРОДОС в Україні.....	327
Сімейко К. В. Розробка технології знезараження радіоактивно забрудненого ґрунту та пилу	330

Скакаліна О. В. Реалізація проекту створення промислової сонячної електростанції.....	333
Соболевська Л. Г., Вольтерс А. О. Перевірка діагностичних ознак для визначення технічного стану деяких вузлів ВЕА та ДЕА.....	337
Степаненко В. «Живі» технології: впровадження в системах навчального телебачення в КПІ та спеціального – на об'єктах ЧАЕС.....	339
Тимченко А. А., Теслюк Д. В., Орлова Т. И. Системний аналіз аварії на ЧАЕС причини і следствия.....	345
Тобілко В. Ю., Корнілович Б. Ю., Павленко В. М. Охорона водного басейну при видобутку і переробці уранових руд.....	348
Черевко О. В., Гаврилук М. Н. Аналіз природно-ресурсного потенціалу лісового урочища "Холодний Яр" Черкаської області в контексті сталого розвитку.....	353
Черевко О. В., Соколенко В. Л. Радіаційне забруднення унаслідок аварії на ЧАЕС як фактор впливу на екосистеми та здоров'я населення України.....	356
Харченко Д. Виявлення кіберзагроз в промислових системах керування.....	360
Shabatura O., Ivanik O., Kuziv L., Mazko A. Modeling of thermobarometric levels of fissure permeability in crystalline rocks with depth.....	363
Шаванова К. С., Ілленко В.В., Паренюк О. Ю., Гудков І. М. Вплив ґрунтових ризосферних мікроорганізмів на перехід ¹³⁷ Cs ТА ⁹⁰ Sr у сільськогосподарські рослини.....	368
Shatalov V. Sliding mode control of a solar power plant at weather fluctuated irradiance.....	371
Shatalov V. Mapping of X-ray contamination. A digital model.....	374
Шевцова Л. В., Глуховський П. В. Природоохоронні території басейну річки Прип'ять, їх значення в збереженні біорізноманіття.....	376
Шевцова Н. Л., Гудков Д. І. Результати цитогенетичного моніторингу гідрофітів у водоймах чорнобильської зони відчуження.....	381
Шевченко И. А., Гедзь О. О., Баран В. С. Применение сейсмоакустических измерений для определения оптимальной глубины захоронения радиоактивных отходов.....	388
Шестопалов В. М., Шибещкий Ю. А., Почтаренко В. И., Шехунова С. Б., Колябина И. Л. Скрининг території України в отношении перспектив геологического захоронения радиоактивных отходов.....	392
Шулєпа А. Порівняння вимог до безпеки АСК ТП та ІТ систем.....	400
Яковенко О. Реалізація проекту «Україна: консультант зі зняття з експлуатації за програмою підвищення безпеки атомних електростанцій» у ДП «НАЕК «ЕНЕРГОАТОМ».....	403
Яценко В. А. Новая революционная технология разработки интеллектуальных роботов (Электронный мозг и новый тип нейронной сети).....	404

ПРИНЦИПИ РЕАЛІЗАЦІЇ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ОСІБ З ВАДАМИ ЗОРУ

Артамонов Є. Б., Орлова А. О.

Ця стаття присвячена проблемі створення системи навігації для людей з вадами зору. Навігація особи з порушеннями зору з інфраструктурними об'єктами не є новим проектом, який не має аналогів у світі. Майже кожна країна щонайменше одного разу намагалася запустити подібний проект (Росія, Китай, Німеччина та навіть Україна), деякі з них все ще проходять тестування, деякі використовуються у закритому форматі, а деякі не надходили до широкої аудиторії. Проаналізувавши спроби попередніх розробників, був розроблений навігаційний комплекс G2S, який складається з: 1) апаратного пристрою з активним радіоканалом (поточна версія використовує формат Wi-Fi), що оснащений гучномовцем; 2) мобільний додаток; 3) веб-сайт для реєстрації активних маяків. Основною ідеєю комплексу є можливість пошуку включених маяків за допомогою мобільного додатка (аудіо інтерфейс використовує стандартні модулі, які зазвичай вже встановлені на смартфонах).

У сучасному світі намітилася тенденція зростання числа людей з патологією зору. Кожен десятий житель планети страждає тим чи іншим зоровим розладом. Причинам настільки згубного явища посприяли екологічні та політичні катаклізми, перевантаження органів зору при використанні електронних інформаційних технологій, спадкові чинники. З переходом до ринкової економіки, інваліди зору втратили гарантії працевлаштування на спеціалізованих підприємствах, що різко загострило проблему соціально-трудової реабілітації незрячих та слабозорих людей.

Для фахівців в орієнтуванні та адаптації середовища для сліпих і слабозорих людей не є секретом, що вивіска з текстом шрифтом Брайля на вході в будівлю практично не забезпечує зростання доступності цієї будівлі для сліпої людини. Щоб знайти вхід, сліпій людині необхідно відчувати тактильні покажчики по шляху або чути звуковий сигнал, який орієнтує в просторі і слугує звуковим маяком. Раніше на вході в будівлі, де проживали чи відвідували сліпі люди, встановлювалися радіоточки над вхідними дверима. Це служило звуковим маяком для сліпих пішоходів.

У перше покоління навігаційних маяків було закладено, що при наближенні до нього на достатню відстань (зазвичай, це близько трьох метрів) автоматично вмикається система акустичного сповіщення, яка видає попередньо записане до неї повідомлення певного змісту чи просто звуковий сигнал. Це допомагає незрячому визначити чи скоригувати своє місцезнаходження.

Суттєвим недоліком таких пристроїв є те, що вони спрацьовують лише у випадку безпосереднього наближення до них, що суттєво понижує ефективність розробки.

Тому наступне покоління маяків відрізнялося монотонним постійним сигналом, що позначав положення маяка, і лише при наближенні до нього видавалася записана інформація.

Не зважаючи на дуже просту конструкцію та дешевизну, такі маяки мають інші суттєві недоліки:

- подразнюючий ефект на оточуючих. Особливо тих, хто змушений знаходитися поблизу від нього протягом всього дня;
- порушення деяких правових норм, що оберігають спокій людей;
- самовільний демонтаж та/чи пошкодження пристроїв.

Беручи до уваги все вищесказане, можна сформулювати декілька вимог для покращення самого сигналу:

- сигнал звукового маяка повинен бути, по можливості безперервним, а не циклічним;
- сигнал не повинен дратувати оточуючих;
- бажано щоб рівень гучності сигналу змінювався в залежності від шуму навколишнього середовища або часу доби.

Таким чином, оптимальним звуковим сигналом звукового маяка може служити музика, мовні оповіщення або реклама, трансляція теле- або радіостанцій.

До основних завдань дослідження слід віднести:

1. Аналіз існуючих рішень для реалізації систем навігації незрячих.
2. Розробка апаратної та програмної реалізації комплексу маякової навігації.

Особливості використання маякової навігації для незрячих

В останні роки, в деяких установах України над дверима стали з'являтися звукові маяки.

Перед тим, як перейти до детального опису систем маякової навігації, розглянемо принцип дії найпростішого такого маяка.

У перше покоління навігаційних маяків було закладено, що при наближенні до нього на достатню відстань (зазвичай, це близько трьох метрів) автоматично вмикається система акустичного сповіщення, яка видає попередньо записане до неї повідомлення певного змісту чи просто звуковий сигнал. Це допомагає незрячому визначити чи скоригувати своє місцезнаходження.

Суттєвим недоліком таких пристроїв є те, що вони спрацьовують лише у випадку безпосереднього наближення до них, що суттєво знижує ефективність розробки.

Тому наступне покоління маяків відрізнялося монотонним постійним сигналом, що позначав положення маяка, і лише при наближенні до нього видавалася записана інформація.

Не зважаючи на дуже просту конструкцію та дешевизну, такі маяки мають інші суттєві недоліки:

- подразнюючий ефект на оточуючих. Особливо тих, хто змушений знаходитися поблизу від нього протягом всього дня;
- порушення деяких правових норм, що оберігають спокій людей;
- самовільний демонтаж та/чи пошкодження пристроїв.

Беручи до уваги все вищесказане, можна сформулювати декілька вимог для покращення самого сигналу:

- сигнал звукового маяка повинен бути, по можливості безперервним, а не циклічним;
- сигнал не повинен дратувати оточуючих;
- бажано щоб рівень гучності сигналу змінювався в залежності від шуму навколишнього середовища або часу доби.

Таким чином, оптимальним звуковим сигналом звукового маяка може служити музика, мовні оповіщення або реклама, трансляція теле- або радіостанцій.

Загальні недоліки навігаційних систем:

- ціна: не зважаючи на небагатий функціонал, вартість необхідних компонентів досить висока. Крім того, пристрої зазвичай виготовляються мануфактурно зусиллями невеликої робочої групи;
- обслуговування: компаніям та підприємствам не вигідно витрачати кошти на обслуговування малопопулярних другорядних пристроїв;
- доступність використання: більш менш складні розробки дистанційного керування важко освоїти неспеціалістам;
- вандалізм: маяки можуть бути пошкоджені людьми, яким заважає сигнал чи просто хуліганами, після чого перша причина набуває особливої ваги.

Аналіз існуючих систем маякової навігації для незрячих

Засоби навігації інвалідів зору за рахунок озвучення об'єктів інфраструктури не є новим проектом, який не мав би аналогів у світі, – практично в кожній країні хоча б раз намагались запуснути подібний проект (Росія, Китай, Німеччина, навіть Україна), деякі до сих пір тестуються, деякі використовуються в закритому форматі, деякі так і не вийшли на широку аудиторію.

1) Пристрій звукового супроводу УЗС-01

Пристрій звукового супроводу КОМКОН УЗС-01 призначено для підвищення безпеки переходу проїжджої частини слабозорими пішоходами, що забезпечується звуковим супроводом дозволяючого сигналу пішохідного світлофора. Для цього пристрій повинен бути підключений паралельно ланцюгам включення зеленого сигналу пішохідного світлофора.

Пристрій звукового супроводу КОМКОН УЗС-01 сумісний з дорожніми контролерами будь якого типу.

УЗС-01 повністю замінює пристрої типу УЗО РЕ2323, УЗС-АТ, ИЗС, ЗСП маючи при цьому розширені функціональні можливості, покращенні технічні та експлуатаційні характеристики.

Корпус УЗС-01 виконаний із самозатухаючого полікарбонату РС GFS и має ступінь захисту від зовнішніх впливів не нижче IP55 по ГОСТ 14254 96.

УЗС-01 забезпечує виконання наступних функцій:

- запис звукових файлів з комп'ютера в мікроконтролер УЗС-01;
- стирання звукових повідомлень, раніше записаних в мікроконтролер УЗС-01;
- автоматична дискретна регулювання рівня гучності в діапазоні від 0 до 100% від максимальної (12 рівнів гучності та відключення звука);
- зчитування та встановлення вбудованого годинника реального часу;
- установка дат переводу часу літо-зима;
- установка тижневих і добових планів регулювання рівней гучності УЗС 01;
- установка інтервалу Т зміни частот імпульсних послідовностей (звук «біп»).

Переваги системи:

- захист від несприятливих погодніх умов;
- проста конструкція;
- простий і зрозумілий спосіб дії;
- здатність сигналу до саморегуляції.

Недоліки системи:

- вузькоспеціалізоване призначення для пішохідних переходів;
- пристрій діє за двійковою логікою: прохід є(звук «біп») та проходу немає(звуку немає). Також конструкція не передбачає автономного живлення.

2) Звуковий маяк «Парус»

Звуковий маяк «Парус» – це маяк з антивандальною бездротової кнопкою для людей з вадами зору та незрячих. Звуковий маяк призначений для інформування людей з втратою зору про їх місцезнаходження з можливістю отримання додаткових відомостей по прилеглих об'єктах або в вигляді попередньо записаних на базові блоки індивідуальних повідомлень, або через трансляційну мережу «Гучний зв'язок» установи.

У режимі очікування базові блоки (маяки) навігаційної системи отримує і відтворює сигнал від загальної трансляційної мережі установи. Передбачена можливість підключення до системи блоку браслета-активатора, який після натискання на одну з кнопок активує відтворення відповідного сигналу на базовому блоці системи (звуковому маяку).

Функціональні можливості:

– можливість активації одного з трьох попередньо записаних повідомлень у вбудовану пам'ять звукового маяка натисканням бездротової кнопки;

– можливість перенесення інформаційних повідомлень з персонального комп'ютера в базовий блок за допомогою USB-флеш накопичувача;

– можливість запису інформаційних повідомлень за допомогою вбудованого мікрофона, зовнішнього мікрофона (повинні входити в комплект поставки) через лінійний вхід;

– можливість зміни гучності відтворюваних повідомлень;

– голосова індикація режимів роботи російською мовою, в т.ч. при налаштуванні базового блоку, записи повідомлень на базовий блок;

– 3 кнопки на корпусі базового блоку для активації режиму програвання 3 різних записаних повідомлень після натискання на кнопку;

– можливість в режимі очікування використовувати базові блоки (маяки) навігаційної системи в якості звичайних гучномовців загальної трансляційної мережі установи "Гучний зв'язок" (80-120 В);

– можливість експлуатації базових блоків на вулиці цілий рік (морозостійкість до -40С, захист від дощу);

– робота від вбудованого джерела резервного живлення при зникненні основного живлення;

– запис звукових повідомлень на базові блоки повинні здійснювати співробітники установи після монтажу пристроїв.

Переваги системи:

– захист від погодних умов;

– захист від вандалізму;

– доступність для людей з обмеженими можливостями;

– наявність обох типів живлення: від мережі та автономного;

– маяк легко знайти, так як він здатен привертати увагу певними звуковими повідомленнями у режимі спокою.

Недоліки системи:

– висока ціна;

– необхідність володіння певними технічними навичками для перезапису повідомлень.

Описання принципу роботи розробленої системи

Роботу схеми можна представити наступним чином (рис. 1), на якому з'єднані функціональні блоки схеми.

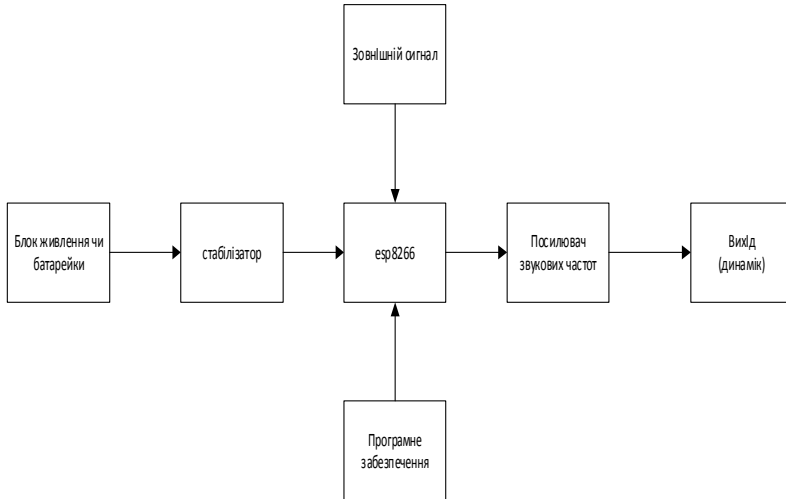


Рис. 1. Принципи роботи схеми

Пристрій має 2 режими живлення:

- 1) від блоку живлення, для цього використано AC/DC ADAPTOR моделі: 0920, INPUT: 100-240VAC, 50-60HZ, OUTPUT: 9VDC 2A;
- 2) від 4 батарейок типу AA.

При наближенні до маяка на відстань 50-70 м подається звуковий та/або вібросигнал про доступність обраного маяка для керування. Користувач має можливість включити звуковий сигнал на маяку.

Користувачу доступний режим «Радар», в якому постійно сканується простір і визначаються всі активні маяки в області до 100 м від користувача. Кожен з знайдених маяків може бути активовано.

За умовчанням озвучення об'єктів інфраструктури відсутнє, що робить навігаційний комплекс придатним для використання в місцях загального користування з обмеженням звукового фону.

Передбачена можливість налаштувати тип звучання на кожному маяку, що дозволить використовувати декілька маяків на обмеженому просторі без введення в оману користувача системи, який орієнтується лише на звук.

Мобільний додаток розроблено з урахуванням потреб інвалідів зору та підтримує стандартну навігацію за пунктами меню та активацію елементів керування. Порядок переходу за вікнами показано мобільно-го додатку представлено на рис. 2.

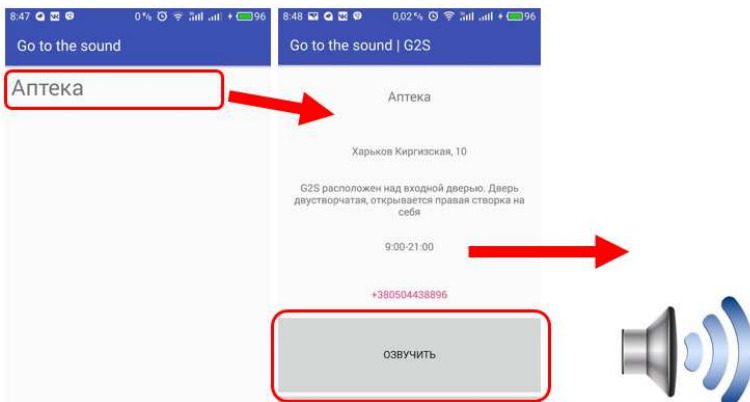


Рис. 2. Приклад роботи мобільного додатку

Висновки

Практично в кожній країні хоча б раз намагались запустити проект з навігації осіб з інвалідністю за зором (Росія, Китай, Німеччина, навіть Україна), деякі до сих пір тестуються, деякі використовуються в закритому форматі, деякі так і не вийшли на широку аудиторію.

Проаналізувавши спроби попередніх розробників було розроблено маяковий навігаційний комплекс, який складається з:

- 1) апаратної частини – пристрій з активним каналом радіозв'язку (в даній версії використовується формат Wi-Fi), що оснащено гучномовцем,
- 2) мобільний додаток,
- 3) сайт для реєстрації активних маяків.

Основна ідея комплексу полягає в можливості пошуку включених маяків через мобільний додаток (звуковий інтерфейс використовує стандартні модулі, які зазвичай вже встановлені на смартфонах) В майбутніх версіях передбачається використання власних пристроїв активації маяків з спрощеним звуковим інтерфейсом.

Користувач може обрати будь-який маяк та прокласти до нього маршрут (система передбачає використання стандартних навігаційних засобів, що спрощує адаптацію користувача до системи).

При наближенні до маяка на відстань 50-70 м подається звуковий та/або вібро сигнал про доступність обраного маяка для керування. В режимі керування маяком користувач має можливість включити звуковий сигнал на маяку та вказати необхідну кількість циклів (або скористатись параметрами за умовчанням).

Також користувачу доступний режим «Радар», в якому постійно сканується простір і визначаються всі активні маяки в області дії сигналу. Кожен з знайдених маяків може бути активовано.

Література:

1. Артамонов Є.Б. Формування адаптивних динамічних сценаріїв у комп'ютерних системах навчання / Артамонов Є.Б., Панфьоров О.В. // Технологічний аудит та резерви виробництва. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 6/1(32). – С. 66-71.
2. Корендясев А.И. Теоретические основы робототехники. В 2 кн.: Книга 1 Издательство: Наука, 2006. - 376 с.
3. Артамонов Є.Б., Кременецький Г.М., Длужевський А.О., Панфьоров О.В. Підходи до реалізації апаратно-програмного навчального комплексу шрифту Брайля // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х.: НТУ «ХПІ» – 2015р. – № 49 (1158). – С. 85-88.
4. Artamonov E.B. Concept of creating a software environment for automated text manipulation. // Artamonov E.B., Zholdakov O.O. – Scientific journal “Proceedings of the National Aviation University”. – K.: NAU. – 2010. – Вип. 3 (44). – P. 111 – 115.

Інформація про авторів:

Артамонов Є. Б. - докторант Національного авіаційного університету, м. Київ, eart@ukr.net

Орлова А. О. – ТОВ МЦ «Клініцист», orlovaanastasi@gmail.com

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

This article is devoted to the problem of creating the navigation system for visually impaired people. The navigation of the visual impairment persons with infrastructure objects announcement is not a new project that has no analogues in the world. Almost every country at least once tried to launch a similar project (Russia, China, Germany and even Ukraine) – some of them still being tested, some are used in closed format and some never came to a wide audience. After analyzing previous developers' attempts was developed a navigation complex G2S that consists of: 1) hardware – device with an active radio channel (current version uses the Wi-Fi format), equipped with a loudspeaker; 2) mobile application; 3) website for active beacons registration. The main idea of the complex is an ability to search for turned on beacons using mobile application (the audio interface uses standard modules, which are usually already installed on smartphones).

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО РЕЦИКЛИНГА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОГО МЕТАЛЛА НА ОСНОВЕ ЕГО ПЛАВЛЕНИЯ

Балакин В., Машинистов В., Коверя А.

Аннотация. Предложена технология, которая позволит вернуть в промышленное производство большие объёмы накопившегося радиоактивно загрязненного металла и создает условия для предупреждения экологических нарушений. В основе такой технологии лежит плавление загрязненного металла в печи индукционного типа без его предварительной частичной дезактива-

ции и без принятия мер, способствующих переводу радионуклидов в шлак. Плавление загрязненного металла преобразует его из источника ионизирующего излучения с поверхностным распределением радионуклидов в источник с их объемным распределением, в результате чего гамма-излучение с поверхности выплавленного металла уменьшается в десятки-сотни раз. Показано, что критерием радиационной безопасности выплавленного металла является максимальное значение мощности гамма-излучения с его поверхности, при котором обеспечивается не превышение установленного лимита индивидуальной годовой эффективной дозы облучения.

Ключевые слова: радиоактивно загрязненный металл, рециклинг, дезактивация, плавление, облучение.

Введение

В современных условиях все острее встает вопрос комплексного и полного использования накапливающегося в ходе хозяйственной деятельности металла, загрязнение которого радиоактивными веществами превышает нормы. Для того, чтобы этот металл можно было повторно использовать в промышленном производстве, необходимо предпринимать меры по обеспечению радиационной безопасности изготовленной из него продукции.

На практике для возвращения в оборот радиоактивно загрязненного металла (РЗМ) проводят дезактивацию его поверхности различными методами [1], что не всегда обеспечивает требуемую степень очистки изделий сложной конфигурации, и к тому же сопровождается образованием больших объемов новых радиоактивных отходов (РАО). Это экономически нецелесообразный, трудоемкий и небезопасный для производственного персонала путь.

В настоящее время наиболее эффективным подходом к рециклингу РЗМ считается дезактивация методом переплава, основанная на плавлении загрязненного металла с целью перевода радиоактивных веществ в шлак. Металл плавят в электропечах с добавлением в шихту дезактивирующих компонентов, способствующих более полному выведению радионуклидов. Плавление РЗМ применяют с целью уменьшения количества подлежащих захоронению РАО и возврата в ограниченных объемах металла в промышленность.

Во многих случаях технологию плавки приходится усложнять, устанавливая дополнительное и сложное оборудование, что существенно понижает эффективность процесса переработки загрязненного металла и, как следствие, приводит к его существенному удорожанию. При этом количество РЗМ, которое после переработки известными методами может повторно использоваться без каких-либо ограничений, остается чрезвычайно малым по сравнению с его объёмами (не более 7 %) [2], которые продолжают накапливаться в результате производственной деятельности ряда предприятий как ядерного, так и неядерного секторов.

При анализе существующих технологических решений, в основе которых лежит метод переплава, и опыта эксплуатации плавильных печей обращает на себя внимание тот факт, что и без принятия мер по выводу радионуклидов из металла, уровень гамма-излучения с поверхности слитка намного ниже, чем он был на поверхности РЗМ, загружаемого в печь. При этом альфа- и бета-излучение, как и радионуклиды, не выходят за пределы выплавленного металла. Следовательно, в известных подходах не учитывается влияние ряда эффектов, сопровождающих плавление загрязненного радионуклидами металлургического сырья, на уровень радиационной безопасности выплавленного металла.

Таким образом, необходимо более глубоко исследовать процессы, происходящие при плавлении РЗМ, с позиции их влияния на эффективную дозу, которая формируется излучением с поверхности слитка.

Цель данного доклада – предложить технологию рециклинга радиоактивно загрязненного металла на основе его плавления для промышленного использования.

Для того, чтобы металл, загрязнение которого радионуклидами привело к повышению уровня ИИ с его поверхности, можно было использовать повторно, необходимо обеспечить его радиационную безопасность.

С этой целью устанавливается система радиационно-гигиенических регламентов, как для отдельного человека, так и общества в целом; в основе таких регламентов лежат рекомендации Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ). В соответствии с НРБУ-97 [3], основным критерием радиационной безопасности техногенного источника ИИ, является индивидуальная годовая эффективная доза внешнего облучения индивидуума, находящегося в зоне действия излучения этого источника, которая не должна превышать значения установленного лимита дозы. Для любого лица из населения (категория В) числовое значение годового лимита дозы ЛД_е составляет 1 мЗв/год, а для производственного персонала (категория А) – 20 мЗв/год, причем в течение календарного года распределение дозы не регламентируется.

В данном исследовании учтены рекомендации, изложенные в публикации 103 МКРЗ [4], которые систематизируют и дополняют указания по контролю облучения от источников ИИ, разработанные после ввода в действие НРБУ-97.

В общем случае, доза облучения любого человека от источника ИИ $E_{\text{ист}}$ равна сумме эффективной дозы внешнего облучения от этого источника, накопленной за календарный год $E_{\text{внеш}}$ и ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением загрязнивший этот источник радионуклидов в организм этого же человека за этот же период времени $E_{\text{внутр}}$ [5]:

$$E_{\text{ист}} = E_{\text{внеш}} + E_{\text{внутр}}. \quad (1)$$

Величина эффективной дозы $E_{\text{ист}}$ является количественной мерой радиационной опасности, исходящей от загрязненного радионуклидами объекта. Для обеспечения радиационной безопасности этого источника ИИ необходимо проанализировать вклад в дозу $E_{\text{ист}}$ каждого из возможных путей воздействия его излучения на отдельного человека.

Для нахождения количественной связи между характеристиками источника ИИ (поверхностно загрязненный радионуклидами металл) и создаваемой им индивидуальной эффективной дозой, воспользуемся рисунком 1.



Рис. 1. Схема поступления ионизирующего излучения от радиоактивно загрязненного металла к человеку

Исходным поражающим радиационным фактором являются радионуклиды, находящиеся на поверхности металла. При распаде радионуклидов испускается ИИ и распространяется от поверхности РЗМ через приземный слой атмосферы к человеку по прямой линии, соединяющей его с источником. Проникающая способность ИИ разных видов характеризуется длиной свободного пробега в веществе (таблица 1).

Таблица 1. Длина пробега ионизирующего излучения в веществе

Вид излучения	Длина пробега		
	в воздухе	в биоткани	в металле
Альфа-излучение	Несколько сантиметров	Не более 100 мкм	Десятки микрометров
Бета-излучение	Несколько метров	Несколько миллиметров	Несколько миллиметров
Гамма-излучение	Сотни метров	Более 10 мм	Несколько сантиметров

Из таблицы 1 следует, что из всех видов излучения представляет наибольшую опасность для человека гамма-излучение: его пробег в воздухе равен сотням метров, оно способно проникнуть внутрь организма на большую глубину и воздействовать на внутренние органы. Таким образом, слагаемое $E_{\text{внеш}}$ в выражении (1) практически формируется только дозой гамма-излучения E_{γ} .

Так как РЗМ – это открытый источник ИИ, то под воздействием атмосферных явлений радионуклиды бесконтрольно могут переходить в состав других источников ИИ (в атмосферу, подстилающую поверхность, грунтовые воды и т.п.). Внутри организма облучаемого человека радионуклиды попадают только от этих источников ИИ вместе с вдыхаемым воздухом, при потреблении воды и пищи, но не от загрязненного металла. Поэтому слагаемое $E_{\text{внутр}}$ в выражении (1), которое учитывает вклад внутреннего облучения в дополнительной индивидуальной эффективной дозе равно нулю.

В результате, радионуклиды, которые находятся на поверхности РЗМ, представляющего собой по отношению к облучаемому человеку внешний источник ИИ, могут формировать дозу $E_{\text{ист}}$ за счет только одной составляющей – гамма-излучения E_{γ} . При этом значение дозы $E_{\text{ист}}$ от радионуклидного состава загрязнения не зависит. Следовательно, годовую индивидуальную эффективную дозу внешнего облучения $E_{\text{ист}}$ отдельного человека можно оценить путем измерения мощности дозы гамма-излучения P_{γ} с поверхности РЗМ и суммарной продолжительности облучения данного индивидуума $T_{\text{обл}}$ за один год:

$$E_{\text{ист}} = P_{\gamma} \cdot T_{\text{обл}} \quad (2)$$

Мощность гамма-излучения P_{γ} уменьшается с удалением точки её измерения от источника, так как увеличивается толщина поглощающего слоя атмосферы, через который распространяется это излучение. Поэтому оцениваемая мощность имеет свое максимальное значение $E_{\text{ист}}^{\text{макс}}$ у излучающей поверхности, и доза облучения человека, находящегося у излучающей поверхности, будет наибольшей по сравнению с теми дозами, которыми одновременно облучаются другие люди. Полученный в результате плавления РЗМ металл будет безопасным при выполнении неравенства:

$$E_{\text{ист}}^{\text{макс}} \leq \text{ЛД}_E, \quad (3)$$

де ЛД_E – лимит эффективной дозы, при котором обеспечивается радиационная безопасность РЗМ.

Если учесть, что значения годовой эффективной дозы и мощности гамма-излучения связаны между собой линейной зависимостью (2), то соотношение (3) можно представить в виде

$$P_{\gamma}^{\text{макс}} \leq P^{\text{доп}}, \quad (4)$$

где $P^{\text{доп}}$ – допустимое значение мощности гамма-излучения.

Значение $P^{\text{доп}}$ является допустимым уровнем усредненной за год мощности гамма-излучения, который соответствует лимиту эффективной дозы, при условии, что индивидуум подвергся только внешнему облучению от данного источника. $P^{\text{доп}}$ является производным нормативом от

эффективной дозы и, следовательно, может использоваться в качестве единого критерия радиационной безопасности металла. Собственно, такой подход и применяется на практике. В металлургической промышленности металл считается радиационно безопасным, если мощность поглощенной дозы у его поверхности не превышает значения 0,2 мкГр/ч.

Если неравенство (4) не выполняется, необходимо принимать меры по обеспечению радиационной безопасности РЗМ с целью его рециклинга, что можно реализовать только одним путем: уменьшением мощности гамма-излучения с поверхности РЗМ до приемлемого уровня. Рассмотрим возможность решения этой задачи путем плавления РЗМ.

Плавление РЗМ, не подвергавшегося предварительной дезактивации, является основным элементом технологии его рециклинга, суть которой изложена в [6, 7]. При плавлении радионуклиды, которые находились на поверхности металла, переходят в расплав и распределяются в его объеме равномерно. Таким же остается распределение радионуклидов и в выплавленном слитке. В итоге процесс плавления приводит к преобразованию открытого источника ИИ, каким был РЗМ, в закрытый источник, из которого радионуклиды не могут выйти в окружающую среду и попасть в организм человека. Следовательно, внутренний путь облучения человека данным источником полностью исключается. Что касается внешнего облучения, за пределы слитка может выходить гамма-излучение только тех радионуклидов, которые находятся у поверхности металла в слое толщиной, равной нескольким сантиметрам; гамма-излучение всех остальных радионуклидов поглощается в металле полностью, а альфа- и бета-излучения не выходит за пределы металлического слитка в его объеме. Таким образом, каким бы ни был объем металла, выплавленного из РЗМ, он является источником только гамма-излучения, причем его мощность не превышает некоторого максимального значения, зависящего как от энергии излучения радионуклида, так и от плотности металла.

При плавлении часть радионуклидов может переходить в шлаковую и в газоаэрозольную составляющие продуктов плавки, что может существенно уменьшить количество оставшихся в металле радионуклидов.

Никакие процессы обработки изделий из выплавленного металла не могут повысить уровень их радиационной опасности для биологических объектов. Безопасные уровни гамма-излучения с поверхности готовой продукции достигаются при настолько низких концентрациях радионуклидов в металле, что они никак не меняют его физические и химические свойства.

Таким образом, процесс плавления создает условия для получения из РЗМ металла, пригодного для использования без каких-либо ограничений в основном за счет эффекта самодезактивации при объемном распределении радионуклидов в источнике ИИ.

Выплавленный из РЗМ металл может быть полностью освобожден от регулирующего контроля, если он одновременно будет отвечать при всех возможных реальных обстоятельствах критериям освобождения, изложенных в [7].

Проблемы, которые возникают при обращении с побочными продуктами плавки, аналогичны тем, которые изучались при сжигании в печах РАО в ходе многолетних испытаний на территории Чернобыльской зоны отчуждения и изложенных в [8]. Натурные эксперименты проводились с помощью лабораторной установки для термической переработки РАО из смеси разнородных материалов; радиационная обстановка соответствовала установленным критериям безопасности, неконтролируемое попадание радиоактивных веществ в окружающую среду исключалось. Используемые в данной лабораторной установке такие функциональные узлы, как система многоступенчатой очистки газоаэрозольных выбросов, система непрерывного радиационного контроля и контроля выбросов радионуклидов, могут быть включены в состав установки для плавления РЗМ.

Сопутствующие продукты плавки в металлургической печи – шлак и газоаэрозольная составляющая. Объем образовавшегося шлака составляет 5-10 % объема выплавленного металла. Как правило, его направляют на захоронение.

Поскольку плавление РЗМ происходит при высокой температуре, образуется большое количество мелкодисперсных частичек, содержащих радионуклиды в составе газоаэрозольных выбросов. Для соблюдения допустимых уровней газоаэрозольных выбросов в атмосферу необходима многоступенчатая система очистки, эффективность которой может быть существенно повышена путем применения, в качестве последней ступени очистки выбросов, электрофильтра описанного в [9, 10].

В основе предлагаемого способа лежит тот факт, что радионуклиды, являющиеся, как правило, металлами, находятся в окружающей среде в виде ионов. Поэтому газоаэрозольные выбросы можно очистить пропусканием загрязненного радионуклидами газа через поперечное постоянное электрическое поле, под действием которого, положительно заряженные ионы движутся в направлении катода и накапливаются там. Схема установки, на которой реализуется предложенный способ очистки, представлена на рисунке 2.

Электрофильтр, встроенный в газопровод 1, поперечное сечение которого перекрывается системой пластинчатых электродов 2. Электроды длиной l размещены на одинаковом расстоянии d друг от друга и подключены к блоку электропитания 3. Аноды А и катоды К объединены между собой параллельно.

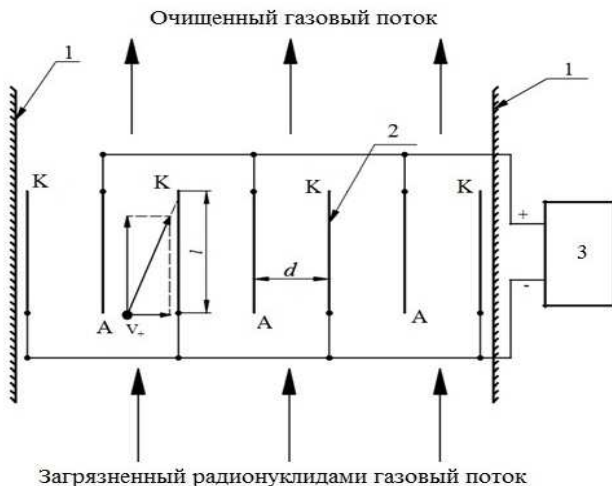


Рис. 2. Схема электрофильтра для очистки газоаэрозольных выбросов, загрязненных радионуклидами

Как показали теоретические исследования, рассматриваемый подход может быть реализован на металлургической плавильной печи, оборудованной надежной системой газоочистки и вытяжкой для предотвращения выделения в окружающую среду радиоактивных аэрозолей.

Для проведения исследований можно использовать дооборудованную индукционную печь емкостью 30-50 кг. Этого количества выплавленного за одну плавку металла достаточно для объективного радиационного контроля, как входного сырья, так и готовой продукции, а также оценки радиационной обстановки в процессе плавки. Начинать эксперимент нужно с загрузки практически незагрязненного сырья, от плавки к плавке, повышая его загрязненность радионуклидами, что сделает процесс практически безопасным и позволит своевременно вносить в него коррективы. При таком подходе за короткое время можно разработать приемлемую для широкомасштабного промышленного производства методику расчета максимальной удельной активности гамма-излучающих радионуклидов, которые могут быть загружены в плавильную печь, чтобы обеспечить возможность использования выплавленного металла, и изделий на его основе, без каких-либо ограничений, а также отработать все компоненты технологии рециклинга РЗМ.

С целью моделирования происходящих при плавлении процессов можно воспользоваться, на наш взгляд, печами для переработки РАО на АЭС. Для этого предлагается вместе со сжигаемыми материалами загружать в печь металлы, температура плавления которых меньше, чем температура в печи.

Выводы

Как показали теоретические исследования, разработанная технология рециклинга радиоактивно загрязненного металла дает возможность вернуть его в промышленное производство в больших объемах. Основой предложенного подхода является плавление загрязненного металла в печи индукционного типа без предварительной частичной дезактивации и без принятия мер, способствующих переводу радионуклидов в шлак.

Плавление загрязненного металла преобразует его из источника ИИ с поверхностным распределением радионуклидов в источник с их объемным распределением. В результате, уровень гамма-излучения с поверхности выплавленного металла уменьшается в десятки, а то и сотни раз, что создает условия для получения радиационно безопасного металла, пригодного для использования без каких-либо ограничений. При плавлении часть радионуклидов переходит в шлак и в газоаэрозольную фазу, что способствует повышению уровня безопасности выплавленного металла.

Показано, что критерием радиационной безопасности выплавленного металла является максимальное значение мощности гамма-излучения с его поверхности, при котором обеспечивается непревышение установленного лимита индивидуальной годовой эффективной дозы облучения.

Применение данной технологии позволит возвернуть в промышленное производство большие объемы накопившегося радиоактивно загрязненного металла и создает условия для предупреждения экологических нарушений.

Литература:

1. Ампелогова Н. И. Дезактивация в ядерной энергетике / Н. И. Ампелогова, Ю. М. Симановский, А. А. Трапезников. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 256 с.
2. Лампард Д. Переплавка радиоактивного металлолома / Д. Лампард, К. Хиллис // Атомная техника за рубежом. – 2007. – № 3. – С. 27-30.
3. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Державні гігієнічні нормативи. К., 1998. – 135 с.
4. Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ) / Пер. с англ., под ред. М. Ф. Киселева и Н. К. Шандалы. М.: ООО ПКФ «Алана», 2009. – 344 с.
5. Ильин Л. А. Радиационная гигиена: учебн. для вузов / Л. А. Ильин, В. Ф. Кириллов, И. П. Коренков. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 384 с.
6. Балакин В. Особенности утилизации радиоактивно загрязненного металла плавлением на основе эффекта самодезактивации / В. Балакин, В. Машинистов, К. Белан // Матеріали І Міжнародної конференції «Проблеми виведення з експлуатації об'єктів ядерної енергетики та відновлення оточуючого середовища». INUDECО-2016. Славутич, Україна, 25-27 квітня 2016 р. – С. 114-119.
7. Балакин В. Плавление радиационно загрязненного металла – основа эффективной технологии его рециклинга / В. Балакин, В. Машинистов // Матеріали ІІ Міжнародної конференції «Проблеми виведення з експлуатації об'єктів ядерної енергетики та відновлення оточуючого середовища». INUDECО-2017. Славутич, Україна, 25-27 квітня 2017 р. – С. 15-23.

8. Верюжський Ю. В. Радіаційна безпека спалювання радіоактивних відходів, забруднених цезієм / Ю. В. Верюжський, О. М. Гринько, В. В. Токаревський // Ядерна та радіаційна безпека. – 2017. – № 1(73). – С. 66-72.

9. Спосіб очищення промислових газоподібних викидів від радіонуклідів: пат. № 114568 Україна: МПК G 21 F 9/02, B 03 C 3/08, B 01 J 19/08 / В. Є. Машиністов, Є. М. Алпаєв, О. Р. Кобзарь // Заявник і патентовласник Національна металургійна академія України. № а2015 12993; заяв. 29.12.2015; опубл. 26.06.2017, Бюл. № 12.

10. Машиністов В. Е. Очистка промышленных газообразных выбросов от радионуклидов электростатическим полем. Перспективні напрямки світової науки / В. Е. Машиністов, Е. Н. Алпаєв, О. Л. Кобзарь // 36. статей учасників тридцять сьомої Всеукр. наук.-практ. конф. «Інноваційний потенціал світової науки – XXI сторіччя». Запоріжжя, 19-22 квітня, 2016. – Т. 2. – С. 28-30.

Информация об авторах:

Валерий Балакин – д.т.н., профессор, Национальная металлургическая академия Украины, заведующий кафедры технологического проектирования им. В.М. Друяна;

E-mail: balakinvf@gmail.com.

Виктор Машиністов – к.т.н., доцент, Национальная металлургическая академия Украины, кафедра технологического проектирования им. В.М. Друяна;

E-mail: mashvic@i.ua.

Андрей Коверя – к.т.н., доцент, Национальная металлургическая академия Украины, кафедра металлургического топлива и огнеупоров;

E-mail: nakover13@gmail.com.

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

INVESTIGATION OF THE TECHNOLOGICAL POSSIBILITY OF INDUSTRIAL RECYCLING OF RADIOACTIVE CONTAMINATED METAL BASED ON ITS MELTING

Valery Balakin, Victor Mashinistov, Andrii Koveria

Abstract: *A technology that will allow the return to industrial production of large volumes of accumulated radioactively contaminated metal and creates conditions for the prevention of environmental disturbance has been proposed. The technology is based on the melting of contaminated metal in an induction furnace without preliminary partial deactivation and without action to facilitate the transfer of radionuclides into slag. Melting of contaminated metal converts it from a source of ionizing radiation with surface distribution of radionuclides into a source with their volume distribution, as a result, gamma-radiation from the surface of the molten metal decreases in tens or hundreds times.*

The criterion of radiation safety of the molten metal is the maximum power value of gamma-radiation from its surface, which providing the limit of the individual annual effective of irradiation dose is not exceeded.

Keywords: *radioactive contaminated metal, recycling, decontamination, melting, irradiation.*

ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ФАКТОР В АВАРИЯХ И ЕГО ЗАВИСИМОСТЬ ОТ МЕНТАЛЬНОСТИ

Бегун В. В., Гречанинов В. Ф.

Аннотация. Рассмотрена проблема человеческого фактора в аварийных ситуациях. На примерах ядерной энергетики, где внедрены европейские методы управления безопасностью на основе риск-ориентированного подхода и сферы пожарной безопасности, где до настоящего времени работает только метод инспекций, проиллюстрирована эффективность управления на основе парадигмы риск-ориентированного подхода. Доказывается необходимость и возможность моделирования возможных ошибок человека-оператора (ЧФ). Рассматривается возможность моделирования ЧФ методиками США и профессора Белова П.Г. Сделан вывод о необходимости разработки отечественной методики моделирования ЧФ.

В атомной энергетике после 2000 г. приняты и выполняются международные нормы и требования по управлению безопасностью. Своевременный переход на международные принципы риск-ориентированного подхода (РОП) в этой сфере уменьшил количество остановок атомных блоков (ни аварий, или смертельных случаев, просто остановов!) за это время почти в 10 раз [1], рис.1. То есть, если есть возможность уменьшить количество нежелательных событий (НС) - нарушений на наиболее потенциально опасных объектах - атомных станциях, то, очевидно, можно достичь успеха и в других отраслях.

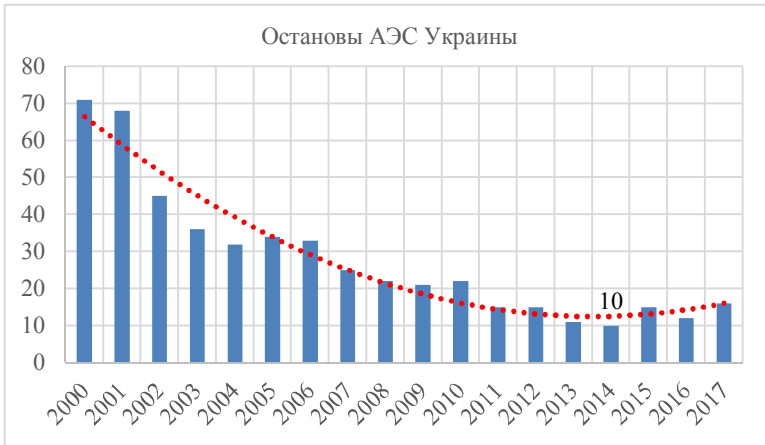


Рис.1. Пример эффективного управления безопасностью

Учет и анализ возможных ошибок персонала при этом снизил долю коренных ошибок персонала с обычной статистики $\approx 80\%$ до $\leq 10\%$. Поэтому, на наш взгляд, необходимо уже освоенные в ядерной энергетике процедуры РОП и моделирования человеческого фактора

(ЧФ) внедрять во всех опасных сферах жизнедеятельности, иначе имеем очень неприглядную статистику [2], рис.2, увеличение количества пожаров и, соответственно, экономических потерь. На этом основании можем сделать вывод: в сфере управления безопасностью необходимо переходить на принципы РОП с моделированием и анализом возможных ошибок персонала при выполнении действий, связанных с безопасностью.



Рис. 2. Статистика пожаров в Украине

Приведенные на рис.1 и 2 статистические данные являются примером и доказательством того, что парадигма (технология) управления безопасностью на основе РОП более эффективна, поэтому делать это во всех сферах безопасности надо немедленно. Вероятность отказа сложной системы по методологии РОП определяется с учетом вероятности возможной ошибки человека-оператора. Они (ошибки) трактуются как случайные события, имеют в моделях все количественные характеристики случайной величины и свой закон распределения вероятностей [3].

Из многочисленных научных работ и собственного опыта ЛПА можно утверждать, что вероятность ошибки человека-оператора при выполнении аварийных действий (ЧФ) зависит от многих факторов и обстоятельств, в первую очередь от компетенции и ментальности.

Компетенция – базовое качество индивидуума, определяющее эффективное и/или наилучшее на основе критериев исполнение в работе или в других ситуациях.

Базовое качество означает, что компетенция является очень глубоко лежащей и устойчивой частью человеческой личности и может определять поведение человека во множестве ситуаций и рабочих задач.

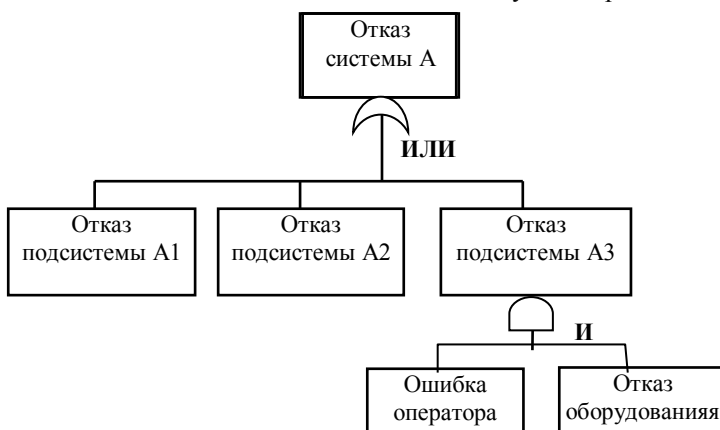


Рис. 3. Пример вероятностной модели, учитывающей ошибку оператора

Ментальность - это мирозерцание в категориях и формах родного языка, которые соединяют в себе интеллектуальные, духовные и волевые качества национального характера в типичных его проявлениях.

Как показывают современные исследования компетенции сильно зависят не только от знаний, умений и навыков, но и от индивидуальности человека [4].

Индивидуальность человека формируется под влиянием трех групп факторов.

1. Первую группу составляют наследственность и физиологические особенности человека.

2. Вторую группу факторов, формирующих индивидуальность человека, составляют факторы, проистекающие из окружения человека. В общем виде влияние этих факторов можно рассматривать как влияние окружения на формирование индивидуальности. Сильное влияние на индивидуальность человека оказывает культура, в которой он формируется, принадлежность к определенной группе и т.д. (социальные факторы).

3. Третью группу факторов, влияющих на формирование индивидуальности человека, составляют черты и особенности характера человека, его индивидуальность.

К критериальной базе поведения человека относятся те устойчивые характеристики его личности, которые определяют предпочтения при принятии решений человеком по поводу его поведения. Естественно, на

данного рода решения оказывают большое влияние цели, которые преследует человек, условия, в которых разворачиваются действия, его возможности, динамика происходящих процессов, настроение и ряд других факторов. Однако при всем разнообразии факторов поведение каждого конкретного человека обладает определенной стабильностью и предсказуемостью, присущими ему принципами поведения, критериями выбора и предпочтения, табу и тому подобными моментами.

Как доказано учеными этнографами, формирование индивидуальности человека, как и этнической нации в целом, зависит от принадлежности к тому, или иному этносу, см. таблицу.

Факторы формирования народа	Украинцы	Русские	Немцы	Французы	Испанцы	Англичане	Американцы	Японцы	Китайцы	Монголы	Турки	Сирийцы	Древние египтяне	Современные египтяне	Евреи
Ландшафт + климат	15	15	10	10	10	18	5	20	15	20	15	15	20	20	0
Способ существования (быт, экономика, привычки)	30	20	15	15	15	15	30	20	10	25	15	15	20	17	20
Менталитет	25	30	30	30	25	27	30	27	35	30	30	25	35	25	40
Религия + культура	10	15	15	15	20	15	5	10	20	15	25	15	15	20	40
Государство (политический образ жизни)	10	20	25	25	20	25	30	20	20	10	10	15	10	15	0
Влияние соседей	10	0	5	5	7	0	0	3	0	0	5	10	0	3	0
Природные факторы ПФ (ландшафт + способ существования)	45	35	25	25	28	33	35	40	25	45	30	35	37	37	20
Социальные факторы СФ (религия + государство)	20	35	40	40	40	40	35	30	40	25	35	30	35	35	40
ПФ/СФ	2,25	1,00	0,625	0,625	0,70	0,825	1,00	1,33	0,625	1,80	0,86	1,17	1,06	1,06	0,50

Обобщая сказанное, делаем следующий вывод: для расчета возможных ошибок человека-оператора нужна отечественная методика, учитывающая ментальность этноса украинцев, поскольку отношение ПФ/СФ имеет существенные отличия (2,5 раза) от других этносов, американцев и русских в том числе.

Рассмотрим существующие распространённые методики США и России, по которым производятся расчёты в настоящее время.

Методики анализа и учета человеческого фактора (HumanFactor) в США.

Для анализа ошибок оператора разработан и внедрен в практику ряд методик. Наиболее распространены [3]:

* THERP - определение значимости ошибок человека в технике – Technique fo Human Error Rate Prediction.

* HCR - Надежность человека как функция его способностей – Human Cognitive Reliability.

* SLIM - метод индексов вероятности успеха – Succes Like lihood Index Method.

* DNE - прямые числовые оценки - мнения (экспертные оценки) – Direct Numerica lestimation.

* MAPPS - метод моделирования действий (ошибок) при техобслуживании – Maintenance Personnel Performance Simulation.

Ошибки обычно классифицируют по нескольким типам таксономий:

- таксономия по Свейнуи Гутману (SwainandGuttman's),
- таксономия по Расмуссену (Rasumussen's),
- таксономия по Рижену (Reason).

Таксономия по Свейнуи Гутману определяет ошибки четырех типов:

1. Ошибки бездействия (omission),
2. Ошибки действия (comission),
3. Ошибки нарушение очередности действий (Sequenceegorgs),
4. Ошибки нарушения времени действий (Timing).

Моделью для определения возможной ошибки является дерево ошибок персонала, пример которого приведен ниже [3]:

aA = 0,502

b

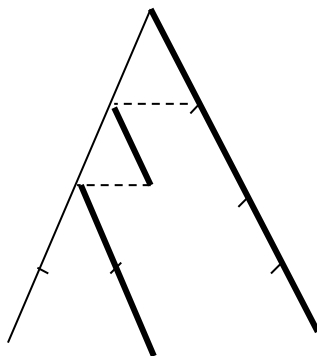
B= 1

cCC = 0,595

dDD=0,765

УСПЕХ

НЕУСПЕХ



Аварийные последовательности:

ABCD- последовательность, которая реально состоялась,

aB - возможная аварийная последовательность,

abCD - возможная аварийная последовательность.

Расчетные вероятности аварийных последовательностей соответственно будут:

$$P_{ABCD} = P_A \cdot P_B \cdot P_C \cdot P_D = 0,502 * 1 * 0,595 * 0,765 = 0,230.$$

$$P_{aB} = P_a \cdot P_B = 0,498 * 1 = 0,498;$$

$$P_{abCD} = P_a \cdot P_b \cdot P_C \cdot P_D = 0,498 * 0 * 0,595 * 0,765 = 0.$$

Общая вероятность неправильных действий:

$$P_{\Sigma} = 0,230 + 0,498 + 0 = 0,728.$$

Методика профессора Белова [5] основана на усредненных статистических данных вероятности успешного выполнения элементарных действий, см. таблицу.

Наименование функциональных действий	Вероятность безошибочного выполнения
Выдача или прием речевой команды	0,9996
Поворот переключателя	0,9975-0,9690
Снятие показаний с прибора: - с круговой шкалой	0,5952-0,5699
- электросчетчика	0,9685-0,9995
- шильдика	0,9955-0,9999
- с линейной шкалой	0,5975-0,9920
- с полукруглой шкалой	0,5933-0,9975
Выполнение действия с помощью: - штурвала	0,9965-0,9980
- ручки управления	0,5933-0,9995
- маховичка	0,9994-0,9999
- съемного рычага (хлоча)	0,9320-0,9950
Выполнение действий по: - соединению кабеля	0,9985-0,9995
- рассоединению кабеля	0,9995-0,9999
- установке штифта	0,9999-0,9998
- открытию вентиля	0,9960-0,9995
- подсоединению шланга	0,9955-0,9970
- настройке прибора	0,9920-0,5965
- установке уплотнения	0,9910-0,9945
- установке штекера	0,9970-0,9935
Выполнение пункта должностной инструкции	0,9915-0,9935
Перемещение человека по: - монтажной площадке	0,9990-0,9995
- временному настилу	0,9940-0,5975
Использование средств защиты: - страховочного пояса	0,9940-0,9980
- переносного заземления	0,8500-0,8900
- съемных ограждений	0,7500-0,8500
Выполнение управляющих воздействий простейших типа:	
- левой рукой	0,030
- правой рукой	0,017
- обеими руками	0,018 - 0,021
- двумя пальцами	0,027
- четырьмя пальцами	0,040
- поворотом руки	0,091

Как видим, методики США более конкретные, модель, построенная по методике THERP дает возможность при известных вероятностях ошибки оператора на элементарном шаге, найти вероятность ошибки всей последовательности действий. По методике Белова П. Г. из всей последовательности действий оператора необходимо выбирать вероятность ошибки в пределах указанных диапазонов, с последующим построением вероятностной модели – дерева отказов. Анализируя приведенные примеры, можно сделать вывод о необходимости разработки отраслевых методик моделирования и анализа ЧФ в Украине.

Литература:

1. Звіт про порушення на АЕС України. Сайт ДП «НАЕК «Енергоатом»<http://www.energoatom.kiev.ua/>.
2. Климась Руслан. Стан і наслідками та наслідками від них в Україні за 2017 рік. / Р.Климась // Пожежна і техногенна безпека. – 2018. – № 2. – С. 34–36.

3. Бегун В.В. Вероятностный анализ безопасности атомных станций: Учебное пособие. / Бегун В.В., Горбунов О.В. и др. – Киев: НГТУ КПИ, 2000. - 568 с.
4. О. Виханский. Критериальная база поведения человека. Центр Креативных технологий: <https://www.inventech.ru/lib/strateg/strateg0155/>
5. Белов П.Г. Моделирование опасных процессов в техносфере: Методическое пособие: - К: КМУГА, 1999, 124 с.

Информация об авторах:

Бегун В. В. – к.т.н., доцент, Институт проблем математических машин и систем НАНУ,

г. Киев, ул., Глушкова, 42, Украина

Гречанинов В.Ф.- к.т.н., доцент, Институт проблем математических машин и систем НАНУ,

г. Киев, ул., Глушкова, 42, Украина

ОТХОДЫ – В ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ И ТЕПЛО

Березин В. В., Сунил Кумар Рой

Цель проекта – переработка городских бытовых отходов (ТБО) в электрическую и тепловую энергию.

В результате загрязнения бытовыми и промышленными отходами окружающей среды создается опасность для здоровья людей, увеличивается использование земельных ресурсов под места захоронения отходов. Для устранения этих негативных последствий в последнее время пристальное внимание уделяется технологиям переработки ТБО.

Основные технологии переработки отходов:

1. Сжигание отходов для получения пара для турбогенераторов

Технология, использующаяся длительное время.

Недостатки:

а. Очень высокая эмиссия CO_2 , SO_2 , SO_3 , NO_x , в результате чего происходит увеличение выбросов парниковых газов (ПГ).

б. Эмиссия токсинов, а именно: диоксины и фураны - в количестве 2 мг/нм³, тогда как разрешенной нормой в соответствии с ЕРА является 0,1 мг/нм³.

в. Кислотные дожди из-за эмиссии хлора и соединений серы.

г. Теплотворная способность – от 3800 до 4200 килокалорий за кВт*ч. Необходимо больше сырья для меньшей мощности.

д. Низкий КПД - 23%, дополненный до некоторой степени циклом Рэнкина, требуются большие капитальные затраты при весьма сложной установке.

2. Плазменная газификация

Современная технология, но имеет недостатки:

а. Мощность для собственного потребления - более 35% от общей генерируемой мощности.

б. Черные и цветные металлы недоступны для утилизации.

в. Отходы в виде остеклованного шлака являются инертными и трудно разлагаемыми. Могут оставаться таковым в течение нескольких десятилетий, но опять же, возникает проблема захоронения стекловидного шлака. Этот остеклованный шлак должен быть дополнительно переработан, чтобы стать доступным для дальнейшей утилизации.

3. Газификация

Предлагаемый компанией CHAMCOInc. проект с псевдоожиженным циркулирующим слоем, с прямым и косвенным окислением имеет следующие преимущества:

а. Эмиссия CO₂, SO₂, SO₃, NO_x, Cl, диоксинов и фуранов - в следовых количествах.

б. Собственное потребление мощности <6%, включая потребление электроэнергии для сортировки отходов и процесса брикетирования.

в. Теплотворная способность - от 2300 ккал/кВт*ч, т.е. генерируется больше электрической и тепловой мощности при меньшем потреблении сырья.

г. Черные и цветные металлы доступны для утилизации после сортировки.

д. Отходы в виде золы, которые могут быть использованы в качестве сырья для цементной промышленности, а также для удобрения почвы сельхозугодий и, следовательно, отсутствуют проблемы с утилизацией.

е. Нет стоков. Вода рециркулирует.

ж. Низкие капитальные затраты по сравнению с обеими вышеуказанными технологиями.

Часть I. Обращение с отходами. Предлагаемая технология в деталях

Уникальная формула - NPV ТЕХНОЛОГИЯ: Что это?

NPV означает **Natural Power Balance** (Природный Энергетический Баланс), который основан на смешанной микробной технологии. **Re너지yme** (название микробной культуры) является сообществом высокоактивных и функционально специализированных микробов - анаэробных, аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, которые оптимально выбраны и совместно культивируются в собственной среде и в процессе конверсии био-разлагаемых отходов.

Это сочетание сосуществующих полезных микробов с преобладанием таких, как дрожжи, бактерии и актиномицеты, совместно культивируемых в жидкой среде, разработано в Индии группой микробиологов из природных ресурсов. Оно не содержит каких-либо генномодифицированных микроорганизмов. Эта смесь колоний микробов, которые находятся во всех экосистемах во всем мире **ВЦПБ (В Целом Признана Безопасной)**.

NPB технология может быть применена практически в любом приложении, которое связано с окружающей средой. Это уже было применено в сельском хозяйстве, в рекультивации земель, животноводстве, птицеводстве, уменьшении солености, аквакультурах, твердых отходах и т.д. Испытания проходили в промышленной очистке сточных вод, промышленной переработке твердых отходов, очистке питьевой воды и т.д. Компания CHAMCO Inc. также работает в сфере производства пищевых продуктов, основанных на технологии NPB, для потребления человеком.

Как NPB технология работает

Технология NPB микробных культур ВЦПБ содержит органические кислоты, метаболиты, органические соли и т.д. Эти соединения могут проникать в местную микрофлору и фауну в короткое время и активировать местные спящие полезные виды микробов в экосистеме. NPB ВЦПБ микробы и местные полезные микробы, работая в тандеме, создают энергию в экосистеме, генерируя температуру выше 80⁰С.

Эта уникальная технология известна как «Био-Сушка» или сушка ТБО экологически безопасным способом.

Преимущества:

1. Устранение запаха через несколько часов после применения.
2. Нет сортировки неразлагаемых отходов (пластмасса, металл, стекло, одежда, кожа и т.д.), необходимой на начальном этапе. Неразлагаемые отходы удаляются во время просеивания, когда это более гигиенично.
3. рН массы уменьшается с 8,0-9,0 до 5,5-6,0 за 24 часа по времени и которое убивает вредные микробы и предотвращает потерю азота в виде аммиака.
4. Время компостирования - менее 4 недель, следовательно, нет потери углерода в форме СО, СО₂ или СН₄.
5. Поскольку температура поднимается до 80⁰ С, нет образования фильтрата, следовательно, нет дополнительных затрат на сбор фильтрата и его обработку.
6. Биомасса с низкой влажностью отделяется япри удалении металлов, стекла и т.д. Отделенная биомасса проходит через шредер двойного действия для измельчения. Измельченная биомасса транспортируется пневматическим конвейером для гравитационного разделения, для удаления пыли и разделения по размерам. Очищенная биомасса подается в брикетировочный пресс для формирования брикетов.

Входящие ТБО, обработанные микробами по NPB технологии компании CHAMCO Inc., в дальнейшем дополнительно перерабатываются.

Можно получить 5 видов полупродуктов по размерам:

1. Размер 0-4 мм: Компост, который может быть непосредственно использован для продажи на рынке.

2. Размер <25 мм: Хлопья, которые могут быть направлены напрямую в брикетировочную машину.

3. Размер > 25 мм: Направляется в шредер и затем передается обратно в брикетировочную машину.

4. Инертные отходы и пыль: Направляются на захоронение в безопасном месте.

5. Черные и цветные металлы: направляются на утилизацию.

Обработка и процесс

ТБО из сортировочного цеха направляются в секцию обработки. Автомобиль разгружает ТБО на опрокидывающейся рампе, и оттуда ТБО транспортируются на ленточные конвейеры для эффективной ручной сортировки от тяжелого материала. Количество ленточных конвейеров, используемых в процессе, зависит от количества ТБО, которые должны быть отсортированы ежедневно для накопления отходов и повышения эффективности сортировки при работе в две смены.

Опрыскивание твердого субстрата распылением жидких культур

Использующиеся отходы подаются на миксер для смешивания с микробной культурой почвенной фрезой, погрузчиком или ворошителем, а затем подаются на компостную площадку.

Отвалы, каждый приблизительно в 40 тонн отходов, смешанных с микробной культурой, должны выдерживаться в течение примерно 10-12 дней.

Неприятный запах уходит в течение нескольких часов (максимум в течение 24 часов). Температура поднимается до 80 °С, и в течение трех дней изменяется цвет отходов из-за реакций микроорганизмов.

Отвалы переворачиваются в хронологическом порядке после 7 дней обработки для дальнейшего удаления влаги.

Очищенные отходы после 10-12 дней подаются на секции обработки, выгружаются в бункер и на конвейер для разделения отходов.

Технологическая линия оснащена электромеханической (магнитной) системой сортировки для отделения черных металлов. Отсортированные отходы обрабатываются в специально разработанном барабанном грохоте с вращающимися сетками, имеющим эффективность > 85%, в четыре этапа. Грохот-1 с вращающимися сетками и с отверстиями размером в 120 мм пропускает отходы после 7 дней для разделения негабаритных частиц.

Отходы размером больше 120 мм поступают на ленточный конвейер для ручной сортировки. Отходы меньше 120 мм поступают на другой ленточный конвейер для подачи в грохот-2. Ленточный конвейер с отходами размером больше 120 мм имеет платформы для N + N человек, стоящих с обеих сторон для ручной сортировки отходов,

возвращаемых в бункер на утилизацию. Ленточный конвейер связан с входом на первичный шредер. Отходы размером меньше 120 мм подаются в грохот-2 с вращающимися сетками с отверстиями в 80 мм.

Принципиальная схема грохота

Используются несколько барабанных грохотов. Неразмерные отходы поступают по ленточному конвейеру для подачи в грохот-3 с вращающимися сетками с размером отверстий 20 мм. Отходы меньше 80 мм поступают на ленточный конвейер для транспортировки на магнитные сепараторы с принципом разделения с магнитной лентой, чтобы отделить черные металлы от отходов.

Отходы размером больше 80 мм поступают на ленточный конвейер для транспортировки на ручной процесс сортировки.

Отходы, которые меньше 20 мм, после прохождения через магнитный сепаратор поступают на 4-й грохот с вращающимися сетками с отверстиями в 4 мм. Отходы меньше 4 мм, которые выходят из этого грохота, являются компостом, который после магнитной сепарации транспортируется ленточным конвейером к миксеру для смешивания с добавками для дальнейшего улучшения свойств.

Отходы больше 4мм подаются ленточным конвейером на виброфидер и сепаратор камней перед шредером для повышения его эффективности. Виброфидер и сепаратор камней разделяют отходы по гравитационно-инертному пневматическому принципу. Основные каменные частицы будут отделены этим сепаратором и выброшены наружу ленточным конвейером.

Шредеры предназначены специально для измельчения твердых и негабаритных сортированных ТБО и биомассы размером меньше 30 мм для дальнейшей обработки и формирования брикетов.

Измельченный материал размером < 30 мм поступает в брикетировочную машину с помощью соединительных конвейеров. Брикетировочные машины специально разработаны на гидравлическом принципе для поддержания простого обслуживания и меньшей потребляемой мощности. В итоге брикетированные отходы готовы в качестве сырья для системы газификации.

Часть II. Газификация

Компания CHAMCOInc. рассматривает свое содействие в охране окружающей среды и в уменьшении зависимости населения от ископаемых видов топлива для энергетических нужд разработкой и внедрением предлагаемой технологии переработки ТБО.

Данная технология имеет цель максимального снижения стоимости энергии с помощью экономически эффективных средств (газификация) с низкими капитальными затратами.

Газификация существует несколько десятков лет, как принятая во всем мире технология для нетрадиционных, возобновляемых источников энергии. Мало внимания уделялось этой технологии, когда ископаемое топливо было очень дешевым, и глобальное потепление не было мировой проблемой. Газификаторы "кипящего слоя" были недостаточно совершенны, и в процессе газификации образовывалось много смол.

Существует несколько проектов газификации, основанных на производстве электроэнергии паровыми турбогенераторами, установленными в США и других странах мира. Эти проекты чрезвычайно сложные, неэффективно используют старые и устаревшие технологии газификации и очень капиталоемкие. Генераторы с паровой турбиной имеют низкую эффективность, близкую к 23% с необходимостью использования топлива почти 4000 ккал за 1 кВт*ч. Хотя цикл Ренкина и утилизирует тепло, но процесс становится очень сложным и включает в себя высокие капитальные затраты.

Компания CHAMCO Inc. Разработала собственную, нового поколения, систему многотопливной газификации полупсевдоожигенного, циркулирующего слоя с восходящим потоком, с технологией прямого и косвенного окисления, со специально разработанными смоло- и пылеуловителями, которые удаляют смолы почти до нуля на выходе газогенератора. Смолы собираются отдельно в закрытых контейнерах в качестве побочного продукта.

Все виды исходного сырья, а именно: биомасса, древесные отходы, опилки, жом, рисовая шелуха, скорлупа кокосовых орехов, оболочки арахиса, агроотходы, твердый помет птицы, полистирол, использованные пластики, резина, шины, кожаные изделия, уголь-антрацит, бурый уголь и т.д. могут быть использованы в этой системе.

Процесс представляет термохимический процесс крекинга при высокой температуре 1100 °С, при отсутствии или минимальном присутствии кислорода, который преобразует твердые вещества в газообразное топливо под названием "синтетический газ" или широко известный как "синтез-газ".

Воздух под регулируемым давлением пропускают снизу через отверстия конуса в камере газификации. Вентиляционные отверстия сконструированы таким образом, что воздух создает вихревой эффект, в результате чего сырье перемещается в основной камере, и образуется эффект псевдоожигенного слоя.

Зубчатые кромки нижней части зольника выталкиваются с помощью гидравлических цилиндров через определенный интервал для создания циркуляции слоя сырья.

Этот эффект псевдооживленного слоя и циркуляция повышают конверсию сырья, молекулы сырья расщепляются при высокой температуре и вступают в химическую реакцию с водой и воздухом, синтезируя синтез-газ.

Помимо экзотермической и эндотермической реакций, происходящих одновременно в камере реактора, происходит:

- прямое окисление: в высокотемпературной зоне 1100⁰С, кислород воздуха соединяется с углеродом, имеющимся в исходном сырье, с образованием СО, СН₄, Н₂. В низкотемпературной зоне 700 ⁰С, углерод соединяется с О₂ с образованием СО₂.

- косвенное окисление: водяной пар производится в рубашке (оболочке) вокруг реактора. Этот пар смешивается с воздухом и затем вводится в реактор. Высокая температура в 1100⁰С приводит к дальнейшему увеличению концентрации СО и Н₂, вследствие чего улучшается эффективность системы и повышается высшая теплотворная способность газа.

Охлаждение газа. Для выработки электроэнергии с использованием генераторных установок или сжигания в печах керамической и стеклянной промышленности, где важен цвет продукта, синтез-газ подвергается нескольким этапам промывки и охлаждения. Первоначально он поступает в двойные циклоны Вентури, многоступенчатые трубчатые оросительные фильтры, а затем через специально разработанные многоступенчатые смоло- и пылеуловители для получения почти нулевого содержания смолы в газовой смеси на выходе. Затем синтез-газ проходит через осушитель для получения сухого и чистого газа с теплотворной способностью более 2000 ккал/м³.

Конструкция позволяет производить высококалорийный газ без каких-либо выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

В зависимости от состава брикетов ТБО смолы получают в качестве побочного продукта в количестве около 4%. Смолы имеют теплотворную способность в 7400 ккал/кг и после центрифугирования могут быть проданы на рынке, как альтернатива котельному топливу. Смола получается стоимостью в 60% от стоимости котельного топлива.

Образующаяся зола представляет отходы и собирается в нижней части реактора с автоматическим перемешиванием.

Система подачи топлива (брикетов). Исходное сырье загружают в ковшовый конвейер или грейфер, смонтированный на раме с четырьмя стальными колесами, с помощью конвейера от брикетировочной машины.

Ковш поднимается и опускается с помощью троса, намотанного на механической лебедке, с питанием от двигателя и установленной в верхней части реактора колонного типа. Ковш проходит по двум кана-

лам, размещенным параллельно от уровня земли к входному отверстию бункера. Исходное сырье поступает в загрузочный бункерс отдельной гидравлической задвижкой, чтобы ограничить утечку газа, произведенного в реакторе.

Реактор. Реактор изготовлен из листовой нержавеющей стали, устойчивой к химическим и атмосферным агрессивным реакциям. Внутренняя поверхность газификатора футерована огнеупорным кирпичом/несгораемым цементом в высокотемпературной термической зоне, чтобы предотвратить потерю тепла.

Нижеприведенная схема объясняет процесс внутри реактора.

Реактор представляет аппарат с оболочкой, заполненной водой. Вода нагревается теплом процесса в 1100°C внутри реактора и превращается в пар. Этот сгенерированный пар смешивается с воздухом и вводится в камеру газификации для повышения эффективности процесса.

Тлеющее сырье производит синтез-газ, а негорючие вещества превращаются в золу и оседают на дне реактора.

Зола и вода в зольнике выступают в качестве гидрозатвора для синтез-газа в реакторе. Зольник вращается с помощью гидравлической силовой установки и вращает слой сырья и удаляет пепел из реактора.

После наполнения зольника золой скребок ,закрепленный на внешней стороне камеры на уровне с зольником, изготовленный из листа нержавеющей стали, удаляет избыток золы на конвейер.

Внутренние завихрения с помощью воздуха, индуцированные внутри реактора под контролируемым давлением через отверстия, расположенные под определенным углом в нижней части реактора, инициируют и поддерживают псевдооживленный эффект газификации.

Зольник и воздух поддерживают циркулирующий кипящий слой для повышения тления. Синтез-газ движется вверх из-за восходящего потока воздуха с низа реактора.

Воздух прокачивается с помощью вентилятора, запитанного от двигателя, через отверстия, рассчитанные и проделанные в камере реактора.

Скруббер Вентури. Газ, полученный внутри реактора, выходит из его верхней части при температуре близкой к 400°C на двухступенчатые скрубберы Вентури, изготовленные из листов нержавеющей стали. Вода подается в верхнюю часть и вместе с газом проходит через скрубберы с высокой скоростью. Из-за конвергенции газ охлаждается, и частицы тяжелых примесей выпадают в общий резервуар. Тот же самый процесс повторяется также и во второй ступени. Затем газ направляется через многоступенчатые трубчатые оросительные фильтры для охлаждения и промывки газа с помощью нескольких распылителей в каждой ступени. Газ охлаждается до температуры окружающей среды. Хо-

лодный газ при температуре окружающей среды, свободный от частиц тяжелых примесей, затем проходит через многоступенчатые электростатические электрофильтры. ЭСФ изготавливаются из листов мягкой стали и нескольких круглых труб из такого же материала. Проводники с постоянным током высокого напряжения 50000 вольт и током 5 МА пропускают внутри трубы из мягкой стали. Когда синтез-газ при температуре окружающей среды приходит в контакт с током высокого напряжения, все примеси из синтез-газа осаждаются, газ получается ультра чистым, а смолы, сложные ароматические гетероциклические углеводороды, полученные в качестве побочного продукта, через клапан и трубу скапливаются в нижней части ЭСФ.

Очищенный газ при температуре окружающей среды, прошедший через ЭСФ, затем направляется в осушитель, изготовленный из труб мягкой стали. Вода постоянно распыляется из труб, которые конденсируют влагу из газа. Эта влага в виде капель воды падает вниз в общий резервуар с водой.

В результате процесса очистки получается охлажденный, сухой и ультра чистый газ с теплотворной способностью более 2000 ккал / м³.

Этот газ на выходе постоянно контролируется специальной системой отбора проб по количеству, составу и содержанию влаги расходомером газа, анализатором влажности и онлайн анализатором газа 3-го поколения с технологией NDIR в потоке из пяти газов-СО, СН₄, Н₂, СО₂, N₂.

После этого синтез-газ будет готов к использованию через клапан управления газом. Онлайн газоанализатор для трех газов-СО, Н₂, СН₄, вместе с системой отбора проб, связан с 4-20 мА ПЛК (программируемый логический контроллер), соединенным с управляющим газовым клапаном и закрепленным на выпускной трубе двигателя для контроля эмиссии СН₄ и СО в атмосферу.

Градирия постоянно восполняет пресную воду для рециркуляции в скрубберах Вентури, оросительных фильтрах, паровой рубашке и осушителе, потери воды из-за постоянного испарения в процессе охлаждения газа на различных этапах и парообразования в водяной рубашке. Воду добавляют в таком количестве, чтобы не было перелива.

Когенерация: топочные газы двигателя выходят при 500⁰С и могут быть использованы через котел утилизации тепла для получения 1 тонны пара на 1 МВт при давлении 7 бар и более. Этот пар может быть использован в турбогенераторе низкого давления для получения дополнительной электроэнергии.

Трансформатор переменного тока: 220 В на 50000 В, 4 мА, с вариатором и подключенного к ЭСФ.

Центральная панель управления состоит из: амперметра, вольтметра, цифровых температурных индикаторов, переключателей, пускателей DOL, контакторов, реле перегрузки, кнопок, предохранителей, МСВ.

Выработка энергии

Ультрачистый синтез-газ из системы газификации подается через газовый и воздушный регулирующие клапаны на мотор-генератор, работающий на природном газе и модифицированный компанией CHAMCO Inc. для режима работы на синтез-газе. Выхлопные газы из двигателя контролируются анализатором в линии для выброса выхлопного газа на несгоревший CH_4 , CO и H_2s помощью 4-20 мА ПЛК (программируемый логический контроллер) вместе с газовым контрольным клапаном и автоматической регулировкой соотношения синтез-газа к воздуху.

Электрический генератор подключен к панели синхронизации и оснащен различными функциями.

Повышающий трансформатор или электрическая подстанция: Увеличивает напряжение генератора и делает его равным распространенному напряжению сети 10 кВ, 33 кВ либо 66кВ или более. Произведенная мощность будет выведена в сеть для распределения и подана в дома.

Вместе с электрической мощностью также генерируется тепловая мощность в ориентировочном соотношении 3 МВт тепловой мощности к 1 МВт электрической мощности для повышения общего КПД энергосистемы.

Информация об авторах:

Березин Виктор Васильевич, Сунил Кумар Рой - Общество с ограниченной ответственностью "ЕМПЛЕ"

г. Киев, ул. Е. Чавдар 3, офис № 109, 02140, Украина

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ МІГРАЦІЇ РАДІОАКТИВНИХ ЗАБРУДНЕНЬ У ГРУНТАХ ЗА КАСКАДНОГО РОЗПАДУ РАДІОНУКЛІДІВ

Білуцак Ю., Чапля Є., Чернуха О.

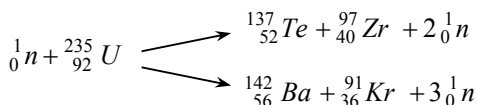
Анотація: Запропоновано математичну модель міграції радіоактивного забруднення у ґрунтах з урахуванням каскадного розпаду частинок та наявності пасток у середовищі. Розв'язки крайових задач дифузії каскадного типу побудовані за ітераційною процедурою з використанням функцій Гріна. Отримано формули для знаходження потоків маси та кількості речовини, що пройшла через шар, на кожному етапі розпаду. Розроблений пакет програм для комп'ютерного моделювання дифузійних процесів у тилі з пастками за каскадного розпаду домашкових речовин.

Ключові слова: моделювання, дифузія, сорбція-десорбція, каскадний розпад, ґрунт, пастка, програмне забезпечення, чорнобильська катастрофа.

Вступ

Великі аварії на атомних станціях у Чорнобилі в 1986 р., Фукусімі у 2011 р. і низка менших за масштабом та наслідками аварій на інших АЕС виявили необхідність ґрунтовного вивчення поведінки та поширення техногенних забруднень, в першу чергу радіонуклідів, в об'єктах природного середовища. При цьому відповідні фізико-механічні процеси переносу супроводжуються ланцюговими ядерними реакціями, які часто є послідовністю поодиноких ядерних реакцій для елементів, що з'явилися як продукти реакції на попередньому кроці [4].

В загальному випадку ядро урану-235 можна розщепити багатьма способами. Зокрема два різні способи розщеплення ядра наведені нижче



Серед продуктів ділення урану-235 виявлено більше 200 різних ізотопів 35 хімічних елементів, причому більшість з цих ізотопів є радіоактивними і є небезпечними для людини та навколишнього середовища. Причому у результаті розпаду радіоактивних речовин можуть виникати як більш, так і менш радіоактивні речовини. Так в результаті розпаду плутонію-241 з періодом піврозпаду 14,4 роки утворюється дуже токсичний америцій-241 з періодом піврозпаду 432,6 роки. В той же час результатом розпаду дуже шкідливого стронцію-90 з періодом піврозпаду 28,8 років є радіоактивний ітрій-90 з періодом піврозпаду 64 години [1-3].

При розв'язанні задач, пов'язаних з міграцією домішкових речовин у геологічних формаціях [6], особливо важливого значення набувають побудова і дослідження моделей дифузії у середовищах з пастками, оскільки на сьогодні ізоляцію найтовсичніших відходів вирішують шляхом глибинного підземного захоронення, а за великих часів можливий вихід радіоактивного забруднення за межі інженерних бар'єрів. При цьому основною моделлю для прогнозування перенесення домішок є модель дифузії у середовищах з пастками [6].

Модель дифузії радіоактивних домішок у середовищі з пастками за складного розпаду частинок

Приймаємо, що доволіно вибрана мала область середовища складається з твердої фази, в об'єм якої можуть проникати домішкові частинки, та порового розчину, в якому в основному дифундує домішкова речовина. Причому коефіцієнт дифузії домішки в об'ємі скелету (твердій фазі) настільки малий у порівнянні з коефіцієнтом дифузії у поровому розчині, що тверду фазу можемо розглядати як пастки для домішкових частинок.

Домішкова речовина $\mathbf{K}^{(0)}$ з поверхні поступає у тіло \mathbf{K}^* і дифундує у поровому розчині у супроводі процесів сорбції-десорбції. При цьому частина $\mathbf{K}^{(0)}$ розпадається утворюючи речовини $\mathbf{K}^{(1)}$ і $\mathbf{K}^{(N)}$ (рис. 1). Прийнемо, що частинки речовини $\mathbf{K}^{(N)}$ є нерозпадними і нешкідливими. Субстанція $\mathbf{K}^{(1)}$ теж розпадається утворюючи розпадну речовину $\mathbf{K}^{(2)}$ та нерозпадні частинки, які відносимо до $\mathbf{K}^{(N)}$, і т.п. Причому нові речовини на кожному етапі утворюється в обох станах – у поровому розчині і пастках з однаковим коефіцієнтом інтенсивності розпаду, вона дифундує, може сорбуватися і десорбуватися.

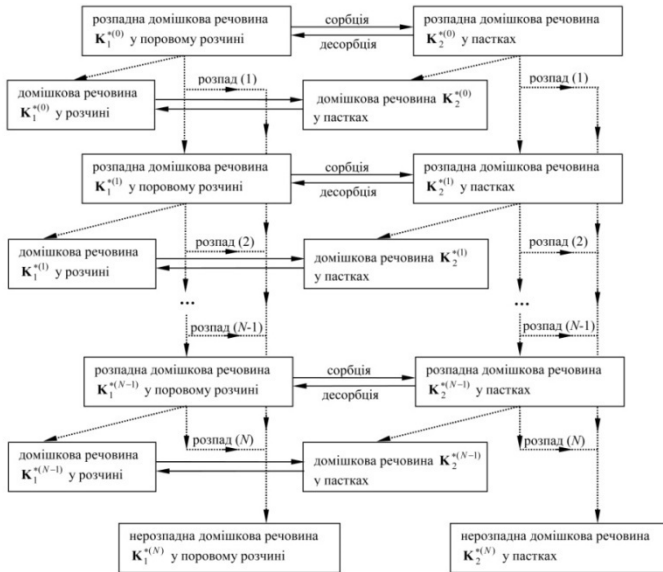


Рис. 1. Схема розпаду домішкової речовини та процесів переходу частинок між станами

Вихідні співвідношення математичної моделі багатокомпонентної дифузії за каскадного розпаду мігруючих частинок у середовищі з пастками сформульовані з використанням континуально-термодинамічного підходу механіки твердих розчинів [7]. Кожній компоненті ставиться у відповідність континуум, з допомогою якого описуються кінематичні та деформаційні властивості компонент, а також формулюються балансові співвідношення, які відображають закони збереження маси, імпульсу, енергії та ентропії. З використанням концепції локальної термодинамічної рівноваги будуються рівняння стану та кінетичні рівняння. Вибравши в якості розв'язуючих функцій концен-

трації домішкових компонент, вектор переміщення, густину та температуру тіла, сформульовано ключову систему рівнянь, яка в подальшому лінеаризується.

У даному випадку деформація середовища і теплові процеси не розглядаються, і за ізотермічних умов, нехтуючи конвективними складовими масоперенесення та деформацією [7], отримаємо наступні рівняння дифузії у середовищі з пастками за каскадного розпаду мігруючих частинок на i -му кроці розпаду:

для $i = 0$

$$\frac{\partial c_1^{(0)}}{\partial t} = D^{(0)} \Delta c_1^{(0)} - k_1^{(0)} c_1^{(0)} + k_2^{(0)} c_2^{(0)} - \lambda^{(1)} c_1^{(0)} - \lambda^{(0N)} c_1^{(0)},$$

$$\frac{\partial c_2^{(0)}}{\partial t} = k_1^{(0)} c_1^{(0)} - k_2^{(0)} c_2^{(0)} - \lambda^{(1)} c_2^{(0)} - \lambda^{(0N)} c_2^{(0)};$$

для $i = \overline{1, N-1}$

$$\frac{\partial c_1^{(i)}}{\partial t} = D^{(i)} \Delta c_1^{(i)} - k_1^{(i)} c_1^{(i)} + k_2^{(i)} c_2^{(i)} + \lambda^{(i-1)} c_1^{(i-1)} - \lambda^{(i+1)} c_1^{(i)} - \lambda^{(iN)} c_1^{(i)},$$

$$\frac{\partial c_2^{(i)}}{\partial t} = k_1^{(i)} c_1^{(i)} - k_2^{(i)} c_2^{(i)} + \lambda^{(i-1)} c_2^{(i-1)} - \lambda^{(i+1)} c_2^{(i)} - \lambda^{(iN)} c_2^{(i)};$$

для $i = N$

$$\frac{\partial c_1^{(N)}}{\partial t} = D^{(N)} \Delta c_1^{(N)} - k_1^{(N)} c_1^{(N)} + k_2^{(N)} c_2^{(N)} + \sum_{i=0}^{N-1} \lambda^{(iN)} c_1^{(i)},$$

$$\frac{\partial c_2^{(N)}}{\partial t} = k_1^{(N)} c_1^{(N)} - k_2^{(N)} c_2^{(N)} + \sum_{i=0}^{N-1} \lambda^{(iN)} c_2^{(i)}. \quad (1)$$

Тут $c_j^{(i)}$ - концентрація домішкової речовини, яка утворилася на i -му етапі розпаду, у стані j ($i = \overline{0, N}$; $j = \overline{1, 2}$; 1 – розчин, 2 – тверда фаза); $D^{(i)}$ - коефіцієнт дифузії частинок для етапу $i = \overline{0, N}$; $k_1^{(i)}$ і $k_2^{(i)}$ - коефіцієнти інтенсивності сорбції і десорбції, $\lambda^{(i+1)}$ і $\lambda^{(iN)}$ - коефіцієнти інтенсивності розпаду речовини на i -му кроці, що відповідають утворенню нової речовини на $(i+1)$ -му етапі та нерозпадної речовини для $i = N$. Зазначимо, що одиниці вимірювання коефіцієнтів інтенсивності розпаду та сорбції-десорбції співпадають $[c^{-1}]$.

Приведемо системи рівнянь (1) до безрозмірного вигляду. З цією метою введемо нові змінні [8]

$$t = k_2^{(0)} \tau, \quad \xi^{(\alpha)} = \left(k_2^{(0)} / D^{(0)} \right)^{1/2} x^{(\alpha)}, \quad \alpha = \overline{1, 3}. \quad (2)$$

Тоді отримаємо для $i = 0$

$$\begin{aligned} \frac{\partial c_1^{(0)}}{\partial \tau} &= d^{(0)} \Delta_{\xi} c_1^{(0)} - a_1^{(0)} c_1^{(0)} + a_2^{(0)} c_2^{(0)}, \\ \frac{\partial c_2^{(0)}}{\partial \tau} &= a_3^{(0)} c_1^{(0)} - a_4^{(0)} c_3^{(0)}; \end{aligned} \quad (3a)$$

для $i = \overline{1, N-1}$

$$\begin{aligned} \frac{\partial c_1^{(i)}}{\partial \tau} &= d^{(i)} \Delta_{\xi} c_1^{(i)} - a_1^{(i)} c_1^{(i)} + a_2^{(i)} c_2^{(i)} + a_{\lambda 1}^{(i-1)} c_1^{(i-1)}, \\ \frac{\partial c_2^{(i)}}{\partial \tau} &= a_3^{(i)} c_1^{(i)} - a_4^{(i)} c_2^{(i)} + a_{\lambda 2}^{(i-1)} c_2^{(i-1)}; \end{aligned} \quad (3б)$$

для $i = N$

$$\begin{aligned} \frac{\partial c_1^{(N)}}{\partial \tau} &= d^{(N)} \Delta_{\xi} c_1^{(N)} - a_1^{(N)} c_1^{(N)} + a_2^{(N)} c_2^{(N)} + \sum_{i=0}^{N-1} a_{\lambda 1}^{(iN)} c_1^{(i)}, \\ \frac{\partial c_2^{(N)}}{\partial \tau} &= a_3^{(N)} c_1^{(N)} - a_4^{(N)} c_2^{(N)} + \sum_{i=0}^{N-1} a_{\lambda 2}^{(iN)} c_2^{(i)}, \end{aligned} \quad (3в)$$

де $\Delta_{\xi} = \vec{\nabla}_{\xi} \cdot \vec{\nabla}_{\xi}$, $\vec{\nabla}_{\xi} = \vec{i}^{(\alpha)} \partial / \partial \xi^{(\alpha)}$, $d^{(i)} = D^{(i)} / D^{(0)}$, $a_{\lambda j}^{(i-1)} = \lambda_j^{(i-1)} / k_2^{(0)}$,
 $a_1^{(i)} = \left(k_1^{(i)} + \lambda_1^{(i+1)} + \lambda_1^{(iN)} \right) / k_2^{(0)}$, $a_3^{(i)} = k_1^{(i)} / k_2^{(0)}$, $a_{\lambda j}^{(iN)} = \lambda_j^{(iN)} / k_2^{(0)}$, $i = \overline{0, N}$,
 $j = 1, 2$.

Зазначимо, що безрозмірні змінні (2) стискають часову вісь і розтягують просторову, при цьому не залежать від геометричних розмірів тіла або характерних розмірів структурних неоднорідностей.

Крайова задача дифузії каскадного типу для середовища з пастками

Нехай домішкова речовина мігрує в шарі безрозмірної товщини ξ_0 . Цей процес описують рівняння (3) для одновимірного за просторовою координатою випадку.

Приймаємо, що в початковий момент в тілі відсутня домішкова речовина:

$$c_1^{(i)}(\xi, \tau)\Big|_{\tau=0} = c_2^{(i)}(\xi, \tau)\Big|_{\tau=0} = 0, \quad i = \overline{0; N}. \quad (4)$$

Для часів $\tau > 0$ на межі шару $\xi = 0$ діє стале джерело маси для речовини $\mathbf{K}^{(0)}$ і частинки з поверхні можуть попадати лише у поровий простір. На границі $\xi = \xi_0$ підтримується нульове значення концентрації $c_1^{(0)}$. Приймаємо, що джерелом маси для речовини $\mathbf{K}^{(i)}$ ($i = \overline{1; N}$) є розпад речовини $\mathbf{K}^{(i-1)}$. Тоді маємо такі граничні умови:

$$c_1^{(0)}(\xi, \tau)\Big|_{\xi=0} = c_0 \equiv const, \quad c_1^{(0)}(\xi, \tau)\Big|_{\xi=\xi_0} = 0, \quad (5a)$$

$$c_1^{(i)}(\xi, \tau)\Big|_{\xi=0} = 0, \quad c_1^{(i)}(\xi, \tau)\Big|_{\xi=\xi_0} = 0, \quad i = \overline{1; N}. \quad (5b)$$

Таким чином ми отримали крайову задачу (3)-(5) для дифузії у середовищі з пастками при каскадному розпаді мігруючої речовини.

Розв'язок крайової задачі для кроку $i = 0$ розпаду дифундуючої речовини, тобто задачі (3a), (4), (5a), знаходимо з допомогою інтегральних перетворень Лапласа за часом і Фур'є за просторовою координатою [8]. У результаті одержимо

концентрацію домішок у поровому просторі

$$\frac{1}{c_0} c_1^{(0)}(\xi, \tau) = 1 - \frac{\xi}{\xi_0} - \frac{2\tilde{B}_1^2}{\xi_0 a_4^{(0)} d^{(0)}} \left[1 - \frac{\xi}{\xi_0} - \frac{\text{sh} \eta^{(0)}(\xi_0 - \xi)}{\text{sh} \eta^{(0)} \xi_0} \right] + \frac{2}{\xi_0} \times \\ \times \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin y_k \xi}{y_k (s_1 - s_2)} \left\{ \left(s_1 + \tilde{A}_1 + \frac{\tilde{B}_1}{s_1} \right) e^{s_1 \tau} - \left(s_2 + \tilde{A}_1 + \frac{\tilde{B}_1}{s_2} \right) e^{s_2 \tau} \right\}; \quad (6a)$$

концентрацію частинок у пастках

$$\frac{1}{c_0} c_2^{(0)} = \frac{2a_3^{(0)} \tilde{B}_1}{\xi_0 a_4^{(0)2} d^{(0)2}} \frac{\text{sh} \eta^{(0)}(\xi_0 - \xi)}{\text{sh} \eta^{(0)} \xi_0} + \frac{2a_3^{(0)}}{\xi_0} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin y_k \xi}{y_k (s_1 - s_2)} \left\{ \left(\frac{\tilde{B}_2}{s_1} \right) e^{s_1 \tau} - \left(\frac{\tilde{B}_2}{s_2} \right) e^{s_2 \tau} \right\}; \quad (6b)$$

сумарну концентрацію частинок $\tilde{c}^{(0)}(\xi, \tau) = c_1^{(0)}(\xi, \tau) + c_2^{(0)}(\xi, \tau)$ *у тілі з пастками*

$$\frac{1}{c_0} \tilde{c}^{(0)}(\xi, \tau) = 1 - \frac{\xi}{\xi_0} - \frac{2\tilde{B}_1^2}{\xi_0 a_4^{(0)} d_0^{(0)}} \left[1 - \frac{\xi}{\xi_0} - \left(1 - \frac{a_3^{(0)}}{d^{(0)} a_4^{(0)} \tilde{B}_1} \right) \frac{\text{sh } \eta^{(0)}(\xi_0 - \xi)}{\text{sh } \eta^{(0)} \xi_0} \right] + \frac{2}{\xi_0} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin y_k \xi}{y_k (s_1 - s_2)} \left\{ \left(s_1 + \tilde{A}_1 + \frac{\tilde{B}^{(0)}}{s_1} \right) e^{s_1 \tau} - \left(s_2 + \tilde{A}_1 + \frac{\tilde{B}^{(0)}}{s_2} \right) e^{s_2 \tau} \right\}, \quad (6\text{В})$$

де $\tilde{B}^{(0)} = a_3^{(0)} \tilde{B}_2 - \tilde{B}_1$, $\tilde{A}_1 = a_1^{(0)} + a_4^{(0)}$, $\tilde{B}_1 = a_1^{(0)} a_4^{(0)} - a_3^{(0)} a_2^{(0)}$, $\tilde{B}_2 = a_0^{(0)} y_k^2$,
 $y_k = k\pi / \xi_0$, $\eta^{(0)} = \sqrt{\tilde{B}_1 / a_4^{(0)} d_0^{(0)}}$, $s_{1,2} = 0,5 \left[-\zeta_1 \pm \sqrt{\zeta_1^2 - 4\zeta_2} \right]$,
 $\zeta_1 = a_0^{(0)} y_k^2 + a_1^{(0)} + a_4^{(0)}$, $\zeta_2 = a_1^{(0)} a_4^{(0)} - a_3^{(0)} a_2^{(0)} a_4^{(0)} d_0^{(0)} y_k^2$.

Концентрація в пастках є пропорційною не тільки значенню концентрації частинок на границі шару c_0 , але й коефіцієнту інтенсивності сорбції $a_3^{(0)}$. Асимптотичні складові функцій $c_1^{(0)}(\xi, \tau)$, $c_2^{(0)}(\xi, \tau)$, $\tilde{c}^{(0)}(\xi, \tau)$ є суттєво нелінійними.

Зауважимо, що в рамках моделі, яка розглядається, концентрація частинок у пастках на границі шару $\xi = 0$ не дорівнює нулю, і, відповідно, сумарна концентрація дифундуючої речовини на цій межі не дорівнює c_0 :

$$\frac{1}{c_0} c_2^{(0)}(\xi, \tau) \Big|_{\xi=0} = \frac{2a_3^{(0)} \tilde{B}_1}{\xi_0 a_4^{(0)2} d^{(0)2}}; \quad \frac{1}{c_0} \tilde{c}^{(0)}(\xi, \tau) \Big|_{\xi=0} = 1 + \frac{2\tilde{B}_1 a_3^{(0)}}{\xi_0 a_4^{(0)2} d^{(0)2}}$$

Це означає, що речовина може накопичуватись у пастках і на границі $\xi = 0$. У той же час на границі $\xi = \xi_0$ концентрації розпадних частинок (6а) дорівнюють нулю.

Для інших кроків каскадного розпаду мігруючих речовин ($i = 1, N-1$) розв'язок крайових задач (3б), (4), (5б) подамо через відповідні функції Гріна:

$$c_1^{(i)}(\xi, \tau) = a_{\lambda 1}^{(i-1)} \int_0^{\xi} \int_0^{\tau} G_1^{(i)}(\xi, \xi'; \tau, \tau') c_1^{(i-1)}(\xi', \tau') d\xi' d\tau';$$

$$c_2^{(i)}(\xi, \tau) = a_{\lambda 2}^{(i-1)} \int_0^{\xi} \int_0^{\tau} G_2^{(i)}(\xi, \xi'; \tau, \tau') c_2^{(i-1)}(\xi', \tau') d\xi' d\tau', \quad (7)$$

де $G_1^{(i)}(\xi, \xi'; \tau, \tau')$, $G_2^{(i)}(\xi, \xi'; \tau, \tau')$ - функції Гріна задачі (3б), (4), (5б) для $i = \overline{1, N-1}$, тобто є розв'язками наступних крайових задач

$$\begin{aligned} \frac{\partial G_1^{(i)}}{\partial \tau} - d^{(i)} \frac{\partial^2 G_1^{(i)}}{\partial \xi^2} + a_1^{(i)} G_1^{(i)} - a_2^{(i)} G_2^{(i)} &= \delta(\tau - \tau') \delta(\xi - \xi'); \\ \frac{\partial G_2^{(i)}}{\partial \tau} - a_3^{(i)} G_1^{(i)} + a_4^{(i)} G_2^{(i)} &= \delta(\tau - \tau') \delta(\xi - \xi'), \end{aligned} \quad (8)$$

за нульових крайових умов

$$G_1^{(i)} \Big|_{\tau=0} = G_2^{(i)} \Big|_{\tau=0} = 0; \quad G_1^{(i)} \Big|_{\xi=0} = G_1^{(i)} \Big|_{\xi=\xi_0} = 0, \quad i = \overline{1, N-1}, \quad (9)$$

Розв'язок крайової задачі (8), (9) також шукаємо з допомогою інтегральних перетворень Лапласа і Фур'є [9, 10]. Формули для визначення функцій Гріна $G_j^{(i)}$ на i -му кроці розпаду ($i = \overline{1, N-1}$) одержано у вигляді:

$$\begin{aligned} G_1^{(i)} &= \theta(\tau - \tau') \sum_{\xi_0}^{\infty} \frac{\sin(y_n \xi) \sin(y_n \xi')}{s_{1n} - s_{2n}} \left[(s_{1n} + \bar{A}_1^{(i)}) e^{s_{1n}(\tau - \tau')} - (s_{2n} + \bar{A}_1^{(i)}) e^{s_{2n}(\tau - \tau')} \right], \\ G_2^{(i)} &= \theta(\tau - \tau') \sum_{\xi_0}^{\infty} \frac{\sin(y_n \xi) \sin(y_n \xi')}{s_{1n} - s_{2n}} \left[(s_{1n} + \bar{A}_2^{(i)}) e^{s_{1n}(\tau - \tau')} - (s_{2n} + \bar{A}_2^{(i)}) e^{s_{2n}(\tau - \tau')} \right], \end{aligned} \quad (10)$$

де $\bar{A}_1^{(i)} = a_{33}^{(i)} + a_{23}^{(i)}$, $\bar{A}_2^{(i)} = d_0^{e(i)} y_n^2 + a_{11}^{e(i)} + a_{31}^{e(i)}$, $\theta(\tau)$ - функція Хевісайда.

Отже, знайшовши функцію Гріна за формулою (10) і визначивши концентрацію розпадних домішок на кроці $i-1$, за співвідношеннями

(7) ми знайдемо концентрацію розпадної речовини для $i = \overline{1, N-1}$.

Для випадку $i = N$ процес масоперенесення описується задачею (3в), (4), (5б). Її розв'язок також подамо через відповідні функції Гріна

$$\begin{aligned} c_1^{(N)}(\xi, \tau) &= \int_0^{\tau} \int_0^{\xi_0} G_1^{(N)}(\xi, \xi'; \tau, \tau') \sum_{i=0}^{N-1} a_{\lambda 1}^{(iN)} c_1^{(i)}(\xi', \tau') d\xi' d\tau'; \\ c_2^{(N)}(\xi, \tau) &= \int_0^{\tau} \int_0^{\xi_0} G_2^{(N)}(\xi, \xi'; \tau, \tau') \sum_{i=0}^{N-1} a_{\lambda 2}^{(iN)} c_2^{(i)}(\xi', \tau') d\xi' d\tau', \end{aligned} \quad (11)$$

де $G_j^{(N)}(\xi, \xi'; \tau, \tau')$ ($j = 1, 2$) - функції Гріна задачі (3в), (4), (5б) і задовольняють крайову задачу з точковим джерелом

$$\frac{\partial G_1^{(N)}}{\partial \tau} - d^{(N)} \frac{\partial^2 G_1^{(N)}}{\partial \xi^2} + a_1^{(N)} G_1^{(N)} - a_2^{(N)} G_2^{(N)} = \delta(\tau - \tau') \delta(\xi - \xi');$$

$$\frac{\partial G_2^{(N)}}{\partial \tau} - a_3^{(N)} G_1^{(N)} + a_4^{(N)} G_2^{(N)} = \delta(\tau - \tau') \delta(\xi - \xi'), \quad (12)$$

$$G_1^{(N)} \Big|_{\tau=0} = G_2^{(N)} \Big|_{\tau=0} = G_1^{(N)} \Big|_{\xi=0} = G_1^{(N)} \Big|_{\xi=\xi_0} = 0 \quad (13)$$

Розв'язок крайової задачі (12), (13) має вигляд

$$G_1^{(N)} = \theta(\tau - \tau') \frac{2}{\xi_0} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(y_n \xi) \sin(y_n \xi')}{s_{1n} - s_{2n}} \left[(s_{1n} + \bar{A}_1^{(N)}) e^{s_{1n}(\tau - \tau')} - (s_{2n} + \bar{A}_1^{(N)}) e^{s_{2n}(\tau - \tau')} \right],$$

$$G_2^{(N)} = \theta(\tau - \tau') \frac{2}{\xi_0} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(y_n \xi) \sin(y_n \xi')}{s_{1n} - s_{2n}} \left[(s_{1n} + \bar{A}_2^{(N)}) e^{s_{1n}(\tau - \tau')} - (s_{2n} + \bar{A}_2^{(N)}) e^{s_{2n}(\tau - \tau')} \right]. \quad (14)$$

Тоді, послідовно визначивши концентрації на кожному кроці $i = 0, N - 1$ за формулами (11) з урахуванням (14) знайдемо концентрації нерозпадених частинок у тілі.

Потоки маси та кількість речовини, що пройшла через шар

В рамках моделі дифузії у середовищі з пастками потік маси враховується лише у стані 1. В об'ємі скелету (пастках) приймається, що дифузійний потік є нехтовно малим. Тому сумарний потік частинок за даною моделлю визначається потоком у поровому просторі. В одновимірному за просторовою координатою випадку потік частинок, що розпадаються, через переріз тіла $\xi = \xi_*$ знайдемо за формулою

$$J_{*p}^{(i)}(\tau) = -d_0^{(i)} \partial c_1^{(i)}(\xi, \tau) / \partial \xi \Big|_{\xi=\xi_*}, \quad i = \overline{0; N}. \quad (15)$$

Підставляємо вирази для концентрацій $c_1^{(i)}(\xi, \tau)$ (6в), (7), (11) у співвідношення (15). Тоді отримаємо для $i = 0$

$$J_{*p}^{(0)}(\tau) \xi_0 / c_0 d_0^{(0)} = 1 + \tilde{B}_1^2 \eta^{(0)} / a_4^{(0)} d_0^{(0)} \left[1 / \xi_0 - \eta^{(0)} \operatorname{ch} \eta^{(0)} (\xi_0 - \xi_*) / \operatorname{sh} \eta^{(0)} \xi_0 \right] -$$

$$- 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\cos y_k \xi_*}{(s_1 - s_2)} \left\{ \left(s_1 + \bar{A}_1 + \frac{\tilde{B}_1}{s_1} \right) e^{s_1 \tau} - \left(s_2 + \bar{A}_1 + \frac{\tilde{B}_1}{s_2} \right) e^{s_2 \tau} \right\}, \quad i = \overline{0; N};$$

(16а)

для $i = 1, \dots, N-1$

$$J_{*p}^{(i)}(\tau) = -a_{\lambda 1}^{(i-1)} d_0^{(i)} \int_0^\tau \int_0^{\xi_0} \frac{\partial G_1^{(i)}(\xi, \xi'; \tau, \tau')}{\partial \xi} \Big|_{\xi=\xi_*} c_1^{(i-1)}(\xi', \tau') d\xi' d\tau';$$

$$\frac{\partial G_1^{(i)}}{\partial \xi} \Big|_{\xi=\xi_*} = \theta(\tau - \tau') \frac{2}{\xi_0} \sum_{n=1}^{\infty} y_n \frac{\cos(y_n \xi_*) \sin(y_n \xi')}{s_{1n} - s_{2n}} \left[(s_{1n} + \bar{A}_1^{(i)}) e^{s_{1n}(\tau - \tau')} - (s_{2n} + \bar{A}_1^{(i)}) e^{s_{2n}(\tau - \tau')} \right]; i = \overline{0, N}$$
(166)

для $i = N$

$$J_{*p}^{(N)}(\tau) = -d_0^{(N)} \int_0^\tau \int_0^{\xi_0} \frac{\partial G_1^{(N)}(\xi, \xi'; \tau, \tau')}{\partial \xi} \Big|_{\xi=\xi_*} \sum_{i=0}^{N-1} a_{\lambda 1}^{(iN)} c_1^{(i)}(\xi', \tau') d\xi' d\tau'$$
; (16b)

$$\frac{\partial G_1^{(N)}}{\partial \xi} \Big|_{\xi=\xi_*} = \theta(\tau - \tau') \frac{2}{\xi_0} \sum_{n=1}^{\infty} y_n \cos(y_n \xi_*) \frac{\sin(y_n \xi')}{s_{1n} - s_{2n}} \left[(s_{1n} + \bar{A}_1^{(i)}) e^{s_{1n}(\tau - \tau')} - (s_{2n} + \bar{A}_1^{(i)}) e^{s_{2n}(\tau - \tau')} \right].$$

Зазначимо, що асимптотична частина виразів для потоків (16), зокрема і (16), є нелінійною, причому структура цих доданків є подібною до потоків домішки, знайдений за моделлю дифузії в середовищі з ефективними характеристиками [9].

Знайдемо кількість розпадної домішкової речовини, що за час τ_* пройшла через поверхню $\xi = \xi_0$ - нижню границю шару, за співвідношенням

$$Q_{0e}^{(i)} = \int_0^{\tau_*} J_{0e}^{(i)}(\tau) d\tau, \quad i = \overline{0, N},$$

підставляючи відповідні вирази для потоків маси (17). У результаті маємо для $i = 0$

$$\frac{\xi_0 Q_{0p}^{(0)}}{c_0 d_0^{e(0)}} = \left(1 + \frac{\tilde{B}_1^2 \eta^{(0)}}{a_{33}^{(0)} d_0^{e(0)}} \left[\frac{1}{\xi_0} - \frac{\eta^{(0)}}{\text{sh } \eta^{(0)} \xi_0} \right] \right) \tau_* +$$

$$+ 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{(s_1 - s_2)} \left\{ \left(s_1 + \tilde{A}_1 + \frac{\tilde{B}_1}{s_1} \right) (1 - e^{s_1 \tau_*}) - \left(s_2 + \tilde{A}_1 + \frac{\tilde{B}_1}{s_2} \right) (1 - e^{s_2 \tau_*}) \right\};$$
(17a)

для $i = 1, \dots, N-1$

$$Q_{0p}^{(i)} = -a_{\lambda 1}^{e(i-1)} d_0^{e(i)} \int_0^{\tau_*} \left(\int_0^\tau \int_0^{\xi_0} \frac{\partial G_1^{(i)}(\xi, \xi'; \tau, \tau')}{\partial \xi} \Big|_{\xi=\xi_0} c_1^{e(i-1)}(\xi', \tau') d\xi' d\tau' \right) d\tau$$
; (17б)

для $i = N$

$$Q_{0e}^{(N)} = -d_0^{e(N)} \int_0^{\tau_0} \left(\int_0^{\xi_0} \frac{\partial G_1^{(N)}(\xi, \xi', \tau, \tau')}{\partial \xi} \Big|_{\xi=\xi_0} \sum_{i=0}^{N-1} a_{\lambda 1}^{(iN)} c_1^{e(i)}(\xi', \tau') d\xi' d\tau' \right) d\tau. \quad (17B)$$

Зауважимо, що вирази для потоків і кількості речовини, що за певний проміжок часу пройшла через шар, отримані в інтегральній формі.

Схема модулів пакету для моделі дифузії з пастками. Числовий аналіз

На основі формул (6) та також розв'язків задач (8) і (9) для концентрацій розпадних домішкових компонент, а також (16) і (17) для відповідних потоків маси і (18) для кількості речовин, що пройшли через нижню границю шару за певний проміжок часу, розроблений пакет програм для комп'ютерного моделювання процесів дифузії у тілі з пастками для каскадного розпаду мігруючих частинок. На рис. 2 продемонстрована схема алгоритму модуля пакету для розрахунку концентрацій домішкових речовин за їх каскадного розпаду для всіх етапів $i = \overline{0, N}$. Модулі для обчислення дифузійних потоків та кількості речовини, що пройшла через шар, наведені на рис. 3 та рис. 4 відповідно. При цьому зауважимо, що програмні модулі для потоків і кількості речовини містять тільки по одному циклічному процесу.

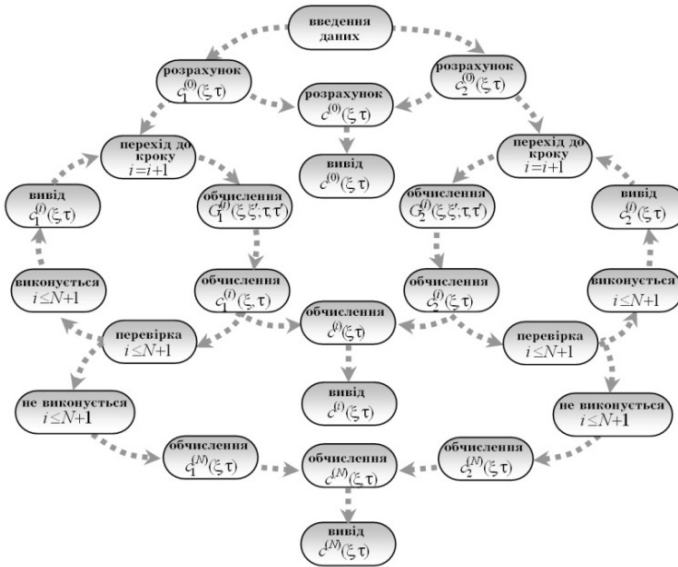


Рис. 2 Схема алгоритму модуля пакету для розрахунку концентрацій домішкових речовин за їх каскадного розпаду у тілі з пастками

На рис. 5 і 6 показано розподіли концентрації домішок на етапах $i=0$ (рис. 5a і 5b) та $i=1$ (рис. 6a і 6b) у поровому просторі, де дифундує домішкова речовина (криві а), у пастках (криві б) та сумарна концентрація частинок. Рис. 5a для $a_3^{(0)} = 5$ та рис. 5b для $a_3^{(0)} = 10$ ілюструють поведінку концентрації розпадної речовини у різні моменти без розмірного часу $\tau = 0.01; 2; 20$ (криві 1-3 відповідно).

Рис. 6a для коефіцієнта дифузії речовини $K^{(1)} d_0^{(1)} = 0.05$ та рис. 6b для $d_0^{(1)} = 20$ демонструють залежність сумарної концентрації, утвореної після розпаду домішки $K^{(0)}$ (тобто на етапі $i=1$), від різних значень коефіцієнта інтенсивності сорбції $a_3^{(1)} = 2; 3; 4$ (криві – 1-3).

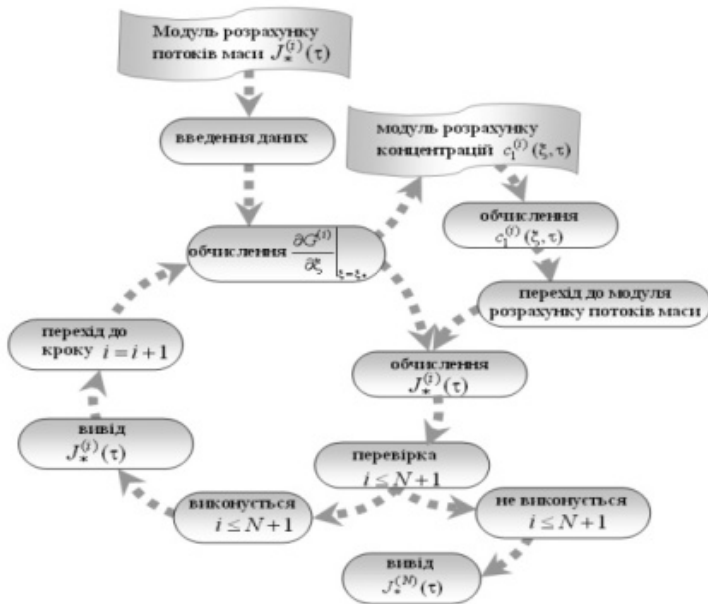


Рис. 3 Схема алгоритму модуля пакету для розрахунку дифузійного потоку домішкових речовин за каскадного розпаду частинок для моделі ефективної дифузії у тілі з пастками

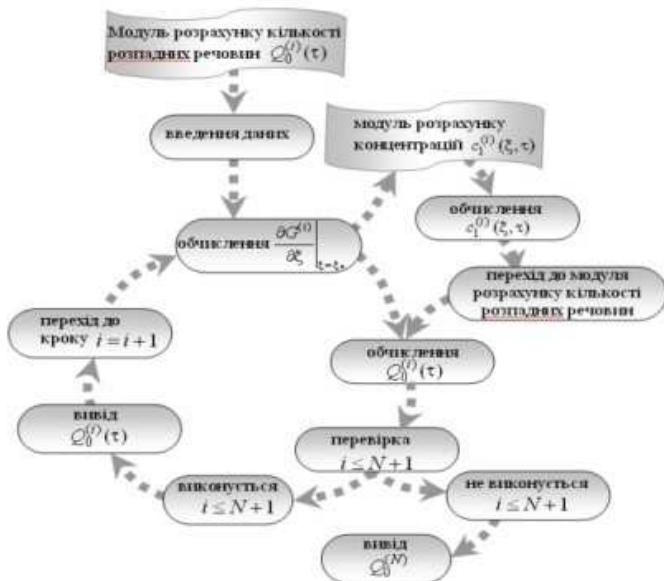


Рис. 4 Схеми алгоритму модуля пакету для розрахунку кількості розпадаючих речовин, що пройшли через нижню границю шару за заданий час для моделі ефективного дифузії у тілі з наптками

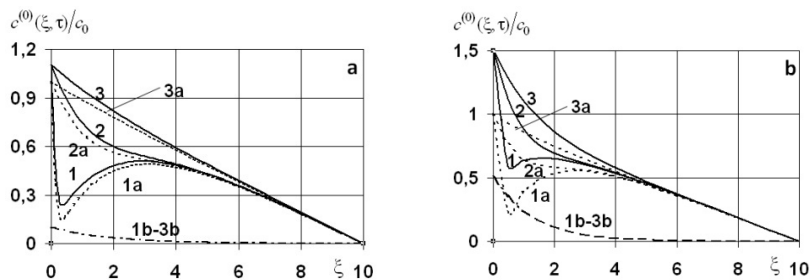


Рис. 5 Розподіли концентрацій $c_1^{(0)}$, $c_2^{(0)}$ та $\tilde{c}^{(0)}$ в різні моменти часу

На рис. 7 показано розподіли потоків маси $\xi_0 J_{0p}^{(0)}(\tau)/c_0 d_0^{(0)}$ (рис. а) та кількість розпадаючої домішкової речовини $\xi_0 Q_{0p}^{(0)}(\tau)/c_0 d_0^{(0)}$, що за час τ_* пройшла через одиницю площі поверхні $\xi = \xi_0$ (рис. б) на 0-му етапі розпаду; на рис. 8 - дифузійних потоків $\xi_0 J_{0p}^{(1)}(\tau)/c_0 d_0^{(1)}$ на 1-му

етапі розпаду. На рис. 7a криві 1-6 відповідають потокам розпадної домішки через перерізи тіла $\xi_* = 0.5, 1, 1.5, 2, 4, 6$. На рис. 8b криві 1-4 для функції $\xi_0 Q_{0p}^{(0)}(\tau)/c_0 d_0^{(0)}$ наведені при різних значеннях коефіцієнта інтенсивності сорбції $a_3^{(0)} = 1, 5, 10, 20$.

Рис. 8а, б ілюструють поведінку функції $\xi_0 J_{0p}^{(1)}(\tau)/c_0 d_0^{(0)}$ на 1-му етапі розпаду залежно від інтенсивності проходження домішки через перерізи $\xi_* = 6, 7, 8, 9$ (криві 1-4, відповідно) при значеннях коефіцієнта інтенсивності сорбції $a_3^{(0)} = 5$ (рис. а) та $a_3^{(0)} = 20$ (рис. б).

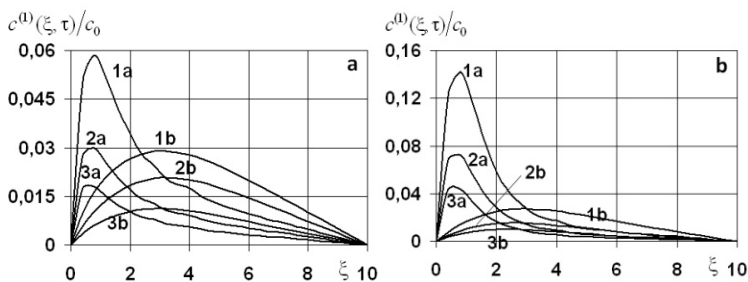


Рис. 6 Розподіли концентрації домішок $\tilde{c}^{(1)}$ при різних значеннях $a_3^{(1)}$

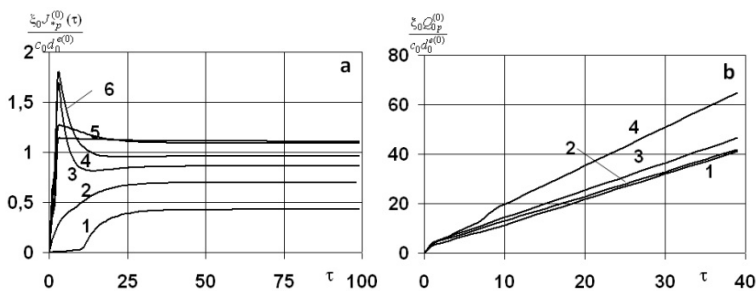


Рис. 7 Розподіли потоків маси на 0-му етапі розпаду через переріз $\xi = \xi_*$ (рис. а) та кількість розпадної речовини, що за час τ_* пройшла через поверхню $\xi = \xi_0$ (рис. б)

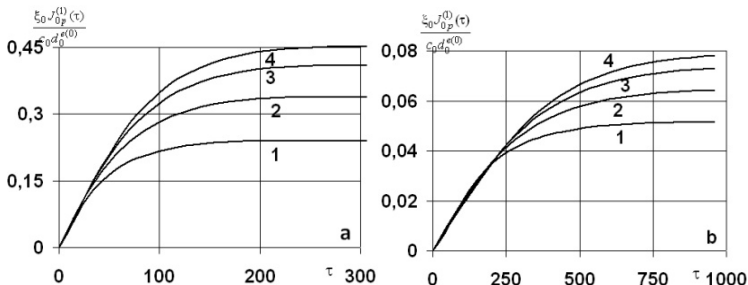


Рис. 8 Розподіли потоків маси на 1-му етапі розпаду через переріз тіла $\xi = \xi^*$ при значеннях коефіцієнта інтенсивності сорбції $a_3^{(0)} = 5$ (рис. а) та 20 (рис. б)

Зазначимо, що для етапу $i = 0$ характерне суттєве при поверхневе зменшення сумарної концентрації $\tilde{c}^{(0)}$ для малих часів (криві 1, рис. 5). З часом сумарна концентрація у приповерхневій області зростає (криві 2, рис. 5) і виходить на усталений режим (криві 3, рис. 5), набуваючи монотонно спадного характеру.

Найбільше накопичення частинок у пастках спостерігається в околі границі шару $\xi = 0$ (криві 2b, рис. 5a,b). Причому функція $c_2^{(0)}$ є монотонно спадною, на її значення суттєво впливає коефіцієнт інтенсивності сорбції $a_3^{(0)}$, проте зміна концентрації в часі є незначною, оскільки задіюється механізм розпаду речовини.

Поведінка функції сумарної концентрації домішкової компоненти на етапі розпаду $i = 1$ суттєво залежить від значення відносного коефіцієнта дифузії речовини $\mathbf{K}^{(1)} d_0^{(1)} = D_1 / D_0^{(0)}$ (рис. 6a). При цьому для великих $d_0^{(1)}$ характерно повільне зростання концентрації $\tilde{c}^{(1)}$ від поверхні з виходом на максимальне значення в середині тіла (криві б, рис. 6a). У той же час для $D_1 < D_0$ спостерігається значне накопичення домішкової речовини $\mathbf{K}^{(1)}$ в околі поверхні тіла $\xi = 0$, де діє максимальне джерело маси для речовини $\mathbf{K}^{(0)}$ (криві а, рис. 5, 6), що спричинене поведінкою функції концентрації розпадних частинок, які мігрують у

поровому просторі. Далі відбувається зростання функцій $c_1^{(1)}$ і $\tilde{c}^{(1)}$, які досягають локального максимуму на проміжку $\xi \in [2; 4]$.

Зазначимо, що для етапу $i = 0$ характерне суттєве зростання потоку розпадної речовини (крива 4-6, рис. 7а) для малих часів $\tau \in [5; 10]$, причому в середині тіла спостерігається різке зменшення функції $\xi_0 J_{0\rho}^{(0)}(\tau) / c_0 d_0^{e(0)}$ (криві 3-4, рис. 7а). Час виходу на усталений режим потоку маси для різних перерізів є приблизно однаковим, хоча значення функції $\xi_0 J_{0\rho}^{(0)}(\tau) / c_0 d_0^{e(0)}$ в стаціонарному режимі різняться від 0,42 для $\xi_* = 2$ до 1,11 для $\xi_* = 6$ (рис. 7а). Кількість розпадної домішкової речовини, що за час $\tau_* = 30$ пройшла через нижню поверхню шару $\xi = \xi_0$, при значеннях коефіцієнта інтенсивності сорбції на першому етапі розпаду $a_3^{(0)} = 1$ в порівнянні з $a_3^{(0)} = 20$ (криві 1 та 5, рис. 7b) зростає на 65 %.

Зазначимо, що поведінка функції дифузійного потоку речовини $\mathbf{K}^{(1)}$ є монотонно зростаючою в часі для всіх перерізів $\xi = \xi_*$ і фізично обґрунтованих параметрів задачі. При цьому чим ближче до нижньої границі тим більшого значення набуває потік маси на 1-му етапі розпаду часу виходу на усталений режим є пропорційний коефіцієнту інтенсивності сорбції (рис. 8а і 8б). Тобто, якщо значення коефіцієнта інтенсивності сорбції збільшується в чотири рази, то і час виходу потоку маси на 1-му етапі розпаду на усталений режим збільшується в стільки ж разів. Причому значення функції потоку у стаціонарному режимі тим більші, чим далі від джерела маси знаходиться переріз тіла, через який проходить потім, що обчислюється.

Висновки

Таким чином для опису процесів масоперенесення домішкових речовин за їх каскадного розпаду у середовищі з пастками сформована математична модель за континуально-термодинамічним підходом. Сформульовані зв'язані крайові задачі дифузії для тіла з пастками, коли концентрація частинок на певному кроці розпаду є джерелом маси розпадної речовини на наступному кроці, яка теж дифундує, сорбується, десорбується і розпадається. Розв'язки відповідних крайових задач каскадного типу побудовані за ітераційною процедурою з використанням функцій Гріна. Таке подання розв'язків дозволяє не тільки проводити кількісний та якісний аналіз концентрацій розпадних домішок, а й знайти

їхні потоки маси, як і визначити кількість відповідних речовин, що за певний проміжок часу пройшли через одиницю площі деякої поверхні, наприклад, через нижню границю шару. На основі отриманих формул розроблений пакет програм для комп'ютерного моделювання процесів дифузії у тілі з пастками за каскадного розпаду домішкових речовин. Встановлено вплив вхідних даних на поведінку і значення сумарних концентрацій частинок на всіх етапах каскадного розпаду.

Література:

1. Бекман И.Н. Радиоактивность и радиация. Радиохимия. Том 1.- МО, Щёлково: Издатель Мархотин П.Ю. 2011. - 398 с.
2. Колобашкин В., Рубцов П., Ружанский П., Сидоренко В. Радиационные характеристики облученного ядерного топлива. – М., Энергоатомиздат, 1983. - 384 с.
3. Середина В.П. Загрязнение почв. – Томск : Издательский Дом Томского государственного университета, 2015. – 346 с.
4. Большов А., Головизнин В., Дыхне А., Киселев В., Кондратенко П., Семенов В. Новые подходы к оценке безопасности захоронений радиоактивных отходов // Извест. РАН. Энергетика. -2004. - №4. - С. 99-108.
5. Головизнин В., Киселев В., Короткин И., Юрков Ю. Прямые задачи неклассического переноса радионуклидов в геологических формациях // Известия РАН. Энергетика. - 2004. - №4. - С. 121-130.
6. Моисеев М., Завершинский И. Диффузия в среде со случайно распределенными ловушками // Матем. моделирование и краев. задачи. - 2005, часть 2. – С. 185-187.
7. Бурак Я., Чапля Є., Чернуха О. Континуально-термодинамічні моделі механіки твердих розчинів. – Київ, Наукова думка. - 2006. - 272 с.
8. Чапля Є.Я., Чернуха О.Ю. Фізико-математичне моделювання гетеродифузного масопереносу. - Львів: СПОЛОМ. - 2003. – 128 с.
9. Chaplya Y., Chernukha O., Bilushchak Y. Contact initial boundary-value problem of the diffusion of admixture particles in a two-phase stochastically inhomogeneous stratified strip // Journal of Mathematical Sciences. – 2012. – Vol. 183, No 1. – P. 83-99.
10. Снеддон И. Преобразования Фурье. - М: Изд-во иностр. лит-ры, 1955. - 667 с.

Інформація про авторів:

Білушак Юрій- Центр математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України, Львів, Національний університет «Львівська політехніка», Львів

byluch13@gmail.com

Чапля Євген- Центр математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України, Львів. Інститут механіки і прикладної інформатики Університету Казимира Великого в Бидгощі, Бидгощ, Польща

chaplia@cmm.lviv.ua

Чернуха Ольга- Центр математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України, Львів, Національний університет «Львівська політехніка», Львів
zaliznuchna6@gmail.com

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

**MODELLING AND FORECASTING MIGRATION
OF RADIOACTIVE CONTAMINANTS IN SOILS
UNDER CASCADE DECAY OF RADIONUCLIDES**

Yevgen Chaplya, Olha Chernukha, Yurii Bilushchak

***Abstract:** Mathematical model of contaminant migration in soils, taken into account cascade decay of particles and presence of traps in the medium, is proposed. The solutions of the initial-boundary value problems of the cascade type are constructed by the iteration procedure with using Green's functions. The formulae are obtained for finding the mass flows, as well as admixture quantity pass through a layer, at each stage of decay. Software for simulation of the diffusion processes in the body with traps under cascade decay of admixture substances is designed.*

***Keywords:** modelling, diffusion, sorption-desorption, cascade decay, soil, trap, software, Chernobyl catastrophe.*

Authors' Information

Yevgen Chaplya – Centre of Mathematical Modelling of Y. S. Pidstryhach Institute of Applied Problems of Mechanics and Mathematics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine; Institute of Mechanics and Applied Informatics Kazimierz Wielki University in Bydgoszcz; Poland; e-mail: chaplia@cmm.lviv.ua

Major Fields of Scientific Research: mathematical modeling, thermodynamics of nonequilibrium processes information technology, ecology.

Olha Chernukha – Centre of Mathematical Modelling of Y. S. Pidstryhach Institute of Applied Problems of Mechanics and Mathematics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine; e-mail: zaliznuchna6@gmail.com

Major Fields of Scientific Research: mathematical modeling, simulation, mathematical physics, ecology.

Yurii Bilushchak – Centre of Mathematical Modelling of Y. S. Pidstryhach Institute of Applied Problems of Mechanics and Mathematics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine; e-mail: byixx13@gmail.com

Major Fields of Scientific Research: mathematical modeling, differential and integral equations, computer technology, ecology

СТРОНЦІЙ ТА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

Бовкун А. О. (науковий керівник - Бондар Ю. О.)

Аварія на Чорнобильській АЕС кваліфікується як найбільша катастрофа в світі, що вплинула на всю історію людства, як сама велика техногенна катастрофа, що має глобальні наслідки. Як результат – забруднена

дуже велика територія України. Найбільш суттєва її післядія зосереджена в радіоактивному забрудненні навколишнього середовища. В Україні загальна площа з підвищеним рівнем радіоактивного забруднення становить більше 5 млн. га земель в 13 областях України [1, 2].

Майже 75% території України зазнало радіоактивного забруднення ^{137}Cs , яке більш ніж удвічі перевищувало доаварійні рівні [3]. Площа території України, що забруднена ^{90}Sr та ^{241}Am , ізотопами Pu [4; 5] суттєво менша, оскільки переважна кількість цих радіонуклідів надійшла до атмосфери у вигляді «гарячих частинок» [6] і найбільша їх кількість була сконцентрована у межах зони відчуження Чорнобильської атомної електростанції [5].

Площа земель забруднених у різних областях України ^{90}Sr становила у 2011 р. 3 млн. 59 тис. га із щільністю забруднення 0,75-5,55 $\text{кБк}/\text{м}^2$, 237 тис. га – 5,55 - 111 $\text{кБк}/\text{м}^2$, 1398 га понад 111 $\text{кБк}/\text{м}^2$ [7].

Стронцій – проста речовина – сріблясто-білий метал, ковкий і пластичний. Він має 4 стабільних ізотопи з масовими числами 84, 86, 87, 88 і кілька радіоактивних ізотопів. В земній корі міститься в невеликій кількості. Основним промисловим способом отримання металевого стронцію є термічне відновлення його оксиду алюмінієм. Стронцій дуже активний і швидко вступає в хімічні реакції, тому у чистому вигляді у природі не зустрічається, а тільки у складі мінералів, частіше у сполученні з кальцієм.

Радіоактивний ^{90}Sr , потрапивши у навколишнє середовище, утворює добре розчинний у воді гідрокарбонат $\text{Sr}(\text{HCO}_3)_2$, активно мігрує до ґрунту, накопичується в рослинах і організмах тварин [8]. Біологічна доступність ^{90}Sr знижується з часом повільніше, ніж ^{137}Cs . Тому одним із радіоекологічних завдань на пізній стадії аварії є оцінка динаміки надходження радіонуклідів у рослини, тобто збільшення їх біологічної доступності [9], особливо враховуючи те, що кінцевим реципієнтом у ланцюзі живлення виступає людина.

В організмі людини ^{90}Sr відкладається в кістковому мозку і дуже часто призводить до досить трагічних наслідків, оскільки буквально блокує кровотворення. Але звичайний, нерадіоактивний, стронцій в розумних дозах не тільки безпечний, а просто необхідний людському організму.

Взагалі, стронцій виявляється майже у всіх живих організмах. Стронцій запобігає розвитку остеопорозу і карієсу зубів. Він є аналогом кальцію і може легко його замінювати в кістковій тканині без особливих наслідків для здоров'я. До речі, саме ця хімічна властивість робить вкрай небезпечним його згаданий радіоактивний ізотоп, особливо для дітей. Радіоактивний ^{90}Sr – чистий бета-випромінювач з періодом напіврозпаду 29,12 років. Він опромінює кісткову тканину, що призводить до захворювання і деформації суглобів та уповільнення темпів росту – стронцієвий рахіт. Накопичуючись у кістках, ^{90}Sr руйнує їх структуру, уражає кістковий мозок (в першу чергу – червоний кістковий мозок),

викликає утворення пухлин, руйнує мозок і печінку. Червоний кістковий мозок – основна кровотворна тканина, яка є дуже чутливою до опромінення. Тому для ізотопу ^{90}Sr встановлені низькі гранично допустимі концентрації – майже в 100 разів менші, ніж для ^{137}Cs .

Відомості про дефіцит стронцію в організмі людини у спеціальній літературі відсутні. Проведені експерименти на тваринах показують, що нестача стронцію призводить до відсталості в розвитку, пригнічення росту, руйнування зубів (карієс), кальцифікації кісток і зубів [10].

Вченими підраховано, що в середньому за добу людина споживає з їжею 0,8-3,0 мг стронцію, який засвоюється тільки на 5-10%. Його всмоктування відбувається переважно у дванадцятипалій і клубовій кишках. Виводиться стронцій в основному через нирки, значно меншою мірою – з жовчю. В калі виявляється тільки неабсорбований стронцій.

Покращують засвоєння стронцію вітаміни D, лактоза, амінокислоти аргінін і лізин. У свою чергу рослинний раціон з високим вмістом клітковини, а також сульфати натрію і барію, зменшують абсорбцію стронцію в травному каналі.

Найбільше стронцію потрапляє в організм людини з рослинними продуктами: бобовими, зерновими, горіхами, фруктами, овочами тощо.

Отже, стронцій один з необхідних елементів для життєдіяльності людини. Однак його радіоактивний ізотоп вкрай небезпечний. В природі, як і в організмі людини, все має бути збалансовано. До порушень роботи організму людини і різних захворювань може призвести як надлишок, так і дефіцит будь-якого елемента.

Так, як радіоактивний стронцій може спричинити розвиток гострої променевої хвороби, робота з ізотопом ^{90}Sr повинна проводитися з великою обережністю.

Література:

1. Доргунцов С. И. Концептуальные подходы к развитию и размещению производственных сил на 22 территориях с повышенными уровнями радиоактивного загрязнения / С. И. Доргунцов, В. А. Половкин, А. В. Степаненко // Сб. Социально-экономические проблемы ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы. – К. : СОПС України АН України, 1992. – С. 4–21.
2. Касьян И. З. Проблемы дезактивации и захоронения радиоактивных отходов зоны Чернобыльской катастрофы / И. З. Касьян // Сб. Социально-экономические проблемы ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы. – К. : СОПС України АН України, 1992. – С. 205–212.
3. Двадцять п'ять років Чорнобильської катастрофи. Безпека майбутнього : національна доповідь України. – К. : КІМ, 2011. – 356 с.
4. 20 років Чорнобильської катастрофи. Погляд у майбутнє : національна доповідь України. – К. : Атака, 2006. – 224 с.
5. Атлас «Україна. Радіоактивне забруднення». – К. : МНС України, 2008. – 52 с.

6. Kashparov V. A. Kinetics of fuel particle weathering and ^{90}Sr mobility in the Chernobyl 30-km exclusion zone / V. A. Kashparov, D. H. Oughton, S. I. Zvarich [and all.] // Health Physics. – 1999. – № 76. – P. 251–259.

7. Греков В. О. Двадцять п'ять років після аварії на ЧАЕС: стан земель на забруднених територіях та перспективи їх реабілітації / В. О. Греков, Л. В. Дашко, М. І. Майстренко // Охорона родючості ґрунтів. – 2011. – Вип. 7. – С. 3–9.

8. Бударников В. А. Радиобиологический справочник / В. А. Бударников, В. А. Киршин, А. Е. Антоненко. – Минск : Уражай, 1992. – 336 с.

9. Іванов О. Ю. Довготривала динаміка надходження ^{90}Sr і ^{137}Cs в злакові трави з контрастних за властивостями ґрунтів / О. Ю. Іванов, Ю. В. Хомутинін // Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2014. – № 5. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2014_5_11.

10. Волков А. И. Большой химический справочник / А. И. Волков, И. М. Жарский. – Минск : Современная школа, 2005. – 608 с.

Інформація про авторів:

Бовкун А.О. - студентка I курсу факультету захисту рослин Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Науковий керівник: Бондар Ю.О. - кандидат біологічних наук, доцент кафедри радіобіології та радіоекології Національного університету біоресурсів і природокористування України.

ПРИСКОРЮВАЛЬНА МАС-СПЕКТРОМЕТРИЯ В ЗАДАЧАХ ЕКОЛОГІЧНИХ

Бугай О. М., Москаленко В. Б.

Контроль радіоактивних джерел та їх переміщення, а також задачі екологічної безпеки, пов'язаної з радіаційною небезпекою і високою токсичністю ізотопів трансуранових елементів, вимагають використання методик і апаратури, які здатні характеризувати ядерні матеріали при малих кількостях зразка та аналіта. Для вирішення таких задач можуть бути застосовані рентгенівські методи аналізу, які при використанні сучасних досягнень в області рентгенівської оптики і дозуючих пристроїв, можуть мати високі аналітичні характеристики. Однак більш придатними є мас-спектрометричні методи. Завдяки високій чутливості мас-спектрометричні методи дозволяють проводити аналіз вмісту навіть радіонуклідів з великими періодами напіврозпаду. Однак, навіть за умов рекордної на сьогодні чутливості (10^{-10}), деякі виклики залишаються недоступними для традиційної мас-спектрометрії. До специфічних завдань, що вимагають від мас-спектрометрії високої роздільної здатності та чутливості слід віднести вимірювання вмісту надзвичайно рідкісних ізотопів, що складають 10^{-12} - 10^{-15} від концентрації основних. Точні вимірювання відношення основного і «рідкісного» ізотопу зазначених елементів стають можливими в результаті комбінації в одній аналітичній установці прискорювача іонів і мас-спектрометра.

До теперішнього часу в світі існує близько ста діючих центрів прискорювальної мас-спектрометрії (ПМС) для самих різних завдань. Один з таких центрів є Центр колективного користування «Прискорювальна мас-спектрометрія» Інституту прикладної фізики НАН України. Центр оснащений прискорювальним мас-спектрометром HVEE AMS-1MV «Tandetron». На сьогоднішній день ПМС Інституту прикладної фізики НАН України в основному застосовується для визначення концентрації ^{14}C . Однак існує можливість його використання для задач ядерної енергетики та ядерної безпеки (моніторинг навколишнього середовища щодо наявності ізотопів ^{14}C , ^{129}I , ^{236}U , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{242}Pu); радіаційної екології (виявлення радіаційних наслідків в живих організмах та рослинах, циркуляція в природних резервуарах радіоактивних ізотопів ^{14}C , ^{10}Be , ^{129}I); медицині і фармакології (моніторинг стану організму за кінетикою і розповсюдженням в організмі внесеного ізотопу, метаболізму фармацевтичних препаратів – ^{26}Al , ^{14}C).

В Інституті прикладної фізики НАН України існує також Аналітичний комплекс на базі прискорювачів, що дає можливість досліджувати склад та структуру матеріалів різного походження. В складі комплексу є канал іонної люмінесценції, канал експресного елементного аналізу (PIXE), канал резерфордівського зворотного розсіювання (RBS) з магнітним спектрометром та аналітичний канал скануючого ядерного мікрозонду з високою просторовою роздільною здатністю, який дозволяє на основі аналізу випромінювань, які виникають в результаті взаємодії прискорених заряджених часток (протонів, іонів гелію) з атомами та ядрами досліджуваного зразка отримувати інформацію про елементний склад та структуру речовини з високою роздільною здатністю (біля 2 мкм). Важливою рисою цих аналітичних досліджень є їх неруйнівний характер.

Інформація про авторів:

Бугай О.М., Москаленко В.Б. - Інститут прикладної фізики НАН України, м. Суми, вул. Петропавлівська, 58

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

Abstract. Monitoring of radioactive sources and their transportation, environment safety tasks related to radiation security and high toxicity of isotopes of transuranium elements require new techniques and equipment for nuclear materials characterization at small quantity of a sample and analyte. X-ray techniques may be realized in compact and portable facilities and show high analytical characteristics when used in modern developments in X-ray optics and measuring devices. But mass-spectrometry is the best methods to be applied here. High isotope sensitivity of accelerator mass spectrometry technique allows to perform measurements of rare isotopes concentrations.

Accelerator-based analytical complex of Institute of Applied Physics of NAS of Ukraine may be used for studying the composition and structure of various materials by PIXE, RBS, PIGE techniques

Keywords: *accelerator mass spectrometry, isotope, monitoring*

ВИКОРИСТАННЯ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ НА БАЗІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ КУЛЬТУРИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ОРГАНІЗАЦІЇ

Войцеховська М. М., Дорош М. С.

Розглянуто задачі визначення стану культури інформаційної безпеки організації. Незважаючи на велику кількість технічних та технологічних засобів забезпечення системи захисту інформаційної безпеки, недостатньо дослідженим все ще залишається питання щодо кількісної оцінки рівня культури інформаційної безпеки організації (КІБО). При цьому, основною складовою її забезпечення є співробітники – безпосередні учасники внутрішнього інформаційного простору. У зв'язку з низькою податливістю моделі КІБО до формалізації, а також з метою накопичення та поширення унікальних експертних знань в галузі ІБ, запропоновано розробку експертної системи на базі нечіткої логіки.

Ключові слова: культура інформаційної безпеки, нечітка логіка, експертна система.

Розвиток мережного суспільства та повсюдне поширення інформаційних технологій призвели до фундаментальних перетворень, що відкрили нові можливості для досягнення успіхів у бізнесі, виробництві високотехнологічних товарів, соціальної взаємодії. Тим не менш, з новими можливостями з'явилися (або проявилися) і нові загрози, що пов'язані із «цифровим всесвітом» Всеосяжного Інтернету (Internet of Everything, ІоЕ).

У сучасних організаціях, що об'єднані глобальною мережею, управління ризиками та захист інформаційних активів стали критично важливими компонентами реалізації будь-якої успішної ІТ-стратегії. Звідки б не походила загроза: від конsumerизації технології та політики BYOD (Bring Your Own Device) або ж від так званих «комплексних постійних загроз», що припускають довгострокове несанкціоноване використання сторонніх інформаційних ресурсів з метою крадіжки або шпигунства, – мережна безпека стає критично важливим фактором, який підвищує ефективність бізнесу та соціальну цінність мережних інформаційних систем [1]. При цьому, все більшого значення набуває питання зростання ролі культури інформаційної безпеки (КІБ) користувача інформаційної системи як ключового фактору зниження впливу людського чинника на загальну безпеку.

Для учасників та розробників інформаційних процесів в організації високонадійна культура інформаційної безпеки передбачає добре знання її суті і її ворогів, впровадження рішень щодо захисту даних на всіх рів-

нях, навчання персоналу, вжиття заходів, які спонукають співробітників розпізнавати проблеми в цій галузі та своєчасно на них реагувати, а також об'єднання колективу завдяки спільним переконанням щодо необхідності впровадження захисту інформаційних активів та розуміння потенційних наслідків компрометації наявної системи захисту.

Однією з ключових проблем при розробці та впровадженні СЗІБ стає визначення поточного стану КІБ співробітників та учасників інформаційних процесів організації. Вимогам щодо технічного аспекту ІБ присвячено багато галузевих стандартів, рекомендацій та методик, що призначені для обґрунтування, оцінки та вдосконалення системи політик та засобів забезпечення ІБ. Стосовно найбільш вразливого елемента даної системи – людини, – у цьому питанні, традиційно, відповідальність покладена на співробітників ІТ-підрозділу та, знову ж таки, часто розглядається як задача, що вирішується за рахунок технічної та технологічної складових СЗІБ.

Таким чином, при виникненні проблеми визначення, формування та подальшого вдосконалення КІБ співробітників та учасників інформаційних процесів організації за допомогою підвищення обізнаності в питаннях ІБ, впровадження КІБ до соціально-технологічної культури можна використовувати комплексний проектний підхід. Основними етапами якого можуть бути:

- обґрунтування доцільності та необхідності впровадження або удосконалення КІБ в організації;
- аналіз поточного рівня КІБ в організації, та планування заходів щодо її впровадження або покращення;
- реалізація запланованих заходів та впровадження КІБ для всіх учасників інформаційних процесів організації.

Для кількісної оцінки рівня КІБ учасників інформаційних процесів організації, а також її підтримки в нагоді стають методи штучного інтелекту, а саме – експертні системи (ЕС), які, на відміну від систем підтримки прийняття рішень, не тільки дозволяють імітувати ланцюг міркувань експерта в галузі ІБ, а й надають пояснення щодо вироблених висновків [2]. За результатами аналізу існуючих ЕС та з врахуванням переваг і недоліків їх різних типів, для поставленої задачі можна рекомендувати розробку ЕС на базі правил, оскільки це дає змогу легко створювати та коригувати базу правил у випадку зміни характеристик реальної системи, доповнення лінгвістичної моделі або нових варіантів розв'язків.

Використання нечіткої логіки Л. Заде [3] розширює можливості щодо створення наближеного, проте адекватного способу опису нетривіальних нечітких систем, відображення яких із застосуванням строгих математичних методик неможливий. Під час розробки ЕС для здійснення оцінки стану КІБ організації багатofакторність, неповнота та нечіткість наявних характеристик суттєво ускладнюють створення математичної моделі оці-

нки рівня КІБ. Проте при проведенні аудиту системи заходів та засобів впровадження захисту ІР, можна сформулювати ряд суджень стосовно неповноти або надмірності захисних заходів з боку СЗІБ. При перевірці наявної СЗІБ експерт цілком вільно висловлює компетентну думку з цього приводу, спираючись на власний досвід та інтуїцію.

При розробці ЕС на основі системи нечіткого логічного виводу (СНЛВ) за базу прийнято набір нечітких продукційних правил, завдяки чому є можливість описати експертні висновки, що містять специфічні знання предметної області та досвід [4]. В загальному вигляді нечітке продукційне правило (1) має вигляд:

$$(i): Q; P; A \Rightarrow B; S; F; N, \quad (1)$$

де (i) – ім'я нечіткої продукції, Q – сфера застосування нечіткої продукції, P – умова застосування ядра нечіткої продукції, $A \Rightarrow B$ – ядро нечіткої продукції, в якому A – умова ядра (антецедент), B – заключення ядра (консеквент), \Rightarrow – знак логічної секвенції (слідкування), S – метод або спосіб визначення кількісного значення ступеня істинності заключення ядра, F – коефіцієнт визначеності або впевненості нечіткої продукції, N – післяумови продукції. Будучи центральним компонентом нечіткої продукції, ядро $A \Rightarrow B$ найчастіше застосовується у вигляді правила «Якщо A , то B » (« $IF - THEN$ ») з можливими варіантами складних консеквентну та антецеденту за допомогою логічних зв'язок « $Та$ », « $Або$ » і « $Не$ ».

При розробці СНЛВ на основі алгоритму Мамдані [5] формується база правил, яка є прозорою та легко зрозумілою, що робить їх доступними для спрощеної корекції, даючи змогу легко інтерпретувати в термінах, зрозумілих не лише розробникам, а й користувачам.

Отже, використання експертних систем на базі правил є реальним інструментом кількісної оцінки рівня КІБ учасників інформаційних процесів в організації, що дозволить їй перейти на вищий рівень системи захисту.

Література:

1. Ланс Хейден. Информационная безопасность и Всеобъемлющий Интернет [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.cisco.com/c/ru_ua/about/press/2013/05292013g.html – 2013 р.
2. С. Angeli. Diagnostic Expert Systems - From Expert's Knowledge to Real-Time Systems [Електронний ресурс] / Advanced Knowledge Based Systems: Model, Applications & Research (Eds. Sajja & Akerkar), Vol. 1, pp 50 – 73, 2010. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.tmrfindia.org/eseries/ebookv1-c4.pdf>
3. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: Пер. с англ. – М.: Мир. – 1976. – 166 с. – Режим доступу до ресурсу: <http://padaread.com/?book=9299>
4. Коваль, А. А. Логіко-лінгвістичні моделі в нечітких системах [Електронний ресурс] / А. А. Коваль // Проблеми програмування, № 2-3. 2008. – С.

375-378. – Режим доступу до ресурсу: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/1504/47%20-%20Koval.pdf?sequence=1>.

5. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление [Электронный ресурс]/ А. Пегат : пер. с англ. – 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 798 с. – Режим доступу до ресурсу: <http://padaread.com/?book=89681&pg=1>.

Інформація про авторів:

Войцеховська Марія Михайлівна, Дорош Марія Сергіївна - Чернігівський національний технологічний університет вул. Шевченка 95, Чернігів, 14035, Україна.

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

USING OF EXPERT SYSTEM BASED ON FUZZY LOGIC FOR DETERMINING THE LEVEL OF ORGANIZATION'S INFORMATION SECURITY CULTURE

Voitsekhovska M., Dorosh M.

Annotation: *The problem of determining the state of the organization's information security culture is considered. Despite the large number of technical and technological ways to provide information security, the issue of determining the state of organization's information security culture – the direct participants of the internal information space – remains undisclosed. Due to the low ISS model formalization patentability, as well as for the purpose of accumulation and dissemination of unique experts' knowledge, the development of an expert system based on fuzzy logic is proposed.*

Keywords: *information security culture, expert system, fuzzy logic.*

Authors' Information

Dorosh M., Voitsekhovska M. - Chernihiv National University of Technology, Shevchenka str. 95, Chernihiv, 14027, Ukraine.

ДИНАМИКА НЕЙТРОННОЙ АКТИВНОСТИ И ПОДКРИТИЧНОСТЬ ЯДЕРНО-ОПАСНОГО СКОПЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ КОМПЛЕКСА НБК-ОУ

Высотский Е. Д., Годун Р. Л., Дорошенко А. А., Суценко К. А.

Анотация: Приводятся результаты анализа и интерпретации данных штатного мониторинга динамики нейтронной активности ядерно-опасного скопления топливосодержащих материалов в зоне проплавления бетона опорной плиты шахты реактора до и после установки нового безопасного конфаймента (НБК) «Арка» в штатное положение. Показано что постоянный рост нейтронной активности, после установки НБК, сопровождает процесс потери воды переувлажненной, при повторной критичности 1990-го года, размножающей средой скопления и является результатом ввода положительной реактивности, который может привести к возвратной критичности и самоподдерживающейся цепной реакции с непредсказуемыми последствиями.

Ключевые слова: ядерно-опасное скопления, нейтронная активность, самоподдерживающаяся цепная реакция, топливосодержащие материалы.

Тезисы: Ядерная безопасность каждого скопления в объекте «Укрытие» (ОУ) определяется только как доказанная гарантия отсутствия (или возможности оперативного исключения) условий возникновения самоподдерживающейся цепной реакции деления (СЦР). После установки нового безопасного конфаймента (НБК) и прекращение доступа в ОУ атмосферных осадков все помещения, в которых обнаружены скопления топливосодержащих материалов, могут быть признаны ядерно-безопасными за исключением юго-восточной части подреакторного помещения 305/2, места образования и исхода потоков черных лавообразных топливосодержащих материалов (ЛТСМ). Здесь в зоне проплавления 2-х метрового монолита железобетона ОП находится ядерно-опасное скопление (ЯОС), вероятность возникновения СЦР в котором не может быть исключена.

Скопление представляет собой двухслойную композицию, скрытую под слоем «свежего 1986 г.» бетона. Верхний слой – черные ЛТСМ с массовой долей топлива 5 % U, образовавшиеся в результате растворения фрагментов топливных каналов в силикатном расплаве и сформировавшие большой горизонтальный поток. Нижний слой – критическая масса керамики с долей топлива от 50 % U являющаяся продуктом взаимодействия расплава топлива (кориума) с бетоном ОП.

ЯОС с массой топлива 15-20 т U (1,15 % ^{235}U) рассматривается как две (с подкритической и надкритической композициями) гетерогенные водо-урановые системы, в объёме однородной топливной среды которых равномерно распределены делящиеся материалы, примеси и внутренние источники нейтронов. Структура и плотность размножающей среды ЯОС определяется наличием широкого спектра микро- и макропор.

Основным фактором, определяющим многолетнюю динамику нейтронной активности ЯОС, являются процессы поступления и удержание влаги в пористой размножающей среде. Существующая система макро- и микропор образует бесконечный кластер, по открытым поровым каналам которого происходит поступление воздуха и воды в объёмы скопления. Предполагается, что структура пористой среды определяет механизм, равномерного по объёму скопления, как поступления так и потери влаги, от массового содержания которой зависит эффективный коэффициент размножения (Кэф) системы.

Характерной особенностью при увлажнении водо-урановых систем с низкообогащённым топливом является наличие оптимального водо-уранового отношения, т.е. концентрации воды, при которой Кэф достигает максимальных значений, и дальнейший рост концентрации приводит к переувлажнению и падению Кэф до значений, определяемых влагоёмкостью размножающей среды. Для систем с критической композицией диапазон оптимального увлажнения определяется двумя значениями водо-уранового отношения где $\text{Кэф} \geq 1$.

При повторной критичности 1990-го года гашение СЦР произошло в результате переувлажнения и удержания воды в размножающей среде за счет регулярных поступлений в зону проплавления атмосферных осадков.

Допускается, что продолжительность и последовательность стадий удаления воды из порового пространства ЯОС, может обеспечить режим уменьшения концентрации воды в переувлажнённой размножающей среде керамики, сохраняя таким образом параметры (массу и геометрию) критической композиции. В таком случае это приведёт к возвратной критичности и возникновению СЦР, мощность нейтронной вспышки при которой будет определяться запасом реактивности, оцениваемой как $0,3 \dots 0,5\beta$ ($\beta=0,0065$).

После установки НБК, прекращение доступа дождевой и талой воды в зону проплавления опорной плиты определило динамику нейтронной активности ЯОС с постоянным ростом плотности потока нейтронов (ППН). Наблюдаемый рост ППН сопровождает процесс потери воды переувлажнённой размножающей средой слоя чёрных ЛТСМ, и будет продолжаться до достижения оптимального увлажнения и последующим незначительным падением до полного обезвоживания размножающей среды. Процесс потери воды керамикой с критической массой топлива может начаться только после полного осушения слоя ЛТСМ. При постоянной и медленной скорости ввода реактивности ($\frac{dk_{эф}}{dt} \ll \beta/c$) в околочитическую систему, скорость нарастания и кратность увеличения плотности нейтронов растёт при приближении к критическому состоянию.

Критериями при экспертной оценке достижения аварийного уровня подкритичности ($K_{эф} > 0,98$) являются кратность увеличения и скорость нарастания плотности потока нейтронов, коррелирующие в точках детектирования нейтронной активности ЯОС.

Информация об авторах:

Евгений Высотский – Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины; e-mail: ipb.doroshenko@gmail.com

Основные направления научных исследований: ядерная безопасность; контроль подкритичности.

Роман Годун – Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины; e-mail: Rgl.wmw@gmail.com

Основные направления научных исследований: ядерная безопасность; контроль подкритичности.

Анатолий Дорощенко – Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины;

e-mail: ipb.doroshenko@gmail.com

Основные направления научных исследований: ядерная безопасность; контроль подкритичности, превентивные меры подавления СЦР.

Константин Сушенко – Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины;
e-mail: kosts2@ukr.net

Основные направления научных исследований: ядерная безопасность;
контроль подкритичности.

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

***THE DYNAMICS OF NEUTRON ACTIVITY
AND SUBCRITICALITY OF A NUCLEAR-DANGEROUS CLUSTER
IN THE CONDITIONS OF NSC-SO COMPLEX***

Vysotsky E. D., Godun R. L., Doroshenko A. O. Sushchenko K. O.

Abstract: *It is presented the results of analysis and interpretation of monitoring of the dynamics of neutron activity of a nuclear-dangerous cluster of fuel-containing materials (that located in zone of penetrating of concrete slab of the reactor's vault) before and after installation of the new secure confinement (NSC) "Arka". It is shown that the constant growth (after the installation of the NSC) of neutron activity accompanies the process of waters' quit from the overmoisted multiplying environment and accordingly the NFD increasing is a result of positive reactivity's introducing that can lead to recurrent criticality and self-sustaining chain reaction with unpredictable consequences.*

Keywords: *(Keywords are your own designated keywords).*

Authors' Information

Evgeniy Vysotsky – Institute for Safety Problems of NPP of NASU;
e-mail: ipb.doroshenko@gmail.com

Major Fields of Scientific Research: nuclear safety; subcriticality control

Roman Godun – Institute for Safety Problems of NPP of NASU;
e-mail: Rgl.wmw@gmail.com

Major Fields of Scientific Research: nuclear safety; subcriticality control

Anatoliy Doroshenko – Institute for Safety Problems of NPP of NASU;
e-mail: ipb.doroshenko@gmail.com

Major Fields of Scientific Research: nuclear safety; subcriticality control, preventive measures of self-sustaining chain reaction suppression

Kostyantyn Sushchenko – Institute for Safety Problems of NPP of NASU;
Ukraine;

e-mail: kosts2@ukr.net

Major Fields of Scientific Research: nuclear safety; subcriticality control

**КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ФАЗЫ ТОПЛИВОСОДЕРЖАЩИХ
МАТЕРИАЛОВ НБК-ОУ**

*Габелков С. В., Жиганюк И. В., Кудлай В. Г., Носовский А. В.,
Пархомчук П. Е., Скорбун А. Д., Чиколовец С. А.*

Резюме: Определены типы и оценены содержания кристаллических фаз в топливосодержащих материалах НБК-ОУ: в коричневой керамике лавообразных топливосодержащих материалов и в необлученном ядерном топливе реак-

тора РБМК-1000. Показано, что кристаллы оксида урана UO_2 сжаты стекломатрицей, что является причиной формирования трещин в лавообразных топливосодержащих материалах.

Ключевые слова: кристаллические фазы, топливосодержащие материалы, оксид урана, оксид циркония, силикат урана, фазовый состав, НБК-ОУ.

Введение

Топливосодержащие материалы 4-го блока Чернобыльской АЭС содержат основную часть радионуклидов и в силу этого определяют ядерную, радиационную и экологическую безопасность комплекса НБК-ОУ [1]. Для прогнозирования поведения топливосодержащих материалов необходимо знать их структурные характеристики, в том числе тип, размеры и содержание кристаллических фаз.

Исследуемые материалы

Исследовали образцы коричневой керамики лавообразных топливосодержащих материалов (ЛТСМ), которые характерны для парораспределительного коридора 4-го блока ЧАЭС, и необлученного ядерного топлива реактора РБМК.

Методика исследований

Фазовый состав исследуемых материалов определяли методом рентгеновской дифракции (дифрактометр ДРОН-4, схема $\theta - \theta$, излучение $Cu K\alpha$). Установлена система экранов, обеспечивающая защиту персонала от γ -излучения исследуемых образцов. Предприняты меры для экранирования системы регистрации дифрактометра, установлены защитные экраны и монохроматор (кристалл графита).

Результаты исследований

Необлученное ядерное топливо представлено оксидом урана UO_2 . Других оксидов урана не обнаружено.

В ЛТСМ (коричневая керамика) обнаружены такие кристаллические фазы: оксид урана UO_2 , оксид циркония ZrO_2 и, предположительно, силикат урана USi_7O_{17} , которые имеют кубическую, кубическую и орторомбическую решетки соответственно. Содержание оксида урана UO_2 оценено в 5 - 8 % мас., оксида циркония ZrO_2 – в 4 - 6 % мас. и силиката урана USi_7O_{17} – в 3 - 5 % мас.

На дифрактограмме, полученной от образца коричневой керамики, все выявленные отражения от оксида урана UO_2 , сдвинуты в сторону больших углов 2θ на 0,4 - 0,75 ° по сравнению таковыми от оксида урана необлученного ядерного топлива. Межплоскостные расстояния в кристаллах оксида урана в коричневой керамике меньше на 1,2 - 1,4 %, чем таковые в кристаллах оксида урана в ядерном топливе, что указывает на то, что они находятся в состоянии всестороннего сжатия. Их сжимает стекломатрица ЛТСМ. Это объясняет наличие трещин в ЛТСМ [2].

Заключение

Показано, что коричневая керамика ЛТСМ содержит кристаллические фазы: оксид урана UO_2 (5 - 8 % мас.), оксид циркония ZrO_2 (4 - 6 % мас.) и, предположительно, силикат урана USi_7O_{17} (3 - 5 % мас.). Стекломатрица ЛТСМ сжимает кристаллы оксида урана UO_2 , что является причиной формирования трещин. Необлученное ядерное топливо представлено только оксидом урана UO_2 .

Литература:

1. Арутюнян Р.В., Большов Л.А., Боровой А.А., Велихов Е.П. Ядерное топливо в объекте «Укрытие» Чернобыльской АЭС. – М.: Наука, 2010. – 240 с.
2. Габелков С.В., Носовский А.В., Щербин В.Н., Модель деградации лавообразных топливосодержащих материалов объекта «Укрытие». Проблемы безопасности атомных станций в Чернобыле. – 2016, – вып. 26, – С. 75 - 84.

Информация об авторах:

А. В. Носовский – чл.-кор. НАН Украины, директор Института проблем безопасности атомных электростанций, НАН Украины; e-mail: anosov@ispnpp.kiev.ua

Области научных интересов: ядерная и радиационная безопасность атомных электростанций

С. В. Габелков – заведующий отделом РМРП, Институт проблем безопасности атомных электростанций, НАН Украины; e-mail: s.gabelkov@ispnpp.kiev.ua

Области научных интересов: топливосодержащие материалы, их деградация, прогнозы, радиоактивные отходы, наноразмерные оксидные порошки и материалы

А. Д. Скорбун – главный научный сотрудник, Институт проблем безопасности атомных электростанций, НАН Украины; e-mail: anskorbun@gmail.com

Области научных интересов: ядерная и радиационная безопасность атомных электростанций, радиоактивные отходы, статистические методы анализа

И. В. Жиганюк – с.н.с. ОРМРП, Институт проблем безопасности атомных электростанций, НАН Украины; e-mail: i.zhyganiuk@ispnpp.kiev.ua

Области научных интересов: гидратация ионов в водных и тяжеловодных растворах, магнитный изотопный эффект в химических реакциях, потенциалы взаимодействия радикальных пар, ионов и молекул, теория водородных связей, динамика химических реакций

П. Е. Пархомчук – ведущий инженер, ОРМРП, Институт проблем безопасности атомных электростанций, НАН Украины; e-mail: peparhomchuk@gmail.com

Области научных интересов: топливосодержащие материалы, радиоактивные отходы

В. Г. Кудлай – инженер ОРМРП, Институт проблем безопасности атомных электростанций, НАН Украины; e-mail: wgkudlay@gmail.com

Области научных интересов: топливосодержащие материалы, радиоактивные отходы

С. А. Чиколовец – инженер ОРМПП, Институт проблем безопасности атомных электростанций, НАН Украины;
e-mail: chikolovets@gmail.com
Области научных интересов: топливосодержащие материалы, радиоактивные отходы

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

CRYSTALLINE PHASES OF FUEL-CONTAINING MATERIALS OF NSC-SO

S. V. Gabielkov, I. V. Zhyganiuk, V. G. Kudlay, A. V. Nosovsky, P. E. Parhomchuk, A. D. Skorbun, S. A. Chikolovets

Abstract: *We determined the types and estimated the content of crystalline phases in fuel-containing materials of NSC-SO, both in brown ceramics of lava-like fuel-containing materials and in unirradiated nuclear fuel of the RBMK-1000 reactor. We show that uranium oxide (UO₂) crystals are compressed by the glass matrix. This is the reason why the cracks form in lava-like fuel-containing materials.*

Keywords: *crystalline phases, fuel-containing materials, uranium oxide, zirconium oxide, uranium silicate, phase composition, NSC-SO.*

THE LEVEL OF NUCLEAR SAFETY OF FUEL-CONTAINING MATERIALS INSIDE THE NSC “ARKA”

Godun R., Sushchenko K.

Abstract: In result of long-term experimental and computational studies it was found that all clusters of fuel-containing materials (FCM) inside the NSC "Arka" are nuclear safe, except the one. This potentially nuclear-dangerous cluster (PNDC) is located in the zone of penetration of melted corium through a reinforced concrete under-reactor slab.

In the framework of a conservative approach and under the condition of lack of directly access to this breeding system the assessment of its nuclear safety's level and the determining of the range of potentially dangerous parameters were obtained. For this purpose, the following results of computational and experimental studies were used:

- data, obtained at the periphery of the PNDC (the results of long-term monitoring of the dynamics of neutron activity and temperature; the PNDC's volume, estimated by localization of research boreholes; the FCMs' structure, obtained by analysis of selected samples; the temperature gradients in the sub-reactor slab, which allowed to determine the cluster's location and the mass of nuclear fuel in it; the fact of availability (before the

start of operating of complex NSC-SO) of drains of heated water from the zone of localization of PNDC);

- the mass of nuclear fuel in the PNDC and its elemental composition, which were obtained on the basis of the results of materials balance for the reactor room No.305/2;

- the results of provided in the world researches of products of interaction of the melted corium with structural materials (the fact of the presence of a crust along the front of interaction of melted core with concrete, the structure of the products of their interaction);

- the characteristics of the neutron anomaly (which was registered in July of 1990 and is could be identified as a "cold critical incident");

- results of variational calculations for the material model (with critical assembly), the initial data for which do not contradict to all available experimental data.

At present, in fact, there is problems with the ensuring of nuclear safety of the complex NSC "Arka", since the guarantees (of excluding of probability of the emergence of self-sustained chain reaction in PNDC's volume) hadn't been obtained either by experimental or calculations way. In addition, the operational control (in the case of dangerous changes) of the level of PNDC's sub-criticality is not efficient enough. Consequently, after the start of operation of the NSC-SO complex and the changing of the temperature-humidity conditions of FCMs' storage, it's necessity to develop and to implement of methodological and technical means that will increase the effectiveness of nuclear safety control of these fissile materials

Keywords: nuclear safety, fuel-containing materials, calculation and experimental calculations, potential re-criticality, MCCI products

Bibliography:

1. R. Godun. The study of the cluster of fuel-containing materials under room No.305/2 of "Shelter" object / The 23rd international Quench workshop (Karlsruhe, Germany), 2017. <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000076201>.

Authors' Information

Roman Godun – Head of Department of Nuclear Safety, Institute for Safety Problems of NPP of NAS of Ukraine;

e-mail: rgl.wmw@gmail.com

Major Fields of Scientific Research: the ensuring of nuclear and radiation safety of "Shelter" object (SO); the potential re-criticality of fuel-containing materials; the increasing of efficiency of neutron control; the modernization of monitoring system inside SO; the radioactive waste management; remote-controlled devices for sampling.

Kostyantyn Sushchenko – Engineer, Institute for Safety Problems of NPP of NAS of Ukraine;

e-mail: kosts2@ukr.net

Major Fields of Scientific Research: the mathematical modeling of dynamics of neutron fluxes inside “Shelter” object; 3D modeling and strength calculations; scientific and technical providing of experimental measuring system inside “Shelter” object

СОЛОДКІ ГАЗОВАНІ НАПОЇ: КОРИСТЬ ЧИ ШКОДА?

Головань Ю. Є. (науковий керівник – Можега В. В.)

Актуальність дослідження: Людина на 60 - 70% складається з води. Тому для підтримки нормальної життєдіяльності вода в достатній кількості повинна надходити до організму людини. Але вона може бути представлена в різному вигляді. Крім звичайної води людство навчилося виготовляти різні напої. За статистикою до 82% українських дітей п'ють солодку газовану воду. Тож необхідно розібратися, наскільки корисними є напої, які ми вживаємо, чи здатні вони поповнити наші запаси води.

Далеко не кожному відомі користь і шкода солодкої газованої води. Притому, багато виробників щосили рекламують свої газовані напої, розхвалюючи їх надзвичайний смак та чудові властивості вгамувати спрагу і навіть не вказують про можливі негативні наслідки їх надмірного вживання. Разом з тим в засобах масової інформації можна зустріти і страшні історії про газовані напої.

Тому актуальність нашого дослідження очевидна: в наш час досить гостро стоїть проблема вживання солодких газованих напоїв, особливо молоддю.

Мета роботи: вивчити вплив солодких газованих напоїв на організм людини.

Реалізація поставленої мети потребувала виконання таких завдань:

- проаналізувати джерела інформації про склад солодких газованих напоїв та їх вплив на організм людини;
- за допомогою анкети-опитувальника з'ясувати, чи вживають учні нашої школи солодкі газовані напої та усвідомлюють їх дію на організм;
- провести дослідження складу найпопулярніших серед молоді газованих напоїв, які продаються в торговій мережі міста Славутича;
- розробити поради-рекомендації щодо безпечного вживання солодких газованих напоїв.

Практичне значення: матеріали нашого екологічного проекту можуть бути використані учнями для поглиблення знань з біології, хімії, екології.

Робота дозволить учителям біології, основ здоров'я, екології, класним керівникам звернути увагу учнів на проблеми вживання солодких газованих напоїв. В повсякденному житті вона допоможе у виборі більш корисних напоїв.

Висновки

Переважна більшість респондентів (86 %) позитивно ставляться до солодкої газованої води, щодня її вживають 6,7 % опитаних, решта – п'ють від одного разу на тиждень до декількох разів на місяць.

60 % опитаних вважають газовану воду шкідливою, хоча лише 29 % знають про можливі негативні наслідки її вживання для здоров'я.

При виборі солодких газованих напоїв більшість учнів звертають увагу на ціну, акції та знижки, популярність серед інших покупців і лише 22% на склад продукту.

Підлітки недостатньо обізнані щодо складу газованих напоїв та можливих негативних наслідків їх впливу на здоров'я.

Солодкі газовані напої містять інгредієнти, які можуть негативно вплинути на здоров'я людини.

Вуглекислий газ може викликати загострення у хворих гастритом, виразками шлунку тощо.

Велика кількість цукру, яка міститься в газованих напоях, може призводити до карієсу, порушень роботи підшлункової залози, серцево-судинної системи, ожиріння, спровокувати розвиток цукрового діабету.

Вплив цукрозамінників на організм людини недостатньо вивчений. Деякі з них дозволені в одних країнах та заборонені для використання в інших. Виходячи з цього, слід з обережністю ставитися до напоїв, які їх містять. Адже, аспартам при температурі 30 градусів за Цельсієм розкладається до небезпечних речовин. Надмірне вживання напоїв з цукрозамінниками може викликати алергічні реакції, порушення обміну речовин, серцево-судинної системи.

Консерванти лимонна та ортофосфатна кислоти можуть порушувати емаль зубів, спричиняючи розвиток карієсу, ортофосфатна кислота вимиває кальцій з кісток, призводячи до їх крихкості, може сприяти появі каменів у нирках та сечовому міхурі.

Бензоат натрію у поєднанні з аскорбіновою кислотою утворює канцерогенну речовину бензол.

Кофеїн при надмірному вживанні виснажує нервову систему, веде до порушень сну, роботи серця, вимиває кальцій з кісток, викликає залежність.

Штучні синтетичні барвники можуть викликати алергічні реакції. Дискутується питання про їх вплив на гіперактивність дітей та їх увагу.

Солодкі газовані напої не втамовують спрагу, хоч купуємо ми їх заради цього, вони можуть викликати і звикання.

Підводячи підсумки, можна сказати, що здоровій людині несистематичне вживання невеликої кількості солодкої газованої води не зашкодить. Однак, зловживання такими напоями може зашкодити здоров'ю навіть здорових людей, а особливо дітей.

Протипоказано вживати солодкі газовані напої людям із зайвою вагою, хворим на цукровий діабет, тим, хто має хвороби травної системи, нирок, алергії, вагітним, годуючим матерям, дітям до 3 років.

Але солодкі газовані напої можуть приносити і певну користь. Якщо нам потрібно дуже швидко поповнити запас енергії в організмі, тонізувати його, то склянка напою в цьому допоможе. Також кока-колу застосовують для лікування деяких хвороб шлунка.

Отже, як бачимо, солодкі газовані напої можуть становити як загрозу здоров'ю людини, так і приносити певну користь. Як казав відомий лікар епохи Відродження Парацельс: «Все є отрута і все є ліки – тільки доза робить речовину отрутою чи ліками».

Поради-рекомендації при виборі солодких газованих напоїв

1. Газовані напої купуйте від відомого виробника і в торговому місці, обладнаному згідно санітарно-гігієнічних вимог.

2. Напій повинен бути прозорим, не містити осаду чи завислих частинок.

3. Вибирайте напої, створені на джерельній або артезіанській воді.

4. Ретельно вивчайте етикетку, звертаючи увагу на склад інгредієнтів, які входять до напою, термін зберігання, чи є застереження до вживання. Віддавайте перевагу натуральним інгредієнтам.

5. Уникайте напоїв, що мають яскраве забарвлення та містять синтетичні барвники.

6. Уникайте напоїв, які містять заміники цукру, наприклад, ацесульфам калію (E-950), аспартам (E-951), цикламат натрію (E-952). Зазвичай ці добавки містяться у дешевих напоях.

7. Не варто зловживати напоями, які містять консерванти, особливо, бензоат натрію.

8. Чим менший термін придатності, тим натуральніший продукт.

9. Дотримуйтеся правил зберігання солодких газованих напоїв.

Література:

1. 12 найважливіших фактів про газовані води і дітей [Електронний ресурс] / Все для дітей. – Режим доступу: <http://ditey.com/juices/1036612-naivazhlivivshih-faktiv-pro-gazovani-vodi-i-ditei.html/>. – Назва з екрану.

2. Врачи используют кока-колу для лечения болезненной блокировки желудка [Електронний ресурс] / Здорово. – Режим доступу:

<http://zdorovo.ua/novost/vrachi-ispolzuyut-kokakolu-dlya-lecheniya-boleznennoj-blokirovki-zheludka>. - Назва з екрану.

3. Газовані напої [Електронний ресурс] / Медичний портал. – Режим доступу: <http://medportal.pp.ua/826-gazovan-napoyi.html> . – Назва з екрану.

4. Наскільки ж шкідлива газувана вода? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://webmed.com.ua/ua/mission/zdorovoe_pitanie/nasklki_zh_shkdliva_gazovana_voda. – Назва з екрану.

5. Правда про газувані напої вода [Електронний ресурс] / Моє здоров'я. – Режим доступу: <https://moyezdorovya.com.ua/pravda-pro-gazovani-napoyi>. – Назва з екрану.

6. Солодка вода як джерело небезпечних хвороб [Електронний ресурс] / Ракурс. – Режим доступу: <http://ua.racurs.ua/1126-solodka-voda-yak-djerele-nebezpechnyh-hvorob> . – Назва з екрану.

7. Солодкі газувані напої містять шкідливі барвники та консерванти [Електронний ресурс] / Голос України. – Режим доступу: <http://www.golos.com.ua/article/290532>. – Назва з екрану.

8. Чи шкідливі газувані напої для дітей? [Електронний ресурс] / Наша мама. – Режим доступу: <http://nashamama.com/dityacheharchuvannya/14764chishkidlivi-gazovani-napoi-dlya-ditei.html#> . – Назва з екрану.

9. Чим небезпечні солодкі газувані напої? [Електронний ресурс] / Жива життя. – Режим доступу: http://livelife.kiev.ua/chem-opasni-sladkie-gazirovannie-napitki_lrus-p4-i8314.html . – Назва з екрану.

10. Шкода газуваних напоїв [Електронний ресурс] / Жіночий сайт про все. – Режим доступу: <http://ladytoyear.ru/harchuvannja/harchuvannja-i-zdorovja/334-shkoda-gazovanih-napoiiv.html> . – Назва з екрану.

Інформація про авторів:

Головань Юлія Євгенівна - учениця 11 класу Славутицької загальноосвітньої школи I-III ступенів № 3 Славутицької міської ради Київської області

Науковий керівник: Можега Валентина Володимирівна - вчитель біології вищої категорії Славутицької загальноосвітньої школи I-III ступенів № 3 Славутицької міської ради Київської області

ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ LTE В ЗОНІ РОЗТАШУВАННЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АТОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Горобченко М. (науковий керівник - Чичикало Н. І.)

Забезпечення надійного зв'язку на територіях з обмеженим режимом доступу є важливим завданням. На таких територіях треба забезпечити надійний телефонний (голосовий) зв'язок, а також можливість безперебійного передавання різноманітних потоків даних від систем відео спостереження, окремих датчиків параметрів довкілля та сенсорних мереж. З розвитком технологій мобільного зв'язку актуальним для використання в таких зонах стає технологія LTE завдяки гнучкості та високій функціональності.

Метою дослідження було визначити особливості розгортання системи LTE в зоні розташування Чорнобильської атомної електростанції з урахуванням рельєфу місцевості та особливості забудови населених пунктів.

1. Розрахунок радіусу дії базових станцій мереж 4-го покоління

1.1 Вибір математичної моделі радіолінії з урахуванням особливостей рельєфу місцевості

Для розрахунку втрат потужності сигналу при розповсюдженні в безпроводових системах використовують кілька математичних моделей: класична модель Окомура-Хата, COST 231, математична модель Уолфіша-Ікегамі. Для кожної з цих моделей є певні припущення: частота системи передачі, перелік супутніх чинників, що впливають на поширення сигналу. При розрахунку систем безпроводового зв'язку, проєктованих в великих та середніх містах, найбільш придатною є модель Уолфіша-Ікегамі, яка враховує ширину вулиць, товщину бетонних стін багатоповерхівок, відстань між висотними будівлями і інші чинники.

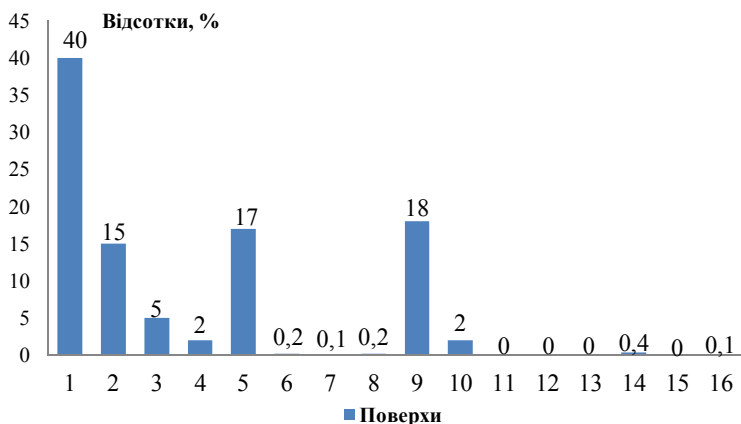


Рис. 1. Графік відносної кількості різноповерхових споруд

Площа міста Славутич становить $7,5 \text{ км}^2$, а щільність населення 3731 осіб/км^2 . Архітектура міста досить розвинена для даного регіону країни. В місті налічують близько 3000 будівель. На рис. 1.1 зображено відсоткове співвідношення кількості різноповерхових споруд до загальної кількості будівель.

Для визначення середньої висотності забудови в місті Славутич можна використати співвідношення

$$N_{нов} = \Sigma \left(\frac{N_i \cdot a_i}{100} \right),$$

де $N_{пов}$ – середня кількість поверхів;

N_i – кількість поверхів;

a_i – відсоток забудови.

$$N_{пов} = \frac{1 \cdot 40 + 2 \cdot 15 + 3 \cdot 5 + 4 \cdot 2 + 5 \cdot 17 + 6 \cdot 0,2 + 7 \cdot 0,1 + 8 \cdot 0,2 + 9 \cdot 18 + 10 \cdot 2 + 11 \cdot 0 + 12 \cdot 0 + 13 \cdot 0 + 14 \cdot 0,4 + 15 \cdot 0 + 16 \cdot 0,1}{100} = 3,707$$

Отже, середня кількість поверхів забудови в місті Славутич становить близько 4-х. Згідно цього виберемо місцезнаходження БС в місті.

Визначимо зону покриття трьох секторної БС мережі LTE на частоті 1910МГц,

Використавши модель Уолвіша-Ікегамі (WIM).

Таблиця 1 – Координати місцезнаходження БС

Орієнтовне місцезнаходження на карті	Проспект Дружби Народів, 5
--------------------------------------	----------------------------

Таблиця 2 – Висота антени БС

Висота антени БС $h_{БС}$, м	21
-------------------------------	----

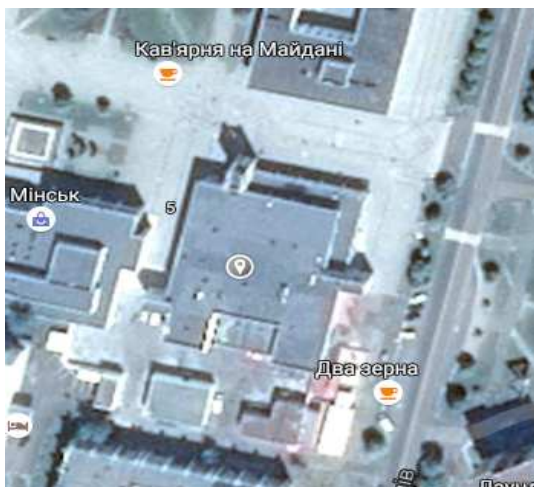


Рис. 2. Структура забудови в місці знаходження БС в м.Славутич

Таблиця 3 – Стандартні значення параметрів БС та МС для мереж LTE

Позначення	Найменування та одиниця вимірювання	Значення
$P_{прд}$ БС	Потужність передавача БС, дБ/Вт	16
$G_{прд}$ БС	Коеф. підсилення передаючої антени БС, дБ	18
$f_{прд}$ БС	Смуга робочих частот передачі БС, МГц	1850-1910

$R_{\text{ПРМ БС}}$	Чутливість приймача БС, дБ	-138
$G_{\text{ПРМ БС}}$	Коеф. підсилення приймальної антени БС, дБ	18
$f_{\text{ПРМ БС}}$	Смуга робочих частот приймання БС, МГц	1850-1910
$R_{\text{ПРД МС}}$	Потужність передавача МС, дБ/Вт	-3
$G_{\text{ПРД МС}}$	Коеф. підсилення передавальної антени МС, дБ	0
$f_{\text{ПРД МС}}$	Смуга робочих частот передачі МС, МГц	1850-1910
$R_{\text{ПРМ МС}}$	Чутливість приймача МС, дБ	-104
$G_{\text{ПРМ МС}}$	Коеф. підсилення приймальної антени МС, дБ	0
$f_{\text{ПРМ МС}}$	Смуга робочих частот прийому МС, МГц	1850-1910

Рельєф місцевості в зоні обслуговування Δh системи рухомого радіозв'язку визначають по карті місцевості з урахуванням розташування 3-х секторної антени на БС.

Коефіцієнт узгодження антени з радіосигналом по поляризації приймають рівним $\xi_C = \xi_{\Pi} = 0,9$.

ККД передавального і приймального фідерів приймають рівним $\eta_{\text{ФПРД}} = \eta_{\text{ФПРМ}} = 0,95$.

1.2 Розрахунок загасання на лінії «МС» - «БС»

Даний розрахунок є одним з найбільш непростих етапів територіального планування мережі. В основі територіального планування лежить енергетичний розрахунок, в процесі якого визначають архітектуру мережі та її просторові координати. Задану якість прийнятого сигналу визначають чутливістю приймача. У загальному вигляді рівняння передачі може бути представлено як:

$$P_{\text{ПРС}} = \frac{R_{\text{ПРД}} \eta_{\text{ФПРД}} G_{\text{АПРД}} \xi_{\Pi} G_{\text{АПРС}} \eta_{\text{ФПРС}} \xi_C}{L_{\Sigma}}, \quad (1.1)$$

де $P_{\text{ПРС}}$ – потужність радіосигналу на вході приймача;

$R_{\text{ПРД}}$ – потужність передавача;

$\eta_{\text{ФПРД}}$, $\eta_{\text{ФПРС}}$ – ККД передавального та приймального фідерів;

$G_{\text{АПРД}}$, $G_{\text{АПРС}}$ – коеф. підсилення передавальної та приймальної антени;

ξ_{Π} , ξ_C – коеф. узгодження антен з радіосигналом по поляризації;

L_{Σ} – сумарне загасання радіохвиль на шляху.

Значення потужності радіосигналу на вході приймача зручно виразити в децибелах відносно ватта. При цьому рівняння (1.1) матиме вигляд:

$$P_{ПРС} \text{ (дБ/ Вт)} = P_{ПРД} \text{ (дБ/ Вт)} + \eta_{ФПРД} + G_{АПРД} \text{ (дБ)} + \xi_{П} \text{ (дБ)} + (1.2)$$

$$+ G_{АПРС} \text{ (дБ)} + \eta_{ФПРС} + \xi_{С} \text{ (дБ)} - L_{\Sigma} \text{ (дБ)}.$$

Звідси визначимо загасання в лінії

$$L_{\Sigma} = P_{ПРД} + \eta_{ФПРД} + G_{АПРД} + \xi_{П} + G_{АПРС} + \eta_{ФПРС} + \xi_{С} - P_{ПРС}.$$

Для лінії від БС до приймача МС загасання дорівнює

$$L_{\Sigma} = 16 + 0,95 + 18 + 0,9 + 0 + 0,95 + 0,9 - (-104) = 141,7 \text{ (дБ)}.$$

Для лінії від МС до приймача БС загасання дорівнює

$$L_{\Sigma} = -3 + 0,95 + 0 + 0,9 + 18 + 0,95 + 0,9 - (-138) = 156,7 \text{ (дБ)}$$

1.3 Розрахунок поправки, з урахуванням рельєфу місцевості

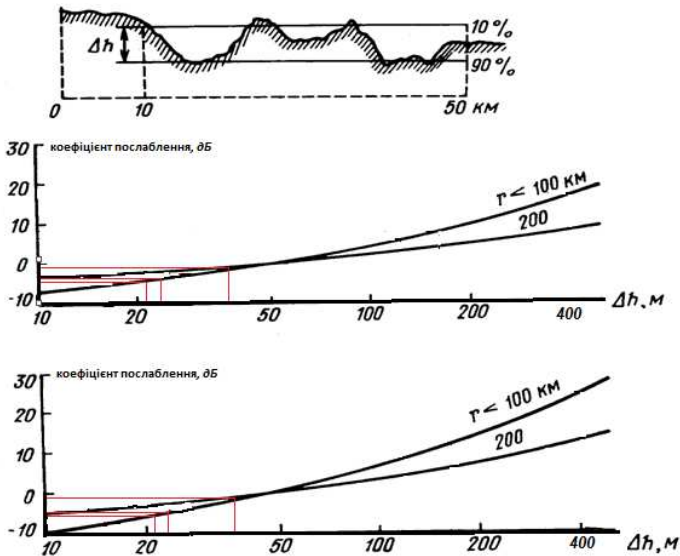


Рис. 3. Графік для визначення поправки, з урахуванням рельєфу місцевості



Рис. 4. Профіль траси за напрямом на північ

З рис. 4.4 визначимо значення $\Delta h = 25\text{ м}$. За рис. 1.3 визначимо поправки, з урахуванням рельєфу місцевості $L_1 = -4\text{ дБ}$, $L_2 = -5\text{ дБ}$. Знайдемо середнє значення затухання:

$$\Delta h = 139 - 114 = 25\text{ м} ,$$

$$L_{РЕЛ} = \frac{L_1 + L_2}{2} = \frac{-4 - 5}{2} = -4.5\text{ дБ} .$$

Розрахуємо $L_{РЕЛ}$ – поправку, яка враховує рельєф обраної території за напрямом на ПІВДЕННИЙ СХІД. Довжина шляху складає 5 км.

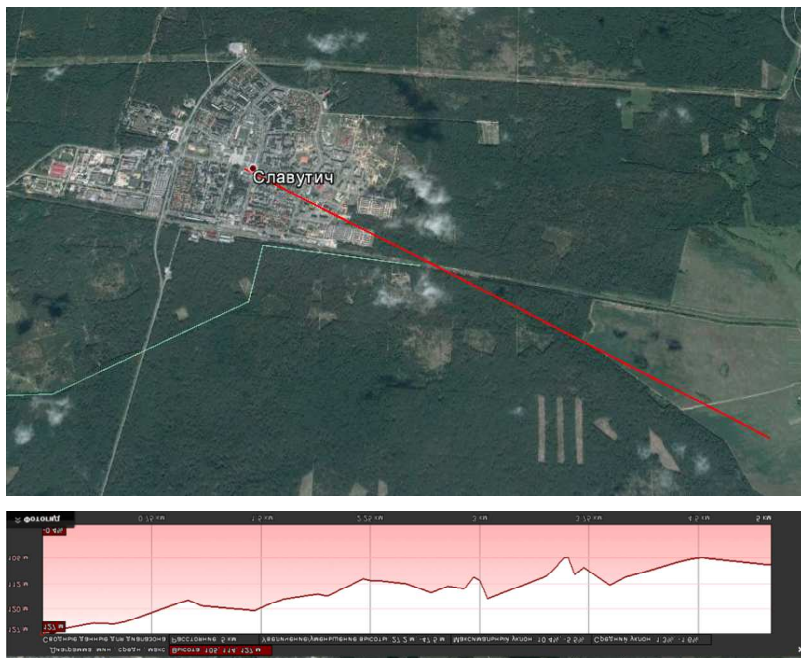


Рис. 5. Супутниковий знімок місцевості та профіль траси за напрямком на південний схід

З рис. 1.5 можна визначити значення $\Delta h = 22\text{ м}$. За рис. 1.3 визначимо поправки, з урахуванням рельєфу місцевості $L_1 = -5\text{ дБ}$, $L_2 = -6\text{ дБ}$. Знайдемо середнє значення затухання:

$$\Delta h = 127 - 105 = 22\text{ м} ,$$

$$L_{РЕЛ} = \frac{L_1 + L_2}{2} = \frac{-5 - 6}{2} = -5.5\text{ дБ} .$$

Розрахуємо $L_{РЕЛ}$ – поправку, яка враховує рельєф обраної території за напрямом на ПІВДЕННИЙ ЗАХІД. Довжина шляху складає 5 км.

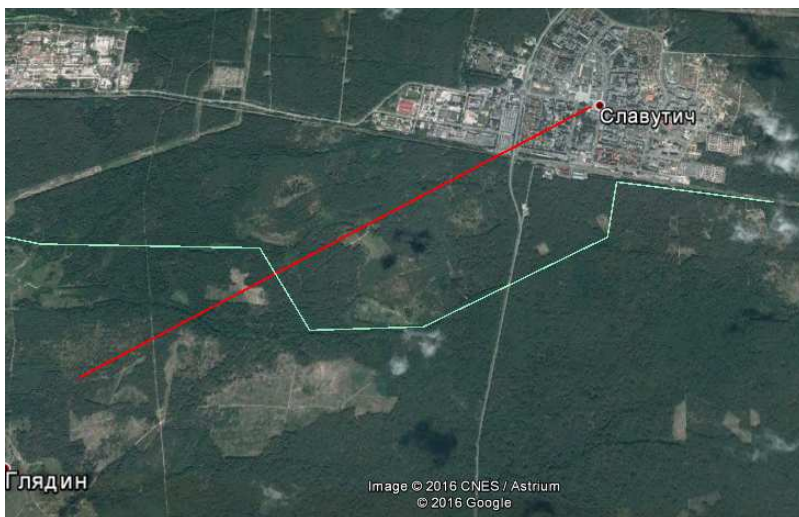


Рис. 6. Профіль траси за напрямком на південний захід

З рис. 4.6 визначимо значення $\Delta h = 40\text{ м}$. За рис. 1.3 визначимо поправки, з урахуванням рельєфу місцевості $L_1 = -1\text{ дБ}$, $L_2 = -2\text{ дБ}$. Знайдемо середнє значення затухання:

$$\Delta h = 145 - 105 = 40\text{ м},$$

$$L_{РЕЛ} = \frac{L_1 + L_2}{2} = \frac{-1 - 2}{2} = -1,5\text{ дБ}.$$

Визначимо втрати на поширення радіохвилі для відповідного типу місцевості:

Від БС до МС:

$$L_p = L_{\Sigma} - L_{рел} = 141,7 + 4,5 = 146,2\text{ дБ} - \text{сектор А} - 0^{\circ},$$

$$L_p = L_{\Sigma} - L_{\text{рел}} = 141,7 + 5,5 = 147,2\text{дБ} - \text{сектор В} - 120^\circ;$$

$$L_p = L_{\Sigma} - L_{\text{рел}} = 141,7 + 1,5 = 143,2\text{дБ} - \text{сектор С} - 240^\circ.$$

Обчисливши втрати поширення для відповідного типу місцевості за різними напрямками, приступаємо до визначення радіусу зони покриття базової станції за допомогою моделі Уолвіша-Ікегамі(WIM).

1.4 Розрахунок за моделлю Уолвіша-Ікегамі (WIM)

Модель WIM використовують при розрахунку загасання в міському середовищі. Втрати поширення для відповідного типу місцевості показують, що рівень сигналу помітно коливається, через зміни висоти будівель, ширини вулиць, характеру місцевості.

Застосування моделі WIM можливо тоді, коли антена базової станції розташована як вище, так і нижче лінії рівня дахів міської забудови. При використанні моделі WIM, враховують такі чинники, як висоти антен базової і рухомий станцій, ширина вулиць, відстані між будівлями, висота будівель і орієнтація вулиць щодо направлення поширення сигналу.

У моделі WIM є два випадки поширення сигналу: LOS (пряма видимість) і NLOS (non-line-of-sight, тобто в разі непрямой видимості). Тоді, коли на прямий поширення сигналу від передавача і приймача відсутні загородження, тобто в разі LOS, то WIM-модель описує рівнянням

$$L_{LOS} = 42,64 + 26 \lg d_{km} + 20 \lg f_{MHz}, d_{km} \geq 0,02.$$

Втрати у вільному просторі:

$$L_{LOS} = 32,45 + 20 \lg d_{km} + 20 \lg f_{MHz}$$

$$L_{LOS} = L_{fs} + 10,19 + 6 \lg d_{km} = L_{fs} + 6 \cdot \lg(50 \cdot d_{km}) = L_{fs} + 6 \cdot \lg\left(\frac{d_{km}}{20}\right),$$

де d_{km} – відстань в кілометрах.

Параметри, які використовують в NLOS WIM:

h_b – висота антени базової станції;

h_m – висота антени абонента (1-3м над землею);

h_B – висота будівель;

$\Delta h_b = h_b - h_B$ – висота антени базової станції від рівня дахів будівель;

b – відстань між будівлями (20-50м);

ω – ширина вулиць (зазвичай $b/2$);

Визначимо декілька варіантів у випадку NLOS WIM:

- $\Delta h_b > 0$

$$L_{NLOS} = 69,55 + 38 \lg d_{km} + 26 \lg f_{MHz} - 10 \cdot \lg \omega - 9 \cdot \lg b + 20 \lg \Delta h_m - 18 \cdot \lg(1 + \Delta h_b) + L_{LOS};$$

- $\Delta h_b \leq 0, d_{км} \geq 0,5$

$$L_{NLOS} = 69,55 + (38 + 15 \left| \Delta h_b / h_b \right|) \lg d_{km} + 26 \lg f_{MHz} - 10 \cdot \lg \omega - 9 \cdot \lg b + 20 \lg \Delta h_m + 0,8 \cdot \lg \left| \Delta h_b \right| + L_{LOS};$$

- $\Delta h_b \leq 0, d_{км} < 0,5$

$$L_{NLOS} = 69,55 + (38 + 15 \left| \Delta h_b / h_b \right|) \lg d_{km} + 26 \lg f_{MHz} - 10 \cdot \lg \omega - 9 \cdot \lg b + 20 \lg \Delta h_m + 0,8 \cdot \lg \left| \Delta h_b \right| \cdot (d_{км} / 0,5) + L_{LOS};$$

Міські райони забудовані будинками, різної висотності. Ширина вулиць і відстань між будівлями також можуть мати різні значення. Тому, при використанні моделі Уолфіша-Ікегамі, за умову беруть такі показники:

- 1) в житловому будинку, за висоту одного поверху, беруть значення рівне 3 м;
- 2) відстань між одноповерховими будинками не менше 5 м;
- 3) ширина вулиць, забудованих одноповерховими будинками не менше 15 м;
- 4) відстань між багатоповерховими будинками приймаю рівною 30 м;
- 5) ширина вулиць, забудованих багатоповерховими будинками вважають рівною 20м;
- 6) висота одного поверху в офісних, навчальних і схожих приміщеннях приймають рівною 3.5 м;
- 7) висота одного поверху промислового підприємства приймається рівній 7,5м.

Висоту будівлі, на якому буде розміщена антена БС, усереднювати НЕ рекомендують. Знаючи висоту цієї будівлі і висоту положення антени БС відповідно до завдання, можна визначити Δh_b – висоту антени базової станції від рівня дахів.

Таким чином, у нас є значення всіх цих параметрів для нашої місцевості:

$$h_b = 21\text{м};$$

$$h_m = 1.5\text{м};$$

$$h_B = 12\text{м};$$

$$\Delta h_b = h_b - h_B = 21 - 12 = 9\text{м};$$

$b = 30\text{м};$
 $\omega = 15\text{м};$
 $\Delta h_m = h_B - h_m = 12 - 1.5 = 10.5\text{м};$
 LOS:

$$d_{km} = 10^{\frac{L_p - 42.64 - 20 \cdot \lg f}{26}};$$

NLOS:

$$d_{km} = 10^{\frac{L_p - 69.55 - 26 \lg f + 10 \cdot \lg \omega + 9 \cdot \lg b - 20 \lg \Delta h_m + 18 \cdot \lg(1 + \Delta h_b)}{38}};$$

1) Від БС до МС
 $f_0 = 1910 \text{ МГц}$
 Північ – 0° :
 LOS:

$$d_{km} = 10^{\frac{146,2 - 42,64 - 20 \cdot \lg 1910}{26}} = 28,84 \text{ км};$$

NLOS:

$$d_{km} = 10^{\frac{146,2 - 69,55 - 26 \lg(1910) + 10 \cdot \lg(15) + 9 \cdot \lg(30) - 20 \lg(10,5) + 18 \cdot \lg(1+9)}{38}} = 2,34 \text{ км};$$

Південний схід – 120° :
 LOS:

$$d_{km} = 10^{\frac{147,2 - 42,64 - 20 \cdot \lg 1910}{26}} = 31,48 \text{ км};$$

NLOS:

$$d_{km} = 10^{\frac{147,2 - 69,55 - 26 \lg(1910) + 10 \cdot \lg(15) + 9 \cdot \lg(30) - 20 \lg(10,5) + 18 \cdot \lg(1+9)}{38}} = 2,48 \text{ км};$$

Південний захід – 240° :
 LOS:

$$d_{km} = 10^{\frac{143,2 - 42,64 - 20 \cdot \lg 1910}{26}} = 22,07 \text{ км};$$

NLOS:

$$d_{km} = 10^{\frac{143,2 - 69,55 - 26 \lg(1910) + 10 \cdot \lg(15) + 9 \cdot \lg(30) - 20 \lg(10,5) + 18 \cdot \lg(1+9)}{38}} = 1,94 \text{ км};$$

2) Від МС до БС:

$$f_0 = 1850 \text{ МГц}$$

$$d_{km} = 10 \frac{156,7 - 69,55 - 26 \lg(1910) + 10 \lg(15) + 9 \lg(30) - 20 \lg(10,5) + 18 \lg(1+9)}{38} = 4,41 \text{ км.}$$

Результати розрахунків зведемо до таблиці 1.4

Таблиця 4 – Результати розрахунків за моделлю WIM для LTE

Напрямок сектору БС відносно півночі, град	Втрати при розповсюдженні, L_p , дБ		Очікувана відстань між БС та МС, км	Очікувана відстань між МС та БС, км
	БС-МС	МС-БС		
Сектор А – 0°	146.2	156.7	2.34	4,41
Сектор В – 120°	147.2		2.48	
Сектор С – 240°	143.2		1.94	

За отриманими результатами можна сформувати прогнозовану зону покриття БС:

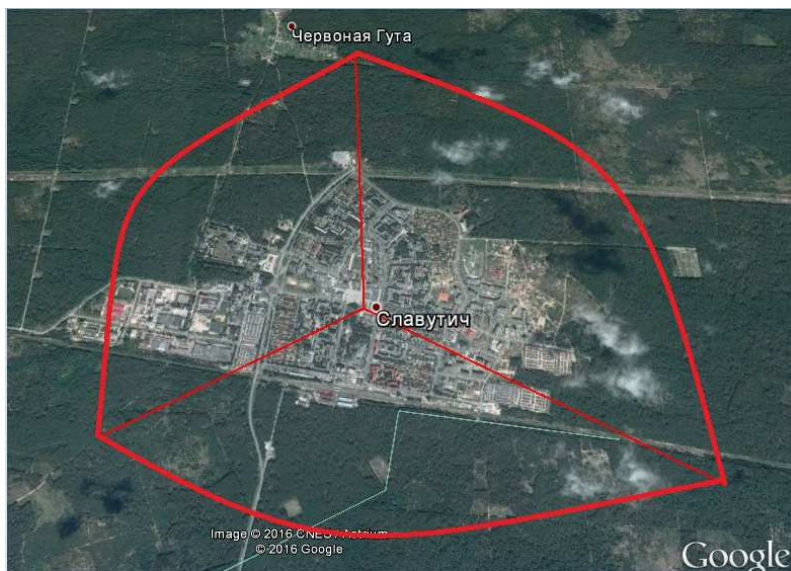


Рис. 7. Зона покриття БС (LTE), розрахована за моделлю WIM

1.5 Розрахунок необхідної кількості БС

Оскільки рельєф місцевості та тип забудови в містах Славутич та Чорнобиль має несуттєві відмінності, то радіус дії однієї базової станції можна вважати приблизно однаковим. Зона дії базової станції в місті Чорнобиль та на території Чорнобильської атомної електростанції зображений на рисунку 1.8 та рисунку 1.9 відповідно.



Рис. 8. Зона покриття БС (LTE) на території міста Чернобыль



Рис. 9. Зона покриття БС (LTE) на території Чернобыльської атомної електростанції

Оскільки зона покриття однієї БС схожа на шестикутник, то для розрахунку площі покриття такої базової станції скористаємось формулою:

$$S = \frac{3 \cdot \sqrt{3} \cdot (d_{km})^2}{2},$$

де S – площа покриття базової станції;

d_{km} – найменший радіус покриття однієї базової станції.

Оскільки $d_{km} = 1,94$ км, то

$$S = \frac{3 \cdot \sqrt{3} \cdot (1,94)^2}{2} = 9,78_{км^2}.$$

Оскільки площа міста Славутич, міста Чорнобиль та Чорнобильської атомної електростанції не перевищує 9,78 км², то для покриття кожної території (місто Славутич, місто Чорнобиль та Чорнобильська атомна електростанція) вистачить по одній базовій станції.

Висновки

В статті наведено результати розрахунку зон покриття для базових станцій, що функціонують в мережі стандарту LTE. Розрахунок здійснено із застосуванням математичної моделі Уолвіша – Ікегами. Дану модель обрано, тому що вона враховує такі показники, як ширина вулиць, відстань між будівлями, висота будівель, тобто умови, які потрібно враховувати для побудови мережі в міських умовах, а Славутич, Чорнобиль та Чорнобильська атомна електростанція належать до міст з відносно високим рівнем індустріальної інфраструктури, звідси і впливає доцільність вибору даної моделі.

Виходячи з розрахунків, знайдено необхідну кількість базових станцій, необхідних для здійснення радіопокриття мережею мобільного зв'язку четвертого покоління. За результатами здійснених розрахунків можна зробити висновок, що розгортання мережі LTE в місті Славутич, Чорнобиль та на території Чорнобильської атомної електростанції не потребує дуже великих капіталовкладень з урахуванням оптимізованої структури опорної мережі. Для забезпечення повного радіо покриття вказаної території достатньо 3 базові станції стандарту LTE.

Інформація про авторів:

Горобченко М. – студент, НТУ України «КПІ ім. Сікорського», м. Київ
e-mail: nick.gorobchenko1@mail.ru

Науковий керівник Чичикало Н. І. – професор, д.т.н., НТУ України «КПІ ім. Сікорського», м. Київ

STATISTICAL ANALYSIS OF NEUTRON ACTIVITY, REGISTERED BY THE NUCLEAR SAFETY MONITORING SYSTEM (NSMS IAMS) NSC-SO

Godun R., Doroshenko A., Skorbun A., Vysotsky E., Sushchenko K.

Abstract: After the start of operation of new safe confinement (NSC) "Arka" the task of changes' control (especially regarding the nuclear safety ensuring) of storage conditions of fissile materials

The results of statistical analysis of the results of measurements (which are performed by the nuclear safety monitoring system, NSMS IASK) of neutron activity's dynamics are presented. There are more than 15 detectors (which are located at different points of the destroyed 4th power unit) for neutron activity's monitoring. Indications of some neutron detectors began to increase markedly

after the start of operation of NSC "Arka". It has been shown that changes in neutron activity are observed mainly in detectors that located at zone of localization of the potentially nuclear-dangerous cluster of fuel-containing materials.

The basis of the analysis is the well-known idea of the Feynman- α method: in the case of the appearance of forced fission's neutrons there changes in statistics of registered neutron fluxes. And such changes (the neutron activity's increasing and the growth of the ratio of dispersion to the average in neutron flux density) were detected after the start of the operation of NSC "Arka".

The most likely possible reason for such changes is the growth of the effective neutron multiplication factor of the cluster of fuel-containing materials, which causes by the moisture reducing (towards the optimal ratios). Also in connection with the above, a reevaluation of the state of NSC's nuclear safety is proposed..

Keywords: statistical analysis, neutron activity's, fuel-containing materials.

Authors' Information

Roman Godun – Institute for Safety Problems of NPP of NASU; Ukraine;
e-mail: Rgl.wmw@gmail.com

Major Fields of Scientific Research: nuclear safety; subcriticality control

Anatoliy Doroshenko – Institute for Safety Problems of NPP of NASU; Ukraine; e-mail: ipb.doroshenko@gmail.com

Major Fields of Scientific Research: nuclear safety; subcriticality control; preventive measures of self-sustaining chain reaction suppression

Anatoliy Skorbun – Institute for Safety Problems of NPP of NASU; Ukraine; e-mail: anskorbun@gmail.com

Major Fields of Scientific Research: statistical analysis of data

Evgeniy Vysotsky – Institute for Safety Problems of NPP of NASU; Ukraine; e-mail: ipb.doroshenko@gmail.com

Major Fields of Scientific Research: nuclear safety; subcriticality control

Kostyantyn Sushchenko – Institute for Safety Problems of NPP of NASU; Ukraine; e-mail: kosts2@ukr.net

Major Fields of Scientific Research: nuclear safety; subcriticality control

ЭЛЕКТРОМЕМБРАННЫЙ МЕТОД ОЧИСТКИ РАДИОАКТИВНЫХ СТОЧНЫХ ВОД ХВОСТОХРАНИЛИЩ

Дымар О., Сторожилова Н., Попп Ю.

Методологической основой создания любой системы очистки воды является последовательный поиск обоснованных ответов на ряд вопросов:

– назначение системы очистки воды, установление предельных начальных и конечных значений работы системы по качеству, требованиям к квалификации операторов, капитальным и, что более важно, операционным затратам, а также иным существенным критериям. Причем, иногда, требования к качеству очистки могут существенно отличаться от принятых стандартов;

– оценка технических, технологических и экономических возможностей существующих методов очистки, поиск возможных путей их комбинации, так как каждый из существующих методов имеет свои сильные и слабые стороны;

– создание моделей технологической цепочки и сравнительная их оценка на соответствие критериями, выбранным в пункте первом этого перечня.

Существующие методы очистки. Решение о применимости того или иного варианта очистки, как правило, принимается на основании перечня лучших доступных технологий (BAT) и технологий обеспечения малых систем (SSCT) для очистки воды, в том числе и от радионуклидов. При этом учитывается их эффективность при удалении радионуклидов из обрабатываемой воды с учетом затрат. Решение о том, какой вариант очистки наиболее подходит для вашей системы, потребует, помимо прочего, оценки характеристик исходной воды, размера и местоположения системы, среднего и пикового сброса, вариантов удаления отходов и уровня навыков оператора. Понятно, что не требуется использовать все перечисленные методы. Использована может быть любая технология или их комбинация, соответствующая максимальному уровню загрязнения и в совокупности обеспечивающая требования к финишным показателям.

Таблица 1 – Применимость различных технологий обработки для очистки воды от загрязнителей включая радионуклиды

Метод обработки	Тип обрабатываемой воды	Сложность процесса
Ионный обмен	Все грунтовые воды	средний
Обратный осмос (РОЕ/POU)	Поверхностные воды, после предварительной фильтрации	сложный/элементарный
Смягчение известью	Все воды	средний
Электродиализ	Все грунтовые воды	средняя
Выделение комплексов оксидов марганца/железа	Все грунтовые воды	средняя
Активированный глинозем	Все грунтовые воды	сложный
Коагуляция / Фильтрация	Широкий ассортимент водных качеств	сложная

Каждый из существующих методов очистки имеет предельный показатель эффективности и неизбежное количество образующихся в процессе работы потерь/сброса. Утилизация этой воды является отдельной задачей в рамках проектирования и эксплуатации системы водоочистки.

Процессы ионного обмена и электродиализа имеют схожий принцип действия, хотя относятся к разным группам процессов. Электродиализ, несмотря на более высокие капитальные затраты, имеет ряд преимуществ: отсутствие необходимости в химической регенерации, кратно меньшее количество стоков, в разы меньшая масса рабочих элементов, подлежащих утилизации и захоронению после завершения эксплуатации. Итоговая эффективность обоих процессов практически одинаковая.

Таблица 2 –Типовая эффективность процессов очистки воды

Метод	Эффективность очистки	Потери воды
Сорбционные процессы		
Ионный обмен	95%	1-2%
Активированный оксид алюминия	95%	1-2%
Железосодержащие сорбенты	до 98%	1-2%
Процессы удаления железа и марганца		
Окисление / фильтрация «зеленый песок»	50-90%	≤2%
Мембранные процессы		
Обратный осмос	>95%	15-50%
Электродиализ	до 98%	10-15%
Осадительные процессы		
Микрофильтрация с использованием коагуляции	90%	5%
Усиленная коагуляция / фильтрация:		
С соединениями алюминия	<90%	1-2%
С хлоридом железа	95%	1-2%
С соединениями кальция	90%	1-2%

Использование комбинации доступных методов очистки воды позволило компании **MEGAa.s.** (Чехия, Страж под Ральскем) реализовать проект на заводе «GEAM» компании DIAMO s.p. по опреснению хвостохранилищ, созданных после добычи урана. Первая очередь проекта стартовала в 1986 году. За период эксплуатации были проведено две модернизации, связанные с увеличением мощности в 1995 и 2007 годах.

Производительность оборудования на настоящее время составляет 73 м³/час. Предварительно вносятся реагенты, осуществляется песчаная фильтрация, сорбция. Основа технологии: сочетание ED и RO; ED: RALEX® EWTU 30xED – II/200. Спецификация воды: 35 г/л сухих веществ, особенно большое содержание анионов SO₄²⁻ (20 г/л), также NO₃⁻, NO₂⁻, катионы представлены NH₄⁺, NH₄⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ и другими металлами, как Mo, и конечно же, уран – U. В воде присутствует значимое количество органических веществ. Режим работы оборудования – Feed & Bleed (однопроходной с частичной рециркуляцией концентрата после обратного осмоса на повторный электродиализ).

Качество очистки: после контроля pH опресненный и обеззараженный поток сбрасывается в реку, концентрат упаривают до окончательного сухого продукта – Na₂SO₄ и передается на захоронение.

Литература:

1. Radionuclides in Drinking Water: A Small Entity Compliance Guide. Office of Ground Water and Drinking Water. www.epa.gov/safewater. February 2002
- 2 Guidance for Handling Waste Residuals Resulting from Drinking Water Treatment. Idaho Department of Environmental Quality. February 2007

Информация об авторах:

Дымар Олег - д.т.н., доцент, г. Минск, Республика Беларусь

Сторожилова Наталья - г. Киев, Республика Украина

Попп Юрий - Страж под Ральскем, Республика Чехия

ООО «МЕГА-УКРАИНА» 03035 Украина, г. Киев, ул. Механизаторов, 2

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

Annotation. *In this work, the methodical basis for the development of water purification systems is considered. Stages of work on the creation of technology include analysis of the source water, requirements for the final product, capital and operating costs. The basis of technology creation is a list of the best available technologies (BAT) for water purification and technologies for small systems (SSCT). The data on the effectiveness of various methods of water treatment, the number of losses are given. A comparative analysis of ion exchange and electro dialysis was carried out, as competing methods of water purification from dissociated particles. It is shown that using a combination of available water purification methods allowed to realize a project for desalination of tailing dumps created after uranium mining. Previously introduced reagents, carried out sand filtration, sorption. The basis of the technology: the combination of ED and RO from MEGA a.s. : RALEX® EWTU 30xED - II / 200. Specification of water: 35 g / l dry matter, especially high content of anions SO₄²⁻ (20 g / l), also NO₃⁻, NO₂⁻, cations are represented by NH₄⁺, NH⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ and other metals like Mo, and of course, uranium - U. There is a significant amount of organic substances in the water. For the equipment, the operating mode - Feed & Bleed (single pass with partial recirculation of the concentrate after reverse osmosis for repeated electro dialysis) is adopted. The resulting purification quality allows after the control the pH of the freshened and disinfected stream is discharged into the river. Pollutants are concentrated by evaporation and transferred to a disposal facility.*

ORGANOCLAY SUPPORTED NZVI USED FOR RADIOACTIVE WASTE WATER TREATMENT

Zhdanyuk N.

Keywords: *organo-montmorillonite, zero-valent iron nanoparticles, absorption, U(VI).*

Comparisons were made between both unsupported and supported iron nanoparticles in removal of different metallic ions. In this study, U(VI) were chosen as pollutants to assess the performance of iron nanoparticles supported by organo-montmorillonite. Research of contaminant removal demonstrated that the remediation mechanism varies depending on the contaminant of interest. A combination of surfactants and montmorillonite probably enhances the transport of iron nanoparticles through the contamination plume in the subsurface environment.

Montmorillonite was obtained from Cherkasy, Ukraine, tryhidrosulfate uranium (UO₂SO₄·H₂O), ferrous chloride tetrahydrate (FeSO₄·7H₂O), and hexadecyltrimethylammonium bromide (HDTMA) (C₁₆H₃₃)N(CH₃)₃Br,

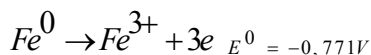
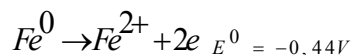
sodium borohydrate (NaBH₄) was purchase from (Merck, Germany). All presented chemicals were obtained in high purity and used as received. Montmorillonite had a cation exchange capacity (CEC) of 1 meq/g. [1]. The similar preparation method was reported previously [2].

Zero-valent iron particles (nZVI) were prepared by a liquid phase reduction method with borohydrate as described in the present paper [3]. Synthetic sorbents title respectively Mont/nZVI and HDTMA-Mont/nZVI.

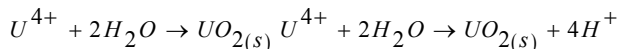
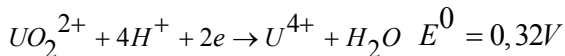
According to the various references, the core-shell structure of the nanoparticles is responsible for great ability of nZVI to absorb metal ions from aqueous solution by multiple mechanisms, which are closely related to reduction and precipitation, electrostatic adsorption, complex formation.

Removal of U(VI) takes place on the following mechanism. NNZ is a source of dissolved Fe(II), Fe(III), hydrogen, free radicals and other compounds, including iron hydroxo that can make a significant contribution to the removal of uranium.

Initially, the reaction Fe⁰ acts as a reducing agent, which further facilitates the removal of uranium. Interaction Fe⁰ and products of oxidation of Fe(II) and Fe(III) leads to the formation of adsorption centers.



The dissolution nNVZ conditions for uranium deposition:



It should be noted that the transition U(VI) to U(IV) is a solution of particles near Fe⁰ resulting electrochemical reaction. As a result, the transition of uranium compounds in the solid state and deposition on the surface of iron. Also, the sorption complexes of U(VI) can form a solid mixture of U(IV) / U(VI) [4].

The reduction of U(VI) the following tendency can be observed: HDTMA-Mont/nZVI > Mont/nZVI > nZVI > HDTM-Mont > Powdered iron > Mont.

For U (VI) sorption dependence on the pH of the complex, which is associated with the ability of uranium to form complexes at different pH values.

At pH close to neutral and under contact with air, corresponding to surface waters, the dominant form of U (VI) in solution are uranyl ion UO₂²⁺ and its hydroxo UO₂OH⁺, (UO₂)₃(OH)₅⁺, (UO₂)₄(OH)₇⁺ and others.

Conclusion

As a result of researches it is established nanocomposite supported iron nanoparticles appeared to be more effective in terms of the removal of U(VI) than unsupported iron nanoparticles. The use of organo-montmorillonite could greatly enhance the reduction activity of nanoscale zero-valent iron due to its capability to prevent their aggregation.

The use of organo-montmorillonite could greatly enhance the reduction activity of nanoscale zero-valent iron due to its capability to prevent their aggregation.

Nanocomposite showed an outstanding ability to remove metal ions because of high surface activity and low particle size.

Bibliography:

1. Y.I. Tarasevich, *Prirodnye sorbenty v protsessah oчитки vody* [Природные сорбенты в процессах очистки вод], Ukraine, Kyiv, Naukova Dumka, 1981, pp. 7-40.

2. Zhdanyuk N. Research of chromium (VI) ion adsorption by montmorillonite modified by cationic surfactants // *Technology audit and production reserves*. – 2016. – No 5(3). – P. 11–15. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2016.81015>.

3. Zhdanyuk, N., Kovalchuk, I., Kornilovych B., «Obtainang stabilized nanodispersed iron based on organofilized montmorillonite», *Східно-європейський журнал передових технологій*, Vol. 5(6), P. 23–28, 2016. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.79452>

4. N. Groza, «Zero-Valent Iron Used for Radioactive Waste Water», *Treatment Chem. Bull. «POLITEHNICA» Univ. (Timisoara)*, Vol. 54(68), 1, pp. 21-25, 2009.

Authors' Information

Zhdanyuk Nataliya – assistant, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,

e-mail: zhdanyukn.kpi@gmail.com,

Major Fields of Scientific Research: Investigation of extraction of heavy metals and radionuclides from aqueous solutions.

ЛИСТОПАД ЯК ОСНОВНЕ ФЕНОЛОГІЧНЕ ЯВИЩЕ

Жерєбнов П. А. (науковий керівник - Артем'єва І. В.)

Мета роботи - розглянути теоретичні основи фізіології листопаду та проаналізувати чинники, що визначають реальні терміни цього фенологічного процесу.

Осінь - пора інтенсивних досліджень і спостережень, коли найбільш чітко виявляються численні пристосування тваринного і рослинного світу до умов несприятливого сезону. Дослідження механізмів і причин, а особливо способів їх штучної і природної регуляції, завжди цікавили як вчених-ботаніків, так і працівників більш практичних галузей сільсько-го та лісового господарства, оскільки можливість дострокової дефоліації рослин часто необхідна для вчасного збору врожаю, і невчасне скидання листя деревами може призвести до їх загибелі взимку. З іншого

боку, питання фотоперіодизму вивчене недостатньо і мало представлене у науковій літературі. В цьому і полягає актуальність даної роботи.

Новизна роботи в тому, що вперше зроблена спроба науково обґрунтувати конкретні терміни листопаду з урахуванням фенологічної ситуації в даному регіоні.

Завдання науково-дослідницької роботи - опрацювати відповідну фахову літературу і проаналізувати фенологічні особливості осені 2015 - 2017 років; розглянути механізми, причини і значення листопаду; дати оцінку чинникам, що визначають терміни листопаду; запропонувати на основі власних досліджень гіпотези, які б пояснили зміни термінів листопаду в конкретній фенологічній ситуації.

Результатом дослідження є три гіпотези, які пояснюють зміни термінів листопаду на різних рівнях життя.

У ході виконання роботи зроблено висновки:

- масовий листопад - корисне пристосування рослин до переживання періодів з несприятливими умовами існування;

- вікові зміни хлоропластів супроводжуються зміною пігментних систем, під час яких хлорофіл руйнується і проявляються каротиніоїди;

- основним сигналом для листопаду є співвідношення тривалості світлого і темного періоду доби (фотоперіодизм);

- функцію регуляторів фотоперіодизму у рослин виконує фітохром та фітогормони: ауксини, гібереліни, цитокініни, абсцизини і етилен;

- фотоперіодизм визначає межі, в яких може змінюватись реакція рослин на сукупність екологічних чинників, а вони, в свою чергу, визначають фенотиповий прояв ознаки у межах норми реакції;

- якщо будь-який екологічний фактор виходить за межі витривалості, це змінює стандартну програму і порушує синхронізацію зовнішніх та внутрішніх біоритмів. Але це, як правило, не має масового характеру, тому не є визначальним фактором.

Практичне значення полягає в тому, що матеріали дослідження основного фенологічного явища дозволять учителям біології доступно і зрозуміло донести до учнів найскладніші теми з курсу «Фізіологія рослин».

Література:

1. Артамонов, В. И. Занимательная физиология растений [Текст] / В. И. Артамонов. – Москва : Агропромиздат, 1991. – 334 с. : ил.

2. Брайон, О. В. Рухи рослин [Текст] / О. В. Брайон. – Київ : Радянська школа, 1978. – 55 с. : іл.

3. Брайон, О. В. Фізіологія для допитливих [Текст] / О. В. Брайон. – Київ : Український фітосоціологічний центр, 2003. – 219 с. : іл.

4. Брайон, О. В. Анатомія рослин [Текст] / О. В. Брайон. – Київ : Вища школа, 1992. – 271 с. : іл.

5. Гродзінський, А. М. Серед природи і в лабораторії [Текст] / А. М. Гродзінський. – Київ : Наукова думка, 1999. – 192 с. : іл.

6. Мусянко, М. М. Фізіологія рослин [Текст] / М. М. Мусянко. – Київ : Фітосоціоцентр, 2001. – 391 с. : іл.

7. Положення «Про Всеукраїнські учнівські олімпіади, турніри, конкурси з навчальних предметів, конкурси-захисти науково-дослідницьких робіт, олімпіади зі спеціальних дисциплін та конкурси фахової майстерності [Текст] : із змінами, внесеними згідно з Наказами Міністерства освіти і науки, молоді та спорту N 29 (з0152-12) від 16.01.2012, N 360 (з0568-12) від 26.03.2012 [Електронний ресурс] : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z1318-11>. – Назва з екрану.

8. Руденко, О. В. Підготовка до конкурсу-захисту науково-дослідницьких робіт МАН [Текст] / О. В. Руденко // Шкільному психологу. Усе для роботи. – № 9. – 2011. – С. 46.

9. Соболев, В. І. Біологія [Текст] : довідник + тести. Повний повторювальний курс, підготовка до зовнішнього незалежного оцінювання / В. І. Соболев. – Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О. В., 2010. – 796 с. : іл.

10. Терлецький, В. К. Дивовижне в світі рослин [Текст] / В. К. Терлецький. – Київ : Урожай, 1990. – 208 с. : іл.

Інформація про авторів:

Жеребнов Павло Андрійович - учень 43 групи біолого-хімічного профілю навчання Славутицького ліцею Славутицької міської ради Київської області

Науковий керівник: Артем'єва Ірина Вікторівна - учитель біології вищої категорії Славутицького ліцею, учитель-методист, заслужений учитель України

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ГИДРАТАЦИИ УРАНА И ПЛУТОНИЯ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

Жиганюк И. В., Носовский А. В., Габелков С. В, Зубко А. В.

Резюме: Исследуются процессы гидратации урана и плутония в водных растворах. Рассчитаны значения энергий ион-молекулярного взаимодействия в гидратных комплексах урана и плутония. Показано, что гидратные комплексы урана и плутония нестабильны. Выявленные особенности влияют на подвижность урана и плутония в радиационно-загрязненных водах НБК-ОУ.

Ключевые слова: гидратация, ионы, уран, плутоний

Введение

Вследствие накопления неорганизованных водных скоплений на нижних отметках объекта “Укрытие” процессы с участием ионов урана и плутония в радиационно-загрязненных водах требуют внимания специалистов.

Энергии связи комплексов гидратированных урана и плутония в водных растворах определяют устойчивость ионных комплексов. Кинетические свойства гидратированных ионов актинидов определяются радиусами твердых оболочек этих комплексов. Выявление особенностей процессов гидратации ионов позволяет прогнозировать поведение

комплексов ионов высокотоксичных актинидов в радиационно-загрязненных водах НБК-ОУ.

Плотность энергии взаимодействия урана, плутония и молекул воды в гидратных комплексах.

Соединения с ионным и ковалентным типом связи в соответствии с величиной e_{Δ} плотности энергии взаимодействия [1,2] ионов или атомов разделяются на две группы, как показано на рис. 1. Значения энергии межйонного или межатомного взаимодействия в указанных соединениях получены в результате квантово-химических расчетов и применения потенциалов взаимодействия Стиллинджера, Клементи, Бакингема. Расстояния между центрами масс атомов или ионов в соединениях, показанных на рис.1, получены с использованием методов рамановской спектроскопии.

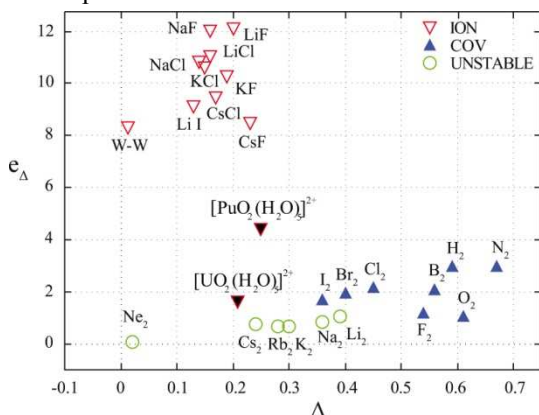


Рис. 1. Диаграмма значений e_{Δ} плотности энергии связи и значений Δ степени перекрытия электронных оболочек урана, плутония и молекул воды в сравнении со значениями e_{Δ} для соединений с ионным, ковалентным типом связи

На этой диаграмме ионы урана и плутония в гидратном комплексе с 5 молекулами воды располагаются в области нестабильных соединений (см. рис. 1), образующих комплексы вследствие мультипольного электростатического взаимодействия ионов. Это свидетельствует о том, что гидратные комплексы урана и плутония нестабильны. Распад гидратных комплексов ведет к увеличению подвижности ионов урана и плутония в водных растворах.

Заключение

Понимание природы процессов, определяющих поведение гидратированных ионов урана и плутония в неорганизованных водных

скоплениях НБК-ОУ, позволит более полно оценивать и прогнозировать степень их опасности для окружающей среды.

Литература:

1. И.В. Жиганюк Природа химической связи с точки зрения степени перекрытия электронных оболочек ионов, атомов и молекул // Доклады НАН Украины. – 2016. – № 12. – С. 36–43. <https://doi.org/10.15407/dopovid2016.12.036>

2. Malomuzh M.P., Zhyganiuk I.V., Timofeev M.V. Nature of Hydrogen Bond in Water Vapor // Journal of Molecular Liquids. – 2017. – Vol. 242, № 3. – P. 175–180. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.06.127>

Информация об авторах:

А. В. Носовский – чл.-кор. НАН Украины, директор Института проблем безопасности атомных электростанций, НАН Украины;

e-mail: anosov@isnpp.kiev.ua

Области научных интересов: ядерная и радиационная безопасность атомных электростанций

С. В. Габелков – заведующий отделом РМРП, Институт проблем безопасности атомных электростанций, НАН Украины;

e-mail: s.gabelkov@isnpp.kiev.ua

Области научных интересов: топливосодержащие материалы, их деградация, прогнозы, радиоактивные отходы, наноразмерные оксидные порошки и материалы

И. В. Жиганюк – с.н.с. ОРМРП, Институт проблем безопасности атомных электростанций, НАН Украины;

e-mail: i.zhyganiuk@isnpp.kiev.ua

Области научных интересов: гидратация ионов в водных и тяжеловодных растворах, магнитный изотопный эффект в химических реакциях, потенциалы взаимодействия радикальных пар, ионов и молекул, теория водородных связей, динамика химических реакций

А. В. Зубко – н.с., Государственное учреждение “Институт геохимии окружающей среды Национальной академии наук Украины”;

e-mail: IGNS_Zubko@nas.gov.ua

Области научных интересов: электрохимия и электрокинетические методы, аналитическая химия окружающей среды, радиохимия и химия изотопов

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

PECULIARITIES OF THE HYDRATION PROCESS URANIUM AND PLUTONIUM IN AQUEOUS SOLUTIONS

A. V. Nosovsky, S. V. Gabielkov, I. V. Zhyganiuk, A. V. Zubko

Abstract: *Hydration process uranium and plutonium in aqueous solutions are studied. The interaction energy of ions and molecules in the hydration complexes uranium and plutonium are calculated. It is shown that the hydration complexes uranium and plutonium are unstable. These hydration process peculiarities influence of mobility uranium and mobility plutonium in radiation water of NSC-SO.*

Keywords: *hydration, ions, uranium, plutonium.*

ПРИНЦИПИ І КРИТЕРІЇ БЕЗПЕКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СВЯП-1

Задунай О. С., Євланов В. М., Азаров С. І.

З метою виконання вимог «Загальнодержавної програми зняття з експлуатації Чорнобильської АЕС та перетворення об'єкта «Укриття» в екологічно безпечну систему» в частині звільнення блоків від відпрацьованого ядерного палива (ВЯП) та дотримання термінів зняття з експлуатації Чорнобильської АЕС необхідно науково обґрунтувати умови безпечного розміщення та зберігання ВЯП в сховищі ВЯП (СВЯП-1), оскільки звільнення блоків №№ 1, 2 від ВЯП дозволить розпочати роботи, передбачені на етапі остаточного закриття і консервації 1-3 блоків ЧАЕС.

Перш ніж все паливо буде розміщено в СВЯП-1, необхідно обґрунтувати продовження терміну його експлуатації, а також виконати аналіз існуючих принципів і критеріїв безпеки в процесі зберігання ВЯП, які відповідають основним принципам державної політики України у сфері поводження з ВЯП та враховують рекомендації МАГАТЕ. СВЯП – об'єкт, на якому зберігають, переробляють, використовують або транспортують відпрацьовані тепловиділяючі збірки (ВТВЗ) в нормальних умовах і при аварії, на якому у випадку його руйнування може статися опромінення іонізуючим випромінюванням або радіоактивне забруднення людей, а також навколишнього природного середовища. «Мокре» сховище є об'єктом тимчасового зберігання ДСП ЧАЕС. Однак ряд труднощів при будівництві «сухого» сховища СВЯП-2, місця постійного зберігання ВЯП, привів до затягування термінів введення в експлуатацію даного об'єкта. При цьому на тлі необхідності дотримання термінів реалізації державних завдань по зняттю з експлуатації, СВЯП-1 використовується з метою поводження та зберігання ВЯП і в даний час. Однак, існуюча проектна потужність СВЯП-1 не дозволяє розмістити на довготривалі зберігання всі відпрацьовані ВТВЗ в кількості 21 тисяча одиниць, які наявні на 1-3 блоках ЧАЕС. Поводження з ВЯП на майданчику ДСП ЧАЕС здійснюється на підставі ліцензій Держатомрегулювання ЕО № 000040 «Зняття з експлуатації ЧАЕС», виданої 22 березня 2002 і ЕО № 000859 «Експлуатація ядерної установки - сховища відпрацьованого ядерного палива (СВЯП-1) ЧАЕС», виданої 25 червня 2008 року. Слід зазначити, що проектний термін експлуатації СВЯП-1 закінчився в 2016 році. З іншого боку, оскільки сховище проектувалося в 1970-1980 рр, то початково в проекті були закладені вимоги нормативних документів, що діяли на той період часу. Аварії на Чорнобильській АЕС (1986) і на АЕС Fukushima-Daiichi (Японія) стали поштовхом для перегляду філософії оцінки безпеки ядерних установок, концентрації зусиль міжнародної спільноти щодо інтенсивного обміну досвідом та сучасними національними досягненнями у галузі безпечного використання ядерної енергії, підготовки низки фундаментальних конвенцій під егідою МАГАТЕ, на яких сьогодні будується

міжнародний режим забезпечення ядерної та радіаційної безпеки. Необхідно було усунути окремі протиріччя в системі нормативних актів, що регламентують поведження з ВЯП, які не відповідають чинному законодавству України та здатних привести до негативних наслідків.

Основною причиною протиріч, що виникли є використання застарілих нормативних документів, розроблених без урахування сучасної нормативно-правової бази України у сфері поведження з ВЯП і в сфері радіаційної та екологічної безпеки. На сьогодні СВЯП-1 не в повній мірі задовольняє вимоги чинних міжнародних та національних норм і правил з ядерної, радіаційної та екологічної безпеки.

Сховище ВЯП є технічно складним і екологічно небезпечним об'єктом. У ньому зосереджено обладнання різноманітного призначення, що має різну номенклатуру радіаційно-небезпечних матеріалів.

Проблема забезпечення безпеки СВЯП-1 є однією з ключових, починаючи від введення сховища в експлуатацію і до зняття з регулюючого контролю ВТВЗ, що знаходяться в ньому.

У зв'язку з удосконаленням нормативної бази та підвищенням вимог до СВЯП, в тому числі по сейсмостійкості, для подальшої безпечної експлуатації сховища необхідно було привести його у відповідність до вимог нормативної бази, що діє на поточний момент часу.

Крім того, в 2016 році закінчився 30-річний термін експлуатації СВЯП-1, встановлений в НП-024-2000. Внаслідок цього, подальша експлуатація СВЯП-1 була можлива тільки після проведення реконструкції та обґрунтування можливості продовження терміну його експлуатації. Для цього необхідна модернізація системи нормативних актів другого рівня в частині поділу систем і елементів об'єктів по поведженню з ВЯП за критеріями і класам безпеки.

Тому актуальною є задача наукового обґрунтування продовження терміну експлуатації СВЯП-1 з урахуванням сучасних вимог нормативно-правової бази в області безпечного поведження з ВЯП.

Метою даної статті є аналіз існуючих принципів і критеріїв безпеки в процесі зберігання відпрацьованого палива, а також вибір тих, які в повній мірі відповідають основними принципами державної політики України у сфері поведження з ВЯП та враховують рекомендації МАГАТЕ.

Відповідно до загальноприйнятих принципів безпеки в усіх країнах порядок поведження з ВЯП регламентований національним законодавством і міжнародними угодами.

Радіоактивні відходи після їх утворення, з метою зменшення небезпеки і економічної обґрунтованості, піддаються ряду процесів перетворення і переміщення перед їх довготривалим зберіганням або остаточним захороненням.

Послідовність процесів може відрізнятись, але майже завжди вона включає збір і сортування ВЯП за категоріями; обробку та зменшення обсягу; кондиціонування; транспортування; зберігання або захоронення. Для поводження з ВЯП задіється власний персонал підприємств, а також спеціалізовані організації, які мають ліцензію на якийсь один (наприклад, транспортування) або всі види діяльності щодо поводження з радіоактивними відходами.

Безпечне поводження з ВЯП пов'язане з комплексним застосуванням технологій, природних і штучних ресурсів в умовах державного регулювання для забезпечення контролю і відповідності національним та міжнародним вимогам з охорони здоров'я людини та навколишнього середовища.

Загальноприйняті міжнародні принципи забезпечення безпеки при поводженні з ВЯП можна сформулювати наступним чином [1]:

1. Забезпечення прийняттого рівня захисту здоров'я людини;
2. Захист здоров'я людини за межами національних кордонів повинен бути не нижче прийняттого рівня в країні походження;
3. Забезпечення охорони навколишнього середовища;
4. Обмеження екологічних наслідків для майбутніх поколінь;
5. Створення національних правових систем і стратегії з екологічно безпечного поводження з ВЯП;
6. Використання комплексного підходу з урахуванням взаємозв'язку стадій утворення та поводження з ВЯП.

МАГАТЕ рекомендуються такі принципи безпечного поводження з ВЯП [2,3]:

1. Захист здоров'я людини. Поводження з ВЯП має бути організовано таким чином, щоб забезпечити прийнятний рівень захисту здоров'я людини.

2. Захист навколишнього середовища. Поводження з ВЯП має здійснюватися таким чином, щоб забезпечити прийнятний рівень навколишнього середовища.

3. Захист за межами національних кордонів. В процесі поводження з ВЯП повинно бути враховано потенційний вплив на людину і навколишнє середовище за межами національних кордонів.

4. Захист майбутніх поколінь. Поводження з ВЯП має бути організовано таким чином, щоб передбачуваний вплив на здоров'я майбутніх поколінь не перевищував меж рівнів впливу, визначених у даний час.

5. Тягар для майбутніх поколінь. Поводження з ВЯП має здійснюватися таким чином, щоб не накладати надмірного тягара на майбутні покоління.

6. Національна правова основа. Поводження з ВЯП має здійснюватися в рамках відповідної національної правової основи, яка передбачає чіткий розподіл обов'язків і забезпечення незалежних регулюючих функцій.

7. Контроль за утворенням радіоактивних відходів. Утворення ВЯП має підтримуватися на мінімально досяжному рівні.

8. Наявність взаємозв'язків між процесами утворення ВЯП і подальшого поведження з ними. Повинна існувати взаємозалежність між усіма етапами утворення і поведження з ВЯП.

9. Безпека установок. Має гарантуватися безпека всіх установок і об'єктів протягом усього терміну їх функціонування.

МАГАТЕ також рекомендує наступні заходи для використання в національній стратегії і політиці щодо поведження з ВЯП [4]:

- Виробники радіоактивних відходів повинні бути зареєстровані як такі регулюючими органами в кожній країні.

- Оператори установок для зберігання радіоактивних відходів приймають упаковки відходів, що поставляються їм від виробників відходів, і несуть відповідальність за їх зберігання.

- Регулюючі органи несуть відповідальність за розробку системи регулювання та здійснюють контроль за її роботою і за ліцензування установок, включаючи установки для поведження з ВЯП і їх зберігання.

- Уряди несуть відповідальність за національну політику щодо поведження з ВЯП і в кінцевому підсумку відповідальність за довгострокове екологічно безпечне зберігання.

Згідно з чинним національним законодавством під ВЯП маються на увазі матеріальні об'єкти і субстанції, активність радіонуклідів або радіоактивне забруднення яких перевищує межі, встановлені діючими нормами, за умови, що використання цих об'єктів та субстанцій не передбачено, а під об'єктом, призначеним для поведження з ВЯП - споруди, приміщення або обладнання, призначене для збирання, перевезення, переробки, зберігання або захоронення.

Основними принципами державної політики України у сфері поведження з ВЯП є [5-10]:

1. пріоритет захисту життя та здоров'я персоналу і населення, навколишнього природного середовища від впливу ВЯП відповідно до державних норм радіаційної безпеки;

2. розмежування функцій державного контролю і управління у сфері поведження з ВЯП;

3. реалізація державної політики у сфері поведження з ВЯП шляхом розробки і виконання довгострокової Державної програми поведження з радіоактивними відходами;

4. перегляд та затвердження Державної програми поводження з радіоактивними відходами кожні 3 роки;
5. недопущення неконтрольованого накопичення ВЯП;
6. забезпечення державного нагляду за поводженням з ВЯП;
7. прийняття рішень про розміщення нових сховищ ВЯП за участю громадян, їх об'єднань, а також місцевих органів державної виконавчої влади та органів місцевого самоврядування;
8. гарантування надійної ізоляції ВЯП від оточуючого природного середовища при обґрунтуванні екологічної безпеки сховищ відпрацьованого ядерного палива;
9. зберігання ВЯП у виробників радіоактивних відходів протягом обмеженого часу з наступною передачею спеціалізованим підприємствам по поводженню з ВЯП;
10. відповідальність виробників ВЯП за їх безпеку до передачі їх спеціалізованим підприємствам по поводженню з ВЯП;
11. заборона проведення робіт по захороненню ВЯП юридичним і фізичним особам, які утворюють внаслідок своєї діяльності ВЯП, поставляють і використовують;
12. міжнародне співробітництво у сфері поводження з ВЯП;
13. активна науково-дослідницька діяльність у сфері поводження з ВЯП.

Оцінка безпечної експлуатації сховища ВЯП повинна відображати можливість пов'язаної з нею небезпеки, а також ступінь, в якій цю небезпеку можна уникнути або запобігти.

Метод оцінки безпеки СВЯП-1 таким чином включає: визначення небезпек, пов'язаних з присутністю радіоактивних речовин в упаковках з ВЯП, які зберігаються або з якими проводяться будь-які дії.

Конкретні небезпеки визначаються:

- вивченням умов нормальної експлуатації та аварійних ситуацій;
- вивченням захисних і запобіжних заходів, що визначають проектні особливості або адміністративні заходи, які служать для запобігання значних небезпек. Повинно бути визначено, якою мірою ці цілі досягаються.

Особливості безпечної експлуатації СВЯП-1 можуть включати радіаційний захист, дистанційно кероване обладнання, пристрої моніторингу, вентиляційні та фільтраційні системи, захисні бар'єри та ін. Адміністративні заходи можуть включати роботи по експлуатації, ремонту і радіаційному захисту. При ретельній оцінці, яка необхідна при ліцензуванні, небезпека може виражатися у вигляді частоти її прояви і величини її наслідків. Ефективність захисних і запобіжних заходів може також виражатися у вигляді зменшення ризику.

До методу «мокрого» зберігання ВЯП пред'являються такі основні принципи безпеки:

- забезпечення «умов роботи» СВЯП і збереження ВЯП протягом часу не менше 30 років;

- забезпечення температурного режиму на оболонці ТВЕЛ не більше 50°C для палива РВПК-1000;

- забезпечення довговічності будівельних конструкцій сховища протягом часу не менше 60 років;

- забезпечення пасивного способу відводу тепла від закладеного палива;

- стійкість сховища до зовнішніх впливів (землетрусу, урагану, смерчу, повітряної ударної хвилі, предметів що летять, падіння літака і ін.);

- забезпечення можливості зручної і швидкої ідентифікації джерела появи радіоактивних забруднень.

Потрібно відзначити, що термін «умови роботи» СВЯП-1 був вибраний на відміну від термінів «інцидент», «аварія», «перехідний процес» або «стан», оскільки носить більш загальний характер та стосується всієї установки в цілому.

Будемо розрізняти наступні категорії умов роботи СВЯП-1:

- перша – нормальні умови експлуатації (частота виникнення вихідного випадку постійна або часте виникнення);

- друга – незначні але часті інциденти (10^{-2} - 10^{-1} рік⁻¹ на інцидент);

- третя – малоймовірні інциденти (10^{-4} - 10^{-2} рік⁻¹ на інцидент);

- четверта – важкі аварії (10^{-6} - 10^{-4} рік⁻¹ на аварію);

- п'ята – глобальна (гіпотетична) аварія або катастрофа (10^{-8} - 10^{-6} рік⁻¹ на катастрофу).

Вихідні події аварій на СВЯП-1 за частою їх виникнення можна розділити на:

- очікувані: вихідні події, настання яких очікується один або кілька разів за весь термін експлуатації об'єкта;

- можливі: вихідні події, які не «очікуються», але їх передбачувана ймовірність за термін експлуатації перевищує рівень близько 1% (тобто близько $3 \cdot 10^{-4}$ рік⁻¹);

- малоймовірні: вихідні події, що розглядаються в проекті об'єкта, які менш вірогідні, ніж попередні.

- запроєктні: вихідні події з дуже малою частотою, які, як правило, не включаються до звичайного аналізу безпеки об'єкта. Якщо все ж вводяться системи захисту від таких вихідних подій, то вони не обов'язково повинні мати той же рівень резервування або різномірності, як заходи захисту від проектних аварій.

Під критерієм безпеки в процесі зберігання відпрацьованого палива мається на увазі опис сукупності показників, що дозволяють охарактеризувати стан СВЯП як «нормальний», «передаварійний», «аварійний», «критичний» або як «кризовий». Показники означають міру, параметри - межі інтервалів, відповідних ступенів небезпеки. Параметри прийняті або на підставі наукових, експериментальних даних, або на підставі експертних оцінок фахівців.

Критерій безпеки в процесі зберігання відпрацьованого палива повинен відповідати таким основним вимогам:

- мати ясний фізичний сенс;
- бути визначальним і відповідати основній меті функціонування СВЯП як системи, підсистеми або елемента;
- враховувати основні детерміновані і стохастичні фактори, що визначають рівень безпеки СВЯП;
- бути критичним до аналізованих параметрів і досить чутливим до них.

Класифікація критеріїв безпеки СВЯП повинна включати:

- загальні (інтегральні) критерії, що дають найбільш повну оцінку вдосконалення СВЯП (загальне число можливих аварій і випадків травматизму, сума витрат на створення системи безпеки);

- умовні (непрямі) критерії, що відображають одну з властивостей СВЯП шляхом віднесення її до певного показника (вартість отримання одиниці кінцевої продукції, ймовірність безвідмовної роботи певного комплексу захисних заходів, ймовірність виникнення аварійної ситуації в певний проміжок часу);

- відносні (нормовані) критерії, що характеризують безпеку СВЯП щодо оснащеності та ефективності засобів захисту (відношення часу дії небезпечного фактору до загального часу роботи, зіставлення економічної ефективності впровадження різних засобів захисту, зміна рівня безпеки в порівнянні з впровадженням). Розглянемо більш докладно загальні критерії безпеки в процесі зберігання відпрацьованого палива.

1. Критерії ядерної безпеки.

1. Ефективний коефіцієнт розмноження нейтронів K_{ef} в умовах нормальної експлуатації і проектних аваріях повинен залишатися нижче 0,35 виходячи з наступних консервативних припущень:

- нехтується наявність поглинаючих елементів в ВТВЗ або конструкціях стелажів, якщо вони не закріплені або їх ефективність знижується в результаті вихідних подій;
- розглядається паливо з максимальним збагаченням по ^{235}U (2,4% для палива реактора РВПК-1000);
- не враховується вигорання ЯП і зменшення внаслідок цього K_{ef} .

2. Конструкція кошиків для транспортування ВТВЗ, патронів і пеналів повинна бути спроектована так, що конфігурація палива після їх падіння залишається незмінною, таким чином запобігають зменшенню підкритичності через можливі зміни геометричної конфігурації палива.

3. Необхідно передбачити також адміністративні заходи по документуванню вихідного збагачення і вигорання ВТВЗ та геометрії розташування кошиків, пеналів, патронів.

2.Критерії радіаційної безпеки.

1. Радіаційний захист СВЯП-1 повинен спиратись на НРБУ-97, що враховують останні рекомендації Міжнародної комісії з радіаційного захисту (МКРЗ) в яких встановлені наступні категорії опромінюваних осіб:

- категорія А (персонал): особи, які постійно або тимчасово працюють безпосередньо з джерелами іонізуючих випромінювань;

- категорія Б (персонал): особи, які безпосередньо не зайняті роботою з джерелами іонізуючих випромінювань, але у зв'язку з розташуванням їх робочих місць в об'єктах і на майданчику СВЯП-1 можуть піддаватись додатковому опроміненню;

- категорія В: населення.

2. Установка з підготовки відпрацьованого палива до зберігання і зона зберігання відпрацьованого палива повинні експлуатуватись таким чином, щоб не були перевищені межі доз опромінення від усіх індустриальних джерел випромінювання.

3. У процесі організації радіаційного захисту повинен використовуватись принцип ALARA. Досягається це оптимізацією технологічного процесу поводження з ВТВЗ, створенням статичних (біологічний захист, зонування і герметизація приміщень) і динамічних бар'єрів на шляхах можливого поширення радіоактивних забруднень і випромінювань. Тим самим створюється багато бар'єрний глибокоешелонований радіаційний захист персоналу як в умовах нормальної експлуатації, так і під час можливих проектних аварій.

3.Критерії теплової безпеки.

1. Різні ділянки, на яких зберігаються або завантажуються ВТВЗ, експлуатуються таким чином, щоб підтримувати температуру оболонки ТВЕЛ нижче 60°C.

2. Найбільша температура оболонки ТВЕЛ, яка дорівнює 40,5°C, досягається при проектній події - транспортування ВТВЗ в СЕП, завантаженому у внутрішньо майданчиковому транспортному контейнері при температурі навколишнього повітря плюс 30°C.

4.Критерії вибухо- і пожежебезпеки.

1. Система протипожежного захисту СВЯП-1 повинна виконувати такі функції:

- профілактика загорянь;
- оперативне виявлення загорянь;
- локалізація загоряння;
- оперативне і надійне гасіння пожеж.

Для досягнення цих цілей система включає в себе кілька пасивних і активних заходів як усередині, так і зовні будівлі СВЯП-1.

2. Пасивний захист від пожежі повинен складатися із заходів, що перешкоджають виникненню і поширенню полум'я, таких, як вибір вогнестійких і негорючих матеріалів і будівельних конструкцій в пожежонебезпечних зонах з вогнестійкістю 1,5 год, розподіл приміщень на пожежні зони і відсіки, мінімізація використання горючих матеріалів і речовин, установка бака з дизельним паливом в спеціальному приміщенні, розділеному на пожежні відсіки і обладнаному протипожежними дверима.

3. Активний захист від пожежі повинен включати в себе заходи виявлення і гасіння пожежі, такі, як автоматична пожежна сигналізація, водяна система пожежогасіння, переносні і ручні засоби гасіння пожеж, спеціальні режими вентиляції.

4. Вибухобезпека СВЯП-1 повинна забезпечуватись за рахунок вибору конкретних проектних характеристик:

- не використовуються вибухонебезпечні гази;
- ніякі хімічні реакції не використовуються в технологічному процесі;
- горючі матеріали, наявні в значній кількості, обмежуються горючим паливом;
- здійснюється утилізація радіолітичного водню.

5. Критерії екологічної безпеки.

1. Санітарно-захисна зона СВЯП-1 встановлюється в розмірах санітарно-захисної зони ЧАЕС. В умовах проектних аварій викиди обмежуються відповідно до критеріїв, визначених в НРБУ-97:

- разові приземні концентрації ^{137}Cs , обумовлені викидом, в ближній (до 5 км) і дальній (до 30 км) зонах істотно нижче контрольних рівнів, які складають $3,7 \cdot 10^{-2}$ Бк/м³ та $3,7 \cdot 10^{-4}$ Бк/м³ відповідно;
- внесок прогнозованого забруднення викиду, що відноситься до експлуатації СВЯП-1, в забруднення території, сформованого при аварії на ЧАЕС, істотно нижче і становить не більше 0,06%.

2. Вплив на зовнішнє середовище за рахунок аерозольних викидів визначається виключно радіоактивними випадіннями з приземного шару атмосфери. Тому, з урахуванням проведених оцінок, впливом на всі інші ланки екосистеми, властиві цій території, можна знехтувати в порівнянні з фоновими, зумовленими радіаційною обстановкою, що вже склалася в Чорнобильській зоні.

Для забезпечення безпеки СВЯП-1 необхідно:

1. Обґрунтувати поточний рівень безпеки сховища ВЯП (в період до його консервації і закриття) і визначити необхідність втручання для забезпечення радіаційної безпеки працівників (персоналу) і населення.

2. Провести за необхідності всі практично здійсненні заходи з метою підвищення безпеки, спрямовані на реалізацію наступних принципів:

- не перевищення допустимих меж індивідуальних доз опромінення працівників (персоналу) і населення (принцип нормування);

- підтримання на можливо низькому рівні з урахуванням економічних і соціальних факторів індивідуальних доз опромінення і числа опромінюваних осіб з населення (принцип оптимізації);

- зменшення шкідливого впливу в результаті зниження доз повинно бути достатнім для обґрунтування збитків і витрат, в тому числі соціальних витрат, пов'язаних з таким втручанням.

3. Обґрунтувати довготривалу безпеку сховища ВЯП (в період після його консервації і закриття) і визначити необхідність втручання для забезпечення радіаційного захисту населення.

4. Прийняти за необхідності всі практично здійсненні заходи щодо забезпечення довгострокової безпеки сховища ВЯП.

Для регулювання безпеки СВЯП-1 необхідно:

1. Регулювання поточного рівня безпеки сховища ВЯП (період до його консервації і закриття):

- нормативне регулювання безпеки та ліцензування видів діяльності з ВЯП, включаючи регламентацію технічних заходів щодо забезпечення ядерної та радіаційної безпеки сховищ відпрацьованого ядерного палива, критеріїв прийнятності ВЯП, спрямованих на зберігання (поховання) в сховищах ВЯП, кількості ВЯП, що надходить до сховища ВЯП;

- нагляд за станом бар'єрів на шляху поширення радіоактивних речовин зі сховищ ВЯП в навколишнє середовище;

- нагляд за дотриманням норм і правил, що регламентують безпеку персоналу і населення;

- нагляд за виконанням інструкцій з експлуатації сховища ВЯП.

2. Регулювання довготривалої безпеки сховища ВЯП (період після його консервації і закриття) - оцінки довготривалої безпеки, що включають прогноз довгострокової поведінки штучних і природних бар'єрів на шляху можливого розповсюдження радіоактивних речовин в навколишнє середовище.

Кількісний аналіз безпеки СВЯП-1 з використанням вище наведених принципів і загальних критеріїв безпеки в процесі зберігання відпрацьованого палива можливий лише з урахуванням методів об'єктивного вимірювання і прогнозування наслідків небезпеки. В процесі

проведення кількісного аналізу безпеки СВЯП-1 необхідно оцінити повноту і достовірність вихідних даних, адекватність і точність використовуваних схем, обґрунтованість прийнятих припущень і залежність від них одержуваних рекомендацій і висновків.

Під час вибору остаточного рішення необхідно провести оцінку гарантій, які забезпечуються кількісним аналізом, а також розглянути можливе підвищення цих гарантій, застосовуючи міжнародні та національні принципи і критерії безпеки, норми і правила, що дозволяють в сукупності забезпечити необхідну високу надійність і безаварійність в процесі експлуатації СВЯП-1.

За результатами кількісного аналізу можуть бути проведені коригування переліку можливих відмов і ранжування причин відмов обладнання. У перелік вводяться критичні види відмов, які мають найбільшу ймовірність появи, а також відмови, аналіз яких ускладнений.

Висновки

Отже, на основі проведеного аналізу сучасного рівня безпеки СВЯП-1 можливо зробити висновки про те, що завдання дослідження, присвяченого оцінці ядерної, радіаційної та екологічної безпеки, для досягнення мети роботи поставлені вперше в практиці забезпечення безпеки сховища, що дозволяє провести аналіз не тільки безпеки функціонування СВЯП-1, але обґрунтовано продовжити термін його експлуатації на основі принципів і загальних критеріїв безпеки в процесі зберігання відпрацьованого палива котрі задовольняють вимогам чинних міжнародних та національних норм і правил.

У зв'язку з ключовою роллю СВЯП-1 в процесі поводження з ВЯП реакторів РВПК-1000 продовження терміну експлуатації сховища було одним з пріоритетних завдань забезпечення довготривалого безпечного поводження з ВЯП. Особливістю організації продовження терміну експлуатації СВЯП-1 була недостатня повнота нормативної бази, що деталізує продовження терміну експлуатації.

Деякі важливі особливості в процесі реконструкції СВЯП-1 можна представити як наступні заходи:

- конструкція установки зберігання, повинна забезпечувати необхідний біологічний захист в будь-якій доступній точці, щоб зменшити радіаційне опромінення персоналу на майданчику;
- максимально можливе навантаження на дно басейна витримки повинно бути розраховане, виходячи з висоти упаковок з ВЯП;
- сховище повинне експлуатуватись так, щоб попередити корозію і руйнування упаковок з ВЯП, пов'язану з високою вологістю, морозами або іншими несприятливими кліматичними факторами;

- так як упаковки з ВЯП повинні дозволяти скидання радіолітичних газів, що утворюються під час зберігання, то вентиляційна система повинна забезпечувати зменшення вогнебезпечних газів і не допускати скучення вибухонебезпечних сумішей;

- ВЯП повинні зберігатися в спорудах забезпечених протипожежною системою;

- повинна бути забезпечена ефективна система відводу тепла;

- все транспортне обладнання для сховища (наприклад, крани, конвеєри та ін.) має бути спроектовано, зважаючи на можливість механічних або електричних аварій і необхідність подальшого вилучення для відновлення устаткування та/або переміщення упаковок з ВЯП;

- обладнання для поводження і транспортування разом з обраними принципами зберігання повинно дозволяти вилучати будь-яку упаковку з ВЯП, що зберігається, для інспекції в будь-який час;

- днище сховища повинно дозволяти відведення будь-яких вод, що випадково потрапили в установку і взяття проб для виявлення можливого забруднення;

- повинні вестися записи про розташування і зміст кожної упаковки з ВЯП;

- сховище ВЯП має мати можливість простого розширення за допомогою модульних конструкцій.

Для забезпечення можливості продовження терміну експлуатації СВЯП-1 на основі використання запропонованих принципів і загальних критеріїв безпеки в процесі зберігання відпрацьованого палива було рекомендовано виконати такі роботи з реконструкції:

- замінити вантажопідйомне обладнання з метою забезпечення виконання вимог сучасних норм і правил;

- збільшити продуктивність та надійність системи охолодження води басейнів витримки;

- провести роботи по посиленню будівельних конструкцій (прогонових ферм, колон) з метою підвищення їх сейсмічної стійкості з урахуванням сучасних вимог;

- полегшити покрівлю, розташовану над залом зберігання ВЯП;

- ввести в експлуатацію аварійну дизельну електростанцію автономного живлення;

- ввести в експлуатацію додаткові відсіки зберігання ВЯП (вузол примикання), що дозволить істотно збільшити місткість сховища в порівнянні з проектною;

- провести технічне переоснащення системи блискавкозахисту існуючої будівлі СВЯП-1.

Література:

1. Проектирование установок хранения отработанного топлива. Серия изданий МАГАТЭ по безопасности. № 116, МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Вена, 1994.
2. Эксплуатация установок хранения отработанного топлива. Серия изданий МАГАТЭ по безопасности. № 117, МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Вена, 1994.
3. 50-SG-D10 Серия изданий МАГАТЭ «Системы обращения с топливом и хранения его на атомных электростанциях», МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Вена 1994.
4. Оценка безопасности установок хранения отработанного топлива. Серия изданий МАГАТЭ по безопасности. № 118 МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Вена 1994.
5. Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку».
6. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища».
7. Закон України «Про поводження з радіоактивними відходами».
8. Закон України «Про захист людини від впливу іонізуючих випромінювань».
9. ПНАЕ Г-14-029-91 «Правила безпеки при зберіганні і транспортуванні ядерного палива на об'єктах атомної енергетики», 1991.
10. НП 306.02/1.034-2000 «Загальні положення забезпечення безпеки атомних станцій», 2000.

Інформація про авторів:

Задунай О.С. - Державний науково-дослідний інститут спеціального зв'язку та захисту інформації м. Київ, Україна, 03142, вул. М. Залізняка, 6.

Євланов В.М. - Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки м. Київ, Україна, 03142, вулиця Василя Стуса, 35-37.

Азаров С.І. - Інститут ядерних досліджень НАН України, м. Київ, Україна, 03680, пр. Науки, 47.

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

With the purpose of fulfilling the requirements of the "National program for decommissioning the Chernobyl NPP and transforming the Shelter object into an environmentally safe system," with regard to the release of blocks from spent nuclear fuel (SNF) and the timing of the decommissioning of the Chernobyl NPP, it is necessary to scientifically substantiate the conditions for safe storage and storage SNF in the SNF storage facility (ISF-1), since the release of SNF blocks 1, 2 from the SNF will allow to start the works envisaged at the stage of final closure and conservation of 1-3 blocks in the Chernobyl nuclear power plant.

Before all fuel will be placed in ISF-1, it is necessary to justify the extension of its operation period, as well as to perform an analysis of existing principles and safety criteria in the SNF storage process, which meet the basic principles of Ukraine's state policy in the field of SNF management and take into account IAEA recommendations.

ЕКОЛОГІЧНА СВІДОМІСТЬ ЯК БАЗОВА СКЛАДОВА ЕКОЛОГІЧНОЇ КУЛЬТУРИ ОСОБИСТОСТІ

Заставнюк О. О.

Негативний вплив діяльності людини на стан природи, різке погіршення екології Землі розуміє більшість людей. Створюються різні громадські організації, метою яких є запобігання змін клімату, формування екологічної культури населення, інформування людей про екологічну ситуацію в світі, регіоні, на місці проживання, пошук шляхів вирішення різних екологічних проблем тощо.

Також за останні роки з'явилося чимало наукових праць, автори яких розкривають завдання, форми і методи екологічного виховання та формування екологічної культури особистості. Рішенням Колегії міністерства освіти і науки України у 2001 році затверджена Концепція екологічної освіти України, у якій пріоритетним напрямком визнано підготовку громадян з високим рівнем екологічних знань, екологічної свідомості і культури на основі нових критеріїв оцінки взаємовідносин (гармонійного співіснування) людського суспільства й природи» [5].

Особливості екологічного виховання школярів розглядалися Т.В. Бабіною, Г.О. Білявським, О.Л. Герасимчук, О.С. Мамешіною, В.О. Семенюк, Р.С. Фурдуй, Г. В. Ярчуком та іншими науковцями. Результатом екологічного виховання має бути сформована екологічна культура людини, що характеризується різнобічними глибокими знаннями про навколишнє середовище, наявністю світоглядних ціннісних орієнтацій щодо природи, екологічним стилем мислення і відповідальним ставленням до природи та свого здоров'я. Поняття «екологічна культура особистості» включає у себе не тільки рівень оволодіння нею тією чи іншою сферою знання, а й рівень вихованості та освіченості людини, спосіб її поведінки, ставлення до інших людей та природи. До навколишнього світу людина пристосовується завдяки свідомості. Отже, метою екологічного виховання є формування екологічної культури особистості, базовою складовою якої є екологічна свідомість людини.

Свідомість розглядається філософами та психологами, як вища форма відображення дійсності, властива людям і пов'язана з їхньою психікою, абстрактним мисленням, світоглядом, самосвідомістю, самоконтролем своєї поведінки і діяльності та умінням передбачувати результати останньої. Свідомість – здатність людини пізнавати навколишній світ та саму себе за допомогою мислення та розуму, в результаті чого формується інтелект особистості.

«Екологічна свідомість – це індивідуальна і колективна (суспільна) здатність усвідомлювати нерозривний зв'язок кожної окремої людини і всього людства загалом зцілісністю і відносною незмінністю природного

середовища існування людини, усвідомлення необхідності використання цього розуміння у практичній діяльності, вміння і звичка діяти стосовно природи, не порушуючи балансу природного середовища...» [3].

Екологічна свідомість включає у себе цінності, соціальні стереотипи, ідеї, що формують відношення до екологічних проблем. Реалізується екологічна свідомість критичністю у контролі процесу взаємодії людини з природою.

Для того, щоб особистість діяла відповідально у природному та соціальному середовищі, необхідно сформувати в неї достатній рівень екологічної свідомості. Саме завдяки екологічній свідомості людина може ідентифікувати себе як невід'ємну частину живої природи, розуміти взаємозв'язки живої і неживої природи, оцінювати наслідки своїх дій. Формування високого рівня свідомості – це кропітка виховна робота батьків, педагогів, суспільства. Щоб навчити дитину любити квітку, пташку, милуватися природними явищами, дорослі самі мають навчитися це робити, бути прикладом відповідальної поведінки. Починається все з незламаної гілки або незірваної квітки, посадженого спільно з дитиною дерева чи кущика, кинутої до смітника паперової обгортки тощо.

Далі вихователь, а потім вчитель початкових класів формує у дитячі елементарні знання про природу та взаємозв'язки у ній, взаємодію і взаємовплив людини і природи; розуміння погіршення стану навколишнього середовища внаслідок нераціональної господарської діяльності та особистої причетності до екологічних проблем. Використовуючи потенціал шкільних предметів та годин спілкування формує в учнів потребу у здоровому способі життя та навички екологічно доцільної поведінки.

Вчитель як організатор природоохоронної діяльності школярів об'єктивно виступає в ролі лідера в процесі такої діяльності. При цьому школярі завжди відчують, чи займається він цим «від душі» або за обов'язком, що не стимулює відповідного наслідування. Активність вчителя в екологічній діяльності має бути обумовлена високим рівнем естетичного освоєння ним світу природи, його пізнавальним інтересом до природних об'єктів, його натуралістичними захопленнями [9].

В середніх класах забезпечується базовий рівень екологічної освіти. Учитель сприяє розумінню учнями діалектичного характеру впливу науково-технічного прогресу на природу, сутності та причин виникнення глобальних екологічних проблем, усвідомленню первинності природи, всезагального та об'єктивного характеру природних закономірностей. Діти вчать знаходити шляхи досягнення збалансованого екологічно безпечного розвитку, регулювати власні споживання та спосіб життя.

Як зазначає Г. Ярчук «екологічна відповідальність складається з ціннісного, інформаційно-пізнавального (інтелектуального) та поведінкового (діяльнісного) компонентів як культуротворча характеристика має прояв орієнтації на позитивну, екологічно доцільну, безпечну

йкомпетентну діяльність в системі «людина – суспільство – природа», мета якої – самозбереження та самореалізація людини; досягнення стратегічної установки, пов'язаної зі стійкою коеволюцією процесів розвитку людини і біосфери Землі» [8, 96].

У старшокласників вже сформована особистісна екологічна позиція. Вчитель пояснює взаємозалежність екології та економіки, дає знання щодо екологічних проблем України, знайомить з екологічним законодавством.

На сучасному етапі розвитку освіти педагоги шукають та впроваджують нові цікаві форми і методи роботи з дітьми як під час уроків, та і в організації позакласної діяльності. Одним з найефективніших видів дослідницької та суспільно-корисної діяльності школярів є метод проектів. Свого часу П. Блонський писав, що дитина повинна не навчитися теоретичних знань, а, насамперед, навчитися жити. А це означає пізнавати дійсність і перетворювати її [2].

Велика роль у формуванні знань і навичок з екології досягається навчальними закладами безпосередньо через залучення дітей до гурткової (факультативної) роботи еколого-натуралістичного спрямування позакласної та позашкільної освіти [4].

Екологічна освіта та виховання, що спираються на нову екологічну етику здатні формувати всебічно розвинену особистість з раціональним, науково обґрунтованим ставленням до природи [1].

Отже, як зазначено у Національній програмі виховання дітей та учнівської молоді «важливою складовою змісту виховання особистості є ціннісне ставлення до природи, яке формується у процесі екологічного виховання і виявляється у таких ознаках: усвідомлення цінності природи в житті людини, самоцінності природи; почуття особистої причетності до збереження природних багатств, відповідальності за них; здатність особистості гармонійно співіснувати з природою, поводитись компетентно, екологічно безпечно; критична оцінка споживацько-утилітарного ставлення до природи, яке призводить до порушення природної рівноваги, загострення екологічної кризи; вміння протистояти проявам такого ставлення доступними способами; активна участь у практичних природоохоронних заходах; здійснення природоохоронної діяльності з власної ініціативи; посилене екологічне просвітництво. Ціннісне ставлення до природи і сформована на його основі екологічна культура є обов'язковою умовою сталого розвитку суспільства, узгодження економічних, екологічних і соціальних чинників розвитку» [7].

Екологічна освіта та виховання можливі лише при умові, якщо зміст навчальних дисциплін сприяє розвитку екологічно ціннісних орієнтацій, формуванню екологічної свідомості особистості. «Жити щасливо і жити в злагоді з природою – одне й те саме» – сказав Л. Сенека ще у I ст. н.е.

Література:

1. Герасимчук О.Л. Екологічне виховання в контексті сучасної парадигми сталого розвитку // Інноваційні підходи до виховання студентської молоді у вищих навчальних закладах : матеріали Міжнар. наук.-практ. конференції (м. Житомир, 22-23 травня 2014 р.) / За ред. О. А. Дубасенюк, В. А. Ковальчук. – Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2014. – С. 401-406.
2. Горбачова О.Ю. Формування у школярів соціальних компетентностей засобами проектної діяльності екологічного спрямування/ О. Ю. Горбачова // Класному керівнику. Усе для роботи. – 2016. –№ 6. – С. 9-12.
3. Дідков О. Формування екологічної свідомості та культури засобами освіти та виховання особистості.[Електронний ресурс] / режим доступу:<http://www.ird.npu.edu.ua/files/didkov.pdf>.
4. Екологічна освіта і виховання: досвід та перспективи. – Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Київ: Центр екологічної освіти та інформації, 2001. – 248 с.
5. Концепція екологічної освіти України [Електронний ресурс] / Рішення Колегії МОН України № 13/6-19 від 20.12.2001. / режим доступу: <http://shkola.ostriv.in.ua/publication/code-148b3b2021c2c>.
6. Мамешина О.С. Психологічні умови розвитку екологічної свідомості старшокласників у системі позашкільної освіти : автореф. дис. ... канд. пед. наук : 19.00.07 / Мамешина О.С. ; Інститут педагогіки і психології професійної освіти АПН України. – К., 2004. – 25 с.
7. Національна програма виховання дітей та учнівської молоді в Україні [Електронний ресурс] / Постанова академії педагогічних наук України № 1-7/6-98 від 01.07.2004./ режим доступу: <http://ukraine.uaprago.net/data/base28/ ukr28703.htm>.
8. Ярчук Г. В. Екологічне виховання: сутність та основні напрями [Текст] / Г.В. Ярчук // Вища освіта України. – 2008. - № 2. – С. 91-97.
9. Ясвин В. А. Психология отношения к природе / В. А. Ясвин. – М.:Смысл, 2000. – 456 с
10. Юрченко Л. І. Екологічна культура як системотворчий чинник екологічної безпеки: автореф. дис... д-ра філософ. наук: 09.00.04 / Л. І. Юрченко. – Харків, 2009.–31 с.

Інформація про автора:

Заставнюк О.О. - Славутицький міський методичний центр
e-mail: olenazastavnyuk@gmail.com

ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ГЕОНЕБЕЗПЕК НА ОБ'ЄКТИ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Іванік О. М.

Оцінка ризиків природних катастроф є ключовим елементом процесу прийняття ефективних рішень і розробки політики у сфері попередження надзвичайних ситуацій. Це багатопрофільний процес, що дає змогу ідентифікувати, виконати кількісну оцінку та зрозуміти масштаб і наслідки ризиків, з якими стикається суспільство.

У межах території України однією з найактуальніших є проблема прогнозування впливу небезпечних геологічних процесів на функціонування природно-техногенних систем (ПТС), з метою попередження надзвичайних ситуацій та уникнення економічних та соціальних проблем. Розв'язання цієї проблеми охоплює два аспекти: перший - цільові територіальні дослідження, спрямовані на пізнання природи і уточнення механізму формування і поведінки у геологічному середовищі небезпечних явищ з урахуванням природних чинників та факторів техногенного впливу, і другий – розроблення сучасних ефективних засобів інформаційно-аналітичного забезпечення цільових досліджень і заходів, спрямованих на попередження небезпечних геологічних процесів та їх адекватну якісну та кількісну оцінку.

Методологія регіонального та локального прогнозування небезпечних геологічних процесів та кількісної оцінки їх силового впливу на інженерні комплекси включає: коректний аналіз геологічних процесів та геологічних ситуацій в межах територій прояву небезпечних геологічних процесів та модельних полігонів; дослідження природних ризиків, визначення вхідних параметрів моделювання на основі теоретичних, емпіричних та експериментальних даних та ГІС-аналізу; постановку комплексних задач якісної і кількісної оцінки впливу геологічних процесів і середовищ на функціонування інженерних комплексів, природно-техногенних систем та розрахунки їх напружено-деформованого стану; розробку фізичної, геолого-фізичної та математичної моделі геологічного середовища та процесів із супутнім ГІС-аналізом; прогнозування впливу небезпечних геологічних процесів на об'єкти критичної інфраструктури; оцінку природних ризиків; розробку превентивних заходів з метою мінімізації негативного впливу небезпечних геологічних процесів на об'єкти критичної інфраструктури.

На основі використання ефективних методик для оцінки і прогнозування небезпечних геологічних процесів застосовано два головні підходи. Перший підхід ґрунтується на комплексному аналізі чинників формування процесів із застосуванням статистичних методів, ГІС-аналізу та картографічного моделювання. Другий підхід передбачає польові роботи, моніторинг та чисельне моделювання небезпечних геологічних процесів з метою локального прогнозування [3-4].

Серед небезпечних геологічних процесів одними із найбільш поширених є зсувні явища, що призводять до значних соціальних та економічних збитків [1-2]. Проте вони часто залишаються поза увагою, оскільки їх формування може бути спричинене більш масштабними геонебезпеками, такими як землетруси, паводки та селі [5-6]. McGuire та ін. (2002) зазначили, що "зсуви є найбільш поширеною та недооціненою природ-

ною небезпекою на Землі". Україна, інтегруючись у європейську наукову спільноту, потребує створення єдиної інтегрованої інформаційно-аналітичної системи (ІАС) моніторингу та прогнозування природно-техногенних комплексів, яка включає розробку бази даних (статична модель), програмного інтерфейсу для реалізації функцій обробки даних (функціональна модель), а також визначення організаційних заходів для наповнення системи початковими даними та даними проведеного моніторингу (динамічна модель), що змінюють стан статичних моделей. Однією з головних ланок цієї системи повинна бути національна база даних небезпечних геологічних процесів. Інформаційне моделювання небезпечних геологічних процесів демонструє його практичну результативність, оскільки становить базу для забезпечення ефективного і безпечного функціонування інфраструктурних об'єктів, зниження технічних, природних, фінансово-ресурсних і соціальних ризиків та визначення раціонального комплексу превентивних заходів без громіздкого та фінансово обтяжливого традиційного обсягу спеціалізованих досліджень.

Література:

1. Инженерная геодинамика Украины и Молдовы (оползневые геосистемы): в 2 т. / под ред. Г.И Рудько, В.А. Осипока. – Черновцы: Букрек, 2012. – Т.1 – 742 с., Т.2. – 744 с.
2. Наукове супроводження геологічних об'єктів з метою оптимізації використання ресурсів надр (моніторинг надрокористування) / під ред. Г.І. Рудька. - Київ-Чернівці, 2015. - 592 с.
3. Pelletier J. Quantitative modelling of Earth processes / J. Pelletier. – Cambridge, 2008. – 295 p.
4. Foster C., Gibson A., Wildman G. The new national Landslide Database and Landslide Hazard Assessment of Great Britain // *First World Landslide Forum (Tokyo, Japan, 18-21 Nov. 2008) : papers.* – Режим доступу до журн. : <http://nora.nerc.ac.uk/4694/>.
5. Garsia_Rodriguez M.J., Malpica J.A., Benito B., Diaz M. Susceptibility assessment of earthquake-triggered landslides in El Salvador using logistic regression // *Geomorphology.* – Vol. 95. – 2008. – P. 172-191.
6. Wei Wu. Recent Advances in Modelling Landslides and Debris Flows. Springer Intern. Publishing. - 2015. - 323 p.

Інформація про автора:

Іванік О.М. - Київський національний університет імені Тараса Шевченка, ННІ "Інститут геології", м. Київ
e-mail: om.ivanik@gmail.com

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

INFORMATIONAL SUPPORT OF MODELLING OF NATURAL HAZARDS IMPACT ON THE INFRASTRUCTURE OBJECTS

Olena Ivanik

Abstract: Risk assessment of natural hazards is a key element in effective decision-making and policy development in the emergency situations prevention. Ukraine is characterized by active geological processes within different structural-tectonic and landscape-climatic zones, which requires a unified approach to the development of a system of their assessment, inventory and monitoring with the subsequent forecasting, and assessment of the impact on the infrastructure objects. The national database of natural hazards processes is the most comprehensive source of information on the distribution of these processes in different regions of the country, and the main task is the input, processing, analysis and updating of information on hazardous processes.. Using ArcGIS10 provides the ability to display spatial information, store positional and non-positional attributive data, and perform spatial analysis and modelling operations with the purpose of further prediction of natural hazards at the regional and local levels.

Keywords: modelling, natural hazards, GIS, risk assessment

Authors' Information

Olena Ivanik – Head of Department of General and Historical geology, Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine; e-mail: om.ivanik@gmail.com

Major Fields of Scientific Research: GIS-analysis, numerical modeling of natural hazards, Quaternary geology and geomorphology

**ОЦІНКА РІВНІВ РАДІОНУКЛІДНОГО ЗАБРУДНЕННЯ
ТА ПОТУЖНОСТІ ПОГЛИНЕНОЇ ДОЗИ ДЛЯ РИБ
У ВОДОЙМАХ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ**

Каглян О., Гудков Д., Кіреєв С., Юрчук Л.

Анотація: Наводяться результати оцінки рівнів радіонуклідного забруднення та потужності поглиненої дози опромінення для риб у водоймах Чорнобильської зони відчуження впродовж 2012–2017 рр. Найвищі значення питомої активності радіонуклідів зареєстровані в рибі озер Вершина, Глибоке і Азбучин – 930–25900 Бк/кг для ^{137}Cs і 2030–148600 Бк/кг для ^{90}Sr . В рибі водойми-охолоджувача ЧАЕС вміст ^{137}Cs відмічений в діапазоні 610–9400 Бк/кг до 2014 р. (до початку зниження рівня води) і 870–5070 Бк/кг у 2017 р, а ^{90}Sr – 40–280 Бк/кг до 2014 р. і 80–480 Бк/кг у 2017 р. Питома активність радіонуклідів у рибі замкнутих водойм в період досліджень у всіх випадках набагато перевищувала допустимі рівні, згідно прийнятих в Україні нормативів для рибної продукції – в 58–4245 разів для ^{90}Sr і в 6–173 рази для ^{137}Cs . Середньорічна питома активність ^{137}Cs у представників іхтіофауни всіх досліджених водойм упродовж 2012–2017 рр. продовжувала поступово знижуватись, в той час, як

вміст ^{90}Sr залишався без змін, а в деяких водоймах існує тенденція до збільшення вмісту радіонукліда. Вперше застосовано новий модифікований підхід у визначенні дозових навантажень на рибу на основі програмного забезпечення «ERICA Assessment Tool» з урахуванням сезонної міграції риби у водоймі.

Ключові слова: Чорнобильська зона відчуження, водойми, риби, ^{90}Sr , ^{137}Cs , потужність поглиненої дози

Вступ

Радіонукліди, що надходять у водойми, залучаються до біогеохімічних циклів водних екосистем і, мігруючи по харчових ланцюгах, ефективно накопичуються верхніми трофічними рівнями, які в більшості водойм займають риби – один з об'єктів харчування людини. Особливу актуальність такі процеси набувають на територіях, що зазнали інтенсивного радіонуклідного забруднення [2, 4, 5]. Водойми Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ) продовжують характеризуватися високими рівнями радіонуклідного забруднення зі складною структурою розподілу і динамікою фізико-хімічних форм, які впливають на їхню міграцію і концентрування гідробіонтами, зокрема, рибами.

Важливою складовою досліджень впливу йонізуючого випромінювання на представників іхтіофауни є оцінка потужності поглиненої дози (ППД), яку отримують риби за рахунок зовнішніх та внутрішніх джерел йонізуючого випромінювання. Важливу роль у формуванні дози зовнішнього опромінення риб відіграють рівні радіонуклідного забруднення донних відкладів, які суттєво відрізняються в межах однієї водойми.

Головною метою роботи було визначення рівнів радіонуклідного забруднення води, донних відкладів, представників іхтіофауни водойм різної з різним гідрологічним режимом в межах ЧЗВ та оцінка впливу міграційної поведінки риб на формування ППД за умов гетерогенного характеру радіонуклідного забруднення донних відкладів у різних екологічних зонах водойм.

Матеріали і методи досліджень

Відбір іхтіологічного матеріалу, а також абіотичних компонентів водних екосистем виконували впродовж 2012–2017 рр. у водоймах ЧЗВ – озерах Глибоке, Вершина, Азбучин, Янівському затоні та водоймі-охолоджувачі (ВО) ЧАЕС і р. Прип'ять. Були проаналізовані представники 4 видів хижих риб – сом європейський (*Silurus glanis* L.) віком 4–15 років, щука звичайна (*Esox lucius* L.) віком 1–11 років, судак звичайний (*Stizostedion lucioperca* L.) віком 3–9 років, окунь звичайний (*Perca fluviatilis* L.) віком 4–9 років. Серед "мирних" видів риб досліджено представників фітофагів: краснопірку звичайну (*Scardinius erythrophthalmus* L.) віком 2–8 років., плітку (*Rutilus rutilus* L.) віком 4–7 років; зоопланктонофагів – синця (*Abramis ballerus* L.) віком 3–5 ро-

ків, верховодку звичайну (*Alburnus alburnus* L.) віком 2–4 років; еврифагів – карася сріблястого (*Carassius gibelio* Bloch) віком 2–12 років, карася золотого (*Carassius carassius* L.) віком 2–12 років; придонних бентофагів – лина (*Tinca tinca* L.) віком 7–9 років, ляща звичайного (*Abramis brama* L.) віком 2–5 років та ін.

Визначення питомої активності радіонуклідів у воді, донних відкладах і рибі проводили гамма-спектрометричними та радіохімічними методами [12]. Похибка вимірювання становила 15–25%. Питому активність радіонуклідів у воді розраховували у Бк/л, в донних відкладах – у Бк/кг повітряно-сухої ваги, а в рибі – у Бк/кг сирової ваги. Отриману рибою ППД оцінювали у мкГр/год та Гр/рік. Базові розрахунки дозового навантаження для риб виконували за допомогою програмного забезпечення ERICA Assessment Tool [3] за розширеною методикою, яка виконувалась у декілька етапів і дозволила врахувати зміни ППД, яку отримують різні види під час сезонних міграцій у водоймі. За для цього було проаналізовано видові особливості поведінки риб у водоймі, а також рівні радіонуклідного забруднення донних відкладів різних екологічних зон – зимувальних ям, прибережних територій, а також місць нересту і нагулу риб. На основі літературних даних [1, 6, 9–11] та власних досліджень [2, 4, 5, 7] були розраховані дозові навантаження для риб упродовж різних сезонів року. Іхтіологічний матеріал для досліджень був наданий ДСП «Екоцентр». Оскільки розраховані дозові навантаження для карася сріблястого і золотого практично не відрізнялись, ми використовували у тексті родову назву – карась.

Результати досліджень

Дозові навантаження на риб формуються за рахунок зовнішнього (переважно від донних відкладів і води) та внутрішнього (за рахунок інкорпорованих радіонуклідів) опромінення. Певні складнощі становить оцінка дози опромінення від донних відкладів, оскільки риба є достатньо мобільним біологічним об'єктом з характерною сезонною міграційною поведінкою в залежності від еколого-біологічних особливостей, притаманних кожному окремому виду.

Спираючись на досвід колег та літературні дані [1, 6, 9–11], річний життєвий цикл риб був умовно поділений на 4 періоди, серед яких особлива увага приділялася просторово-часовим особливостям локалізації риби впродовж даного періоду відносно дна водойми. Оскільки питома активність ^{90}Sr і ^{137}Cs у донних відкладах у межах однієї водойми може істотно варіювати, нами був проведений аналіз радіонуклідного забруднення донних відкладів у місцях нересту, нагулу риб, а також у зимувальних ямах. Так, наприклад, в оз. Глибоке в зимувальних ямах середня питома активність ^{90}Sr і ^{137}Cs у шарі донних відкла-

дів 0–35 см знаходиться, відповідно, на рівні 20100–94000 і 124100–1117900 Бк/кг, тоді як в місцях нересту на мілководді та прибережній смузі ці величини становили 1200–5660 та 13150–39000 Бк/кг, відповідно. В місцях нагулу межі питомої активності ^{90}Sr та ^{137}Cs були, відповідно, 6450–20830 і 13150–359800 Бк/кг. Результати власних попередніх досліджень радіонуклідного забруднення іхтіофауни водойм ЧЗВ з різною проточністю свідчать, що найбільшими величинами питомої активності радіонуклідів характеризується риба природних озер: ^{90}Sr – 2030–148570 Бк/кг; ^{137}Cs – 930–25900 Бк/кг (табл. 1 і 2).

Таблиця 1 – Межі питомої активності ^{137}Cs у головних представників іхтіофауни водойм ЧЗВ упродовж 2012–2017 рр., Бк/кг ($\pm 15\%$)

Вид	Оз. Глибоке	Оз. Азбучин	Янівський затон	ВО ЧАЕС	Оз. Вершина
Лин	1460–2710	2850–3580	420–800	900–1190	–
Карась	2175–8390	4040–4980	500–1200	1310–1770	930–25900
Плітка	1590–3820	–	440–860	670–3145	–
Краснопірка	2040–20730	–	580–3390	610–1090	–
Окунь	3800–15090	4620–5600	1520–6040	2460–9400	–
Щука	3340–7690	5690–7720	1550–2590	2770–3080	–

*«–» – не визначали (вид відсутній або малочисельний у водоймі).

Деякі менші значення відмічені для риби водойми з більш високим рівнем проточності – Янівського затону, відокремленого від руслової частини р. Прип'ять наливною дамбою: ^{90}Sr – 440–8220 Бк/кг; ^{137}Cs – 420–6040 Бк/кг. Мінімальні значення вмісту радіонуклідів були притаманні рибі річкової екосистеми – р. Прип'ять: ^{90}Sr – 2–121 Бк/кг; ^{137}Cs – 5–293 Бк/кг. Питома активність радіонуклідів у рибі озер Глибоке, Вершина і Азбучин в період досліджень у всіх випадках істотно перевищувала допустимі рівні, згідно прийнятих в Україні нормативів для рибної продукції (35 Бк/кг для ^{90}Sr і 150 Бк/кг для ^{137}Cs [8]), – в 58–4245 раз по ^{90}Sr і в 6–173 раз по ^{137}Cs . Найбільші значення питомої активності ^{90}Sr відмічені для карасів оз. Вершина – 36130–148570 Бк/кг.

Таблиця 2 – Межі питомої активності ^{90}Sr у головних представників іхтіофауни водойм ЧЗВ упродовж 2012–2017 рр., Бк/кг ($\pm 25\%$)

Вид	Оз. Глибоке	Оз. Азбучин	Янівський затон	ВО ЧАЕС	Оз. Вершина
Лин	7750–10690	4050–4840	1300–1500	90–110	–
Карась	13260–20140	5980–13730	1820–3990	80–420	36130–148570
Плітка	10570–16310	–	1520–3780	41–420	–
Краснопірка	11015–20760	–	1740–4580	120–480	–
Окунь	6460–15750	2030–2440	620–8220	60–280	–
Щука	5310–8710	2960–9460	660–1940	50–70	–

*«–» – не визначали (вид відсутній або малочисельний у водоймі).

В рибі руслових ділянок р. Прип'ять в межах ЧЗВ за час досліджень зареєстровані поодинокі випадки незначного перевищення допустимих рівнів ^{137}Cs і ^{90}Sr як для «мирних», так і для хижих видів риб.

На прикладі представників виду краснопірки звичайної оз. Глибоке (рис. 1) та ВО ЧАЕС (рис. 2) наведена динаміка середньорічної питомої активності радіонуклідів у рибі замкнутої та умовно непроточної водойми у ЧЗВ упродовж 2012–2017 рр.

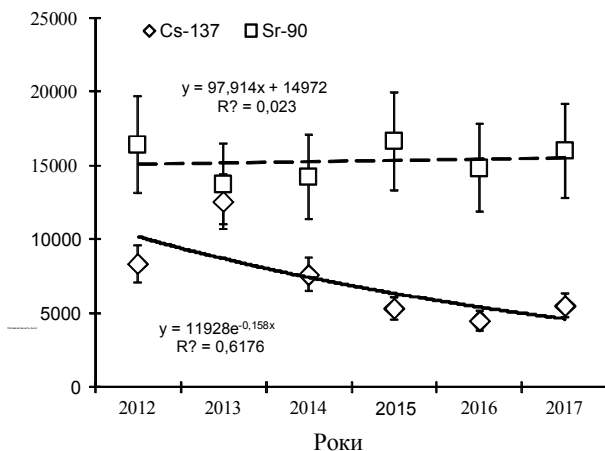


Рис. 1. Динаміка середньорічної питомої активності радіонуклідів у краснопірці звичайній оз. Глибоке впродовж 2012–2017 рр.

Аналіз даних, які отримані за шість років, свідчать про те, що питома активність ^{137}Cs у представників іхтіофауни практично всіх водойм ЧЗВ продовжує повільно зменшуватись з певними коливаннями в межах варіювання вмісту радіонукліду в різних вибірках. Рівень питомої активності ^{90}Sr у представників іхтіофауни озер практично залишається без змін (див. рис. 1). Виняток становлять ВО ЧАЕС і оз. Азбучин, в яких питома активність ^{90}Sr у рибі має тенденцію до збільшення (див. рис. 2). Наприкінці 2014 р., після припинення водозабезпечення ВО ЧАЕС і спрацювання рівнів води, почалося зниження рівня води також і в розташованому поблизу оз. Азбучин, яке має гідралічний зв'язок з ВО. Припускається, що ця масштабна гідрологічна подія у ВО призвела до змін гідрохімічного режиму обох водойм, а також ремобілізації ^{90}Sr у донних відкладах і на осушених територіях. Принаймні впродовж останніх років спостерігається збільшення питомої активності радіонукліда у воді ВО (до 2–2,5 разів) і оз. Азбучин (до 7–8 разів), що в свою чергу призвело до зростання вмісту радіонукліду в рибі.

Власні оцінки свідчать, що величина ППД, при розрахунках якої враховуються особливості сезонної міграції риб у водоймі, може збільшитися у 1,5–2 рази у порівнянні зі стандартними методами розрахунку за допомогою наведеного вище програмного забезпечення. На прикладі лина звичайного, який за нашими даними отримує максимальну дозу опромінення, досліджувані водойми ЧЗВ по зменшенню середньорічної потужності поглинутої дози рибою ($\pm 30\%$) можна розташувати у наступний ряд: оз. Глибоке (1,146) > оз. Азбучин (0,465) > ВО ЧАЕС (0,274) > Янівський затон (0,133) > р. Прип'ять (0,001 Гр/рік).

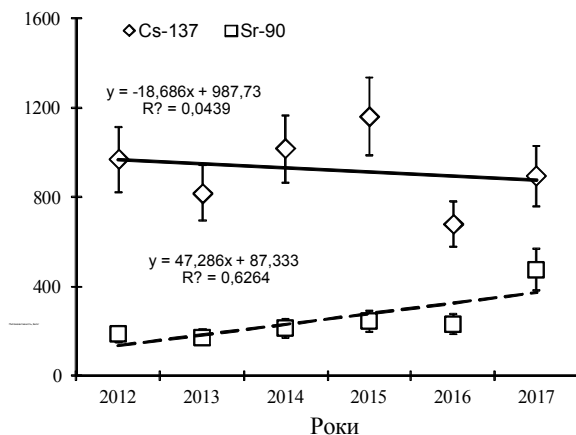


Рис. 2. Динаміка середньорічної питомої активності радіонуклідів у краснопірці звичайній з ВО ЧАЕС упродовж 2012–2017 рр.

Побудований ряд зменшення ППД для різних видів риб ВО ЧАЕС виглядає наступним чином (мкГр/год): 31,3 (лин) > 22,6 (сом європейський) > 17,0 (карась сріблястий) > 13,0 (плітка) > 10,9 (окунь) > 10,0 (краснопірка) > 9,1 (синець) > 8,8 (щука) > 6,0 (верховодка). За нашими даними максимальні дози опромінення отримують придонні види риб – лин, карась і сом європейський.

В оз. Глибоке впродовж останніх 6 років потужність загальної поглиненої дози опромінення для лина становила 1,15, а для карася – 0,74 Гр/рік. Головним радіонуклідом, який обумовлює зовнішнє опромінення риб ЧЗВ є ^{137}Cs . Розрахунки показали, що внесок ^{137}Cs в загальну дозу для риб озер і Янівського затону становить 76,2–99,0%, а для риб ВО ця величина (за даними 2017 р.) була близька до 100%.

ППД, яку отримує риба у водоймах ЧЗВ впродовж головних життєвих циклів може відрізнятися у 2–45 разів, переважно за рахунок різної інтенсивності зовнішнього опромінення від донних відкладів.

Мінімальну дозу майже всі види риб отримують в період нересту, який проходить переважно в літоральній зоні водних об'єктів (0,86–14,07% від загальної річної дози опромінення), що пояснюється порівняно невисокою питомою активністю головних дозоутворювальних радіонуклідів у прибережних донних відкладах. Післянерестовий період і час нагулу припадає на теплу пору року та пов'язаний з міграцією риб до більш глибоководних та забруднених радіонуклідами зон водойм, тому внесок у дозу, яку риба отримує впродовж цього періоду, становить 1,8–35,0%. На холодні осінні місяці, коли риба більше часу проводить на глибині, припадає 1,96–29,89% річної дози опромінення. Взимку, переважна більшість риб, знаходячись на зимувальних ямах або поблизу дна, отримує максимальну дозу зовнішнього опромінення. Внесок у загальну дозу опромінення, яку отримує риба в зимувальних ямах замкнутих або умовно непроточних водойм ЧЗВ у холодну пору року знаходиться у межах 43,0–92,0%. Отже половину і більше загальної дози, яку отримує риба у водоймах ЧЗВ припадає на зимовий період.

Висновки

Таким чином, за період 2012–2017рр. вивчена видоспецифічність і динаміка накопичення ^{90}Sr та ^{137}Cs в рибі водойм і водотоків ЧЗВ з різним гідрологічним режимом та рівнем радіонуклідного забруднення. Риби замкнутих водойм ЧЗВ продовжують характеризуватись високим вмістом ^{90}Sr і ^{137}Cs . Найбільші рівні питомої активності радіонуклідів відмічено в рибі озер Вершина, Глибоке, Азбучин: ^{137}Cs – 930–25900 Бк/кг; ^{90}Sr – 2030–148570 Бк/кг. В рибі ВО ЧАЕС вміст ^{137}Cs реєструвався в діапазоні 610–9400 Бк/кг (до 2014 р.) і 870–5070 Бк/кг (у 2017 р.), а ^{90}Sr – 40–280 Бк/кг (до 2014 р.) і 80–480 Бк/кг (у 2017 р.).

Питома активність радіонуклідів у рибі замкнутих водойм ЧЗО в період досліджень у всіх випадках набагато перевищувала допустимі рівні, згідно прийнятих в Україні нормативів для рибної продукції – у 58–4245 разів по ^{90}Sr і у 6–173 рази по ^{137}Cs . Найбільш високим значенням ^{137}Cs характеризуються облігатні та факультативні хижаки – судак, окунь, щука, білізна та чехоня. Серед «мирних» видів найбільші показники питомої активності ^{90}Sr і ^{137}Cs практично у всіх водоймах відмічені у краснопірки.

Середньорічна питома активність ^{137}Cs у представників іхтіофауни всіх водойм ЧЗВ упродовж 2012–2017 рр. продовжує поступово знизуватись, в той час, як вміст ^{90}Sr у рибі залишається практично без змін (озера Глибоке і Вершина та Янівський затон) або навіть існує тенденція до його збільшення (ВО ЧАЕС та оз. Азбучин), що пов'язано із спрацювання рівня у ВО ЧАЕС і ймовірними процесами ремобілізації радіонукліда у донних відкладах та на осушених територіях.

Аналіз даних показав, що максимальну ППД йонізуючого опромінення отримують придонні види риб – лин, карась і сом європейський. Головним радіонуклідом, який обумовлює зовнішнє опромінення риб ЧЗВ є ^{137}Cs . Внесок дозового навантаження, яке отримує риба в зимувальних ямах замкнених та умовно непроточних водойм ЧЗВ, до річної дози опромінення знаходиться у межах 43,3–80,9%. Внесок внутрішньої ППД становить 1,2–40,6%. За рахунок інкорпорованого у тканинах ^{90}Sr у більшості непроточних водойм (за винятком ВО) формується близько 60,5–99,3% внутрішньої дози опромінення риб. Тому ^{90}Sr в даний період можна вважати головним радіонуклідом, який формує внутрішню дозу опромінення риб у більшості водойм ЧЗВ.

Застосований модифікований підхід до визначення дозових навантажень для риб ЧЗВ за допомогою програмного забезпечення ERICA Assessment Tool з урахуванням міграційної активності риб у водоймах свідчить, що розрахована даним методом потужність поглиненої дози у 1,5–2,0 рази вище і є більш наближеною до реальних дозових навантажень, які зазнають риби у водоймах ЧЗВ, у порівнянні зі стандартними методами розрахунку.

Література:

1. Belyaev V.V., Volkova Ye. N. Mechanisms of forming of seasonal variations of ^{90}Sr and ^{137}Cs content in freshwater fishes // *Hydrobiological Journal*. – Т. 49, № 5. – 2013. – Р. 81–89.
2. Gudkov D.I., Kaglyan A.Ye., Nazarov A.B., Klenus V.G. Dynamics of the Content and Distribution of the Main Dose Forming Radionuclides in Fishes of the Exclusion Zone of the Chernobyl NPS // *Hydrobiological Journal* – 2008. – Vol. 44, No 5. – Р. 87–104.
3. ERICA Assessment Tool 1.0. The integrated approach seeks to combine exposure/dose/effect assessment with risk characterization and managerial considerations (Version November 2012) (<http://www.ERICA-tool.com>).
4. Kaglyan O.Ye., Gudkov D.I., Klenus V.G., Shyroka Z.O., Nazarov O.B. Strontium-90 in fish from the lakes of the Chernobyl Exclusion Zone // *Radioprotection*. – 2009. – 44, No 5. – С. 945–949.
5. Kaglyan A.Ye., Gudkov D.I., Klenus V.G. a.o. Radionuclides in fish of the Chernobyl exclusion zone: species-specificity, seasonality, size- and age-dependent features of accumulation // *Radiation & Applications (RAD Association Journal)*, Vol. 1, Issue 2. – 2016. – Р. 111–114.
6. Волкова О.М., Беляєв В.В., Зарубін О.Л. та ін. Формування дозових навантажень на риб водойми-охолоджувача Чорнобильської АЕС // *Наукові записки Тернопільського національно-педагогічного університету. Серія біологічна*. – 2010. – № 2 (43). – С. 61–64.
7. Гудков Д.И., Кагрян А.Е., Киреев С.И., Назаров А.Б., Кленус В.Г. Основные дозообразующие радионуклиды в рыбе зоны отчуждения Чернобыльской АЭС // *Радиационная биология. Радиоэкология*. – 2008. – 48, № 1. – С. 48–58.

8. Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді (ДР-97). – К., 1997. – 38 с.
9. Мовчан Ю.В., Смірнов А.І. Риби .Коропові // Фауна України.- К.: Наукова Думка, 1983. – Вип. 2, Т. 8, Ч. 2. – 354 с.
10. Мовчан Ю.В. Риби. Сомові // Фауна України – К.: Наукова Думка, 1988. – Вип. 3, Т. 8. – 368с.
11. Никольський Г.В. Екологія рыб. – М.: Высш. шк., 1979. – 368 с.
12. Практикум по ветеринарній радіобіології / Под ред. А.Д. Белова. – Москва: Агропромиздат, 1988. – 236 с.

Інформація про авторів:

Каглян Олександр Євгенійович - старший науковий співробітник відділу водної радіоекології Інституту гідробіології НАН України, кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник.

Гудков Дмитро Ігорович - завідувач відділом водної радіоекології Інституту гідробіології НАН України, доктор біологічних наук, старший науковий співробітник.

Кіреєв Сергій Іванович - генеральний директор Державного спеціалізованого підприємства "Екоцентр" ДАЗВ.

Юрчук Людмила Петрівна - молодший науковий співробітник відділу водної радіоекології Інституту гідробіології НАН України.

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

EVALUATION OF RADIOACTIVE CONTAMINATION LEVELS AND ABSORBED DOSE RATES FOR FISH IN WATER BODIES WITHIN THE CHERNOBYL EXCLUSION ZONE

Dr. Alexandr Kaglyan, Dr. Dmitri Gudkov, Mr. Sergiy Kireev, Mrs. Lyudmyla Yurchuk

Abstract: *The result of estimation of levels of radioactive contamination and absorbed dose rate for fish in water bodies within the Chernobyl exclusion zone during 2012-2017 was presented. The highest values of radionuclide concentration registered in fish from lakes Vershina, Glyboke and Azbuchin: 930-25900 Bq/kg for ^{137}Cs and 2030-148600 Bq/kg for ^{90}Sr . In fish of the ChNPP cooling pond the concentration of ^{137}Cs was marked in the range of 610-9400 Bq/kg by 2014 (before the beginning of water level drawdown) and 870-5070 Bq/kg in 2017, and ^{90}Sr - 40-280 Bq/kg by 2014 and 80-480 Bq/kg in 2017. The concentration of radionuclides in fish of closed water bodies in the period of research in all cases was much higher than permissible levels in accordance with the accepted norms for fishery products in Ukraine - in 58-4245 times for ^{90}Sr and in 6-173 times for ^{137}Cs . During 2012-2017 the average annual concentration of ^{137}Cs in representatives of the ichthyofauna of all studied reservoirs continued to decrease gradually, while the concentration of ^{90}Sr remained unchanged, and in some reservoirs there was a tendency to increase the concentration of the radionuclide. A new modified approach was adopted for the first time to determine the dose rates for fish based on the ERICA Assessment Tool software, taking into account the seasonal migration of fish in the reservoir.*

Key words: *Chernobyl exclusion zone, water bodies, fishes, ^{90}Sr , ^{137}Cs , absorbed dose rate.*

Authors' Information

Dr. Alexandr Kaglyan - Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine, Geroyev Stalingrada Ave. 12, 04210, Kyiv, Ukraine

Dr. Dmitri Gudkov - Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine, Geroyev Stalingrada Ave. 12, 04210, Kyiv, Ukraine

Mr. Sergiy Kireev - State Specialized Enterprise "Ecocentre", Shkilna Str. 70, 07270, Chernobyl, Kyiv Region

Mrs. Lyudmyla Yurchuk - Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine, Geroyev Stalingrada Ave. 12, 04210, Kyiv, Ukraine

ПРИБОРЫ И МЕТОДОЛОГИЯ ОБРАЩЕНИЯ С РАО ПРИ СНЯТИИ С ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

*Казимиров А. С., Беккер Б. И., Иевлев С. М.,
Качалин И. Г., Мартынюк Л. Б., Чорный Е. В.*

Аннотация. Кратко представлено состояние вопроса снятия с эксплуатации объектов ядерной энергетики: проанализировано нормативное обеспечение этих вопросов, потребности в его развитии, имеющийся в НПП «АТОМКОМПЛЕКСПРИБОР» (АКП) опыт выполнения работ. Представлены также основные внедренные разработки предприятия, применяющиеся при обращении с РАО и освобождении радиоактивных материалов от регулирующего контроля.

Объекты, использующие атомную энергию, создаются в соответствии с проектами, которые должны предусматривать и снятие с эксплуатации. Общие требования к снятию с эксплуатации установлены Законами Украины [1, 2, 3], санитарными нормами и правилами [4, 5].

В идеале в результате деятельности по снятию с эксплуатации вся площадка объекта должна быть преобразована в «зеленую лужайку» или «коричневую лужайку». В первом случае территория и находящиеся на ней объекты, сооружения и материалы могут быть использованы без ограничения. Во втором – будут установлены определенные ограничения.

Достаточно детально вопросы снятия с эксплуатации ядерных энергетических установок рассмотрены в работе [8].

Важным моментом этой деятельности является нормативное обеспечение. В настоящее время наиболее разработано направление снятия с эксплуатации АЭС и исследовательских ядерных реакторов. Принципиальные положения снятия с эксплуатации установлены Законами Украины [1, 2, 3], более детально эти положения рассмотрены в основных нормативных документах [6, 7]. Они устанавливают общие положения обеспечения безопасности при снятии с эксплуатации

установок, не претерпевших запроектных аварий. Ими устанавливается цель снятия с эксплуатации – достижение на территории, занимаемой установкой условий, максимально снижающих ограничения деятельности на этой территории.

Пути достижения этой цели должны быть определены нормативными документами, в которых будут установлены критерии безопасности территории, сооружений, систем, элементов и материалов, освобождающихся в результате прекращения и снятия с эксплуатации объектов атомной энергии, а также основные требования к методам проверки соответствия этим критериям.

В промежуток времени между прекращением эксплуатации и передачей территории в использование для других целей должен быть выполнен значительный объем работ. Основным содержанием этих работ по возвращению площадки в хозяйственную деятельность является обращение с радиоактивными материалами.

В настоящее время установлен порядок освобождения от регулирующего контроля для материалов в твердом виде [9] и уровни освобождения по критерию удельной активности [10].

Внедрение этих требований в практику требует разработки документов, детализирующих требования [9], а именно установление основного порядка подготовки материалов к освобождению, выполнению измерений, подтверждающих соответствие материалов критериям [10], оформлению необходимых документов.

В 2014-2016 годах в рамках европейского проекта U4.01/10BE: «Совершенствование систем характеристики радиоактивных отходов на действующих атомных электростанциях Украины» и «Процедуры и методология освобождения материалов от регулирующего контроля» АКП принимал участие в разработке проекта методологии освобождения материалов от регулирующего контроля. Нами разработан проект методологии освобождения материалов, который получил положительную оценку международных экспертов и Госатомрегулирования Украины.

Эта методология детализирует на основе рекомендаций МАГАТЭ и практики освобождения материалов ведущих ядерных государств [6]. Она послужила исходным пунктом разработки проекта СТП Чернобыльской АЭС.

Одним из результатов проекта U4.01/10BE является также предоставление Украине метода определения содержания трудноизмеримых радионуклидов (альфа-излучателей, например, изотопов плутония, а также чистых бета-излучателей и радионуклидов, излучающих низкоэнергетическое гамма- и рентгеновское излучение) с использованием масштабирующих коэффициентов.

Еще до выполнения указанного проекта АКП направлял значительные усилия на создание средств и методов определения характеристик радиоактивных отходов (РАО).

В направлении методического оснащения субъектов деятельности по использованию ядерной энергии АКП разработал и внедрил СТП НАЭК «Энергоатом» [11]. Этот СТП определяет порядок проведения измерений характеристик упакованных РАО с помощью нашей установки СЕГ-001м «АКП-С»-ТРО. Она предназначена для определения активности радионуклидов: в несортированных ТРО в первичной упаковке (мешках) в местах образования РАО; несортированных ТРО, помещенных в металлические емкости различных форм и размеров в местах сбора; в ТРО 1- и 2-й групп в контейнерах перед отправкой в хранилища (рисунок 1).

Установка определяет изотопный состав гамма-излучающих радионуклидов, активность которых превышает 1÷2 % суммарной активности измеряемых ТРО.

Оригинальный методический подход к измерениям РАО и алгоритмы обработки, которые заложены в программном обеспечении, позволяют определять активность и изотопный состав РАО, в том числе и несортированных ТРО в упаковках и контейнерах любой формы без проведения пробоотбора.

СТП [11] обеспечено методикой выполнения измерений [12].

СЕГ-001м «АКП-С»-ТРО и методика выполнения измерений внедрены на всех действующих АЭС Украины.

Существенным шагом в развитии методического обеспечения явилась разработка и внедрение методики косвенного определения удельной активности радиоизотопов ^{238}Pu и $^{239+240}\text{Pu}$ в пробах объектов окружающей среды зоны отчуждения ЧАЭС [13] на основании результатов измерения удельной активности реперных радионуклидов ^{90}Sr и ^{154}Eu и установленных для реперных радионуклидов весовых коэффициентов. Удельные активности реперных радионуклидов определяют с помощью сцинтилляционных спектрометров энергий бета-гамма-излучений типа СЕБ-01 и СЕГ-001 с программным обеспечением AkWin производства НПП «АтомКомплексПрибор». Весовые коэффициенты определяются при калибровочных измерениях с применением радиохимических процедур по определению плутония. Диапазон косвенных измерений удельной активности радиоизотопов ^{238}Pu и $^{239+240}\text{Pu}$ находится в пределах от 1 Бк/кг до 30000 Бк/кг. Методика аттестована в установленном порядке ННЦ «Институт метрологии».

Эта методика в определенной мере превзошла в Украине переданный в рамках проекта U4.01/10BE метод масштабирующих коэффициентов.

На рисунке 2 показан общий вид спектрометрического комплекса.

Сходимость результатов определения неразрушающим методом с результатами радиохимического определения показан на рисунке 3. На нем в логарифмическом масштабе показано сравнение результатов косвенного определения $^{239+240}\text{Pu}$ с данными радиохимического определения.

Среднее отклонение экспериментального значения от расчетного составляет 28%, максимальное отклонение – 50%.

Кроме этого, еще в 1992 году АКП разработал методическое пособие [20], которое позже было переработано в утвержденную методику выполнения измерений [21]. Эта методика обеспечивает, в частности, определение удельных активностей природных радионуклидов (^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th).

Для проведения работ по обращению с РАО может использоваться спектрометр энергий гамма-излучения СЕГ-001 «АКП-С» «КЕРН». Данный прибор может использоваться для радиационного контроля металлоломов в виде труб и длинномеров. На рисунке 4 показан общий вид спектрометра, созданного на базе переносного регистратора гамма-спектров ПРС-01.

По состоянию на сегодняшний день в Украине есть собственные наработки и значительный, переданный в рамках международной помощи, опыт характеристики РАО и освобождения материалов от регулирующего контроля. Это является хорошей базой для дальнейшего развития направления с обращения с РАО и освобождения радиоактивных материалов от регулирующего контроля.

Это направление может быть развито и для направления деятельности на урановых объектах, которое достаточно актуально.

В то же время, как предусматривается национальными требованиями и предполагается международной практикой, в конце этой деятельности площадка ядерной установки должна быть передана для использования как «зеленая или «коричневая лужайка». Для этого необходимо разработать дополнительный нормативный и методический аппарат, обеспечивающий передачу территории, сооружений и находящихся там систем в народное хозяйство.

Очевидно, что после освобождения установки от ядерного топлива влияние систем АЭС на радиационную безопасность изменится. Совершенно справедливым является рассмотрение вопроса об изменении классификации систем.

Для этого еще не создана достаточная нормативная и методическая база, не определены критерии безопасности таких объектов. Первым этапом такой работы может быть разработка системы классификации объектов по влиянию на безопасность, критериев такой классификации, как это установлено [14, 15, 16, 17].

Кроме АЭС и исследовательских реакторов Украина обладает значительным ресурсом горнодобывающих и перерабатывающих объектов.

В настоящее время часть этих объектов прекратила свою деятельность и находятся на этапе прекращения эксплуатации. Следует отметить, что прекращение эксплуатации урановых объектов еще недостаточно отрегулировано. Разделом IV действующего документа [19] определяются основные требования безопасности прекращения лицензируемой деятельности. Но не указаны пути реализации нормативных требований.

Таким образом, ситуация с нормативным и методическим обеспечением прекращения эксплуатации урановых объектов сходна с таковой для ядерных реакторов. Существует потребность в расширении нормативной базы, определяющей принципы и критерии классификации территорий, зданий, систем ядерных установок, как указано выше, а также и методической базы, определяющей возможности проверки соответствия объектов установленным критериям.

Литература:

1. Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку» від 08.02.1995.
2. Закон України «Про захист людини від впливу іонізуючих випромінювань» від 14.01.1998.
3. Закон України «Проповодження з радіоактивними відходами» від 30.06.1995.
4. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України, Державні Санітарні Правила 6.177-2005-09-02 (ОСПУ);
5. Норми радіаційної безпеки України НРБУ-97. Державні гігієнічні нормативи ДГН 6.6.1.-6.5.001-98;
6. НП 306.2.02/1.004-98 «Загальні положення забезпечення безпеки при знятті з експлуатації атомних електростанцій та дослідницьких ядерних реакторів».
7. НП 306.3.02/3.040-00 «Вимоги до структури та змісту звіту з аналізу безпеки зняття з експлуатації атомних електростанцій і дослідницьких ядерних реакторів».
8. Снятие с эксплуатации ядерных энергетических установок. А.В. Носовский, В.Н. Васильченко, А.А. Ключников, Я.В. Яценко; К. Техніка, 2005.
9. НП 306.4.159-2010 «Порядок звільнення радіоактивних матеріалів від регулюючого контролю у рамках практичної діяльності».

10. Гігієнічні нормативи «Рівні звільнення радіоактивних матеріалів від регулюючого контролю» затверджені постановою головного санітарного лікаря України від 30.06.2010 №22.

11. СТП 0.03.051-2004. Стандарт предприятия. Твердые радиоактивные отходы. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ И ИЗОТОПНОГО СОСТАВА. Общие положения.

12. Тверді радіоактивні відходи. Активність та ізотопний склад. Типова методика виконання вимірювань з використанням сцинтиляційних спектрометрів НВП "АКП" та програмного забезпечення AkWin/AK1-П. МВИ №7-27-05.

13. Удельная активность радионуклидов плутония в пробах объектов окружающей среды Зоны отчуждения Чернобыльской АЭС. Методика косвенных измерений с использованием сцинтилляционных спектрометров гамма-, бета-излучений с программным обеспечением AkWin. МВИ 06-03/11.

15. «Оценка безопасности установок и деятельности», серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR part 4 (REV. 1), МАГАТЭ, Вена, 2016 г.

16. Safety classification of structures, systems and components in nuclear power plants. — Vienna: International Atomic Energy Agency, 2014. p. (IAEA safety standards series; no. SSG-30).

17. Application of the safety classification of structures, systems and components in nuclear power plants / International Atomic Energy Agency, Vienna, 2016.- IAEA TECDOC series, no. 1787.

18. EUROPEAN COMMISSION, Recommended radiological protection criteria for the clearance of buildings and building rubble from the dismantling of nuclear installations, Recommendations of the group of experts set up under the terms of Article 31 of the Euratom Treaty, RP 113 (2000);

19. Закон України «Про видобування і переробку уранових руд» від 19.11.1997 р.

20. «Вимоги та умови безпеки (Ліцензійні умови) провадження діяльності з переробки уранових руд», затверджені Наказом Державної інспекції ядерного регулювання України від 27.05.2015 № 101, та зареєстровані в Міністерстві юстиції України 12 червня 2015 р. за № 700/27145;

21. «Определение активности естественных радионуклидов в объектах окружающей среды». Методическое пособие. Научно-производственное предприятие «АКП». Киев 1992.

22. «Удельная (объемная) активность гамма-излучающих радионуклидов в счетных образцах объектов технологических и природных сред». Методика выполнения измерений с использованием сцинтилляционных спектрометров энергий гамма-излучения с программным обеспечением AkWin. Свидетельство об аттестации МВИ № 07-119:2011, выданное ННЦ «Институт метрологии».



Рис. 1. Установка СЕГ-001м «АКП-С»-ТРО



Рис. 2. Сцинтилляционные спектрометры энергий бета-гамма-излучений типа СЕБ-01 и СЕГ-001

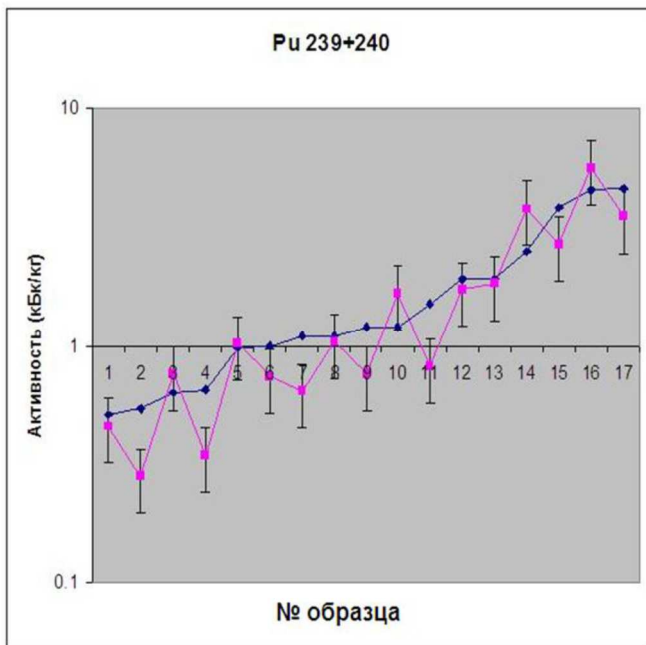


Рис. 3. Сходимость результатов измерений косвенного определения $^{239+240}\text{Pu}$ с данными радиохимического определения

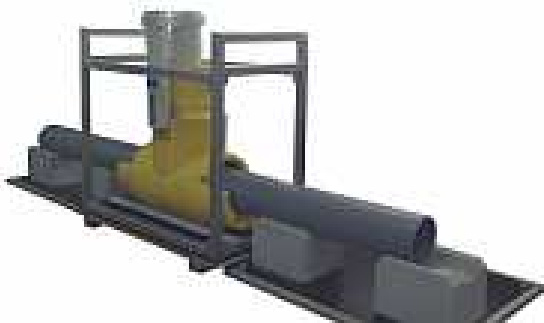


Рис. 4. Спектрометр энергий гамма-излучения СЕГ-001 «АКП-С» «КЕРН»

Информация об авторах:

Казмиров А. С., Беккер Б. И., Иевлев С. М., Качалин И. Г., Мартынюк Л. Б., Чорный Е. В. – ООО НПП «АТОМКОМПЛЕКСПРИБОР», г. Киев.
02660 г. Киев, ул. Магнитогорская, 1.
e-mail akr@akp.kiev.ua

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

Annotation The report briefly discusses the present status of the nuclear installation's decommissioning – regulatory framework, development needs, available Research & Production Enterprise “АТОМКОМПЛЕКСПРЯЛАД” experience in this area. Authors present their main achievements used in the radioactive wastes management and radioactive materials' free release.

О РАБОТАХ ИНСТИТУТА КИБЕРНЕТИКИ ПО МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ СОСТОЯНИЙ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Каленчук-Порханова А. А.

В Институте кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины традиционно ведутся работы по математическому моделированию процессов в сложных систе-мах, в том числе, связанных с экологией, охраной окружающей среды и со смежными им областями.

Ниже приводятся краткие описания основных направлений работ Института кибернетики (ИК) по предложенной тематике, при этом используются авторские сведения ведущих исполнителей работ по направлениям. Для получения более полной информации даются ссылки на соответствующие источники.

1. Создание методов и программных средств для исследования и ранжирование рисков возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера.

В Институте кибернетики по заказу Минчернобыля и НАН Украины под руководством академиков Михалевича В.С. и Сергиенко И. В. выполнялись такие работы:

✓ разработка математического обеспечения, информационных технологий для оценки риска возникновения экологических и техногенных катастроф, прогнозирование эффективности мер по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС;

✓ создание теоретической основы математического моделирования иерархично связанных процессов типа «источник загрязнения – окружающая среда – продукты питания – защитные иммунологические функции организма – иммунный статус организма»;

✓ разработка концептуальных моделей и некоторых алгоритмов формирования иммунодефицитов под влиянием на организм стресса на фоне скомпрометированной иммунной системы с целью защиты и реабилитации иммунной системы населения Украины;

✓ создание методов и программных средств для исследования и ранжирования рисков возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера на потенциально опасных объектах и рисков возникновения заболеваний у ликвидаторов чрезвычайных ситуаций.

В рамках выполнения этих работ были получены важные результаты:

1. Созданы методы для оценки рисков возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера на потенциально опасных объектах (ПОО) на основе моделирования нелинейных систем, поведение которых зависит от внезапных, скачкообразных изменений или фазовых переходов, которые являются следствием малых непрерывных изменений в переменных, воздействующих на систему. Решен ряд задач оптимального управления из класса минимаксных задач.

2. Разработано программное обеспечение (ПО) для расчета и ранжирования рисков возникновения нештатных ситуаций и моделирования динамики соотношений выгод затрат при ликвидации последствий аварий на ПОО на примере ЧАЭС.

3. Разработано ПО для оценки и ранжирования рисков возникновения заболеваний у ликвидаторов чрезвычайных ситуаций на ПОО на примере ЧАЭС с целью проведения интегральной оценки функционального состояния организма, резервных возможностей его жизненно важных систем и для расчета риска возникновения заболеваний.

4. С использованием созданного ПО были получены результаты моделирования распределения радиоактивного загрязнения при выбросе радиоактивных веществ в результате аварии и получены оценки соответствующих рисков (п.1, 2, 3) на примере 10-тикилометровой Чернобыльской зоны отчуждения.

Актуальность полученных результатов на основе разработанных методов и программных средств состоит в существенном повышении эффективности управления рисками чрезвычайных ситуаций техногенного, природного и медико-биологического характеров на ПОО и оптимизации ликвидации их последствий, а также в расширении горизонта прогнозирования возникновения заболеваний и в выработке оптимальной терапии для ликвидаторов чрезвычайных ситуаций [1]- [3].

2. Методология вероятностного анализа безопасности (ВАБ).

Целью этих работ является генерирование сценариев аварий на АЭС и получение количественных оценок риска, что позволяет также выявлять возможные слабые места в конструкции АЭС. Поскольку результаты анализа безопасности используются при лицензировании станции, то одним из основных требований к ВАБ является обеспечение высокого уровня точности полученных оценок.

Под руководством академиков Коваленко И.Н. и Кнопова П.С. в соответствии с Руководством по безопасности МАГАТЭ [4] выполнялись работы на трех уровнях:

✓ анализ последовательности событий, которые могут привести к повреждению активной зоны, и оценка вероятности ее повреждения;

✓ определение пути возможных радиоактивных выбросов со станции и оценка их величины и частоты реализации;

✓ оценка влияния аварии на здоровье людей и оценки таких общественных рисков, как загрязнение территории или продовольствия.

Для анализа безопасности формируется набор исходных событий, которые либо непосредственно вызывают повреждение активной зоны, либо могут привести к этому в случае невыполнения основных функций безопасности (ФБ), согласно [4]. К ФБ относятся определение исходного события, останов реактора, отвод остаточных тепловыделений и защита защитной оболочки.

Центральным звеном в ВАБ является разработка моделей надежности систем безопасности АЭС, для которых характерны два режима работы: режим ожидания и режим выполнения заданных ФБ. Показателем, который характеризует надежность системы безопасности по отношению к исходным событиям, является вероятность невыполнения системой заданных ФБ при поступлении требования на их срабатывание.

По оценке надежности АЭС получены такие результаты:

1. Разработка принципиально нового подхода к оцениванию показателей надежности систем с учетом особенностей функционирования АЭС. Эти работы основаны на методе малого параметра и методах ускоренного моделирования.

2. Разработка методов анализа чувствительности байесовских оценок параметров надежности оборудования АЭС к выбору априорной функции распределения.

Исследования по первому направлению основаны на разработанных И.Н.Коваленко и Н.Ю. Кузнецовым методе малого параметра и методах ускоренного моделирования, результаты которых изложены в работах [5]-[8]. Исследования по второму направлению основаны на методах оптимизации в пространстве функций распределения, результаты которых изложены в работах [9]-[14].

Разработанные методы и программные средства для исследования и ранжирования рисков возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного и природного характера позволяют существенно повысить эффективность управления рисками ЧС на потенциально опасных объектах и оптимизировать ликвидацию их последствий, а также расширить горизонт прогнозирования возникновения заболеваний у ликвидаторов чрезвычайных ситуаций и выработать оптимальную индивидуализированную терапию.

Результаты ВАБ используются при разработке процедур для предупреждения и ликвидации последствий аварий и как исходная информация для планирования технологического регламента станции, который

проводится с целью контроля работоспособности единиц оборудования и устранения обнаруженных неисправностей. Кроме этого результаты ВАБ используются для изучения вклада в риск, который может возникнуть при выводе из эксплуатации единиц оборудования с целью проведения испытаний или технического обслуживания, а также для минимизации риска путем оптимизации периодичности и очередности проведения операций по испытанию и техническому обслуживанию.

Практическая реализация методологии ВАБ и методов получения оценок надежности АЭС была проведена на основе реальных данных функционирования АЭС в Новоукраинке. Также проведены работы под руководством Железняк М.И. и Кнопова П.С. по анализу и прогнозу степени риска наводнений для горных рек Украины и Грузии.

Научное и прикладное значение работ связано с созданием информационных систем поддержки принятия решений для комплексных проблем управления риском, что позволяет оценивать эффективность различных мероприятий по предупредению ЧС и ликвидации их последствий, а также повышают эффективность управления техногенной, природной и медико-биологической безопасностью.

3. Математическое моделирование и исследование процессов в неоднородных средах.

Научной основой этого направления работ и их развития явились фундаментальные исследования академиков И.В.Сергиенко, В. С. Дейнеки и В.В.Скопечкого. Это направление охватывает широкий спектр научных проблем, ориентированных на решение большого числа сложных задач моделирования процессов в средах с неоднородными условиями сопряжения [15]-[17]. К таким проблемам относятся проблемы математического моделирования стационарных и динамических процессов теплопроводности, фильтрации, диффузии, влагосолепереноса, упругого деформирования в многокомпонентных средах.

Использование методов математического моделирования компьютерных технологий позволяет на порядок (а иногда и больше) повысить эффективность решения различных проблем, что приводит к необходимости решения крупноразмерных сверхсложных вычислительных задач и требует использования мощного вычислительного ресурса.

В Украине создана инфраструктура для математического моделирования на основе высокопроизводительных вычислений на базе ресурсных центров, основу которых составляет суперкомпьютер Института кибернетики им. В.М. Глушкова – СКИТ-4, который является одной из самых мощных кластерных систем и обладает десятками технологий, которые позволяют с большой эффективностью решать самые сложные задачи экономики, защиты информации, космических исследований, защиты окружающей природной среды и др. [18].

В ИК проводятся работы в рамках решения проблемы питьевой воды, которая является одной из важнейших мировых проблем. Для решения этой проблемы очень большое значение имеют подземные воды. Например, в Украине 30% населения зависит от использования подземных вод в качестве питьевых.

Совместно с коллегами Института геологических наук НАН Украины на основе работ по созданию информационной технологии моделирования режима фильтрации подземных вод в сложных геологических средах в ИК была создана система САРПОК с использованием математического метода конечных элементов для численного моделирования влияния неоднородностей среды и режимов внешнего воздействия на фильтрационные процессы в грунтовых средах зон бассейнов-отстойников.

Эта система использовалась при определении загрязнения грунтовых вод и вод реки Припять фильтрационным выносом радиоактивного изотопа Sr90 из пруда-охладителя Чернобыльской АЭС, при моделировании напряженно-деформированных состояний плотины Карловского водохранилища канала Днепр-Донбасс и склона Каневской ГАЭС в районе напорного водовода [19].

С этой тематикой по математическому моделированию различных физических процессов, в том числе состояний сложных природных объектов, связано направление работ в ИК, возглавляемое членом-корреспондентом А.Н.Химичем, в области информационных технологий по созданию интеллектуальных систем для математического моделирования и решения сверхсложных крупноразмерных вычислительных задач на основе высоко-продуктивных параллельных вычислений с оценками достоверности результатов.

При численном моделировании таких процессов на основе метода конечных элементов широко используются решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), причем, эффективность численного моделирования существенно зависит от эффективности решения СЛАУ.

С целью значительного повышения эффективности моделирования, в ИК разработан новый не имеющий аналогов параллельный гибридный алгоритм и создано высокопроизводительное программное обеспечение для решения СЛАУ с матрицами больших размерностей и оценками достоверности результатов, что позволило значительно (в десятки раз) уменьшить время моделирования [20]- [24].

На основе расчетных схем метода конечных элементов в ИК создан программный каркас НАДРА-3D, и на его основе разработан конечно-элементный решатель для математического моделирования процессов массопереноса [25].

Основным направлением развития конечно-элементного решателя НАДРА-3D является моделирование процессов фильтрации воды в многокомпонентных геологических средах месторождения подземных вод на больших территориях [26]. Решение проблемы сводится к построению трехмерной модели и решению СЛАУ с ленточной симметричной положительно-определенной матрицей очень больших размеров и требует использования мощного вычислительного ресурса [27], [28]. Компьютерная реализация этой модели основана на использовании разработанного параллельного гибридного алгоритма и высокоэффективного ПО. В качестве вычислительного ресурса используются кластерный комплекс СКИТ-4 и разработанный в ИК совместно с Госпредприятием «Электронмаш» персональный суперкомпьютер Инпарком_rg гибридной архитектуры с высокой производительностью [29]-[31]. На этом суперкомпьютере создана совместно с Институтом геологических наук НАН Украины программно-информационная технология ПК Надра-3D_g. [23], [32].

Конечно-элементный решатель НАДРА-3D и ПК Надра-3D_g используются совместно с Институтом геологических наук НАН Украины для моделирования нестационарного режима фильтрации Киевского месторождения подземных вод и Черниговского месторождения подземных вод с учетом разветвленной сети поверхностных водотоков. Работы по оценке запасов подземных вод регионов Украины являются актуальными для принятия стратегических решений в сфере природопользования и строительства важных гидротехнических сооружений, а также для анализа состояния почв, прогнозирования оползневых процессов.

Разработаны также эффективные методы для решения широкого класса задач анализа надежности сложных технических систем, оценки риска экологически опасных производств, создание высоконадежных систем защиты информации. Это направление возглавляют академики И.Н. Коваленко [33] и В.К. Задирака [34].

4. Автоматизированные системы моделирования состояний объектов окружающей среды

Многие годы АСУ создавались с учетом в основном экономического фактора развития общества, что было обусловлено тем, что примерно с середины XIX века наблюдался значительный рост промышленного производства, который постепенно оказывал активное техногенное воздействие на природу. То, что развитие всех стран осуществлялось с экономическим приоритетом без учета важного экологического фактора, привело к тому, что человечество оказалось на пороге глобальной экологической катастрофы и возникла необходимость срочной *замены экономического приоритета на экологический*. Как известно, следствием

этого стало принятие Организацией Объединенных Наций (1992 год) Концепции устойчивого развития планеты Земля для обеспечения безопасного существования нынешнего и будущих поколений человечества. Таким образом, для реализации принципов устойчивого развития должны создаваться автоматизированные системы *интегрального социо-эколого-экономического мониторинга* на базе требований системного анализа и с учетом *приоритетности экологического мониторинга*.

Учитывая это, в ИК на основе разработанных академиком В. М. Глушковым концепции и принципов создания АСУ и разработанных академиком И.В. Сергиенко свойств автоматизированных иерархических многоуровневых проблемно-ориентированных систем, были *впервые в Украине* созданы автома-тизированная Система имитационного моделирования водных объектов (СИМВО) и автоматизированная Система экологического мониторинга (СЭМ) Киева [35], [36].

Создание СИМВО было следствием важных работ, которые выполнял ИК после катастрофы на Чернобыльской АЭС. В процессе выполнения этих работ был проведен расчет токовых состояний Киевского водохранилища, всего каскада Днепровских водохранилищ и всех лиманов Северо-Западного Причерноморья.

Эти результаты в дальнейшем легли в основу начала работ по строительству канала Дунай-Днепр в рамках Всесоюзной научной программы создания водохозяйственного комплекса Дунай-Днепр, которую впоследствии отменили (см. Историческую справку).

Целью создания СИМВО является получение комплексных оценок экологических состояний конкретных водоемов и водотоков на основе системного подхода к разработке методов математического и имитационного моделирования и использования аппаратно-программных комплексов автоматизации этих исследований [37].

В состав СИМВО входят проблемно-ориентированные подсистемы моделирования изменений кислородного режима и переноса загрязнений в водотоках, процессов в подземных водоносных горизонтах и стационарных стоково-ветровых течений в водоемах «мелкой» воды на отдельных глубинных горизонтах.

Кроме этого, в СИМВО включена подсистема интеллектуализированного способа обработки, сжатия и восстановления с гарантированной точностью массивов числовых данных с использованием аппарата наилучшей чебышевской аппроксимации (APPROXIMATION), которая является инвариантной составляющей во всех подсистемах и используется для предварительной обработки числовых массивов исходных данных с целью их замены с высокой точностью различными аналитическими выражениями. Эта подсистема используется также

для увеличения количества узлов в случаях, когда для компьютерной реализации процесса моделирования не хватает количества значений натуральных исходных данных. В таких случаях подсистема APPROXIMATION обеспечивает получение с гарантированной точностью дополнительных расчетных значений исходных данных, что значительно повышает точность результатов моделирования [38]- [41].

С учетом того, что все модели гидродинамических состояний водных объектов ориентированы только на конкретные гидрообъекты и не пригодны для использования на других объектах, новизна и актуальность разработанных в ИК подсистем СИМВО обосновывается тем, что они были *впервые* разработаны для исследования состояний водоемов и водотоков Украины. Эффективность этих моделей обеспечивается системным подходом к организации вычислительных схем гидродинамических моделей, к получению информационных массивов характеристик конкретных водоемов, созданию баз данных, и к разработке методических рекомендаций и подходов к моделированию водных объектов с целью обеспечения оперативного прогнозирования их состояний в условиях антропогенных воздействий.

Целью разработанной Системы является создание эффективного аппарата математического моделирования для выполнения проблемно-ориентированных работ различными научно-исследовательскими, проектными, народно-хозяйственными и другими организациями по изучению различных внутриводоемных процессов и оперативного прогнозирования их состояний в условиях антропогенных воздействий. Это позволяет не только оценивать и прогнозировать текущее состояние природных процессов, но и имитировать те или иные воздействия и нагрузки и выдавать рекомендации по управлению этими процессами.

Система СИМВО использовалась для расчета стационарных стоково-ветровых течений в Киевском водохранилище и для расчета полойных токовых состояний при различных гидрометеорологических условиях для разных режимов Сасыкского водохранилища, водоемоохладителя Криворожской ГРЭС, водоемов и водохранилищ Днепровского каскада и четырех лиманов Северо-Западного Причерноморья - Днестровского, Тилигульского, Березанского, Днепр-Бугского для различных заданных синоптических ситуаций, разных направлений и скоростей ветра, в том числе и для безветрия.

В дальнейшем результаты СИМВО были включены в Комплексную республиканскую научную программу и в Программу ГКНТ СССР по биосферным и экологическим исследованиям на период до 2015 года, которые не были реализованы (см. *Историческую справку*).

Следует отметить, что до работ ИК для водоемов и водотоков Украины вообще не проводилось математическое моделирование их гидродинамических состояний, поэтому результаты моделирования для перечисленных водных объектов Украины были получены *впервые*, что определяет не только их новизну и постоянную актуальность, но и уникальность с учетом международного уровня водных объектов Украины.

С учётом того, что основные проблемы устойчивого развития государства проявляются и решаются на уровне регионов, экологическое состояние которых определяется, в основном, под воздействием мегаполисов, в ИК была создана и внедрена *впервые в Украине* типовая автоматизированная региональная иерархическая двух-уровневая система экологического мониторинга (СЭМ) города Киева. Эта Система является автоматизированной иерархической двухуровневой системой, что соответствует требованиям функционирования разработанных под руководством академика И.В. Сергиенко иерархических многоуровневых проблемно-ориентированных систем. Целью создания СЭМ Киева было повышение его имиджа как европейской столицы. Из-за отсутствия финансирования развитие этой Системы приостановлено.

Таким образом, СИМВО и СЭМ являются *первыми* в Украине автоматизированными системами в экологии.

Историческая справка.

С учётом того, что III Международная конференция «Проблемы зняття з експлуатації об'єктів ядерної енергетики та відновлення навколишнього середовища» проходит в дни очередной годовщины аварии на ЧАЭС, уместно вспомнить, что в самые первые дни после аварии в связи с реальной угрозой радиационного загрязнения воды руководством Украины и АН УССР перед ИК была поставлена очень сложная задача получения результатов о существующей обстановке и прогнозированию состояния вод Киевского водохранилища и Днепроовского бассейна.

Под руководством директора ИК академика В.С. Михалевича в *начале мая 1986* года сотрудники ИК и ленинградских Институтів озерведения и социально-экономических проблем адаптировали для условий Киевского водохранилища типовую модель токовых состояний водоемов «мелкой воды». Сразу же были начаты в Вычислительном центре (ВЦ) ИК на БЭСМ-6 колоссальные работы по расчету гидродинамических состояний водохранилища в зависимости от всего спектра возможных направлений ветра, результаты которых академиком В.С. Михалевичем немедленно передавались в центральные партийные органы Украины и Союза и сыграли первостепенную роль для принятия первых оперативных решений. Кроме этого, в начале *июня* совместно с сотрудниками ВЦ АН СССР под руководством академика Дороницына А.А. были выполнены работы по адаптации аналогичной модели токовых состояний с целью верификации полученных ранее результатов.

В ИК на базе Специального конструкторского бюро (СКБ) была срочно создана ситуационная комната, где на экране демонстрировались полученные на ВЦ ИК результаты и графические изображения схем циркуляции вод в Киевском водохранилище при различных направлениях ветра.

Полученные результаты передавались в институты АН Украины, которые были подключены к работам по ликвидации последствий катастрофы. Коллективы сотрудников этих институтов создавались во главе с ведущими учеными и лично академиком Б.Е.Патоном работали в тесном контакте с руководством Украины и с образованным Министерством чрезвычайных ситуаций.

Следует отметить, что возложенную на ВЦ ИК важную роль получения *первых в Союзе* результатов по токовому состоянию Киевского водохранилища он смог выполнить оперативно и высокопрофессионально благодаря тому, что в то время был одним из 4-х самых мощных ВЦ в Союзе (в Москве, Новосибирске и Дубне). Кроме этого, ВЦ ИК был ведущей организацией, где проводились первые авторские внедрения всех новых в Союзе разработок по техническому и программному обеспечению БЭСМ-6.

Надо также отметить работы коллектива СКБ ИК по созданию многочисленных пунктов наблюдений с целью получения обобщенной картины загрязненности атмосферы и водосбора Днепра для прогноза миграции радионуклидов. Дальнейшее развитие работ по ликвидации последствий аварий на АЭС, проводимых во главе с М.И. Железняком, получило широкое мировое признание.

На ВЦ ИК были также выполнены работы по расчетам послонных токовых состояний на разных глубинах всех водохранилищ Днепро-вского каскада, Сасыкского водохранилища, водоема-охладителя Криворожской ГРЭС, и четырех лиманов Северо-Западного Причерноморья - Днестровского, Тилигульского, Березанского, Днепро-Бугского. Было просчитано более 1000 вариантов для различных заданных синоптических ситуаций, разных направлений и скоростей ветра, в том числе и для безветрия.

Полученные результаты расчетов в виде листингов, чертежей, изолиний функций тока и векторов скоростей были переданы в Институт гидробиологии НАН Украины и использовались ими в работах по оценкам качества воды, биопродуктивности водоемов и для прогнозирования их гидробиологических показателей. Эти результаты использовались также учреждениями различных министерств и ведомств (Укргипроводхоз, Укрюжгипроводхоз и др.) для разработки новых методических подходов в процессе решения их конкретных проблем-

но-ориентированных задач, связанных с влиянием интенсивных антропогенных воздействий на водные экосистемы Украины и регулярно докладывались и получили высокие оценки на Всесоюзных совещаниях в Москве, и многих городов Союза.

В процессе разработки Межгосударственной Программы создания канала Дунай-Днепр, эти работы легли в основу начала работ по строительству канала в рамках Комплексной республиканской научной программы на 1986–1990 г.г..

По Постановлению ГКНТ СССР была утверждена «Программа биосферных и экологических исследований АН СССР на период до 2015 года», в которую были включены и работы Института кибернетики.

Несмотря на то, что эти Программы не были реализованы, полученные результаты имеют свое большое самостоятельное значение.

Выводы

Институт кибернетики имеет большой опыт по проведению важных фундаментальных научных исследований и серьёзных прикладных разработок при решении сложных научных проблем, включая экологические. Наличие при этом в ИК мощного вычислительного ресурса на базе СКИТ-4 и семейства компьютеров «Инпарком» позволяет гарантировать достоверность получаемых результатов.

С учетом этого существует реальная обоснованная целесообразность привлекать коллектив ИК для эффективного продолжения работ по комплексному решению важнейшей для Украины многофакторной экологической проблемы восстановления и сохранения природной окружающей среды. *Важность и актуальность* решения этой проблемы определяется тем, что она, согласно принятой Концепции устойчивого развития планеты Земля, является *приоритетной* (среди социальной и экономической проблем) при решении *комплексной проблемы* устойчивого развития Украины.

Литература:

1. Михалевич В.С., Яненко В.М., Атоев К.Л. Информационная система для оценки риска экологических катастроф//Моделирование функционального состояния организма и управление им. - Киев: Ин-т кибернетики им.В.М. Глушкова, 1993.- С. 52-74

2. Сергиенко И.В., Яненко В.М., Атоев К.Л. Оптимальное управление иммунным ответом, синхронизирующее отдельные регуляторные звенья иммунной системы. I. Математическое исследование риска патологических нарушений в организме. - Кибернетика и системный анализ.- 1995.- №2.-С.83-99

3. Сергиенко И.В., Яненко В.М. Атоев К.Л. Оптимальное управление иммунным ответом, синхронизирующее отдельные регуляторные звенья иммунной системы. II. Идентификация параметров модели и восстановление пропущенных данных //Кибернетика и системный анализ.- 1997.- №1.-С.146-164.

4. Оценка безопасности и независимая проверка для атомных электростанций. Руководство по безопасности. Серия изданий по безопасности, № NS-G-1.2, Международное агентство по атомной энергии, Вена, 2004, 99 с.
5. Kovalenko I.N. Approximation of Queues via Small-Parameter Method. *Advances in Queueing*, CRC Press, Boca Raton, 1995, pp. 481-506.
6. Kovalenko I.N., Kuznetsov N.Yu. and Pegg Ph.A. *Mathematical Theory of Reliability of Time Dependent Systems with Practical Applications*, Wiley, Chichester, 1997, 303 p.
7. Kovalenko, I.N. Light-traffic analysis of some queueing models with losses. In *Simulation and Optimization Methods in Risk and Reliability Theory*. Nova Science Publishers, Inc, 2009, pp.19-44.
8. Kuznetsov, N. Yu, Fast simulation technique in reliability evaluation of a Markovian and Non-Markovian systems. In *Simulation and Optimization Methods in Risk and Reliability Theory*. Nova Science Publishers, Inc, 2009, pp.69-112.
9. Golodnikov A.N., Knopov P.S., Pepelyaev V.A. Methods for calculating robust Bayesian estimates of reliability parameters, *Proc of Esrel 2000, SARS and SRA Europe annual Conference Edinburg, A.A.Balkema/Rotterdam/Brookfield/1625-1632 (2000)*.
10. Golodnikov, A. N. , P. S. Knopov, and V. A. Pepelyaev. Estimation of Reliability Parameters Under Incomplete Primary Information. // *Theory and Decision*, 2004, v. 57, # 4, pp. 331-344.
11. Голодников О.М., Кнопов П.С., Пепеляев В.А. Робастне оцінювання ризику. К., 2008.
12. S. Knopov and P.M. Pardalos. *Simulation and Optimization Methods in Risk and Reliability Theory*(eds).Nova Science Publishers, Inc., 2009..
13. Golodnikov A., P. Knopov and V. Pepelyaev (2009). Investigation of Bayesian Estimates for Binomial Failure Models. In *Simulation and Optimization Methods in Risk and Reliability Theory*. Nova Science Publishers Inc, 173-220.
14. Голодников А.Н., Ермольев Ю.М., Кнопов П.С. Оценивание параметров надежности в условиях недостаточной информации. *Кибернетика и системный анализ*. — 2010. — № 3. — С. 109-125.
15. И.В. Сергиенко, В.В. Скопецкий, В.С. Дейнека Математическое моделирование и исследование процессов в неоднородных средах. – Киев: Наук. думка, 1991. – 432с.
16. В.С. Дейнека, И.В. Сергиенко, В.В. Скопецкий Модели и методы решения задач с условиями сопряжения. – Киев: Наук. думка, 1998. – 615с.
17. В.С. Дейнека, И.В. Сергиенко Модели и методы решения задач в неоднородных средах. – Киев: Наук. думка, 2001. – 606с.
18. І.В. Сергієнко Математичне та програмне моделювання складних систем з використанням суперкомп'ютерних технологій. – Киев: Вісн. НАН України, 2018. – №3. – С. 39-48.
19. В.С. Дейнека, И.В. Сергиенко, В.В. Скопецкий Математические модели и методы расчета задач с разрывными решениями. – Киев: Наук. думка, 1995. – 262с.
20. Химич А.Н., Молчанов И.Н., Попов А.В., Чистякова Т.В., Яковлев М.Ф. Параллельные алгоритмы решения задач вычислительной математики, К. Наук. думка. 2008.

21. Khimich A., Nikolaevskaya E., Chistyakova T. Programming with Multiple Precision. Studies in Computational Intelligence. – Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. – 2012. – 206 p.
22. Сергієнко І.В., Хіміч О.М., Петрик М.Р., Кане Д., Михалик Д.М. Леккерк С., Фресар Ж. Математичне моделювання масопереносу в середовищах частинок нанопористої структури. – Київ: НАН України. – 2014. – 208 с.
23. Баранов А.Ю., Белоус М.В., Сергиенко И.В., Химич А.Н. Гибридные алгоритмы решения линейных систем для конечно-элементного моделирования процессов фильтрации // Кибернетика и системный анализ. – 2015. – Том 51, №4. – С. 112 – 120.
24. Химич А.Н., Попов А.В., Чистяков А.В. Гибридные алгоритмы решения алгебраической проблемы собственных значений с разреженными матрицами. Кибернетика и системный анализ. 2017. Том 53. № 6. С. 132–146.
25. Белоус М.В. Конечно-элементный решатель Надра-3D // Материалы II-й международной конференции «Кластерные вычисления», Львов, 3-5 июня 2013. – С.40–47.
26. Сергієнко І.В., Дейнека В.С., Шестопапов В.М. та ін. Побудова цифрової моделі геологічного середовища Чернігівського родовища підземних вод // Комплексне управління, безпека і робастність / За ред. Загороднього А.Г., Ермольова Ю.М., Богданова В.Л. – Київ: Академперіодика, 2014. – С. 114 – 125.
27. Великоиваненко Е.А., Миленин А.С., Попов А.В., Сидорук В.А. Методы и технологии параллельных вычислений для математического моделирования напряженно-деформированного состояния конструкций с учетом вязкого разрушения. // Проблемы управления и информатики. – 2014, – № 6. – С. 42–52.
28. Білоус М.В. Інформаційна технологія аналізу просторової динаміки підземних вод у природно складних геологічних середовищах. // Вісник НАН України. – 2015. . – № 6. – С. 68–73.
29. А.Н. Химич, И.Н. Молчанов, В.И. Мова, О.Л. Перевозчикова, В.А. Стрюченко, А.В. Попов, Т.В. Чистякова, М.Ф. Яковлев и др. Численное программное обеспечение интеллектуального МИМД-компьютера Инпарком. – К: Наукова думка. – 2007. – 221 с.
30. Хіміч О.М. Інтелектуальний персональний суперкомп'ютер гібридної архітектури для задач науки і інженерії. Вісник НАН України. 2016. № 5. С. 83–86.
31. Хіміч О.М., Попов О.В., Чистякова Т.В., Рудич О.В., Чистяков О.В. Інтелектуальна система для дослідження та розв'язування задач на власні значення на паралельних комп'ютерах з процесорами Intel Xeon Phi. Штучний інтелект. 2017. № 2. С. 119–127.
32. Белоус М.В. Работа с системами линейных алгебраических уравнений в программном каркасе Nadra-3D // Комп'ютерна математика. – 2017. – № 1. – С. 110–120.
33. Коваленко И.Н., Кочубинский А.И. Ассимметрические криптографические алгоритмы. Кибернетика и системный анализ. 2003. № 4. С. 95–100.
34. Задірака В.К., Олексюк О.С., Комп'ютерна арифметика багато розрядних чисел. К.: Економічна думка, 2003.
35. Глушков В.М. Введение в АСУ. Киев: Техника, 1972. 312 с.

36. Сергиенко И.В., Дейнека В.С. Системный анализ многокомпонентных распределенных систем. □ К.: Наукова думка, 2009. □ 640 с.

37. Лаврик В.И., Каленчук-Порханова А.А. Имитационная система моделирования экологического состояния устьев рек, лиманов и озер северо-западного При-черноморья // Диагноз состояния экосистемы Черного моря и зоны сопряжения су-ши и моря: Сборник трудов научной конференции – Севастополь, 1997. – С. 88-89.

38. Каленчук-Порханова А.А. Аппарат аппроксимации для анализа и синтеза сложных систем // Пр. Міжнар. Конф. "50 років Інституту кібернетики ім.В.М.Глушкова НАН України", Київ, 2008. – С.354– 361.

39. Каленчук-Порханова А.А. Наилучшая чебышевская аппроксимация функций одной и многих переменных./Кибернетика и системный анализ.– 2009.–№ 6.–С. 155–164.

40. Каленчук-Порханова А.А. Автоматизированная система экологического мониторинга как приоритетный фактор устойчивого развития общества. Міжнар. конф. «Сучасна інформатика: проблеми, досягнення та перспективи розвитку»: Тези доповідей. К.: 2013. С. 268–270.

41. Каленчук-Порханова А.А. Математическое моделирование переноса загрязнений в водотоках. Комп'ютерні засоби, мережі і системи. 2015. № 14. С. 16–25.

Информация об авторе:

Каленчук-Порханова Анжелина Алексеевна - Институт кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины, Киев
e-mail:pgt@ukr.net

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

Annotation. V.M. Glushkov Institute of Cybernetics, NAS of Ukraine works on mathematical modeling of processes in complex systems for ecology, environment protection and related domains. The main directions of the Institute work on the estimation of technogenic and natural emergency risks, on the probability analysis and estimation of nuclear power plant security and reliability, on the analysis of processes in heterogeneous geology media and development of an information technology for underground fluid dynamic simulation (in collaboration with Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine) are introduced. Features of the information technology include 3D mathematical models with discontinuous solutions and parallel computing to solve problems of big number of variables. The developed software is used for precise estimation of underground water resources of regions of Ukraine. The computations are executed in the Institute on the powerful multiprocessor cluster SCIT-4 and on the intelligent computers of series Inparcom. Then two more products of the Institute, the automated System of Kyiv Ecology Monitoring and the Simulation System of Water Objects of Ukraine are described.

Keywords: filtration, groundwater, finite element method, discontinuous solutions, numerical modeling, parallel algorithms, system, ecological monitoring, water object.

ОЦЕНКИ ИНГАЛЯЦИОННЫХ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ПРИ СООРУЖЕНИИ НОВОГО БЕЗОПАСНОГО КОНФАЙНМЕНТА «АРКА»

Калиновский А. К., Сизов А. А.

В работе представлены результаты расчета доз облучения персонала, занятого при сооружении нового безопасного конфайнмента (НБК), вследствие попадания радиоактивных аэрозолей внутрь организма через дыхательные пути (ингаляционная доза), рассчитанным по данным мониторинга радиоактивных аэрозолей (РА) в локальной зоне объекта «Укрытие» (ОУ). Показано, что в период проведения основных земляных работ и наблюдения максимальных концентраций РА, годовые ингаляционные дозы не превысили 0,063 мЗв/год, что существенно ниже установленного администрацией Чернобыльской АЭС контрольного уровня ингаляционной дозы 1 мЗв. Основным нуклидом, определяющим ингаляционную дозу, является ^{241}Am . Оценки концентрации ^{241}Am и изотопов плутония в воздухе локальной зоны при прохождении радиоактивного облака, образовавшегося при обрушении фрагмента кровли машинного зала в 2013 г., показали, что кратковременно (менее двух часов) превышали допустимую концентрацию в воздухе для персонала 0,03 Бк/м³.

Ключевые слова: дозы внутреннего облучения, радиоактивные аэрозоли, мониторинг, концентрация $\Sigma\alpha$ - и $\Sigma\beta$ -долгоживущих нуклидов.

Введение

Обеспечение безопасности выполняемых работ на ЧАЭС включает контроль уровня облучения персонала станции и подрядных организаций, в основе которого лежат контрольные уровни (КУ) разрабатываемые администрацией ЧАЭС [1]. Значения контрольных уровней определены, исходя из пределов доз, установленных НРБУ-97, с учетом рекомендаций МКРЗ, сложившейся радиационной обстановки и режима работы персонала, работающего на ОУ.

Дозы внутреннего облучения, связанные с ингаляционным поступлением радионуклидов в организм, не поддаются точному инструментальному контролю, а оцениваются по результатам мониторинга концентраций $\Sigma\alpha$ - и $\Sigma\beta$ -долгоживущих нуклидов (ДЖН) в зонах выполнения работ. При этом установленные КУ концентраций $\Sigma\alpha$ - и $\Sigma\beta$ -ДЖН в приземном слое воздуха локальной зоны обеспечивают не превышение значения годовой эффективной дозы внутреннего облучения 1 мЗв. Значения КУ концентрации и состава контролируемых радионуклидов в аэрозолях периодически пересматривались в зависимости от изменения радиационной ситуации в воздухе локальной зоны. Состав смеси α - и β -излучающих значимых нуклидов (вклад в активность более 5 %) чернобыльского генезиса с 2000 г. практически постоянен. В концентрацию $\Sigma\alpha$ -ДЖН включены изотопы ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu и ^{241}Am , а в $\Sigma\beta$ -ДЖН - изотопы ^{137}Cs , ^{90}Sr + ^{90}Y и ^{241}Pu .

При оценочных расчетах доз ингаляционного облучения необходимо учитывать несколько факторов (исходных данных). Во-первых, состав и соотношение радионуклидов в аэрозоле приземного слоя воздуха.

Во-вторых, тот факт, что радионуклиды в аэрозолях находятся в составе различных химических соединениях, в разном физическом состоянии и относятся к разным классам по растворению. Так, в начале 2000-х больше половины количества ^{137}Cs (более 70 %) относилось к классу S (труднорастворимые), а вторая часть – к классу F (быстро растворимые); ^{90}Sr частично относился к классу M (промежуточная скорость растворения) и, в основном, к классу S; ТУЭ ($^{238+39+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am) полностью попадали в класс S [2, 3].

В-третьих, необходимо принимать во внимание дисперсный состав РА в локальной зоне и в ОУ, исследования которого выполнены авторами [4, 5, 6], показали, что медианный по активности аэродинамический диаметр (АМАД) аэрозолей варьируется в промежутке 1 – 20 мкм и более. Исключение – это периоды проведения огневых работ (сварка и резка металла), при которых наблюдается рост субмикронной компоненты ^{137}Cs . Поэтому, исходя из консервативности оценки доз внутреннего облучения, АМАД аэрозолей локальной зоны ОУ при расчетах ингаляционных доз принимается равным 1 мкм, так как для аэрозолей с таким АМАД соответствует наибольший дозовый коэффициент при поступлении их ингаляционным путем.

Мониторинг радиоактивных аэрозолей в воздухе локальной зоны ОУ.

Результаты мониторинга РА в приземном слое воздуха локальной зоны ОУ на трех пунктах контроля, расположенных по периметру локальной зоны (рис. 1), лежат в основе оценок доз ингаляционного облучения персонала. При этом аэрозоли отбирались путем прокачки воздуха аспирационными установками (АУ) через фильтр ФПП-15-1,5 площадью около $0,8 \text{ м}^2$. Среднесуточная скорость фильтрации составляла от 8 до 12 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$ при линейной скорости 10 – 15 см/с. Период экспозиции фильтров лежал в диапазоне 13 – 17 сут, а при проведении радиационно-опасных работ, связанных с повышенным пылеподъемом он сокращался до 4 - 7 сут.

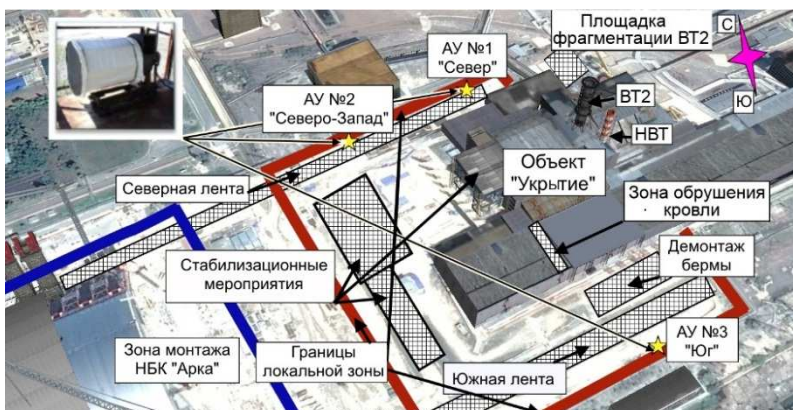


Рис. 1. Схема расположения мест отбора проб аэрозолей и участков проведения отдельных мероприятий в локальной зоне при сооружении НБК «Арка»

Определение состава и объемной активности радионуклидов в аэрозолях приземного слоя воздуха выполнялось на гамма-спектрометрическом комплексе фирмы Canberra, который включал полупроводниковые детекторы с бериллиевыми окнами [7]. Прямые гамма-спектрометрические измерения проб радиоаэрозоля обеспечивали идентификацию ^{137}Cs , ^{241}Am и ^{154}Eu . Соотношение между этими нуклидами указывает на степень трансформации топливных частиц и на возможность применения корреляционного подхода при оценке концентрации в РА изотопов плутония и ^{90}Sr . Достоверность применяемых коэффициентов периодически контролируется методами α -спектрометрии и β -радиометрии после радиохимического выделения.

С конца 1990-х годов при оперативной оценке концентрации ДЖН вклад активности изотопов плутония ($^{238,239,240,241}\text{Pu}$) и ^{90}Sr рассчитывался по корреляционным соотношениям с активностью ^{241}Am и ^{137}Cs в базовом составе облученного топлива [8, 9, 10]. Но с 2015 г. вклад ^{90}Sr в концентрацию $\Sigma\beta$ -ДЖН также начали рассчитывать по соотношению с активностью ^{241}Am . Обоснованность такого изменения была подтверждена результатами специальных экспериментальных работ [11, 12].

Динамика среднегодовых значений концентраций РА в воздухе локальной зоны в период с 1998 г. по 2015 г. и значения КУ концентрации $\Sigma\beta$ -ДЖН, действующих на разных этапах преобразования ОУ, представленные на рис. 2. Например, КУРБ-ОУ-96 и КУРБ-ОУ-98 были установлены контрольные концентрации аэрозольной смеси α - и β -излучающих нуклидов в локальной зоне 0,02 и 11 Бк/м³ соответственно. Но после 2000 г., в связи с улучшением радиационной обста-

новки, КУ были пересмотрены (в КУРБ-ОУ-2000 и КУРБ-ОУ-2002), и по β -ДЖН жесточены до 1,5 Бк/м³. Так как при земляных работах по обустройству фундаментных лент НБК в локальной зоне ОУ произошло ухудшение радиационной обстановки в приземном слое воздуха, то в 2009 г. КУ были введены новые нормативы среднегодовой объемной активности $\Sigma\alpha$ - и $\Sigma\beta$ -ДЖН 0,12 и 9 Бк/м³ соответственно.

Следует отметить, что за весь период мониторинга (1998 – 2015 гг.) среднегодовые значения концентрации $\Sigma\beta$ -ДЖН в локальной зоне были существенно ниже установленных КУ (см. рис. 2). Максимальные среднегодовые концентрации РА соответствовали периоду интенсивных земляных работ (2009 - 2010 гг.) по строительству фундаментных лент НБК. При этом активность $\Sigma\beta$ -ДЖН в 2010 г., была равна 84 мБк/м³, а $\Sigma\alpha$ -ДЖН – 0,84 мБк/м³, а в отдельные летние дни концентрации $\Sigma\beta$ -аэрозолей в воздухе достигали единиц Бк/м³. Поэтому, с учетом наблюдаемых максимальных концентраций РА непосредственно в местах выполнения работ в локальной зоне, в 2012 г. были введены дополнительные нормативы КУ: текущие объемные активности смеси α - и β -ДЖН 1,2 и 90 Бк/м³.



Рис. 2. Динамика среднегодовой концентрации $\Sigma\beta$ -ДЖН чернобыльского генезиса в приземном слое воздуха вблизи ОУ

В 2013 г. произошел ряд событий, которые способствовали росту концентрации РА в локальной зоне. Во-первых, обрушение 12 февраля фрагмента кровли машинного зала с образованием проема площадью около 60 м². Затем проведение мероприятий по демонтажу нестабильных конструкций и закрытия проема в течении шести месяцев. Во-вторых, летом произошли отключения старой вентиляционной тру-

бы(ВТ-2) и ввод в эксплуатацию новой НВТ. В-третьих, в конце 2013 г. выполнялся демонтаж ВТ-2 (31 октября 2013 г. выполнен демонтаж первой секции ВТ-2), с последующей дефрагментацией на площадке возле АБК-3 ЧАЭС. Мониторинг соотношения радионуклидов в аэрозолях в этот период выявил существенные изменения соотношения ^{137}Cs и ^{241}Am по сравнению с топливным.

Оценки ингаляционных дозы облучения персонала

По данным мониторинга объемной активности аэрозолей в воздухолокальной зоне выполнена оценка доз внутреннего облучения персонала E_{int} на разных этапах строительства НБК. Расчеты основывались на консервативном подходе и по следующему алгоритму.

$$E_{int} = \sum_i E_{int}^i,$$

где E_{int}^i – доза, обусловленная ингаляционным поступлением i -радионуклида внутрь организма и вычисляемая по формуле:

$$E_{int}^i = V \cdot k_{II} \cdot t \cdot \sum_j e_{\tau}^{i,j} \cdot C_{inhal}^{i,j},$$

где V – темп дыхания $\text{м}^3/\text{ч}$; k_{II} – коэффициент, учитывающий интенсивность труда; t – время пребывания работника в рабочей зоне, ч; $e_{\tau}^{i,j}$ – доза на единицу поступления активности ингаляционным путем, обусловленная i -тым радионуклидом j -того типа поглощения организмом, Зв/Бк; $C_{inhal}^{i,j}$ – дозовый коэффициент концентрации i -того радионуклида в воздухе рабочей зоны в составе аэрозолей типа j во время производства работ, Бк/ м^3 .

Результаты расчетов E_{int} представлены в табл. 1. При этом соотношение радионуклидов в $\sum\beta$ -ДЖН и $\sum\alpha$ -ДЖН принималось равным среднетопливному. Из представленных расчетных оценок следует, что доза при ингаляционном поступлении радионуклидов входящих в $\sum\beta$ -ДЖН в 2,2 меньше, чем от $\sum\alpha$ -ДЖН. Максимальная доза внутреннего облучения среди наблюдаемых радионуклидов связана с ^{241}Am . Следует отметить, что процентный вклад ^{241}Am в дозу внутреннего облучения растет: в 2010 г. он был равен 45 %, в 2015 г. – 47 %. Минимальная ингаляционная доза в 2010 г. обусловлена ^{137}Cs и приблизительно равна 5,5 %.

В период наблюдения максимальных концентраций РА годовые ингаляционные дозы облучения персонала, пребывающего за границей локальной зоны ОУ или занятого при сооружении НБК «Арка» не превысили 0,063 мЗв/год, что существенно (приблизительно в 20 раз) ниже установленного КУ 1 мЗв.

Таблица 1 – Годовые эффективные дозы внутреннего облучения персонала в 2010 г.

Нуклид	Дозовый коэффициент, Зв/Бк, [13]	Тип раствора-мости	Концентрация, Бк/м ³	Эффективные дозы, Зв/год
¹³⁷ Cs	3,9E-08	S	2,6E-02	2,6E-06
⁹⁰ Sr	1,5E-07	S	2,2E-02	8,5E-06
²⁴¹ Pu	1,6E-07	S	1,0E-02	4,1E-06
∑β-ДЖН		–		1,5E-05
∑Pu	1,50E-05	S	3,9E-04	1,5E-05
²⁴¹ Am	1,60E-05	S	4,5E-04	1,8E-05
∑α-ДЖН		–		3,3E-05
∑ДЖН				4,8E-05

При этом мощность дозы внутреннего облучения персонала в 2010 г. изменялась в диапазоне от $5,6 \cdot 10^{-7}$ мЗв/час (в декабре после завершения основных земляных работ) до $1,0 \cdot 10^{-4}$ мЗв/час (в июне-августе период интенсивных работ по выемке наиболее радиоактивно загрязненного грунта) и также не превысила усредненной мощности дозы $5,9 \cdot 10^{-4}$ мЗв/час, рассчитанной от КУ 1 мЗв.

Данный факт позволил с 2012 г. Администрации ЧАЭС и СП «Наварка» облегчить условия работы персонала в зоне монтажа конструкции «Арки», ограничив применение средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) при возникновении аварийных ситуаций или при выполнении работ с повышенным пылеподъемом.

Дозы внутреннего облучения персонала при обрушении кровли машзала

Кроме обогащения аэрозолей ¹³⁷Cs относительно топливного соотношения, наблюдалось и обеднение. Например, в помещении 012/7 ОУ, где сосредоточены значительные объемы лавообразных топливосодержащих материалов (ЛТСМ), обеднение аэрозолей по ¹³⁷Cs достигает 50 %. Для локальной зоны такие соотношения редки. Например, в момент обрушения фрагмента крыши машзала ОУ площадью около 60 м², в пробах аэрозолей на юге локальной зоны (АУ-3) зарегистрировали пониженное (около 10 %) содержание ¹³⁷Cs, что близко к соотношению радионуклидов в ЛТСМ, а на севере (АУ1, АУ2) обогащение не превысило 10 %. Результаты измерений объемной активности идентифицированных радионуклидов, усредненные за четырнадцатидневный период экспозиции, приведены в таблице 2.

Используя данные установки непрерывного радиационного контроля активности аэрозолей ВАВ6 СП НОВАРКА [14], находящейся на расстоянии около 100 м в западном направлении от эпицентра обрушения, можно оценить время нахождения радиоактивного облака над локальной зоной. Так, приблизительно в 14:30 12.03.13 г. на пункте

контроля было зафиксировано превышение КУ ($1,5 \text{ Бк/м}^3$) объемной активности β -аэрозолей. Максимальное значение достигло величины 19 Бк/м^3 около 16-50, а к 19-30 объемная активность β -аэрозолей в зоне монтажа Арки опустилась ниже уровня КУ. Следовательно, радиоактивное облако находилось над локальной зоной с 14 часов 12 февраля 2013 г в течение 5 часов. Поэтому используя, данные наблюдений на трех АУ (см. таблица 2.) выполнена консервативная оценка возможной концентрации РА в локальной зоне при обрушении кровли машзала (таблица 3).

Таблица 2 – Результаты экспериментального определения объемной активности радионуклидов идентифицированных в аэрозолях локальной зоны

Место отбора	Объемная активность, \pm отн. погрешность (P=0,95)					
	^{154}Eu		^{137}Cs		^{241}Am	
	Бк/м ³	%	Бк/м ³	%	Бк/м ³	%
№1 («Север»)	1,0E-04	23	2,6E-02	20	6,6E-04	20
№2 («Северо-Запад»)	1,5E-04	22	3,5E-02	20	9,1E-04	20
№3 («Юг»)	1,4E-03	20	2,3E-01	19	9,3E-03	19

Таблица 3 – Оценки концентраций радионуклидов в период прохождения радиоактивного облака, Бк/м³

Место отбора	^{154}Eu	^{137}Cs	^{241}Am	$\sum\alpha$ -ДЖН	$\sum\beta$ -ДЖН
№1 («Север»),	7,0E-03	1,8E+00	4,4E-02	8,1E-02	5,2E+00
№2 («Северо-Запад»)	1,0E-02	2,3E+00	6,1E-02	1,1E-01	6,9E+00
№3 («Юг»)	8,0E-02	1,3E+01	5,3E-01	9,7E-01	4,1E+01
Среднее	3,2E-02	5,7E+00	2,1E-01	3,9E-01	1,8E+01

Расчетная величина средней по локальной зоне концентрация β -излучающих аэрозолей 18 Бк/м^3 практически совпадает с максимальным значением активности β -аэрозолей 19 Бк/м^3 , измеренным на пункте радиационного контроля аэрозолей ВАВ6.

Из анализа оценочных данных (см. таблица 5) следует, что максимальные расчетные концентрации радионуклидов по всей локальной зоне превысили допустимые уровни концентрации ^{241}Am , а также и допустимую концентрацию в воздухе рабочих помещений для персонала (категории А - $0,03 \text{ Бк/м}^3$ НРБУ97). Исходя из того, что соотношение радионуклидов в приземном слое воздуха соответствует топливному составу, то можно сделать вывод о том, что на юге концентрации ^{90}Sr и изотопов плутония ($^{238,239, 240, 241}\text{Pu}$), также превысили их допустимую концентрацию (^{90}Sr - 10 Бк/м^3 , изотопы плутония - $0,03 \text{ Бк/м}^3$).

Расчет доз внутреннего облучения для случая обеднения РА по ^{137}Cs (возле АУ-3), представленные в табл. 4. Из которых следует, вопервых, что оценка концентрации $\sum\beta$ -ДЖН при расчете вклада ^{90}Sr в

активность аэрозолей при топливном соотношении радионуклидов или по корреляции с активностью ^{137}Cs на 10 % меньше, чем при расчете по корреляции с активностью ^{241}Am . При этом оценка мощности дозы внутреннего облучения занижена на 10 %.

Таблица 4 – Мощности дозы внутреннего облучения персонала в зависимости от концентраций нуклидов в ДЖН на юге локальной зоны

Состав ДЖН	Доля нуклидов в ДЖН при расчете, %		
	по топливу	по ^{137}Cs	по ^{241}Am
^{90}Sr	38	36	42
^{137}Cs (топл)	46	43	40
^{241}Pu	16	20	18
Концентрация $\sum\beta$ -ДЖН*, Бк/м ³	31	31	33
Доза внутреннего облучения, Зв/час	4,8E-06	4,8E-06	5,0E-06
$\sum\text{Pu}$	47		
^{241}Am	53		
Концентрация $\sum\alpha$ -ДЖН, Бк/м ³	0,97		
Доза внутреннего облучения, Зв/час	2,3E-05		

Примечание - * без учета активности ^{90}Y

Во-вторых, полученная оценка мощности дозы ингаляционного облучения $2,3 \cdot 10^{-2}$ мЗв/час существенно (приблизительно в сорок раз) выше усредненного значения мощности дозы $5,9 \cdot 10^{-4}$ мЗв/час.

Оперативно принятые меры по эвакуации персонала из локальной зоны и применение СИЗОД, после поступления сигнала с установки контроля активности аэрозолей о превышении КУ, минимизировали радиационное воздействие. Так как контроль внутреннего содержания ^{137}Cs в эвакуированного персонала с помощью гамма-спектрометрических комплексов (СИЧ) не выявил у него превышений внутреннего содержания радионуклидов.

Выводы

1. По результатам консервативной оценки годовых доз внутреннего облучения установлено, что в период наблюдения максимальных концентраций РА в 2010 г. дозы, полученные персоналом ЧАЭС, находящимся за пределами локальной зоны или занятого при сооружении НБК «Арка» существенно меньше установленного КУ 1 мЗв. Поэтому, после завершения земляных работ (с 2012 г.), применение СИЗОД персоналом в зоне монтажа конструкций Арки предполагалось только при возникновении аварийных ситуаций.

2. Максимальная доза ингаляционного облучения среди контролируемых радионуклидов обусловлена ^{241}Am , а минимальная – ^{137}Cs .

3. Для снижения влияния на достоверность оценок доз внутреннего облучения персонала, обогащение или обеднение относительно топливного соотношения аэрозолей ^{137}Cs , необходимо использовать при расчетах вклада изотопов плутония и ^{90}Sr концентрацию ДЖН как реперный ^{241}Am .

4. Выброс РА при обрушении кровли машинного зала ОУ подтвердил, сохраняющуюся потенциальную опасность ОУ как источника РА. Особенно это важно учитывать, как при демонтаже нестабильных конструкций внутри арки, так и при выполнении плановых строительно-монтажных работ, сопровождающихся повышенным пылеподъемом, так как при этом радиоактивные аэрозольные частицы будут оседать в ограниченном объеме (подарочном пространстве) и ухудшать радиационную безопасность выполнения работ.

Литература:

1. Контрольные уровни радиационной безопасности 4П-С // Инв. № 12 от 02.02.2012 – Архив ПТС ЧАЭС.

2. Одинцов А.А., Огородников Б.И. Изучение растворимости аэрозолей объекта «Укрытие» в жидкостях различного химического состава // Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобиля. – 2011. – Вып. 15. – С. 85–95.

3. Гаргер Е.К., Одинцов А.А., Шинкаренко В.К., Tschiersch J. Поведение «горячих» аэрозольных частиц из объекта «Укрытие» в имитаторах легочной жидкости. // Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобиля. – 2013. – Вып. 21. – С. 43 – 52.

4. Гаргер Е.К., Кашпур В.А., Корнеев А.А., Курочкин А.А. Результаты исследований выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта "Укрытие" // Проблемы Чернобиля. - 2002. - Вып. 10, ч. 2. - С. 60 - 71.

5. Огородников Б. И., Сухоручкин А. К., Будыка А. К. и др. - Радиоактивные аэрозоли объекта «Укрытие» (обзор). Часть 3. Дисперсность радиоактивных аэрозолей. – Чернобыль, 2004. – 60 с. - (Препр. / НАН Украины. ИПБ АЭС; 04-4).

6. Гаргер Е. К., Кашпур В. А., Скоряк Г. Г., Шинкаренко В. К. Физико-химические характеристики аэрозоля 30-километровой зоны ЧАЭС в 1986 – 2013 гг. // Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобиля. - 2014. - Вып. 23. - С. 54 - 65.

7. Калиновский А.К. Выбор оптимального полупроводникового гамма-детектора при определении содержания радионуклидов чернобыльского генезиса // Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобиля. – 2014. – № 23. С. 119–123.

8. Бегичев С.Н., Боровой А.А., Бурлаков Е.В. и др. Топливо реактора 4-го блока ЧАЭС. Краткий справочник. - Москва, 1990. - 21 с. - (Препр. / Ин-т атомной энергии им. И.В.Курчатова; 5268/3).

9. Выполнение работ по анализу неорганизованных выбросов из объекта «Укрытие»: (Отчет) / МНТЦ «Укрытие» НАН Украины. ГР №0198U007454. – Чернобыль, 1998. – 67 с.

10. Кашпаров В. О., Лундін С. М., Зварич С. І. та ін. Викид та забруднення території радіонуклідами у складі паливних часток // Бюлетень екологічно-го стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. - К.: Чорнобильінтерінформ, 2002. – № 2. – С. 22 – 32.

11. Контроль неорганизованных выбросов из объекта «Укрытие» и аэрозольной обстановки во время строительства НБК: (Отчет) / ИПБ АЭС НАН Украины. ГР № 0114U006202. – Чернобыль, 2014. – 215 с.

12. Калиновский А.К., Одинцов А.А., Чикур Л. Б. Фракционирование радионуклидов в аэрозолях локальной зоны объекта «Укрытие» по результатам радиохимического выделения // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобілля. – 2016. – Вип. 26. – С. 90 – 96.

13. ICRP, 2012. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. ICRP Publication 119. Ann. ICRP 41(Suppl.)

14. Отчет о расследовании аномального события // Инв. № 09 от 26.02.2013 – Архив ПТС ЧАЭС.

Информация об авторах:

Калиновский А.К., Сизов А.А.- Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, ул. Кирова, 36а, Чернобыль, Украина 07270,

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

EVALUATION OF INHALATION DOSES OF PERSONNEL IRRADIATION DURING THE CONSTRUCTION OF NEW SAFE CONFINEMENT "ARKA"

O. Kalynovskyi, A. Sizov

In the work are presented the results doses' calculation due to radioactive aerosols get into the body through the respiratory tract (inhalation dose), personnel employed in the construction of a new safe confinement (NSC) according to the radioactive aerosol (RA) monitoring data in the local area of Shelter Object (SO). It was shown that during the main earth works and observations of the maximum concentrations of RA, the annual inhalation doses did not exceed 63 mkSv/year, which is significantly lower than the established control level of the Chernobyl NPP inhalation dose of 1 mSv. The main dose-forming nuclide for internal exposure of personnel is ²⁴¹Am.

Estimates of concentration of ²⁴¹Am and plutonium isotopes in the air of the local zone during the passage of radioactive cloud which formed in collapse of a part of roof of the turbine hall of SO in 2013, for a short time (less than two hours) exceeded the permissible concentrations in the air for personnel of 0,03 Bq/m³.

Key words: *inhalation dose, radioactive aerosols, monitoring, concentration of $\Sigma\alpha$ - and $\Sigma\beta$ -long-lived nuclides.*

Authors' Information

O. Kalynovskyi, A. Sizov- Institute for Safety Problems of NPP of NASU, Chernobyl, Ukraine

ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ И ВЫВЕДЕНИЯ РАДИОЦЕЗИЯ ИЗ СЕРЕБРЯНОГО КАРАСЯ (*CARASSIUSGIBELIO*) ПРИ РАЗНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ ВОДЫ

*Кашпарова Е. В., Левчук С. Е., Процак В. П., Павленко В. С.,
Гудков И. Н., Кашпаров В. О.*

Некоторые пресноводные рыбы, такие как Серебряный карась (*Carassiusgibelio*) при температуре воды менее 8-10 °С в ноябре-апреле в Чернобыльской зоне отчуждения в Украине перестают питаться. В такой ситуации накопление радионуклидов в организм рыб может происходить только непосредственно из воды при медленном метаболизме химических элементов, что, обычно, не учитывается при прогнозировании радиоактивного загрязнения водных экосистем из-за отсутствия экспериментально полученных параметров математических моделей.

Величины скорости накопления и выведения радиоцезия из Серебряного карася (*Carassiusgibelio*) были получены в серии аквариумных экспериментов при температуре воды 5 ± 1 °С и 22 ± 1 °С. Экспериментальные результаты показывают, что скорости поглощения и выведения ^{137}Cs при низкой температуре в организме рыб в сотни раз ниже по сравнению со скоростью поступления ^{137}Cs вместе с кормом в теплой воде в рыбу. Удельная активность ^{137}Cs в желудке рыб была в 2 раза выше по сравнению с мышечной тканью, кожей и жабрами рыб в отсутствие кормления при низкой температуре.

Коэффициенты выведения ^{137}Cs из рыб был в 5-8 раз ниже по сравнению с коэффициентом накопления при температуре воды 22 ± 1 °С. Динамика уменьшения активности ^{137}Cs (Бк) в организме рыб при использовании разного корма не отличалась, но при этом динамика удельной активности ^{137}Cs (Бк/кг) в рыбе отличалась за счет разной скорости изменения веса рыб в теплой воде.

Показано, что динамика и уровни радиоактивного загрязнения рыбы в случае загрязнения водоемов при температуре воды ниже 10 °С будут на два порядка величины ниже по сравнению с радиоактивным загрязнением водоемов в мае-сентябре при температуре воды около 20 °С.

Информация об авторах:

Кашпарова Е. В., Левчук С. Е., Процак В. П., Павленко В. С., Гудков И.Н., Кашпаров В.О. - Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

**DYNAMICS OF THE RADIOCESIUM UPTAKE AND EXCRETION
FROM PRUSSIAN CARP (CARASSIUSGIBELIO) AT DIFFERENT
WATER TEMPERATURES**

Olena Kashparova, Sviatoslav Levchuk, Valentin Protsak, Vladyslav Pavlenko, Igor Gudkov, Valery Kashparov

Abstract. *Some freshwater fish such as Prussian carp (Carassiusgibelio) stop to feed at a water temperature below 10°C.*

Rate constants of the ^{137}Cs uptake and excretion from fish were obtained in aquarium experiments with different water temperatures. Rate constants of the ^{137}Cs uptake is in hundred times slower in fish from water with temperature of $5 \pm 1^\circ\text{C}$ compared to the rate of ^{137}Cs uptake along with the feeding water temperature $22 \pm 1^\circ\text{C}$. Activity concentration of ^{137}Cs was in 2 times higher in the stomach of fish in comparison with muscle tissue, skin and gills of fish with the absence of feeding at low temperature.

Rate constants of the ^{137}Cs excretions from fish were in 5-8 times lower compared with the water temperature $22 \pm 1^\circ\text{C}$. The dynamics of the activity decrease of ^{137}Cs (Bq) in fish was different for different feeds, but the activity concentration of ^{137}Cs (Bq/kg) in fish differed due to the different rate of change in fish weight in warm water.

The levels of radioactive contamination of fish in the case of pollution of water at temperatures below 10°C will be two orders of magnitude lower compared to water temperature around 20°C .

Authors' Information

Olena Kashparova, Sviatoslav Levchuk, Valentin Protsak, Vladyslav Pavlenko, Igor Gudkov, Valery Kashparov - National University of Life and Environmental Sciences (NUBiP) of Ukraine

**СОЦІАЛЬНА АДАПТАЦІЯ НАСЕЛЕННЯ, ЩО ПОСТРАЖДАЛО
ВНАСЛІДОК АВАРІЇ НА ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ АЕС**

Колтунов К. Д. (наукові керівники: Чичикало Н. І., Розорінов Г. М.)

Проблема соціальної адаптації особистості завжди є актуальною, а в умовах виникнення надзвичайних ситуацій вона постає особливо гостро. За цих умов зростає кількість постраждалих осіб. Від того, як вони змінять свою поведінку та діяльність, взаємодію із соціальним оточенням, буде залежати ступінь їх адаптованості до світу. Адаптованість є одним із критеріїв психічного здоров'я особистості.

Під терміном «надзвичайна ситуація» слід розуміти порушення нормальних умов життя і діяльності людей на території чорнобильської зони, спричинене аварією на атомній-електростанції, що призвели до загибелі людей, тварин і рослин, значних матеріальних збитків та завдали шкоди довкіллю.

Надзвичайні ситуації негативно впливають на психічне здоров'я постраждалих, викликають в майбутньому проблеми, пов'язані із соціальною та соціально-психологічною адаптацією та реадaptaцією до змінених умов середовища. А також

Свідомість, психіка постраждалих додатково травмуються ще й тим, що у них різко змінюються колишні, звичні для них життєві стереотипи, коло спілкування. Ці фактори сприяють формуванню відносно стійких психогенних розладів.

Динаміка цих порушень залежить також від вирішення соціальних питань, які стоять перед постраждалими.

Соціальна адаптація розглядається в медико-психологічній літературі як пристосування індивідуума до умов соціального середовища, формування адекватної системи відносин із соціальними об'єктами, рольова пластичність поведінки, інтеграція особистості у соціальні групи, діяльність щодо освоєння стабільних соціальних умов, прийняття норм і цінностей нового соціального середовища, форм соціальної взаємодії.

Труднощі соціальної адаптації особистості пов'язані з наступними факторами:

- конфліктне прийняття або неприйняття особистістю нових цінностей;
- дефіцит особистісно значущої інформації;
- зміна соціального статусу особистості;
- усвідомлення неможливості змінити ситуацію;
- втрата відчуття особистої безпеки;
- виникнення посттравматичного стресового розладу.

Люди, які стали жертвою аварії на ЧАЕС, намагаються уникати всього того, що може нагадувати їй про пережите, прагне до усамітнення, використовуючи власні ресурси для зменшення травмуючого впливу.

Соціальна адаптація постраждалих у надзвичайних ситуаціях передбачає усвідомлення та прийняття нових установок та цінностей у власній картині світу, гнучкість у виконанні соціальних ролей, використання власних адаптивних ресурсів і можливостей, врахування факторів соціального середовища. В цьому й полягає розробки новітніх технологій, які допомагають пройти усі етапи соціальної адаптації. Саме про них буде йти мова.

Інформація про авторів:

Колтунов К. Д. – Студент НТУУ «КПІм. Сікорського», Київ

Наукові керівники :Чичикало Н. І., Розорінов Г. М. – НТУУ «КПІ ім. Сікорського», Київ

БУДІВНИЦТВО ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО СХОВИЩА ВІДПРАЦЬОВАНОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА У ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ ЧОРНОБІЛЬСЬКОЇ АЕС

Кременовська І., Святогор О., Дорохов О.

Невід'ємною складовою технологічного процесу виробництва електроенергії на всіх атомних електростанціях є поводження з відпрацьованим ядерним паливом (далі – ВЯП). Відповідно до «Енергетичної стратегії України на період до 2035 року» [1], затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017р. № 605-р, у нашій країні передбачено створення на загальнодержавному рівні основи для розбудови системи утилізації відходів паливно-енергетичного комплексу, при цьому особливу увагу акцентовано на завершенні будівництва сховищ відпрацьованого ядерного палива та високорадіоактивних відходів його переробки.

Як показує досвід зарубіжних країн, поводження з ВЯП може мати як спільні риси, так і кардинальні відмінності. Наприклад, існує практика застосування технологій переробки та регенерації ВЯП, вона поширена в таких країнах, як Франція, Великобританія, Індія, Японія та Росія. Певна частина ВЯП, які надійшли з власних АЕС цих країн, а також прийняті на переробку ВЯП з інших країн підлягають переробці на оплатній основі, що дозволяє одержувати додаткові прибутки. Після переробки вилучаються цінні продукти, які надалі може бути використано у нових технологічних циклах. Як інший приклад, існує практика захоронення ВЯП, що застосовується у Фінляндії, Швеції та США.

Більшість країн наразі не визначилися з вибором – переробляти ВЯП для вилучення залишків ядерного матеріалу і повторного його використання або здійснювати захоронення ВЯП без переробки. Тому вони провадять практику «відкладеного рішення», продовжуючи зберігати ВЯП до визначення остаточного варіанту. Загалом питання про захоронення або, навпаки, про доцільність переробки ВЯП вирішується залежно від наявності технологічних можливостей для подальшого використання одержаних у такий спосіб цінних продуктів – плутонію та урану.

Проте навіть з урахуванням зарубіжної практики у сфері поводження з відпрацьованим ядерним паливом на даний час неможливо однозначно вибрати єдину універсальну стратегію, котра могла б відповідати потребам будь-якої держави. У кожній конкретній країні вирішення проблеми повинно значною мірою узгоджуватися зі стратегією організації ядерно-паливного циклу, що визначається національними пріоритетами і програмами розвитку енергетики.

Аналізуючи поточний стан і бачення майбутнього Чорнобильської АЕС, А.В. Носовський констатує, що поводження з ВЯП однією з найскладніших проблем [2, с. 45]. В Україні, де станом на теперішній час ДП «НАЕК «Енергоатом» експлуатує 15 енергоблоків (на ВП ЗАЕС,

ВП РАЕС, ВП ХАЕС, ВП ЮУАЕС і ВП РАЕС), переробка ВЯП також не здійснюється. Протягом усього часу ВЯП вивозилося на переробку до Російської Федерації, і в теперішніх умовах, передусім, з урахуванням окупації та збройної агресії з боку РФ, така схема не може задовольняти інтересів держави. Крім того, сміньсть басейну технологічної витримки ВЯП у РФ, куди вивозиться ВЯП ВВЕР-1000 українських АЕС, протягом найближчих років буде вичерпана. Тому країні зараз потрібні власні сховища ВЯП.

У теперішній час ДП «НАЕК «Енергоатом» здійснює будівництво централізованого сховища відпрацьованого ядерного палива (далі – ЦСВЯП) для зберігання ВЯП РАЕС, ХАЕС і ЮУАЕС. Слід зазначити, що під час роботи над техніко-економічним обґрунтуванням будівництва ЦСВЯП було розглянуто 6 потенційних майданчиків, і за результатами аналізу переважним було визначено майданчик у зоні відчуження, що знаходиться за 12 км на південний захід від Чорнобильської АЕС.

З огляду на ці зрушення, варто пригадати і про те, як протягом останнього десятиліття в українському суспільстві панувало загалом негативне сприйняття ідеї про будівництво та облаштування ЦСВЯП у Чорнобильській зоні відчуження. Передусім, причиною таких настроїв був брак повної та об'єктивної інформації про технології поводження з відпрацьованим ядерним паливом, а також недостатньо ефективне лобіювання інтересів підприємства, що могло б реалізувати цей проект – зокрема ДП «НАЕК «Енергоатом». Негативне сприйняття ідеї суспільством підсилювалося через викривлене та фрагментарне висвітлення цієї теми окремими журналістами та ЗМІ, що розгорнули навколо неї маніпулятивні інформаційні кампанії, спрямовані на дискредитацію такої перспективи загалом. Недобросовісні «акули пера» навмисно перекручували факти, й замість науково обґрунтованих термінів оперували емоційними епітетами: починаючи від слова «могильник» і закінчуючи новотворами на кшталт «кладовище цивілізації».

Насправді ж ЦСВЯП являє собою ядерну установку, стосовно якої застосовуються такі ж само правила охорони та захисту, як і щодо атомної станції. Проектування конструкції та обладнання ЦСВЯП здійснюється з урахуванням його надійності та здатності протистояти всім можливим впливам на нього (землетруси, пожежі, повені, повітряні атаки, терористичні акти). Перед початком будівництва конструкції проходять перевірку випробуваннями, а оцінку безпеки проекту здійснюють спеціально уповноважені державні органи. Як зазначає О.С. Лимарченко, оскільки в атомній енергетиці з міркувань безпеки практично неприпустимо проводити експерименти, а дослідні дані накопичуються з практики експлуатації станції та її підсистем, у даний час істотно зростає роль комп'ютерного моделювання розвитку ситуації при позаштатних впливах і режимах функціонування [3, с. 177].

Свого часу, внаслідок широкого розгортання негативних інформаційних кампаній під їхній вплив потрапили й посадові особи, які працюють у керівних органах держави та відповідно до покладених на них завдань опікуються питаннями державного регулювання сфери енергетики, розв'язання екологічних проблем і охорони навколишнього середовища. Налякані перспективами перетворити частинутериторії України на «світове звалище», вони замість докладання інтелектуальних зусиль і самостійного вивчення питання, приймали та повторювали штучно створені судження й висновки, і тим самим усіяло перешкоджали реалізації ідеї, при цьому відкидаючи думку вчених і фахівців-практиків, для яких вже того часу було зрозуміло, що будівництво сховища відпрацьованого ядерного палива – це крок до майбутньої енергетичної самостійності, інвестиції в майбутнє, накопичення та примноження високотехнологічних ресурсів, які дуже скоро стануть у нагоді (адже технології не стоять на місці). Це, своєю чергою, суттєво загальмувало вирішення проблеми, що постійно відкладалося.

ЦСВЯП буде розташоване на майданчику в зоні відчуження території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи. Для зберігання ВЯП використовуватиметься технологія поверхневого «сухого» зберігання із застосуванням двобар'єрної системи ізоляції ВЯП, що забезпечується обладнанням спеціально спроектованих інженерних систем контейнерного типу. Загальна місткість ЦСВЯП – 16529 відпрацьованих тепловидільних збірок (ВТВЗ) українських АЕС з реакторами типу ВВЕР-440 та ВВЕР-1000. У межах першого пускового комплексу (ПК-1) на майданчику ЦСВЯП буде збудована вся необхідна інфраструктура та встановлено 4 системи зберігання ВЯП. Поставки обладнання для ПК-1 – ПК-4 здійснюватимуться за контрактом з власником технології – компанією HoltecInternational.

Проектування ЦСВЯП здійснюється за контрактом з українським проектантом – Київським науково-дослідним та проектно-конструкторським інститутом «Енергопроект». Проектний термін експлуатації об'єкта – не менше 100 років. Термін введення в експлуатацію пускового комплексу – 2019 рік.

Сьогодні активне ведення робіт з будівництва ЦСВЯП у Чорнобильській зоні відчуження вже не викликає такої хвилі обурення та спекуляцій, які раніше викликала ця ідея. Вочевидь, її розуміння змінилося завдяки тому, що протягом попереднього тривалого періоду вдалося досягти зрушень для подолання інформаційного вакууму та розпочати виховання в суспільстві адекватного ставлення до проблеми, адже тільки правильне і всебічне висвітлення сенсу запланованого проекту здатне створити об'єктивне знання про перспективи його реалізації.

Література:

1. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 р. № 605-р // Урядовий кур’єр. – 2017. – № 167.
2. Носовський А.В. Чорнобильська АЕС: поточний стан і бачення майбутнього / А.В. Носовський // 30 років Чорнобильської катастрофи (огляди). Збірник інформаційно-аналітичних доповідей. – К.: КІМ, 2016. – С. 35 – 59.
3. Лимарченко О.С. Математическое моделирование сценариев развития аварийных ситуаций в элементах конструкций АЭС / О.С. Лимарченко // Друга міжнародна конференція «Проблеми виведення з експлуатації об’єктів ядерної енергетики та відновлення навколишнього середовища» INUDECО’17 (м. Славутич, 25 – 27 квітня 2017 р.). – С. 177 – 179.

Інформація про авторів:

Кременовська Ірина - к.ю.н., с.н.с., Центр економіко-правових досліджень, м. Київ

e-mail: i.v.kremenovskaya@gmail.com

Святогор Олексій, Дорохов Олександр- Центр економіко-правових досліджень, м. Київ

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

Summary. An integral part of the technological process of generating electricity at all nuclear power plants is the management of spent nuclear fuel (hereinafter referred to as SNF). In Ukraine, as of today, 15 power units are in operation. No spent nuclear fuel processing. During all time, spent fuel was exported to the Russian Federation for processing. Under present conditions, such a scheme can not satisfy the interests of the state. Capacity of the technology pool of spent fuel in Russia, where SNF from Ukrainian NPPs is being exported, will be exhausted in the coming years. Therefore, the country now needs its own SNF storage facilities.

The centralized spent fuel storage facility (hereinafter referred to as CSFNP) is a nuclear installation in respect of which the same rules of protection and safety apply as for a nuclear power plant. For the current period in the exclusion zone – a 12 km southwest of the Chernobyl Nuclear Power Plant is being constructed. For storing SNF, the technology of surface «dry» storage with the use of a two-barrier system of isolation of spent fuel, which is provided with equipment specially designed engineering systems of container type, will be used. Project lifetime of the object – not less than 100 years. The term of commissioning of the launch complex is 2019.

РАЗРАБОТКА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ НОВОГО БЕЗОПАСНОГО КОНФАЙНМЕНТА НА ОСНОВЕ CFD-МОДЕЛИ (ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРОЕКТА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ»)

*Круковский П., Полубинский А., Кончуковский П., Скляренко Д.,
Тадля О., Дейнеко А., Хуторный В.*

Ключевые слова: Новый Безопасный Конфайнмент, Объект Укрытие, мониторинг, радиоактивное загрязнение

Новый Безопасный Конфайнмент (НБК) служит определенной преградой распространению радиоактивной пыли и аэрозолей при демонтаже 4-го блока и Объекта Укрытие (ОУ). НБК должен прослужить не менее 100 лет, для чего необходим контроль и прогнозирование его термогазодинамического, влажностного и радиационного состояния. Детальные расчеты такого состояния и прогноза можно эффективно выполнить с помощью современных методов компьютерного моделирования на основе CFD (ComputationalFluidDynamics) моделей, адекватно описывающих необходимые физические процессы, происходящие в этом объекте в различных условиях. Также необходимо не просто следить за показателями параметров объекта в отдельных точках (так называемый мониторинг параметров), но и иметь возможность получать распределение значений этих параметров по всему объекту (мониторинг состояния), а также уметь предсказать достижение критических значений параметров и определить необходимые решения для предотвращения возникновения внештатных ситуаций.

Согласно [1], мониторинг состояния это наблюдение за состоянием объекта для определения и предсказания момента перехода в предельное состояние. Принципиальным отличием мониторинга состояния от мониторинга параметров является наличие интерпретатора измеренных параметров или же экспертной системы поддержки принятия решений о характеристиках состояния объекта и дальнейшем управлении им.

На сегодня функционирует система мониторинга параметров только ОУ "Сигнал" и "Финиш-Р", которая автоматически в определенных точках объекта измеряет параметры радиационного фона, передает и хранит эту информацию в таблицах контроля параметров на протяжении года.

Основной проблемой НБК является опасное воздействие потенциально повышенного радиационного фона в основном объеме на персонал, который будет работать там при разборке завалов и ТСМ в ОУ. Крыша и стены ОУ имеют большое количество щелей и неплотностей,

через которые будет проникать воздух и радиоактивные загрязнения в основной объем НБК, а оттуда в окружающую среду. Из-за перепадов температур внутри ОУ и НБК, которые зависят от времени года и режима работы персонала в ОУ при разборке завалов, теплового состояния НБК и др. параметров внутри НБК возникают нестационарные термогазодинамические процессы тепловой конвекции движения воздуха вследствие существующих в ОУ перепадов температуры между отдельными зонами, где есть топливосодержащие материалы (ТСМ). Лучше всего эти процессы описываются CFD-моделями.

Сформулируем следующие требования к системе мониторинга состояния НБК:

1. Наличие CFD-модели объекта, детально описывающей состояние объекта.
2. Взаимодействие CFD-модели с измеряемыми параметрами объекта.
3. Наличие процедуры идентификации характеристик модели по данным измерений в отдельных точках объекта.
4. Использование CFD-модели объекта для прогнозирования состояний объекта, например, предсказание возможных аварийных ситуаций.
5. Работа CFD-модели в автоматическом режиме в «реальном» времени.

Разработанная авторами CFD-модель [2] учитывает практически все особенности физических процессов, которые происходят внутри НБК, а также при его взаимодействии с окружающей средой.

Тепловлажностный и радиационный режим основного объема НБК формируется за счет:

- радиационно-конвективного взаимодействия поверхностей (оболочек) с внешней средой;
- проникновения воздуха из окружающей среды через неплотности и щели в конструкциях;
- потоков теплоты и массы из кольцевого пространства в основной объем НБК;
- источников внутреннего тепловыделения (осветительные приборы, объект «Укрытие», электрооборудование) в основном объеме;
- нагнетание и удаления воздуха в основном объеме НБК системой принудительной вентиляции;
- перенос теплоты из и в объем НБК от поверхности почвы и фундамента, на которых расположен НБК.
- конденсация влаги на холодных поверхностях строений;

Обтекание ветром и влияние солнечной радиации вызывает появление разницы давлений и температуры отличающуюся внутри и снаружи ОУ, что приводит к возникающим утечкам воздуха и радиоактивных аэрозолей через неплотности НБК, а также появлению конвективных потоков воздуха внутри ОУ, что в свою очередь, приводит к выбросам и распространению аэрозолей.

Анализ движения радиоактивной пыли в основном объеме НБК и возможных выбросов в окружающую среду через щели между вертикальными стенами НБК и зданиями ОУ особенно важен во время демонтажа конструкций и обращения с радиоактивными отходами.

На рис.1 приведена подробная схема взаимодействия составляющих системы мониторинга радиационной обстановки НБК и ОУ как между собой так и с НБК. Как видно из рисунка, мониторинг материально состоит из 2-х частей - программного и аппаратного обеспечения. Для его функционирования кроме этих двух частей необходим только обмен данными (через интернет) между НБК и системой мониторинга. Рассмотрим более подробно эти части.

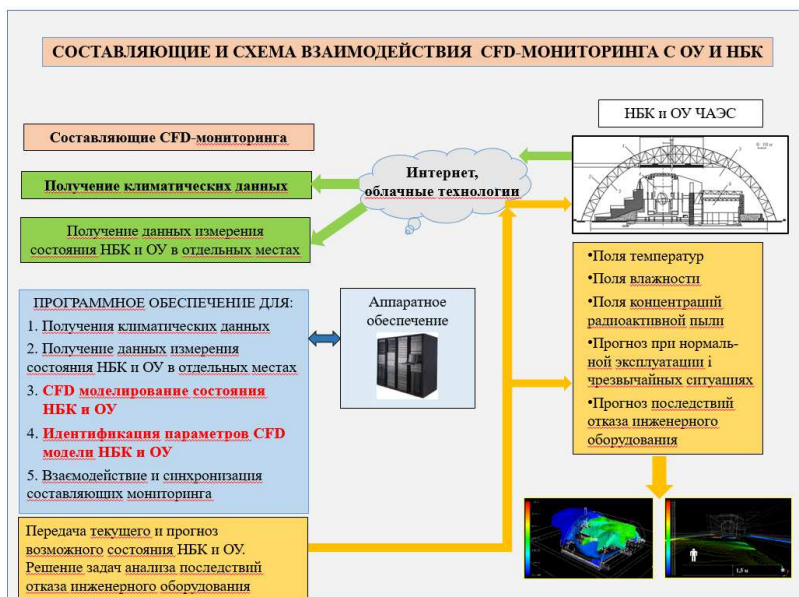


Рис. 1. Схема взаимодействия составляющих системы мониторинга радиационного состояния НБК и ОУ между собой и через интернет

Программное обеспечение выполняет следующие 5 основных функций:

1. Получение от НБК климатических и экспериментальных данных основных параметров состояния НБК в отдельных точках измерения. Климатические данные необходимы для ввода их в CFD-модели НБК и ОУ для непрерывного расчета термогазолиамичного и радиационного состояний НБК и ОУ, которые зависят от этих климатических данных. Такая программа CLIMAT разработана и получает измерения температуры, влажности, давления а также скорости и направления ветра у НБК с метеостанции ЧАЭС через интернет. Эти данные измеряются через каждые 5 минут, но для работы CFD-модели НБК и ОУ достаточно необходимости использовать их через 2 часа. Экспериментальные данные основных параметров состояния НБК в отдельных точках измерения необходимы для калибровки (идентификации параметров) CFD-модели для обеспечения ее адекватности реальным процессам в НБК и ОУ. Измеряемые данные могут поступать с разной частотой в зависимости от вида данных. Температура и влажность в отдельных точках НБК может поступать через 1-2 часа, но концентрации РА не чаще 1 или 2 раза в неделю.

2. Непрерывный расчет термогазолиамичного и радиационного состояний НБК и ОУ с помощью CFD-модели НБК и ОУ с использованием программы ANSYS FLUENT [3].

3. Идентификация параметров (калибровка) CFD-модели для обеспечения ее адекватности реальным процессам в НБК и ОУ с помощью программы FRIEND, которая является независимым приложением к программе ANSYS FLUENT .

4. Управление и синхронизация работы отдельных составляющих мониторинга. На сегодняшний день такая программа MAN (MANager) принципиально разработана и будет совершенствоваться в процессе работы с представителями НБК. В этой программе есть подпрограмма синхронизации реального времени, - времени расчета CFD-модели и моментов времени получения климатической и экспериментальной информации.

5. Передача текущего и прогноз возможного состояний НБК и ОУ операторам НБК в виде графиков и полей температур, влажности и концентрации РА в середине и снаружи НБК с помощью подпрограммы NSC-SO, которая будет разработана по согласованию с операторами НБК. На сегодня эти результаты выглядят в виде EXEL таблиц и графиков, а также полей в виде * JPG картинок (рис. 1).

Аппаратное обеспечение мониторинга реализует работу всех программ и состоит из высокопроизводительных компьютеров, имеющих в распоряжении авторов работы.

Авторы работы на рис.1 ввели новый термин«CFD-мониторинг», как тип мониторинга на основе CFD-моделей физических процессов, происходящих в объектах, обслуживаемых этими мониторингами.

Алгоритмы идентификации параметров модели и ее синхронизации с реальным временем

Такой объект как ОУ и НБК является сложным инженерным сооружением с повышенными требованиями к их безопасности. Система мониторинга должна работать в режиме «реального» времени, когда происходящие на объекте изменения параметров отображаются в модели состоянии объекта. Для этого модель мониторинга должна получать климатические данные (от метеостанции с достаточно коротким промежутком времени) и данные с измерительной аппаратуры (температуры, влажности, концентрации РА). При этом, как отмечалось выше, частота поступления разного типа измерений будет разной. Так климатические данные должны поступать не более, чем через 1-2 часа, что диктуется возможной сменой направления ветра, а самыми длительными измерениями ожидаются измерения концентрации РА (от 1 до 7 дней), что накладывает определенные трудности на синхронизацию времени работы модели и «реального» времени измерения состояния объектов. Особенно это проявится при уточнении параметров модели путем проведения идентификации ее параметров (рис. 2).

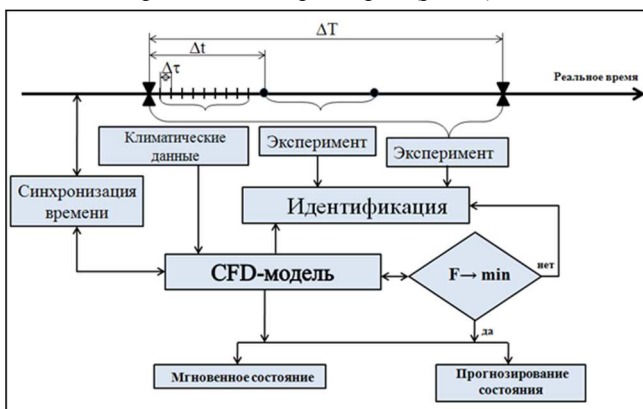


Рис. 2. Схема и алгоритмы идентификации параметров модели и ее синхронизации с реальным временем

Скорость расчетов должна быть такой, чтобы время счета задачи было бы не медленнее «реального» времени, чтобы учитывать время, необходимое для идентификации параметров.

Алгоритм идентификации работы модели при текущей работе системы мониторинга следующий:

1) Модель, после прихода к текущему времени τ (рис.2), которое равно приходу времени изменения T , ждет пока придут измеренные величины параметров состояния НБК. Когда измеренные значения пришли, модель считывает их и сравнивает расчетные данные состояния НБК в точках измерений с экспериментальными.

2) Если значение критерия F близости рассчитанных и измеренных значений характеристик состояния объекта минимально, то модель со своим шагом по времени Δt продолжает расчет. Расчет, как правило, должен опережать «реальное» время t и дальше выполняется п.1. При этом, расчет учитывает считывание и учет N количества климатических данных с более мелким шагом Δt .

3) Если значение критерия F не минимально, то данные из предыдущей точки поступления экспериментальных данных используются для идентификации параметров, просчитывая задачу между отрезками t_{i-1} и t_i столько раз, пока не будет достигнуто минимальное значение критерия F . После этого модель просчитывает интервал ΔT до следующего момента ввода измеренных параметров состояния НБК и ожидает пока «реальное» время t не станет равным времени получения новых экспериментальных значений параметров состояния НБК.

Таким образом, интеграция современных технологий моделирования в систему мониторинга состояния НБК и ОУ заключается в использовании данных измерений для идентификации параметров модели с целью дальнейшего ее использования для прогнозирования состояния ОУ и НБК как в нормальных условиях эксплуатации НБК, так и в условиях аварий и повышенных выбросов, а также в случаях отказов инженерного оборудования (рис. 1). Тогда интегрированная модель сможет быстро реагировать на изменение входных параметров и выдавать адекватные прогнозы состояния НБК и ОУ в максимально короткие промежутки времени.

В результате выполнения работы станет возможным детально анализировать радиационное состояние ОУ и НБК и делать прогнозы его состояния в условиях постоянного изменения тепловых и радиационных параметров среды внутри и за пределами НБК на основе моделей, настраиваемых по данным измерений в режиме реального времени, как в случае нормальной эксплуатации, да и в случае аварий и

повышенных выбросов, а также при отказах инженерного оборудования НБК. Разрабатываемые модели позволяют получать подробные поля концентраций радиоактивных аэрозолей в объемах НБК и ОУ для более детального контроля, прогнозированию и разработке решений по уменьшению влияния РА на окружающую среду. Следует отметить, что хотя такие модели уже применялись в мировой практике, такие расчеты были проведены в упрощенных постановках (например не учитывалось оседание пыли), а также отсутствует опыт моделирования таких масштабных объектов как ОУ и НБК.

Выводы

1. Разработана усовершенствованная CFD-модель радиационного состояния Нового Безопасного Конфайнмента и Объекта Укрытие и проведена ее верификация по данным измерений выбросов радиоактивных аэрозолей из Объекта Укрытие.

2. Разработана методология и алгоритм интеграции CFD-модели в систему мониторинга состояния Нового Безопасного Конфайнмента.

3. Проанализированы и сформулированы особенности работы CFD-модели (с целью получения полей значений параметров модели) в системе мониторинга. Показано, что для получения адекватных результатов необходимо наличие блока идентификации (для уточнения модели) и блока синхронизации (для синхронизации реального времени и времени расчетов CFD-модели).

Работа выполнялась при финансовой поддержке консорциума VINCI Construction Grands Projets/ Bouygues Travaux Publics NOVARKA, Национальной академии наук Украины и научной программы НАТО “Наука во имя мира и безопасности”.

Литература:

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%B3>

2. Круковский П.Г. Модель теплогазодинамического, влажностного и радиационного состояния Нового Безопасного Конфайнмента и Объекта "Укрытие" (для поддержки проекта преобразования объекта «Укрытие») / Круковский П.Г., Метель М.М., Полубинский А.С., Краснов В.А., Скляренко Д.И., Дейнеко А.И. // INUDECO :матеріали 2-ї міжнародної наук.-практ. конф., 25-27 квіт. 2017 р., м. Славутич.

3. ANSYS FLUENT 12.0/12.1. Documentation. <https://www.sharcnet.ca/Software/Fluent12/index.htm>

Информация об авторах:

Круковский Павел, Полубинский Анатолий, Кончуковский Павел, Скляренко Дмитрий, Тадля Ольга, Дейнеко Андрей, Хуторный Вадим - Институт технической теплофизики НАН Украины, г. Киев, ул. Желябова, 2а

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

Abstract. It is shown the necessity and the advantages of using CFD-models in the system of monitoring the state of heat and humidity, and radiation condition of the New Safe Confinement (NSC) is of special importance object to ensure radiation safety of the Shelter Object (SO) of Chornobyl NPP. A NSC state monitoring scheme essentially complements and extends the capabilities of the projected NSC parameters monitoring system. Stated the features and problems of the use of CFD-models this monitoring are described.

ІЗОТОПНИЙ ОБМІН МІЖ ТРИТІЙОВАНОЮ ВОДОЮ ТА ПРИРОДНИМИ МІНЕРАЛАМИ (НА ПРИКЛАДІ БІЛОЇ ГЛИНИ)

Кряжич О., Коваленко О.

Анотація. В матеріалі представлено результати експериментальних досліджень ізотопного обміну між тритійованою водою та природними мінералами. Зроблено акцент на глинисті мінерали – глини з каолінітами. За підсумками досліджень було визначено динаміку зміни питомої активності тритію у воді при збільшенні маси каоліну та зміні температури.

Зроблені висновки щодо подальших напрямів досліджень за темою.

Глинисті мінерали є водотривкими, пластичними, мають велику сорбційну ємність та високорозвинену поверхню. Глинисті мінерали становлять групу шаруватих і шарувато-стрічкових силікатів, частинки яких мають чітко виражену кристалічну структуру і розміри не більше (0,5 – 5) мкм [1].

Досліди і виміри проводилися на базі лабораторії фізико-технічних проблем джерел ядерних випромінювань відділу ЦЕПАЕ Інституту ядерних досліджень НАН України. В цій роботі наведені узагальнені результати, які більш детально представлені в роботі [2].

В процесі проведених досліджень основна увага приділялася дослідженню дисперсності кристалів глинистих мінералів – того критерію, який визначає їх основні фізико-хімічні властивості: здатність до сорбції, іонного обміну, каталітичної дії, тиксотропного коагуляційного структуроутворення [3]. Саме тому з цих матеріалів, для зменшення міграції радіоактивних та токсичних елементів з осередків забруднення в навколишнє середовище використовуються інженерні геохімічні бар'єри.

У статті [4] були досліджені сорбційні властивості глиною урану, на основі чого рекомендовано з метою запобігання поширенню радіоактивних і токсичних елементів у навколишнє середовище використовувати геохімічні бар'єри, основним завданням яких є переведення забруднюючих компонентів у малорухомі форми. Глинистий сорбційний бар'єр є одним з найбільш дієвих через широкий розвиток у природному середо-

вищі особливості фізико-механічних властивостей (низькі фільтраційні показники і пластичність), що забезпечує сумісну дію сорбційних і фільтраційних бар'єрів. Також зазначено, що кінцева величина сорбції глиною важких металів та радіонуклідів залежить від таких параметрів, як рН та йонна сила. Проте характер сорбції залишається незмінним.

Останнє твердження виглядало дещо сумнівним щодо іонів тритію. Зокрема, у роботі «Тритій у біосфері» зазначається, що «полегшений доступ дисоційованих молекул НТО до реакційних позицій у структурах монтморилоніту й палигорськиту обумовив значну інтенсивність входження тритію в кристалічну структуру цих мінералів. Із найбільшою швидкістю ізотопний обмін між структурними ОН-групами матриці мінералів та ОТ-групами розчину НТО відбувається у перші (30-50) діб. У подальшому процес уповільнюється» [5].

Враховуючи, що глинисті мінерали мають властивість нести катіони й аніони, які можуть стехіометрично обмінюватись на інші катіони або аніони (неорганічні й органічні), то виникає гіпотеза, що процес іонного обміну може мати поліноміальну залежність, яка вже було прослідкована при дослідженнях талої води снігового покриву та соку берез [6].

Цікавими для досліду є мінерали каолінової групи (каолінит, галазит, гібсит), широко представлені в Україні в білих глинах. Ці мінерали мають вузьке молярне відношення $SiO_2/Al_2O_3 = 2(2SiO_2-Al_2O_3-nH_2O)$ і є діоктаедричними шаруватими алюмосилікатами з нерухомою кристалічною ґраткою. Сильний зв'язок між пакетами утруднює доступ води в міжпакетний простір та малу дисперсність. Каолінит не набухає але добре пропускає воду. В таких мінералах характерною для спостереження є картина, коли водень зовнішнього гідроксилу може заміщуватись обмінними катіонами. Деякі гідроксильні групи будуть оголюватись навколо обломлених країв усіх глинистих мінералів, і обмінні катіони, обумовлені порушеними зв'язками, частково заміщуватимуться воднем зовнішніх гідроксильних груп.

Для експериментального дослідження адсорбційних властивостей природних мінералів щодо тритію були взяті білі глини з різних родовищ, а також кремень.

Протягом 9 місяців було проведено ряд дослідів з природними мінералами у прісній воді [2].

На рис. 1 наведена динаміка зміни питомої активності тритійованої води у двох ємностях при проведенні лабораторного експерименту. В ємність 1 була додана китайська каолінова глина, у ємність 2 – біла глина з Вінницьких родовищ.

Як видно з рисунку, спостерігається практично миттєвий спад питомої активності тритію в обох ємностях до значення $3,0 \cdot 10^4$ Бк/л в перші (20–30) хвилин після розчинення каоліну в воді, що свідчить про

швидкий ізотопний обмін в розчинах з каоліном. Потім швидкість зниження питомої активності дещо сповільнюється. Коливання питомої активності на протязі 8 годин можна пояснити коливаннями температури розчину при відборі проб.

При проведенні зазначених дослідів динаміка зниження питомої активності тритію у воді була досліджена за часовим проміжком при дотриманні температурних меж (20,5 – 22)⁰С [2].

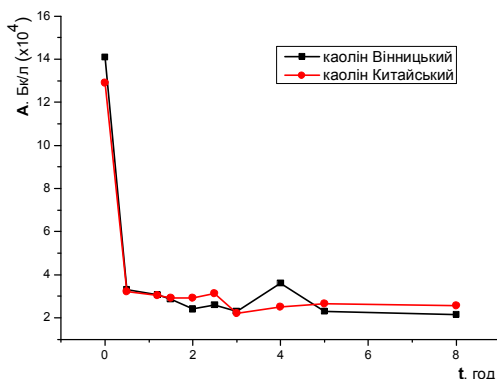


Рис. 1. Динаміка зміни питомої активності тритію у воді протягом часу

З метою дослідження впливу температури на стан іонного обміну, досліді були повторені при температурі 10⁰С та поступового підвищення температури розчину, а також періодичного додавання до розчину порцій глини. Результати [2] наведені на рис. 2.

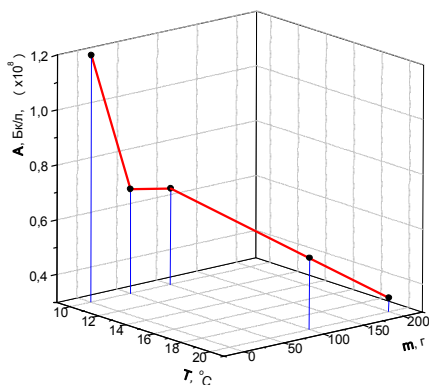


Рис. 2. Динаміка зміни питомої активності тритію у воді від кількості каоліну і температури

За результатами досліджень було проаналізовано зміни питомої активності тритійованої води при додаванні каоліну за умов зміни температурного режиму. Було досліджено адсорбційні властивості каоліну, які підвищуються з підвищенням температури води та маси адсорбенту.

Практичне значення наведеного в роботі полягає у можливості створення технології адсорбування тритію з води, що є актуальною задачею зменшення радіоактивних відходів, що утворюються в результаті роботи АЕС.

Подальші дослідження за напрямом вивчення адсорбційних і бар'єрних властивостей природних мінералів щодо радіоізоотопу водню вимагають:

- опису механізму адсорбції каоліном радіоізоотопу водню;
- хімічного аналізу складу каоліну різних родовищ;
- побудови математичної та інформаційної моделі процесу адсорбції каоліном тритію;
- проведення подальших експериментів та спостережень щодо адсорбції, формування бази даних досліджень адсорбції тритію різними видами природних мінералів.

Література:

1. Куковский Е.Г. Особенности строения и физико-химические свойства глинистых минералов. – К.: Наук. думка, 1966. – С. 45–50.
2. Кряжич О.О., Коваленко О.В. Дослідження ізоотопного обміну в системі «оксид тритію – природний мінерал» / Кряжич О.О., Коваленко О.В. // Математичне моделювання в економіці. – 2017. – № 1-2. – С. 93–101.
3. Сабодина М.Н., Калмыков С.Н., Сапожников Ю.А. Сорбционные свойства бентонитовых глин по отношению к некоторым радионуклидам // Вестник Отделения наук о земле. – 2004. – № 1 (22) – С. 78–81.
4. Дудар Т.В., Бугера С.П., Кадошніков В.М., Злобенко Б.П. Бар'єрні властивості природних глинистих мінералів // Вісник НАУ, 2009. – №1, – С. 56-60.
5. Долін В.В., Пушкарьов О.В., Шраменко І.Ф. та ін. Тритій у біосфері. – К.: Науково-виробниче підприємство «Видавництво «Наукова думка» НАН України», 2012. – 224 с.
6. Коваленко О.В., Кряжич О.О. Дослідження залежностей міграції тритію за ланцюгом «тала вода снігового покриву – рослина» // Технічні науки та технології : науковий журнал / Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т, 2016. – № 3 (5). – С. 231-239.

Інформація про авторів:

Кряжич Ольга - Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ

e-mail :economconsult@gmail.com

Коваленко Олександр - Інститут ядерних досліджень НАН України, м. Київ

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

**ISOTOPIC EXCHANGE BETWEEN OF TRITIUM'S WATER
AND NATURAL MINERALS (ON THE EXAMPLE OF WHITE CLAY)**

O. Kryazhych , O. Kovalenko

*Resume.*The paper presents the results of experimental studies of isotope exchange between tritiated water and natural minerals. The emphasis on clay minerals - clay with kaolinites.

According to the results of the research, the dynamics of changes in the specific activity of tritium in water was determined with increasing kaolin mass and temperature change.

Conclusions are drawn concerning further directions of researches on a subject.

**ПРОБЛЕМИ ХАРАКТЕРИЗАЦІЇ РАВ НА ЗАВОДІ
З ПЕРЕРОБКИ ТВЕРДИХ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ ЧАЕС**

Купріяничук С. В., Пашинов М. В., Годун Р. Л.

В роботі розглянуті системи для поводження з радіоактивними відходами на Заводі з переробки твердих радіоактивних відходів та визначені найбільш проблематичні питання щодо непрацездатності обладнання та програмного забезпечення об'єкта.

Основна ціль даної роботи провести аналіз проблематичних технологічних вузлів та вузлів автоматизації Заводу з переробки твердих радіоактивних відходів (ЗПТРВ), виходячи з візуальних обстежень, аналізу технічної, нормативної та експлуатаційної документації про об'єкти автоматизації, а також види діяльності, які здійснюються на ньому.

В результаті проведеного аналізу було вивчено технологічні ланки окремих етапів поводження з РАВ, а також встановлено ключові ланки в технологічному ланцюгу, що входять до складу системи радіаційного технічного контролю (СРТК) і відповідають за радіаційний контроль і вимір активності радіонуклідів твердих радіоактивних відходів (ТРВ).

Процес характеристизації РАВ наступний: партія РАВ надходить в камеру сортування та фрагментації (СІФ-камера), де, за допомогою сцинтилятора, визначають її основні характеристики, які не повинні перевищувати граничні значення:

- потужності дози > 115 мЗв/год;
- масова питома активність бета-випромінювання $3,7E+08$ Бк/кг;
- масова питома активність альфа-випромінювання $3,7E+07$ Бк/кг.

Також, на першому етапі характеристизації РАВ, за допомогою гамма – спектрометрії, визначаються початкові енергії, що дозволяють визначити радіонукліди, що знаходяться в партії. Після чого, за допомогою маніпуляторів, РАВ розділяються на високоактивні та середньо активні виходячи з граничних значень.

Радіоактивні відходи, що перевищують граничні значення відправляються на систему моніторингу нейтронного випромінювання, де визначається наявність в РАВ трансуранових елементів. Проте, за результатами обстежень та налізу були виявлені такі недоліки:

- система дієспроможна тільки при вимірюванні контрольного джерела ^{252}Cf ;

- конструкційні особливості лотка, де знаходяться РАВ, недостатньо захищені від впливу зовнішнього (космічного) випромінювання, що дає велику похибку отриманих результатів.

В ході обстеження було виявлено, що програмне забезпечення має недоліки в: процесі калібрування обладнання перед початком вимірювань, корегуванні часу калібрування та внесення коригуючих коефіцієнтів фоновому випромінюванню та інших параметрів.

Експертами Інституту проблем безпеки АЕС визначено, що апаратура нейтронних вимірювань бочок в системі DMS працездатна, але присутні помилки в програмному забезпеченні. Для вирішення цього питання необхідно провести діагностику та випробування з варіаційними корективами в .ini файлі.

Також для ефективної роботи ЗПТРВ пропонується впровадження методології характеризизації РАВ за допомогою радіонуклідних векторів (РВ). При відсутності достовірної інформації про значення коефіцієнтів РВ тимчасово можливе використання значень РВ, які було встановлено для експлуатаційних відходів Ігналінської АЕС.

Невідповідності, що виникли на ЗПТРВ полягають в некоректній роботі програмного забезпечення. Оскільки більша частина програмного забезпечення, що використовується на ЗПТРВ має закритий код, тому виправлення недоліків можливе або з додаванням нових програмних модулів, які будуть працювати з уже існуючими, або ж необхідна розробка нового програмного комплексу, з постійним калібруванням параметрів в ході тестових випробувань.

Інформація про авторів:

Купріяничук С.В. - Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, м. Чорнобиль, вул. Кірова 36а

e-mail : s.kuprianchuk@isnpp.kiev.ua

Пашинов М.В. - Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, м. Чорнобиль, вул. Кірова 36а

e-mail: maxpachinov@gmail.com

Годун Р.Л. - Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, м. Чорнобиль, вул. Кірова 36а

e-mail: r.godun@isnpp.kiev.ua

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

**PROBLEMS OF RADIOACTIVE WASTE CHARACTERIZATION
AT THE CHNPP SOLID RADIOACTIVE
WASTE PROCESSING PLANT**

Serhii Kypriianchuk, Maksym Pashynov, Roman Godun

Abstract: *In this work the system for handling radioactive waste at the Solid Radioactive Waste Processing Plant has been reviewed and the most problematic issues concerning the inability to work the software of the facility have been identified.*

The main objective of this work is to carry out an analysis of the problematic technological units and units of automation of the Solid Radioactive Waste Processing Plant, based on visual inspections, analysis of technical, normative and operational documentation on automation objects, as well as activities carried out on it.

As a result of the analysis, the technological links of individual stages of radioactive waste management were studied, as well as key links in the technological chain included in the system of radiation technical control (SRTK) and are responsible for radiation control and measurement of the activity of radionuclides of solid radioactive waste.

Keywords: *radioactive waste, Solid Radioactive Waste Processing Plant, software of the facility.*

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦЕОЛИТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ЖИДКИХ
РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ**

Левенец В. В., Лонин А. Ю., Омельник А. П., Щур А. А.

Жидкие радиоактивные отходы составляют значительную часть радиоактивных отходов образующихся в процессе эксплуатации АЭС. Очистка жидких РАО направлена на сокращение объемов образующихся отходов, а также формирования твердых матриц для последующего их захоронения.

Для очистки жидких РАО используются различные методы. Наиболее востребованным является использование ионообменных сорбентов. Используются ионообменные сорбенты природного и синтетического происхождения. Наиболее перспективным является использование природных ионообменных сорбентов – цеолитов. Из цеолитов особое место занимает клиноптилолит. Клиноптилолит имеет прочную структуру способную выдерживать температурное и радиационное воздействие. Учитывая это, клиноптилолит может стать надежной матрицей для захоронения РАО. Необходимо отметить, что Украина располагает собственными богатыми месторождениями клиноптилолита – это позволит значительно сократить расходы на очистку от жидких РАО и последующее захоронение.

В рамках исследований проводимых в ННЦ ХФТИ была разработана установка для изучения динамической сорбции с использованием цеолитов (клиноптилолита и синтетических цеолитов). Установка состоит из: насоса, сорбционной колонки с картриджем, резервуара,

мерника. Основным отличием разработанной установки является расположение насоса перед сорбционной колонкой, что позволяет осуществить многократное прохождение жидкости через сорбент. Проводилось определение сорбционных свойств цеолитов в отношении цезия и кобальта. Определение сорбционных свойств цеолитов проводилось, за счет многократной циркуляции раствора по сорбционной установке.

Для проведения исследований использовались стабильные изотопы цезия и кобальта. Определение содержания цезия и кобальта велось методом PIXE (Proton Induced X-ray Emission) с использованием аналитического ядерно-физического комплекса «Сокол». Регистрация возбуждаемого характеристического рентгеновского излучения проводилась детектором XR-100CR Si-PIN X-Ray.

Было определено, что при проведении 40 циклов сорбции цезия сорбционное равновесие в системе сорбент-раствор достигалось на 30 цикле сорбции. Для клиноптилолита коэффициент сорбции составил 80%, для синтетических цеолитов (NaX и NaA) – 82% и 68% соответственно.

Определение сорбции кобальта цеолитами проводилось в течение 80 циклов сорбции. Для клиноптилолита коэффициент сорбции составил 60%, для синтетических цеолитов (NaX и NaA) – 86% и 70% соответственно.

В ходе исследований учитывалось влияние конкурирующих ионов на сорбцию цезия и кобальта цеолитами.

На основании полученных результатов и с учетом существующей установки были предложены схемы динамической сорбции для цезия и кобальта позволяющие довести коэффициент сорбции до 100%.

Информация об авторах:

Левенец В. В. - ННЦ ХФТИ, Харьков

e-mail: levenets@kipt.kharkov.ua

Лонин А. Ю., Омельник А. П., Щур А. А. - ННЦ ХФТИ, Харьков

ПРОБЛЕМА МИГРАЦИИ ИЗОТОПОВ Pu и ²⁴¹Am В РЕЗУЛЬТАТЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ЯДЕРНО-ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

Левенец В. В., Кожневникова М. Ф.

Введение

Проблема исследования миграции радионуклидов является актуальной во многих аспектах. По практической значимости в первую очередь стоят экологические аспекты, интерес к которым в последнее время снова стал возрастать в связи с ухудшающейся экологической ситуацией в Украине. В глобальном масштабе накопление радионуклидов в окружающей среде связано с испытаниями ядерного ору-

жия в атмосфере. В локальном масштабе это связано с работой предприятий ядерного цикла, деятельностью предприятий по переработке и хранению радиоактивных отходов и горнодобывающей промышленности. На всех вышеперечисленных этапах ядерного топливного цикла (ЯТЦ) происходит высвобождение искусственных радионуклидов в окружающую среду, ускорение темпов миграции тяжелых естественных радионуклидов в биотическом круговороте.

На этапе добычи уранового сырья и его первичной переработки в биосферу поступают биологически подвижные и способные включаться в биологические цепочки изотопы ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{238}U и некоторые другие тяжелые естественные радионуклиды. При работе радиохимических заводов и захоронении высокоактивных отходов, кроме названных, в окружающую среду поступают ^{237}Np , ^{239}Pu , ^{241}Am и другие долгоживущие трансурановые элементы (ТУЭ), не обладающие высокой мобильностью в пищевых цепочках, однако относящиеся к высокотоксичным веществам. Включаясь в биологические миграционные цепочки, ТУЭ попадают в организм животных и человека, что определяет необходимость исследования их миграции в биосфере, а также форм нахождения в почвах, поступления в растения, животных и человека.

Антропогенное загрязнение биосферы изотопами Pu происходит как за счет аварий АЭС, утечек на обогатительных предприятиях, так и вследствие повседневной хозяйственной деятельности; внесение в почву фосфатных удобрений, сжигание угля и др. [1]

Воздействие атомной энергетики на окружающую среду при соблюдении штатных режимов работы АЭС проявляется в основном на предприятиях полного ядерно-топливного цикла, добывающих и производящих U, регенерирующих U и Pu из отработанного ядерного топлива. При нормальной работе воздействие АЭС незначительно, однако опасность резко возрастает в аварийных ситуациях.

Значительный вклад в загрязнение территории Украины радионуклидами внесла авария на Чернобыльской АЭС в апреле 1986 г. (пожар активной зоны уран-графитового реактора РБМК). В течение 10 суток в окружающую среду было выброшено из активной зоны около 42 МКи ($1500 \cdot 10^{15}$ Бк) ^{131}I и 3,3 МКи ($127 \cdot 10^{15}$ Бк) ^{134}Cs и ^{137}Cs .

По оценкам [2], около 3,5 % активности попали за пределы промышленной площадки АЭС в виде газовых, паровых и аэрозольных выбросов. В период с 26 апреля по 10 мая 1986 г. в атмосферу выброшено около 50 МКи радиоактивных веществ (примерно 4 % общей активности топлива в реакторе, масса топлива около 190 т). Одним из наиболее тяжелых радиологических последствий аварии на ЧАЭС явилось радиоактивное загрязнение больших площадей земель сельскохозяйственного использования – около 10 млн. га.

Ближняя зона аварии (до 30-100 км) загрязнена в основном топливной компонентой радиоактивных выпадений (топливными частицами). Такие радионуклиды, как ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{99}Mo , $^{141,144}\text{Ce}$, $^{154,155}\text{Eu}$, $^{237,239}\text{Np}$, $^{238-242}\text{Pu}$, $^{241,243}\text{Am}$, $^{242,244}\text{Cm}$, выброшены из аварийного блока только в составе топливных частиц [3].

Активность плутония после аварии определяется α -активностью изотопов ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{242}Pu и β -активностью изотопа ^{241}Pu (с периодами полураспада $T_{1/2} = 87,7, 24065, 6537, 376000$ и 14,4 года соответственно).

На Рис.1 представлена карта плотности загрязнения плутонием $^{239+240}\text{Pu}$ 30-километровой зоны ЧАЭС.

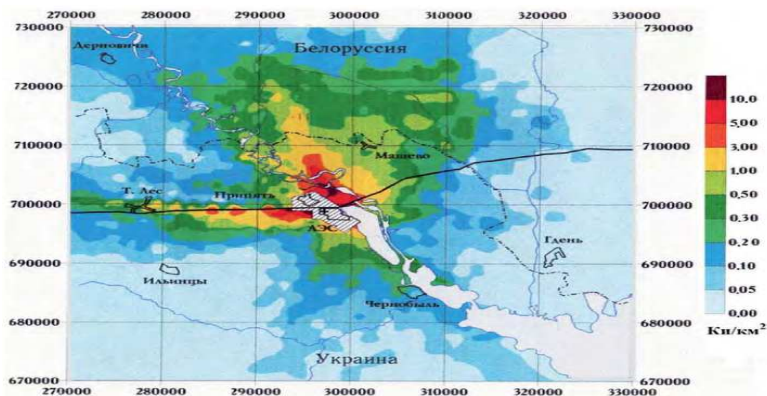


Рис. 1. Карта плотности загрязнения плутонием $^{239+240}\text{Pu}$ 30-километровой зоны ЧАЭС [4]

В первые месяцы после аварии на ЧАЭС основные работы сводились к измерению поля γ -излучения и определению содержания радионуклидов (в большинстве случаев γ -излучающих) в отдельных пробах почв. Содержание Pu в образцах рассчитывалось на основе рекомендованного к использованию соотношения активностей $^{239+240}\text{Pu} / ^{144}\text{Ce}$, равного $6,4 \cdot 10^{-4}$ на 26 апреля 1986 г.

Сведения об уровнях загрязнения территории Украины ^{241}Am до последнего времени являются достаточно неизученными. Поэтому на современном этапе особую актуальность приобретает сбор радиэкологической информации и ее систематизация по проблеме миграции ^{241}Pu и ^{241}Am .

Постановка проблемы

В результате аварии на ЧАЭС с одной стороны, радионуклиды, выброшенные из аварийного блока, явились источником облучения сообществ растений и животных и, как следствие, их радиационного

повреждения; с другой стороны, выброшенные в окружающую среду и далее включенные в трофические цепи биологического круговорота, они стали источником загрязнения объектов внешней среды – почвы, воды, продукции сельского, лесного и водного хозяйства и др., контакты с которыми привели к облучению человека [5].

Для оценки миграционной способности нуклидов по трофическим цепочкам принципиальное значение имеют формы их нахождения в почве и, как следствие, доступность для растений [6]. Сведения о физико-химических формах нуклидов в почвах способствуют пониманию механизмов, регулирующих их накопление растениями.

Миграция Pu в окружающей среде обусловлена растворимостью его соединений в природных средах. Поэтому перемещение по цепочке “почва – растения – животные – человек” значительно зависит от первоначальной химической формы изотопов Pu. Образующееся при ядерных взрывах сравнительно небольшое количество тугоплавких оксидов Pu практически нерастворимо. Большая часть излучения при взрывах попадает в атмосферу в виде отдельных атомов. После глобального выпадения Pu в основном находится в почве и в донных отложениях (~ 99 %). Туда же попадают и выбросы атомной промышленности.

В зависимости от источника поступления и состава почвы, до 10 % Pu от находящегося в ней количества может быть в растворимой и доступной для усвоения растениями форме. Установлено, что наибольшие концентрации Pu имеют низкорослые растения (травы, лишайники, мхи). В результате процессов ветрового переноса и эрозии концентрация Pu на некоторых участках поверхности почвы может оказаться на несколько порядков выше, чем накопление Pu за счет усвоения растениями. Коэффициент накопления Pu в почве при внешнем загрязнении зависит от ее состава и изменяется в пределах от 10^{-1} до 10^{-3} , а коэффициент накопления активного поглощения растениями находится в пределах $10^{-3} - 10^{-8}$ [7].

Источниками поступления Am в окружающую среду являются атомные электростанции, испытания ядерного оружия и аварии при производстве и применении этих радионуклидов. Из-за постоянной эмиссии изотопов Pu в окружающую среду с атомных станций происходит непрерывное глобальное накопление ^{241}Am в результате распада ^{241}Pu . Как и другие ТУЭ, ^{241}Am в настоящее время находится преимущественно в верхнем слое почвы.

С большинством минеральных и органических кислот Am образует комплексные соединения. Соли Am обладают хорошей растворимостью и, следовательно, большой миграционной способностью. Закономерности миграции, установленные для Pu, характерны и для Am.

Выявлено, что основная часть Pu и Am (52-94 %) прочно связана с компонентами почвенного комплекса. Доля мобильных (водорастворимых и обратимо связанных с компонентами почв) форм радионуклидов составляет 1,1-9,4 %, а биологически доступных (способных переходить в почвенные растворы в области корневого питания растений) – не более 29 % от полного содержания в почвах. Для минеральных почв характерно более высокое содержание мобильных и биологически доступных форм радионуклидов по сравнению с органическими почвами. В изученных почвах запас Am в мобильных и биологически доступных формах выше, чем Pu. С увеличением глубины в почве концентрация радионуклидов в мобильных формах увеличивается.

Установлено, что в природных почвенных водах основная часть радионуклидов Pu и Am (79-87 %) находится в растворенном состоянии и в составе мелкодисперсных (менее 0,05 мкм) коллоидных частиц [8].

Аварийное радиационное загрязнение в ряде мест сделало опасным проживание людей и хозяйственную деятельность. Параметры радиоактивного воздействия изотопов Pu и ^{241}Am связаны, прежде всего, с внутренним облучением, создаваемым при ингаляции или потреблении воды и пищи. Уровни внешнего облучения, определяемого γ и нейтронным излучением, на порядки меньше. Любое радиационное воздействие изотопов Pu и ^{241}Am определяется количеством этих радионуклидов в данном объекте среды обитания (атмосфера, вода, пища), длительностью воздействия (время ингаляции, количество потребления воды и пищи), и биологической эффективностью воздействия, определяемой дозовым коэффициентом.

Агентство по охране окружающей среды (EPA) установило максимально допустимый уровень загрязнения (MCL) для всех активных частиц (за исключением Ra и U) в питьевой воде – 15 пКи/л (pCi/l). Эта величина действительна и для ^{241}Am . В Таблице 1 приводятся коэффициенты пожизненного канцерогенного риска для ^{241}Pu и ^{241}Am . Прием пищи, как правило, наиболее распространенный тип воздействия. Однако коэффициент риска для этого пути поступления намного меньше, чем при ингаляции [9].

Таблица 1. Радиологические коэффициенты риска

Изотоп	Пожизненный канцерогенный риск	
	Ингаляционный (pCi ⁻¹)	Прием пищи (pCi ⁻¹)
^{241}Am	2.4×10^{-8}	9.5×10^{-11}
^{241}Pu	2.8×10^{-10}	1.9×10^{-12}

Методы исследований

Проблема миграции изотопов Pu и ^{241}Am в окружающей среде требует конструктивного подхода, который включает проведение исследований о содержании изотопов в почве в зависимости от ее физико-

химических показателей; выявление особенностей поведения изотопов Pu и ^{241}Am на загрязненных территориях; анализ уровней загрязнения окружающей среды этими радионуклидами в Украине; построение прогнозной модели распределения ^{241}Am на момент максимальной активности этого изотопа.

Для решения задач, связанных с распространением радионуклидов Pu и ^{241}Am и получения прогнозной оценки загрязнения территории Украины, применялся метод математического моделирования в сочетании с экспериментальными исследованиями.

Метод математического моделирования представляет собой процесс построения моделей происходящих физических процессов с использованием математических уравнений. Наиболее эффективной прогнозной моделью аварийной ситуации является система уравнений, учитывающая физические процессы на аварийном объекте и в окружающей среде. В метеорологическом прогнозировании – это система уравнений гидротермодинамики атмосферы. Исходными данными для построения таких моделей являются динамические и энергетические характеристики выброса, а также начальное распределение загрязняющей примеси в пространстве и метеорологические параметры [10].

Для экологического контроля над выбросами АЭС разработана методика выявления источника загрязнения по соотношению загрязняющих веществ, содержащихся в замерах воздуха или почвы, взятых на рассматриваемой территории. При определении источников загрязнения используются математические методы с привлечением факторного анализа, в основе которых лежит решение обратной задачи. Эти методы позволяют по определенному числу точек наблюдений восстановить параметры источников загрязнения и выяснить территориальную локализацию загрязнения [11-13].

С целью получения траекторий распространения радионуклидов Pu и ^{241}Am в атмосфере и построения карт выпадения радионуклидов на почву применялась программа HYSPLIT [14]. Эта программа позволяет осуществить моделирование процесса формирования и распространения облака воздушных загрязнений от заданного источника. Входные метеорологические данные, необходимые для HYSPLIT, заимствуются из расчетов метеорологических моделей, основанных на результатах натурных измерений.

Результаты исследований

Вследствие аварии на ЧАЭС загрязнена территория площадью 160 тыс. км². Больше всего пострадала северная часть Украины, запад России и Белоруссии. Радиоактивные выпадения произошли (в той или иной степени) на территории 20 государств. За прошедшие после аварии 30 лет практически полностью распались не только короткоживущие, но и

среднеживущие радионуклиды. Мощность дозы внешнего облучения уменьшилась на несколько порядков величин. В окружающей среде остались практически только долгоживущие радионуклиды Cs, Sr и ТУЭ [2].

С момента попадания ТУЭ в окружающую среду после аварии на ЧАЭС в результате β -распада ^{241}Pu продолжает возрастать содержание ^{241}Am ($T_{1/2} = 432,8$ лет) в различных объектах экосистем.

Схема радиоактивного распада ^{241}Pu имеет вид:

^{241}Pu ($T_{1/2} = 14,4$ лет; β) \rightarrow ^{241}Am ($T_{1/2} = 4,32 \cdot 10^2$ лет; α) \rightarrow Np-237 ($T_{1/2} = 2,14 \cdot 10^6$ лет; α).

Временная динамика накопления активности ^{241}Am в окружающей среде описывается уравнением:

$$A_2(t) = A_{01} \frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \left[e^{(-\lambda_2 t)} - e^{(-\lambda_1 t)} \right] + A_{02} e^{(-\lambda_2 t)}, \quad (1)$$

где A_{01} , A_{02} – аварийный выброс ^{241}Pu и ^{241}Am соответственно, ПБк;

λ_1 – постоянная распада ^{241}Pu , равная $0,0482 \text{ год}^{-1}$; λ_2 – постоянная распада ^{241}Am , равная $0,0016 \text{ год}^{-1}$; t – время после аварии, год [15].

Введем в рассмотрение функцию $Y(t)$, представляющую собою отношение активности ^{241}Am в момент времени t к активности аварийного выброса:

$$Y(t) = \frac{A_2(t)}{A_{02}}$$

В соответствии с формулой (1) получим следующее выражение:

$$Y(t) = (k + 1)e^{(-\lambda_2 t)} - ke^{(-\lambda_1 t)}, \quad (2)$$

$$\text{где } k = \frac{\lambda_2}{(\lambda_1 - \lambda_2)} \left(\frac{A_{01}}{A_{02}} \right).$$

Максимум функции $Y(t)$ будет достигнут в момент времени:

$$t_m = (\lambda_1 - \lambda_2)^{-1} \ln \left[\frac{\lambda_1 k}{\lambda_2 (k+1)} \right] \quad (3)$$

и составит:

$$Y(t_m) = (1 + k) \left(1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right) \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \frac{1 + k}{k} \right)^{\frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2}}. \quad (4)$$

С учетом данных аварийного выброса ^{241}Pu и ^{241}Am [16], формул (3) и (4) максимальное содержание ^{241}Am в окружающей среде будет достигнуто к 2059 г. (т.е. через 73 года после аварии) и в 40 раз превысит его аварийное поступление в атмосферу в 1986 г.

В результате применения методики для определения источника загрязнения получены карты концентрации изотопа ^{241}Pu в воздухе и почве на территории Украины в 1986 году [17].

На Рис. 2 представлена карта плотности загрязнения ^{241}Pu в период выброса с 27.04.1986 по 30.04.1986 г. Основной выброс ^{241}Pu произошел 26-27 апреля, на первой стадии аварии [18], поэтому радиационному загрязнению этим изотопом в первую очередь подверглась 30-ти километровая зона вокруг реактора, а также прилегающие к ней территории в северо-западном, северном и северо-восточном направлении от ЧАЭС.

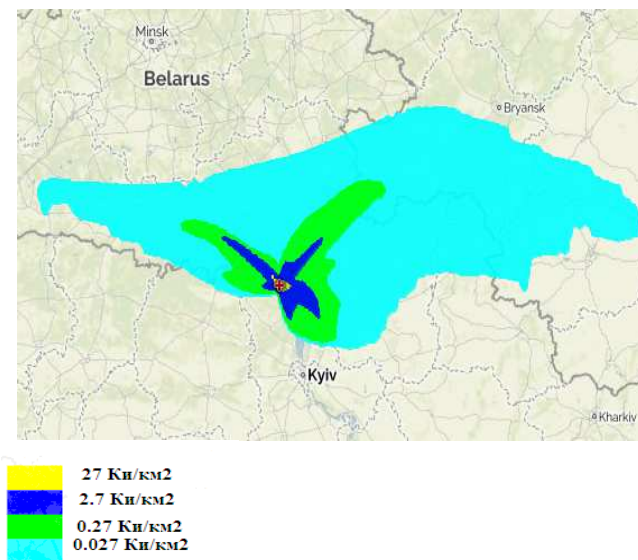


Рис. 2. Карта плотности загрязнения ^{241}Pu в период выброса с 27.04.1986 по 30.04.1986

Критерием отнесения радиоактивно-загрязненной территории к зоне отселения по изотопам Pu является уровень загрязнения поверхностного слоя почвы $0,1 \text{ Ки/км}^2$. В начальный период Чернобыльской катастрофы площадь зоны отселения по этим нуклидам составляла 400 км^2 . С учетом трансформации ^{241}Pu в ^{241}Am и введения в качестве дополнительного критерия суммарного содержания α -излучающих изотопов Pu и ^{241}Am , площадь зоны отселения к 2060 г. увеличится до 1800 км^2 [19].

Выводы

Обеспечить превентивность и своевременность действий по радиационной защите населения можно на основе использования методов численного моделирования радиационной обстановки и оценки доз облучения населения. Основными элементами оценки доз являются прогноз распространения радиоактивного выброса в атмосфере, осаждения радионуклидов на поверхность почвенно-растительного покрова и последующей миграции их по пищевым цепям от почвы и растений до человека.

В результате применения методики для определения миграции ТУЭ получены карты концентрации изотопов ^{241}Pu в воздухе и почве на территории Украины в 1986 году. Также дана прогнозная оценка по содержанию ^{241}Am в окружающей среде после аварии на ЧАЭС.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- загрязнение территории Украины изотопами Pu и ^{241}Am возникло в результате глобальных выпадений при ядерных испытаниях, аварии на Чернобыльской АЭС и деятельности предприятий ЯТЦ;
- авария на ЧАЭС привела к неравномерному загрязнению ТУЭ, в том числе и изотопами Pu и ^{241}Am ;
- в связи с накоплением ^{241}Am в результате распада ^{241}Pu , разрушения топливных частиц и увеличения биологической доступности происходит процесс миграции этих радионуклидов в цепи “почва – растение – человек”.

Полученные данные дают возможность предвидеть негативные последствия загрязнения экосистемы искусственными радионуклидами и принимать соответствующие контрмеры по предотвращению поступления продуктов ядерного деления в организм животных и человека.

Литература:

1. Итоги науки и техники. Т. 4. Радиационная биология. [Под ред. Алексанова Р. М.] М.: ВИНТИ, 1983.– 254 с.
2. Проблемы безопасности атомной энергетики. Уроки Чернобыля: монография / Б.С. Пристер, А.А. Ключников, В.Г. Барьяхтар, В.М. Шестопалов, В.П. Кухарь; [под ред. Б.С. Пристера]; -2-е изд. Доп.; НАН Украины, Ин-т проблем безопасности АЭС. – Чернобыль: Ин-т проблем безопасности АЭС. 2016. – 356 с.
3. Кашпаров В. А. Радиологическая значимость топливной компоненты чернобыльских радиоактивных выпадений / В. А. Кашпаров // Науково-технічний збірник Проблеми Чернобыльсько зони відчуження. К.:ЗАТ«Книга». – 2009. Вип.9. – С. 5-22.
4. Загрязнение территории зоны отчуждения ЧАЭС основными долгоживущими радионуклидами. / В.А. Агеев, С.Л. Выричек, А.В. Гайдар [и др] // Сборнике «Объект «Укрытие» – 10 лет. Основные результаты исследований. МНТЦ «Укрытие».Чернобыль. – 1996. – С. 140-147.

5. Алексахин Р.М. Радиоэкология и авария на Чернобыльской АЭС / Р.М. Алексахин, Н.И. Санжарова, С.В. Фесенко // Атомная энергия. – 2006. – Т. 100, Вып. 4. – С. 267-276.
6. Агапкина Г.И. Органические соединения радионуклидов в почвенных растворах и их роль в поступлении элементов в растения / Г.И. Агапкина, Ф.А. Тихомиров // Экология. – 1991. – №6. – С. 280-287.
7. Трансурановые элементы в окружающей среде [Под ред. Хэнсона У.С.] М.: Энергоатомиздат. 1985. – 344 с.
8. Попеня М.В. Состояние и миграционная способность плутония и америция в почвах Полесского государственного радиационно-экологического заповедника / М.В. Попеня // Материалы Международного молодежного научного форума «Ломоносов-2011». М.: МАКС Пресс. 2011. https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2011/structure_32_1351.htm.
9. Radiological and Chemical Fact Sheets to Support Health Risk Analyses for Contaminated Areas http://www.evs.anl.gov/pub/doc/ANL_ContaminantFactSheets_All_070418.pdf
10. Романов В.И. Прикладные аспекты аварийных выбросов в атмосферу (Справочное пособие) / В.И. Романов. – М: Физматкнига. 2006. – 460 с.
11. Кожевникова М.Ф. Идентификация источников загрязнения: вычислительные методы / М.Ф. Кожевникова, В.В. Левенец, И.Л. Ролик // ВАНТ. Серия «Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники». – 2011. – №6(76). – С. 149-156.
12. Анализ распространения загрязняющих веществ для предприятия циркониевого цикла / М.Ф. Кожевникова, В.В. Левенец, К.А. Мец [и др] // ВАНТ. Серия «ФРП и РМ». – 2013. – №5(87). – С. 95-99.
13. Идентификация источника выбросов с помощью моделирования процесса распространения загрязнений и факторного анализа / М.Ф. Кожевникова, В.В. Левенец, К.А. Мец [и др] // Збірник наукових праць СЧУЯЕтаП. – 2013. – №3(47). — С. 71-77.
14. Draxler Ronald R. Description of the HYSPLIT-4 *Modeling System* / Draxler Ronald R., Hess G. D. – Silver Spring: Air resources Laboratory, NOAA Technical Memorandum ERL ARL-224. 1997. – 22 p.
15. Радиоактивное загрязнение окружающей среды ²⁴¹Am вследствие аварии на Чернобыльской АЭС / Е.А. Иванов, Т.В. Рамзина, Л.П. Хамьянов [и др.] // Атомная энергия. – 1994. – Т. 77, вып. 2. – С.140-145.
16. Боровой А.А. Топливный баланс при аварии на ЧАЭС: Препринт РИЦ «Курчатовский институт» № ИАЭ-6527/3. м. / А.А. Боровой // 2008. – 49 с.
17. Kozhevnikova M.F. Estimation of environmental radioactive contamination by Pu and ²⁴¹Am isotopes as a result of the Chernobyl NPP accident / M.F. Kozhevnikova, V. V. Levenets // News of science and education. – 2016. – №17(41). – С. 82-89.
18. Самойлов О.Б. Безопасность ядерных энергетических установок / О.Б. Самойлов, Г.Б. Усынин, А.М. Бахметьев // М.: Энергоатомиздат. 1989. – 279 с.
19. Миронов В.П. Плутоний и америций на территории Беларуси: уровни загрязнения и физико-химические формы / В.П. Миронов, А.Ю. Ильяшук // Материалы Международной научно-практической конференции. Красноярск: СФУ. 2012. – 440 с.

Информация об авторах:

Левенец В. В. – Национальный научный центр “Харьковский физико-технический институт”, г. Харьков, ул. Академическая 1
e-mail:levenets@kipt.kharkov.ua

Кожевникова М. Ф. – Национальный научный центр “Харьковский физико-технический институт”, г. Харьков, ул. Академическая 1

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

The main goal of radiation monitoring in Ukraine is to obtain information which necessary for ensuring the safety of the environment and the population. To do this, it is necessary to study the ways of forming radiation doses and the migration parameters in the soil and food chains of the radionuclides that are the most dangerous in the biological sense.

The article is devoted to the problem of migration of Pu and ^{241}Am isotopes in the territory of Ukraine. The main ways of receiving these radionuclides, as well as methods for analytical control and monitoring of Pu and ^{241}Am concentration in environmental objects were studied. As a result of the application of the technique for determining the migration of transuranium elements, ^{241}Pu isotope concentration maps on the territory of Ukraine in 1986 for air and soil environment were obtained. A forecast estimate for the content of ^{241}Am in the environment after the Chernobyl accident was also given.

АНАЛИЗ ГИПОТЕЗ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В НЕЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЯХ ДИНАМИКИ РЕЗЕРВУАРОВ С ЖИДКОСТЬЮ

Лимарченко О. С.

Конструкции с жидкостью со свободной поверхностью представляют собой широкий класс объектов машиностроения и транспорта. Особые проблемы в динамическом поведении таких систем возникают в случаях, когда относительная масса жидкости достаточно велика и определяющим является подвижность жидкости. Существуют разные типы задач динамики конструкций с жидкостью: переходные процессы, резонансные процессы и задачи управления движением. Во всех этих задачах (кроме кратковременных переходных процессов) существенным является учет резонансных свойств системы.

Исследования последних лет показали, что линейные модели динамики отвечают лишь на простейшие вопросы динамического поведения таких систем. Наиболее полно свойства конструкций с жидкостью описывают нелинейные модели. К сожалению, при развитии нелинейных моделей ряд применяемых гипотез, которые перешли из линейных задач в нелинейные оказались не вполне обоснованными. В последние годы появилась целая серия экспериментальных работ и работ вычислительного характера, которые приводят к необходимости пересмотреть исходные гипотезы. В большинстве нелинейных моделей неправомерно применяются такие гипотезы.

1. В качестве резонансной частоты принимается частота парциальных колебаний системы по первой форме колебаний свободной поверхности жидкости. Такая гипотеза игнорирует совместность движения компонент системы (тело – жидкость) и приводит, как правило, к частотам, которые на 30–100% ниже реальных собственных частот колебаний. Особенно эта разность возрастает при рассмотрении наклонных движений резервуара. При этом важно, что при совместных колебаниях изменению подвержены только частоты форм, приводящих к изменению центра масс системы, которые становятся зависимыми от соотношения массы жидкости и конструкции. А значит, происходит смена очередности расположения частот, что меняет характеристики внутреннего энергообмена.

2. В многочастотной нелинейной системе взаимосвязанных колебаний применяется гипотеза о возможности пренебрежения колебаниями на собственных частотах форм, отличных от частоты внешнего возбуждения. Такая гипотеза применяется в литературе только к задачам с одной степенью свободы и не выполняется для нелинейных многочастотных систем. Следствием этой гипотезы является рассмотрение колебаний на основной частоте, а также на удвоенной, утроенной и т.д. частотах, что заранее гарантирует периодичность процесса ввиду кратности частот. Если же добавить собственные частоты других форм, то кратность частот пропадает, что в итоге приводит к существенному проявлению модуляции колебаний и апериодичности.

3. Применяется гипотеза о возможности реализации заданного движения резервуара. То есть, фактически снова игнорируется фактор совместности движения конструкции и жидкости.

Появившиеся в последнее десятилетие эксперименты, выполненные в Норвегии, Индии и Великобритании позволили уточнить характеристики поведения конструкций с жидкостью в околорезонансном диапазоне частот. В итоге, при отказе от указанных выше гипотез удалось получить результаты хорошо качественно согласующиеся с данными экспериментов. Главными из которых являются следующие.

1. Отсутствие выхода системы при гармоническом внешнем возбуждении на режим установившихся колебаний.

2. Существенное проявление дрейфа среднего значения колебаний и высших гармоник в дорезонансной зоне и доминирующее проявление модуляции колебаний в околорезонансной и зарезонансной зоне частот.

3. Существенное изменение частот и ряда динамических характеристик в зависимости от соотношения масс конструкции и жидкости, проявление внутренних резонансов, обусловленных сменой расположения частот при их размещении по мере возрастания.

Более строгое обоснование гипотез исходной модели позволило повысить надежность и достоверность математического моделирования нелинейных динамических процессов в конструкциях, несущих жидкость со свободной поверхностью, при вибрационных, ударных и управляющих воздействиях.

Информация об авторе:

Лимарченко О.С., - д.т.н., профессор, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
e-mail: olelim2010@yahoo.com

**КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПІДХОДИ ЩОДО ПОВОДЖЕННЯ
З РАДІОАКТИВНИМ ГРАФІТОМ ЕНЕРГОБЛОКІВ ЧАЕС
НА ЕТАПІ ЗНЯТТЯ ЇХ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

Липницький А. М., Стоянов О. І.

На сьогодні реактори першого-третього енергоблоків Чорнобильської АЕС перебувають на етапі остаточного закриття та консервації. Найближчим часом буде потрібно демонтувати більше 5,4 тис. т. відпрацьованого реакторного графіту, сумарною активністю близько $1,2 \cdot 10^4$ Кі й загальним пожежним навантаженням $2 \cdot 10^6$ ГДж, що несе потенційну небезпеку для персоналу й навколишнього середовища [1].

Графіт як конструкційний матеріал активної зони реактора використовується у вигляді незмінних виробів (у вигляді графітових блоків) і змінюваних елементів: кільця контакту між кладкою і технологічними каналами, втулок ТВС, витискувачів стрижнів СУЗ. В процесі експлуатації графітової кладки під дією нейтронного опромінення відбувається активація домішок, що присутні в графіті. Також, може відбуватися забруднення графіту внаслідок його контакту з іншими виробами активної зони і активації газу, котрим продувають кладку. Тобто, умови утворення радіоактивного графіту значною мірою різняться, що в свою чергу призводить до значних відмінностей в його якісних характеристиках.

Проведений аналіз дозволяє виділити три групи. До першої групи можна віднести графіт, який тривалий час опромінювався в реакторі і дуже забруднений паливом (наприклад, аварійні комірки 62-44 на першому блоці ЧАЕС). До другої групи пропонується віднести графіт, який тривалий час опромінювався в реакторі і майже не має забруднення паливом. До третьої групи – графіт, який не має забруднення паливом і малий час знаходився в реакторі, майже «чистий».

Виходячи з кількісних і якісних характеристик для цих груп, будуть різнитися напрямки поводження з радіоактивним графітом, а також їх кінцевий стан. Відповідно, кожна група потребує індивідуального підходу по вирішенню питання утилізації графіту. На рис. 1 представлені концепції кінцевих станів і концептуальні підходи, котрі до них призводять.

Перший концептуальний підхід – це «Переробка» графіту (див. рис. 1), метою якої є зменшення об'єму відходів, що будуть захороненні. Другий – це ізоляція графіту «Без переробки». У роботі представлено чотири концепції кінцевих станів (див. рис. 1), що можливі при виборі однієї з запропонованих концепцій – це поверхнєве захоронення (ПЗ), глибоке геологічне захоронення (ГГЗ), повторне використання (ВР) і відкладене рішення (ВР).

Слід зазначити, що кожна із запропонованих концепцій включає в себе ряд технологій за допомогою яких їх реалізують [2]. Однак, велика кількість цих технологій призвела до необхідності проведення їх систематизації з метою більш повного розуміння їхньої відповідності до вимог застосування. На рис. 2 представлені результати цієї систематизації.

Як видно з рис. 2, в результаті систематизації, наявні технології було розділено на чотири групи у відповідності до характеру їх впливу на графіт.

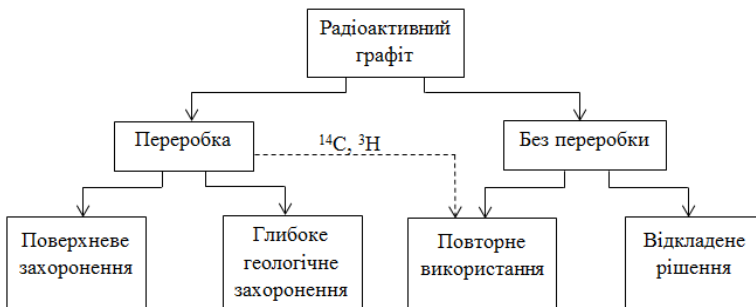


Рис. 1. Концептуальні підходи поводження з радіоактивним графітом



Рис. 2. Систематизація технологій поводження з радіоактивним графітом

Варто зазначити, що можливе також поєднання декількох технологій, що дозволить зробити процес обробки графіту більш екологічним або зменшити витрати на його реалізацію.

Так, наприклад, спалювання радіоактивного графіту призводить до вивільнення значних обсягів ізотопів вуглецю 14, який є вкрай небезпечним для навколишнього середовища та живих організмів через їхню високу здатність засвоюватись в структурі організму. Однак, ці нукліди за допомогою нещодавно розробленої британськими вченими технології [3], можуть бути повторно використані у якості елементів живлення.

Сутність даної технології полягає у створенні з радіоактивного вуглецю алмазів, які завдяки своїм фізичним властивостям здатні ефективно перетворювати бета-випромінювання в електричний струм. Для забезпечення біологічного захисту зовні алмазу отриманого з радіоактивного вуглецю буде нарощений додатковий шар алмазу із звичайного, не радіоактивного вуглецю, таке рішення дозволить не лише збільшити захист та надійність елемента, але і суттєво підвищить його КПД. Такий елемент живлення зможе пропрацювати не одну сотню або навіть і тисячу років не наносячи шкоди навколишньому середовищу.

Подальші напрямки досліджень вимагають провести відповідності між напрямками (концептуальними підходами), представленими на рис. 1, і технологіями, представленими на рис. 2. Для цього необхідно оцінити кількість віднесення радіоактивного графіту до кожної групи і провести аналіз якісних характеристик на предмет екологічної небезпеки. Ці дані стануть вхідними даними для оцінки оптимальної відповідності до технологій, представлених на рис. 2.

Запропоновані концептуальні підходи щодо поводження з радіоактивним графітом ЧАЕС здатні безпечним чином вирішити проблему його остаточної ізоляції від біосфери, однак вони вимагають значних фінансових вкладень, які в разі відкладення їх реалізації будуть збільшуватися з часом. З огляду на принципи МАГАТЕ щодо поводження з РАВ, в тому числі, про неперекладання тягаря на наступні покоління, вирішення питання поводження з радіоактивним графітом залишається актуальним.

Література:

1. Поводження з радіоактивними відходами / А. В. Носовський, З. М. Алексеева, Г. П. Борозенець та ін.; За ред. А. В. Носовського. – К.: Техніка, 2007. – 368 с. – (Безпека атомних станцій)
2. Processing of irradiated graphite to meet acceptance criteria for waste disposal: results of a coordinated research project, International Atomic Energy Agency, 2016. | Series: IAEA TECDOC-1790
3. Матеріали з офіційного сайту Брістольського університету (англ. University of Bristol) – Режим доступу до ресурсу: <http://www.bristol.ac.uk/cabot/research/casestudies/2016/diamond-battery.html>

Інформація про авторів:

Липницький А. М.- Інститут проблем безпеки атомних електростанцій
НАН України, м. Чорнобиль
e-mail: lipnart@gmail.com

Стоянов О. І.- Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН
України, м. Чорнобиль
e-mail: o.stoyanov@ispnpp.kiev.ua

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

***Abstract.** The systematization of technologies for handling radioactive graphite has been carried out, the possible directions of transformation of radioactive graphite into a final environmentally safe state have been analyzed, and the quantitative characteristics of reactor graphite 1 to 3 of the ChNPP units have been analyzed. Based on the work done, the research paths that are necessary for the transfer of radioactive graphite of the Chernobyl nuclear power units are ecologically safe.*

ПРИВАТНА ЛОКАЛЬНА ХМАРНА ПЛАТФОРМА

Лозінський А. П.

Анотація: Пропонується типова конфігурація приватної локальної хмарної платформи, що здатна забезпечувати потреби проєктів масштабу "Розумне місто" від інфраструктурних рішень до прикладних задач. Хмарні обчислення оптимально підходять для реалізації високонадійних систем масового обслуговування.

Ключові слова: розумне місто, масове обслуговування, хмарні обчислення, хмарні послуги, хмарна платформа, OpenStack.

Вступ

На базі сучасних хмарних платформ поступово зосереджується та розширюється спектр постачання хмарних послуг. Основні властивості хмарних обчислень орієнтовані на масове обслуговування та передбачають реалізацію високого договірною рівня обслуговування (service layer agreement, SLA), врахування особистих вподобань користувачів, облік використання ресурсів, забезпечення високого рівня безпеки [1].

Сучасне впровадження систем, що досі застосовувалися на рівні підприємств (відео нагляд, системи контролю доступу, збір даних з сенсорів, керування пристроями), поступово реалізується в масштабах міст. Однак, забезпечення автоматизації процесів життєдіяльності, таких як "Розумне місто", потребує вирішення ряду проблем: збереження та обробки великих обсягів даних (відео-нагляд та сенсори), централізоване керування (велика кількість обладнання та програмного забезпечення), високі вимоги безпеки (надійність та контроль доступу), необхідність прозорого горизонтального нарощування апаратної інфраструктури (без зупинок та перебудови системи в цілому), дублювання підсистем обробки та зберігання даних (у випадках апаратних

несправностей), наявність механізмів балансування потоків даних і робочих навантажень. На сучасному етапі розвитку хмарних обчислень у їх складі вже реалізовано необхідні для вирішення вище описаного комплексу проблем технології.

З огляду на сучасний рівень надійності Internet, використання публічних хмарних платформ для критичних задач недоцільно. Однак, побудова власної локальної хмарної платформи в рамках приватної локальної мережі дозволяє реалізувати поєднання надійної передачі даних з перевагами властивостей хмарних обчислень [2].

Об'єднання технологій у хмарних обчисленнях

Багатофункціональність хмарних обчислень реалізована шляхом об'єднання передових наукових розробок та технологій різних галузей ІТ [3]. На рисунку 1 схематично представлено ключові технології, об'єднання котрих впливає на формування та розвиток хмарних обчислень.



Рис. 1. Об'єднання технологій в рамках хмарних обчислень

Об'єднання технологій забезпечує функціональні властивості хмарних обчислень. Наприклад, поєднання багаторівневого абстрагування, технологій віртуалізації, композиції сервісів та сервіс-орієнтованої архітектури (service oriented architecture, SOA) забезпечує створення, запуск, одночасну роботу та динамічний перерозподіл ресурсів взаємодіючих або ізольованих гібридних інформаційних систем, що складаються з обчислювальних вузлів з операційними системами та сервісами незалежних виробників.

Структура архітектури хмарної платформи

З метою полегшення розуміння внутрішньої будови платформи хмарних обчислень (Хмарна платформа) запропоновано логічну структуру у складі семи функціональних рівнів. Кожен рівень структури формується функціонально схожими структурними блоками і служить платформою для формування іншого рівня, що розташований вище.



Рис. 2. Структура архітектури хмарної платформи

Ключову роль в архітектурі хмарної платформи відіграє третій рівень. Його розподілена між апаратними вузлами сервіс-орієнтована архітектура об'єднує апаратні вузли в єдину керовану систему, забезпечує абстрагування системних ресурсів (мікропроцесори, оперативна пам'ять, мережеві з'єднання та системи збереження даних), приховує від користувачів хмарних послуг будову нижче розташованих рівнів Платформи, як зображено на рисунку 2.

Типова конфігурація перших трьох рівнів платформи

Від структури та обчислювальної потужності складових компонентів апаратного рівня залежить потужність та функціональні властивості на всіх вище розташованих рівнях хмарної платформи. Пропонується використовувати типову конфігурацію власної локальної хмарної платформи на основі продукту з відкритим програмним кодом OpenStack [4] у складі одного головного вузла – сервер з апаратними характеристиками 2 CPU Xeon E5-4650, ОЗУ 128Гб, RAID6 ~10Тбайт.

Одного вузла має бути достатньо для формування на рівні IaaS мінімальної робочої віртуальної інфраструктури рівня підприємства (віртуальні вузли та мережі, логічні розділи та послуги зберігання даних). З метою подальшого нарощування кількості вузлів хмарної платформи до складу головного вузла повинно входити програмне забезпечення автоматизованого розгортання сервіс-орієнтованої архітектури третього рівня на апаратні вузли, що додаються в архітектуру першого рівня відповідно до зростання потреб в ресурсах.

Склад та композиція сервісів OpenStack між апаратними вузлами залежить від об'ємів обробки та зберігання даних, що диктуються прикладними задачами. Образи системних розділів для створення віртуальних машин надаються сервісом Glance. Віртуалізація може бути реалізована з використанням гіпервізорів KVM, VMWare, Hyper-V. Керування життєвим циклом сервіс Nova. Сервіс Neutron керує життєвим циклом та функціонуванням віртуальних SDN мереж у складі віртуальних інфраструктур на IaaS рівні. Також цей сервіс забезпечує мережеве балансування навантаження. Для захисту інформації дублюванням застосовується сервіс Ceph. Облік використання ресурсів виконується засобами сервісу Celometer.

З метою досліджень на предмет виявлення методів реалізації основних властивостей хмарних обчислень створено діючу модель локальної хмарної платформи (Модель). Модель реалізована на основі OpenStack. За результатами досліджень пропонується типова конфігурація перших трьох рівнів власної локальної хмарної платформи, що зображена на рисунку 3.

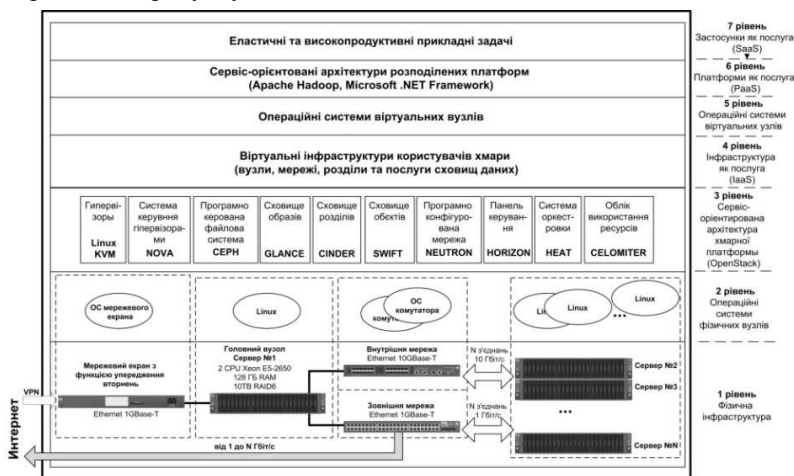


Рис. 3. Структура локальної хмарної платформи

Як видно на рисунку 3, перший апаратний рівень дозволяє теоретично необмежене горизонтальне нарощення кількості серверів та пропускної здатності каналів. Всі сервери безпосередньо підключені до зовнішнього мережевого сегменту, забезпечуючи незалежну пропускну здатність. Операційні системи фізичних серверів ізольовані від Internet, оскільки не призначають мережевим картам зовнішнього мережевого сегменту IP-адреси. Процедури нарощування апаратної платформи не впливають на робочі навантаження завдяки засобам міграції віртуальних вузлів OpenStack. У робочих конфігураціях хмарної платформи комутація вузлів внутрішнього сегменту реалізується з'єднаннями зі швидкістю від 10 Гбіт/с. З метою забезпечення стабільності мережевої взаємодії віртуальних структур четвертого рівня сервіс Neutron бажано ізольовати в окрему мережу або обмежити швидкість передачі даних служб сховищ даних Certh, Glance, Cinder SWIFT засобами операційних систем комунікаторів. Надійний контроль доступу користувачів до керування хмарними послугами реалізується крізь VPN підключення. Для цих цілей у складі платформи застосовується мережевий екран з функцією упередження вторгнень (Intrusion Prevention System, IPS).

Висновок

Сервіс-орієнтована архітектура третього рівня хмарної платформи забезпечує сервісами балансування мережевих та обчислювальних навантажень високонадійну інфраструктуру обробки та зберігання даних.

Реалізація проекту «Розумне місто» на основі локальної хмарної платформи забезпечує прозорість нарощування апаратного рівня, централізоване керування, перерозподіл ресурсів між прикладними задачами та міграцію останніх між вузлами апаратної інфраструктури.

Література:

1. Gens F. The 3rd Platform: Enabling Digital Transformation. November 2013, p.13 Source: <http://www.idc.com> (Last access: 20.02.2017)
2. Гриценко В.И., Урсат'єв А.А. Cloud Computing и облачная модель предоставления ИТ-услуг // КВТ. – 2013. – 171. – С. 5–19.
3. Бууа R., Броберг J., Госцински А.М. Cloud Computing Principles and Paradigms. WILEY Publication, 2010. – 674 P.
4. Open source software for creating private and public clouds. Source: <http://www.openstack.org> (Last access: 20.02.2017)

Інформація про автора:

Лозінський Анатоль Павлович – м.н.с., Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій і систем НАН та МОН України, м. Київ, Україна

e-mail: lozinsky@gmail.com

Основні напрямки наукових досліджень: хмарні обчислення, машинне навчання.

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

PRIVATE LOCAL CLOUD PLATFORM

Anatol Lozinskyi

Abstract: *The current implementation of systems that were still used at enterprise level is gradually being implemented on a city scale. Their implementation requires solving a number of problems of storing and processing large volumes of data with a high level of security. The current state of association in the cloud computing of advanced scientific developments and technologies allows us to successfully solve the problems of storing and processing large volumes of data, providing centralized management, and a high level of security. The structure of the architecture of the internal structure of the cloud computing platform in the composition of seven functional levels is proposed. Each level consists of blocks with similar functional properties. A typical local cloud platform configuration is proposed that can meet the needs of Smart City projects from infrastructure solutions to applications. The cloud platform is implemented on the basis of an OpenStack open source software product. A typical configuration involves deploying one server node with the theoretical perspective of unlimited number of nodes and bandwidths for connecting to external networks and the Internet.*

Keywords: *smart city, mass service, cloud computing, cloud service, cloud platform, OpenStack.*

ВИКОРИСТАННЯ BLUETOOTH 4.2 В СЕНСОРНИХ MESH-МЕРЕЖАХ

Лукомський Я. (науковий керівник – Грудзинський Ю.)

Протокол Bluetooth побачив світ 3-го грудня 2014 року і встиг завоювати провідне місце в галузі безпроводних технологій. Він використовується для забезпечення безпроводного зв'язку в різних сферах, до яких відносяться автоматизація промисловості і дому, інтернет речей (IoT), переносна електроніка, пристрої з людино-машинним інтерфейсом (HID) і т. д. Нова версія Bluetooth 4.2, головним чином, містить в собі три доробки: безпечне з'єднання (LE Secure Connections), збільшення швидкості передачі даних за рахунок збільшеної довжини пакета (LE Data Length Extension, DLE) і захист конфіденційності (LE Privacy 1.2) [1].

IoT сумісність:

- Малопотужні IP (IPv6/6LoWPAN);
- Bluetooth Smart Internet Gateways (GATT);
- Гнучкість в підключенні до інтернету.

Використовуючи Bluetooth 4.2 датчики та актуатори можуть обмінюватися інформацією з контролером через Інтернет при умові, що обидва вони підтримують новий інтернет-протокол.

Безпека:

- LE Privacy 1.2;
- LE Secure Connections.

Завдяки більшій енергоефективності і наявності високозахищених функцій BLE 4.2 надає додаткові переваги, які дозволяють відстежувати місцезнаходження пристрою та впевнено встановлювати підключення з ним лише надійним вузлам mesh-мережі. Версія BLE 4.2 дозволяє з'єднувати між собою декілька пристроїв у mesh-мережу.

Швидкість:

- передача інформації між пристроями в 2.5 рази швидше за попередній стандарт;

- в 10 разів збільшено розмір пакетів для передачі.

При таких змінах енергоспоживання стає мінімальним.

Є три основні напрями використання Bluetooth 4.2:

1. Зв'язок між розумними пристроями по протоколу http.
2. Розумні пристрої та хмарні технології.
3. Bluetooth 4.2 + IPv6.

Перший варіант описує зв'язок між розумними пристроями методами, які передбачені в API стандарту. Другий варіант являє собою ланцюг: датчик/виконавчий механізм, HTTP Proxy Service (HPS), HTTP Server. Третій варіант описує взаємозв'язок між розумними пристроями в мережі Bluetooth Smart IPv6/802.11 Router. [3]

Прихід Четвертої промислової революції призводить до розвитку автоматизації в рамках організації роботи процесів і передачі даних по бездротовому каналу зв'язку. Донедавна найбільшими проблемами бездротових пристроїв були:

- незахищене з'єднання між вузлами мережі;
- мала смуга пропускання;
- висока ціна.

Наразі ж ці проблеми вирішує прихід Bluetooth 4.2, що призводить до можливого використання його в сенсорних мережах, розташованих на невеликих територіях (в будинках, хмарочосах).

Bluetooth працює за принципом FHSS (Frequency-Hopping Spread Spectrum). Передавач розбиває пакети і передає їх по псевдовипадковому алгоритму стрибкоподібної перебудови частоти (1600 разів в секунду), або шаблоном (pattern), складеним з 79 подчастот. "Зрозуміти" один одного можуть тільки ті пристрої, які налаштовані на один і той же шаблон передачі - для сторонніх приладів передана інформація буде звичайним шумом.

Основним структурним елементом мережі Bluetooth є так звана "пікомережа" (piconet) - сукупність від 2 до 8 пристроїв, що працюють на одному і тому ж шаблоні. У кожній пікомережі один пристрій працює як master, а решта як slave. Master визначає шаблон, на якому будуть працювати всі slave-пристрої його пікомережі, і синхронізує її роботу. Стандарт Bluetooth передбачує з'єднання незалежних і навіть

не синхронізованих між собою пікомереж (до 10) в так звану "scatternet". Для цього кожна пара пікомереж повинна мати як мінімум один спільний пристрій, який буде master'ом в одній і slave'ом в іншій. Таким чином, в межах окремої scatternet з інтерфейсом Bluetooth може бути одночасно пов'язано максимум 71 пристрій, однак ніхто не обмежує застосування пристроїв-шлюзів, що використовують той же Internet для більш далекого зв'язку [4].

Сенсорна мережа, складена з вузлів, які підтримують стандарт Bluetooth версії 4.2 має здатність до ретрансляції повідомлень по ланцюжку від одного вузла до іншого, що дозволяє:

- в разі виходу з ладу одного з вузлів організувати передачу інформації через сусідні вузли без значної втрати якості;
- збільшити покриття мережі за рахунок задіяння в передачі сусідніх вузлів.

Сама мережа визначає оптимальний маршрут руху інформаційних потоків. Як вже було сказано, така мережа може бути організована як сукупність підмереж або кластерів, пов'язаних центрами збору інформації, що виконують роль шлюзів взаємодії «сенсорна мережа - FieldBus». Шлюзи є більш складні програмно-апаратні пристрої, ніж сенсори/актуатори, володіють значними обчислювальними можливостями і підтримують стандартні інтерфейси (такі як Industrial Ethernet, GPRS, IEEE 802.11, CAN та RS-485). Центри збору інформації можуть мати у своєму розпорядженні виходи на дротові мережі, потужний радіопередавач і менш залежні від обмежень в енергоспоживанні [5].

Як видно з усього вищезазначеного, Bluetooth 4.2 може стати міцною основою сенсорних мереж в автоматизації там, де потрібна дешева, надійна і безпечна бездротова технологія передачі даних, що охоплює окремі споруди, чи невелику площу.

Література:

1. Михаил Соколов, "Chip News Украина" - BLE v4.2: быстрее, безопаснее, энергоэффективнее. Часть 1.
2. Michael Venezia - <https://goo.gl/Xizo2w>
3. Martin Woolley - <https://goo.gl/1zRNCC>
4. Артем Камшилин, "Bluetooth: технология и ее применение" - <https://goo.gl/yD6tvs>
5. Лукомський Ярослав, Грудзинський Юліан - "Бездротовий моніторинг технологічних об'єктів управління на основі технології сенсорних мереж"

Інформація про авторів:

Лукомський Ярослав – НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», Україна;
e-mail: yar.lukomsky@gmail.com

Основні сфери досліджень: Автоматизація, Мережеве обладнання, Архітектура мережі, Розподілені системи обробки даних

Науковий керівник: Грудзинський Юліан – НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», Україна;

e-mail: jug@sonettele.com

Основні сфери досліджень: Кібербезпека промислових мереж, Інтернет речей, Сенсорні мережі, Вбудовані системи, Системи реального часу

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

**USING THE BLUETOOTH 4.2 IN
THE MOST SENSORED MESH NETWORKS**

Yaroslav Lukomsky, Julian Grudzinskiy

Abstract: *The peculiarities of the use of the new standard BLUETOOTH 4.2 for the construction of sensor networks of "smart buildings" and in industry, for the automation of objects are described. The Bluetooth protocol came to light on December 3, 2014, and managed to win the leading place in the field of wireless technology. It is used to provide wireless communications in various areas, including the automation of industry and home, Internet things (IoT), portable electronics, devices with a human-machine interface (HID), etc. The new version of Bluetooth 4.2, mainly, includes three enhancements: LE Secure Connections, LE Data Length Extension (DLE), and Privacy Latitude (LE Privacy 1.2). It has been shown that Bluetooth 4.2 can be a solid foundation for sensor networks in automation where a cheap, reliable and secure wireless data transmission technology covering individual structures or a small area is needed.*

Keywords: *wireless monitoring, industrial systems, sensor networks.*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ
ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ
РАДИОНУКЛИДАМИ ВСЛЕДСТВИЕ АВАРИИ НА ЧАЭС**

Машианистов В., Балакин В., Коверя А.

Аннотация: Предложен подход, который позволит использовать в строительной индустрии большие объемы безопасного сырья, полученного из загрязненных радионуклидами объектов и способствовать существенному улучшению экологической обстановки. Основой данного подхода является демонтаж таких объектов с последующим раздроблением образовавшихся фрагментов до небольших размеров. При этом радионуклиды с загрязненных поверхностей переводятся в объем полученной массы и распределяются в нем равномерно, что создает условия для получения радиационно безопасного сырья, пригодного для использования без каких-либо ограничений.

Показано, что критерием радиационной безопасности полученного вторичного сырья является максимальное значение мощности гамма-излучения с его поверхности, обеспечивающее непревышение установленного лимита индивидуальной годовой эффективной дозы облучения.

Ключевые слова: радиактивно загрязненный объект, ионизирующее излучение, дезактивация, утилизация, облучение.

Введение

Авария на Чернобыльской АЭС, произошедшая 26 апреля 1986 года, была крупнейшей техногенной катастрофой в истории человечества. В результате выброса значительной массы радиоактивных веществ при взрыве в активной зоне четвертого энергоблока образовалась большая зона радиоактивного заражения.

По своей физической сути Чернобыльская зона отчуждения – гигантский поверхностный открытый источник ионизирующего излучения (ИИ), площадь которого составляет более 2,5 тыс. км². На его территории интенсивному радиоактивному загрязнению подверглась окружающая среда и все её компоненты, а также объекты естественного и искусственного (техногенного) происхождения. В пределах зоны отчуждения на данный момент находится большое количество объектов, загрязненных радионуклидами: жилые, административные, производственные и другого назначения здания и сооружения; транспортные средства, технологическое оборудование и техника, применявшаяся при ликвидации последствий аварии, металлолом и пр. К природным объектам, подвергшимся интенсивному радиоактивному загрязнению, можно отнести, прежде всего, почву, воздух, воду, растительность и т.п. Все эти объекты, сами стали источниками опасного для людей ИИ.

Загрязнение объектов ЧАЭС обусловлено, в основном, цезием-137 и стронцием-90, период полураспада которых составляет примерно 30 и 29 лет, соответственно. Что касается объектов техногенного происхождения, созданных человеком, то превышение показателей загрязнения их поверхности выше допустимого уровня приводит к невозможности их использования по прямому назначению. Следовательно, эти объекты должны выводиться из обращения, что, в свою очередь, требует решения ряда вопросов относительно организации их хранения, захоронения, обеспечения радиационной безопасности населения и персонала объектов, недопущения дополнительного радиационного загрязнения природной среды в местах их нахождения. Все это связано со значительными материальными затратами. Кроме того, вывод этих объектов из оборота, в силу невозможности их применения по прямому назначению вследствие радиационного загрязнения, также ведет к значительным материальным потерям.

В связи с вышеупомянутым, особую актуальность приобретает задача утилизации этих объектов, т. е. обеспечение их дальнейшего применения в промышленности, строительстве и других сферах человеческой деятельности.

Немаловажен также и социально-психологический аспект, так как нерешенность в полном объеме проблем, связанных с наличием большого количества техногенных объектов, загрязненных радионуклида-

ми является одним из факторов, обуславливающих негативное отношение общества к ядерной энергетике, что, в свою очередь, сдерживает её дальнейшее развитие.

На практике для возвращения в оборот радиационно загрязненных объектов проводят дезактивацию их поверхности различными способами, что не всегда обеспечивает требуемую степень очистки изделий сложной конфигурации и к тому же сопровождается образованием больших объемов новых радиоактивных отходов (РАО). Это экономически нецелесообразный, трудоемкий и небезопасный для производственного персонала путь.

Состояние решения проблемы утилизации объектов, загрязненных радионуклидами, и постановка задачи

Важнейшей особенностью загрязнения объектов в результате аварии с выбросом радионуклидов в атмосферу является их оседание на поверхность этих объектов с возможным проникновением в пористые материалы на глубину до 20 см. Для того, чтобы вернуть в хозяйственный оборот загрязненный радионуклидами объект или материал, т. е. обеспечить возможность его применения в любом состоянии и качестве, даже отличающимся от его первоначального назначения, необходимо создать условия, при которых он будет радиационно безопасным для человека.

В настоящее время эта задача решается, в основном, путем дезактивации загрязненных объектов. Причем непосредственно дезактивирующей обработке подлежат поверхности этих объектов, на которых находятся загрязняющие их радионуклиды. Дезактивация зданий, сооружений, транспортных средств, промышленного и технологического оборудования проводится, как правило, физическими (механическими), химическими или физико-химическими методами.

К основным недостаткам, наиболее часто применяемых на практике способов дезактивации, относятся:

- радиационная опасность для персонала;
- необходимость применения значительного количества различных технических систем, устройств, инструмента и приспособлений, химических веществ и расходных материалов, что часто связано с большими затратами энергии и материалов;
- значительная трудоемкость;
- чрезвычайно высокая стоимость процессов дезактивации;
- необходимость сбора, транспортировки и захоронения удаляемых радиоактивных загрязнений;
- дополнительное радиоактивное загрязнение окружающей среды, используемых технических средств, инструментов и приспособлений, транспортных средств и др.

Таким образом, трудности технологического и экономического характера до сих пор не позволяют успешно решить проблему переработки больших объемов радиоактивно загрязненного материала.

Цель данного исследования – предложить эффективную технологию утилизации радиоактивно загрязненных техногенных объектов.

Анализ радиоактивно загрязненного объекта, как источника облучения человека

Для того чтобы объект, загрязнение которого радионуклидами привело к повышению уровня ИИ с его поверхности, можно было утилизировать, необходимо обеспечить его радиационную безопасность в соответствии с требованиями Норм радиационной безопасности Украины (НРБУ-97) [1], в основе которых лежат рекомендации Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ). Обобщенным критерием радиационной безопасности техногенного источника ИИ служит индивидуальная годовая эффективная доза внешнего облучения индивидуума, находящегося в зоне действия излучения этого источника, которая не должна превышать установленного лимита дозы. Для любого лица из населения числовое значение годового лимита дозы ЛД_Е составляет 1 мЗв/год, а для производственного персонала – 20 мЗв/год, причем в течение календарного года распределение дозы не регламентируется. В данном исследовании учтены рекомендации, изложенные в публикации 103 МКРЗ [2], которые систематизируют и дополняют указания по контролю облучения от источников ИИ, разработанные после ввода в действие НРБУ-97.

В результате аварии на ЧАЭС произошло загрязнение радионуклидами всех элементов окружающей среды на территории, прилегающей к АЭС: атмосферы, земной поверхности, сооружений, растительности, воды и т.п. Эти объекты являются вторичными источниками ИИ, которое может воздействовать на людей. С целью анализа возможных путей поступления ИИ к отдельному индивидууму от загрязненных радионуклидами объектов, из всей их совокупности, выберем один, например, отдельное здание. Индивидуальная эффективная доза, формируемая этим источником $E_{об}$, является дополнительной к дозе $E_{ф}$, создаваемой радиационным фоном. В общем случае доза облучения любого человека $E_{об}$ равна сумме эффективной дозы внешнего облучения рассматриваемым источником ИИ, накопленной за календарный год ($E_{внеш}$), и ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением загрязнивших данный источник радионуклидов в организм того же человека за тот же период времени $E_{внутр}$ [3]:

$$E_{об} = E_{внеш} + E_{внутр}. \quad (1)$$

Величина эффективной дозы $E_{об}$ является количественной мерой радиационной опасности, исходящей от рассматриваемого нами загрязненного радионуклидами объекта. Для принятия мер по обеспечению радиационной безопасности отдельного источника ИИ необходимо оценить вклад в дозу $E_{об}$ каждого из возможных путей воздействия его излучения на отдельного человека.

При внешнем облучении ИИ, созданное источником, находящимся вне тела человека, проникает через кожу и воздействует на внутренние органы и ткани. Распад радионуклидов сопровождается испусканием ИИ разных видов (альфа-, бета- и гамма-излучение) и, соответственно, доза внешнего облучения может иметь три составляющие – E_{α} , E_{β} и E_{γ} :

$$E_{внеш} = E_{\alpha} + E_{\beta} + E_{\gamma}. \quad (2)$$

При внутреннем облучении радионуклиды поступают в организм человека ингаляционным путем вместе с вдыхаемым воздухом, а также пероральным путем при приеме пищи и воды. Как следствие, доза внутреннего облучения представляет собой сумму ингаляционной $E_{инг}$ и пероральной $E_{пер.}$ составляющих:

$$E_{внутр} = E_{инг} + E_{пер.} \quad (3)$$

С учетом изложенного, выражение (1) приобретает следующий вид:

$$E_{об} = E_{\alpha} + E_{\beta} + E_{\gamma} + E_{инг} + E_{пер.} \quad (4)$$

В данном выражении представлены все возможные слагаемые, которые могут формировать дозу облучения $E_{об}$ любого индивидуума, одновременно создаваемую одним источником ИИ. При этом учитываются все возможные пути поступления излучения и радионуклидов от этого источника в организм облучаемого человека, а также пространственные, временные, метеорологические и другие факторы, которые влияют на величину дозы.

Для оценки уровня опасности конкретного источника ИИ для одного человека, числовое значение эффективной дозы $E_{об}$, созданной этим источником, сравнивается с установленным лимитом индивидуальной дозы облучения ЛД_Е для этого источника. Если

$$E_{об} > ЛД_{Е}, \quad (5)$$

то исследуемый загрязненный радионуклидами объект является радиационно небезопасным и для его утилизации необходимо принять меры по обеспечению неперевышения значения $E_{об}$ лимита дозы ЛД_Е.

Эффективная индивидуальная годовая доза является результатом суммирования нескольких составляющих, обусловленных совершенно разными механизмами радиационного воздействия на организм человека. Эффективную дозу, являющуюся расчетной величиной, невозможно измерить и, следовательно, контролировать. Поэтому при ре-

шении практических задач измеряют производные (вторичные) радиационные параметры, значениям которых соответствует величина эффективной дозы. К таким производным контролируемым параметрам, как следует из (4), относятся:

- мощность дозы гамма-излучения и плотность потока альфа- и бета-частиц для внешнего облучения;
- объемная или удельная активность радионуклидов во вдыхаемом воздухе, в потребляемой воде и пище при внутреннем облучении.

Для каждого из факторов радиационного воздействия устанавливаются соответствующие производные нормативы – допустимые уровни. Они рассчитываются по различным моделям таким образом, чтобы при действии одного фактора не был превышен основной норматив – лимит эффективной дозы. При одновременном воздействии нескольких факторов должно выполняться условие, чтобы сумма относительных значений каждого фактора к его предельному значению не превышала единицы [3]. Предельные значения каждого фактора устанавливаются нормативными документами.

В рассматриваемой нами задаче, исходным поражающим радиационным фактором являются радионуклиды, находящиеся на поверхности загрязненного объекта. При распаде радионуклидов испускается ИИ, которое распространяется от поверхности объекта через приземный слой атмосферы к человеку по прямой линии, соединяющей его с источником. Проникающая способность ИИ разных видов характеризуется длиной их свободного пробега в веществе. Из всех видов ИИ гамма-излучение представляет наибольшую опасность при внешнем облучении человека, поскольку его пробег в воздухе равен сотням метров, и оно способно проникнуть внутрь организма на большую глубину и воздействовать на внутренние органы. В то же время ИИ, представленное альфа- и бета-частицами, способно преодолеть в атмосфере расстояние только в несколько сантиметров. Следовательно, практически слагаемое $E_{\text{внеш}}$ в выражении (1) формируется только гамма-излучением, и его можно заменить на E_{γ} .

Так как рассматриваемый нами объект – это открытый источник ИИ, то под воздействием атмосферных явлений радионуклиды бесконтрольно могут переходить в состав других источников ИИ, например, в атмосферу, подстилающую поверхность, грунтовые воды и т. п. Внутрь организма облучаемого человека радионуклиды могут попасть из этих источников вместе с вдыхаемым воздухом, при употреблении воды и пищи. Поскольку непосредственно от загрязненного объекта радионуклиды не могут попасть в организм человека, то слагаемое $E_{\text{внутр}}$ в выражении (1), которое учитывает вклад внутреннего облучения в дозу, равно нулю. В результате, радионуклиды, которые нахо-

дятся на поверхности объекта, представляющего собой по отношению к облучаемому человеку внешний источник ИИ, в каждый текущий момент времени, могут формировать дозу $E_{об}$ за счет только одной составляющей – гамма-излучения E_{γ} . При этом значение дозы $E_{об}$ от радионуклидного состава загрязнения не зависит.

Следовательно, годовую индивидуальную эффективную дозу внешнего облучения $E_{об}$ можно оценить путем измерения мощности дозы гамма-излучения P_{γ} с поверхности рассматриваемого объекта и суммарной продолжительности облучения данного индивидуума $T_{обл}$ в пределах одного календарного года:

$$E_{об} = P_{\gamma} \cdot T_{обл}. \quad (6)$$

Мощность гамма-излучения P_{γ} уменьшается с удалением точки её измерения от источника, так как увеличивается толщина поглощающего слоя атмосферы, через который распространяется это излучение. Следовательно, оцениваемая мощность имеет свое максимальное значение $P_{\gamma}^{макс}$ у излучающей поверхности объекта, поэтому доза облучения отдельного лица, находящегося у этой поверхности $E_{\gamma}^{макс}$, будет наибольшей по сравнению с теми дозами, которыми одновременно облучаются другие индивидуумы, находящиеся в зоне действия излучения, созданного этим объектом. В результате, данный источник ИИ будет безопасным для любого человека, если выполняется неравенство:

$$E_{\gamma}^{макс} < ЛД_E, \quad (7)$$

где $ЛД_E$ – лимит эффективной дозы, при котором обеспечивается радиационная безопасность объекта.

Поскольку в рассматриваемой ситуации значения годовой эффективной дозы и среднегодовой мощности гамма-излучения связаны между собой линейной зависимостью (6), то соотношение (7) можно представить в виде:

$$P_{\gamma} \leq P_{\gamma}^{макс}, \quad (8)$$

где $P_{\gamma}^{макс}$ – допустимая мощность дозы гамма-излучения.

Значение $P_{\gamma}^{макс}$ является допустимым уровнем усредненной за год мощности дозы гамма-излучения, соответствующим лимиту эффективной дозы, при условии, что индивидуум подвергся только внешнему облучению от данного источника. Данный уровень является производным нормативом от эффективной дозы и, следовательно, может использоваться в качестве критерия радиационной безопасности рассматриваемого объекта. При невыполнении условия (8) необходимо принимать меры по обеспечению радиационной безопасности объекта с целью его утилизации. Из изложенного выше следует, что это можно реализовать только одним путем: уменьшением мощности гамма-излучения с поверхности рассматриваемого объекта до приемлемого уровня.

Анализ зависимости мощности гамма-излучения с поверхности объекта от вида распределения загрязняющих его радионуклидов

Загрязнение различных объектов радиоактивными веществами может быть поверхностным или объёмным. Для выявления количественной зависимости мощности гамма-излучения с поверхности объекта от вида распределения загрязняющих его радионуклидов, воспользуемся рисунком 1, на котором показан объект в виде параллелепипеда, изготовленный из изотропного материала, с площадью одной из плоскостей S и длиной d . Способность вещества объекта ослаблять распространяющееся в нём ИИ характеризуется толщиной слоя половинного ослабления $d_{0,5}$, который ослабляет мощность дозы гамма-излучения в два раза. Рисунок 1,а соответствует ситуации, когда радионуклидами равномерно загрязнена только одна поверхность S . В этом случае все радионуклиды, представляющие собой элементарные изотропные источники, вносят свой вклад в формирование электромагнитного поля на поверхности объекта S . Мощность этого излучения $P_{\gamma}^{\text{пов}}$ будет определять степень опасности для человека, находящегося в зоне ее действия. Рисунок 1,б соответствует случаю, когда все радионуклиды с поверхности S переведены в объем этого же объекта и распределены в нём равномерно.

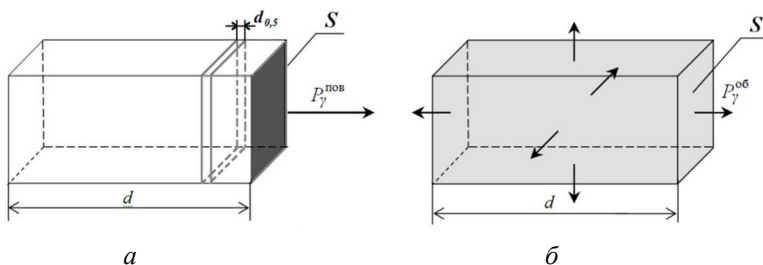


Рис. 1. Иллюстрация зависимости мощности гамма-излучения с поверхности объекта от вида распределения загрязняющих его радионуклидов:

а – поверхностное загрязнение; б – объёмное загрязнение

Такое изменение распределения радионуклидов существенно уменьшает уровень суммарного радиационного излучения с поверхности объекта, так как имеет место явление поглощения ИИ создаваемого радионуклидами, находящимися в веществе объекта. Степень ослабления излучения элементарного источника зависит от его удаленности от поверхности, на которой определяется уровень радиации. Чем дальше от поверхности объекта находятся элементарные излучатели, тем больший путь необходимо преодолевать в веществе объекта ИИ, и тем большая доля его энергии будет поглощаться этим веществом. Таким образом, не все элементарные источники ИИ, которые

находятся в объеме объекта (случай б), вносят вклад в излучение с его поверхности. За пределы объекта может выйти гамма-излучение только тех радионуклидов, которые находятся в его приповерхностном слое, толщина которого зависит от плотности вещества объекта, а также от вида и энергии ИИ, излучаемой радионуклидами.

В общем случае обеспечить радиационную безопасность источника ИИ, находящегося за пределами организма облучаемого им человека, можно как путем уменьшения количества радионуклидов на излучающей поверхности объекта, так и воздействием на пути распространения ИИ, создаваемого этими радионуклидами. Поскольку конечным результатом этих действий является уменьшение мощности дозы гамма-излучения, то на практике зачастую оба эти вида воздействий объединяют одним термином «дезактивация». Частным случаем данного понятия является термин «самодезактивация», под которым понимается эффект поглощения ИИ радионуклидов, находящихся в объеме источника излучения веществом этого же источника. По своим последствиям такое действие эквивалентно уменьшению количества радионуклидов на излучающей поверхности объекта и приводит к уменьшению мощности гамма-излучения. Применение в широком смысле единого понятия «дезактивация», позволяет использовать его в целях количественной оценки вклада различных факторов на мощность дозы внешнего облучения человека.

Влияние типа распределения загрязняющих объект радионуклидов на мощность ИИ с его поверхности иллюстрируется с помощью рисунка 1. Поверхность S на рисунке 1,а загрязнена радионуклидами и является излучателем энергии по нормали к ней, которая характеризуется мощностью дозы гамма-излучения $P_{\gamma}^{\text{пов}}$. Рассматриваемый источник можно представить как бесконечную плоскость с равномерно распределенной по поверхности S активностью. В соответствии с [4], значение этой мощности может быть найдено из соотношения:

$$P_{\gamma}^{\text{пов}} = 2\pi q_{\text{пов}} \cdot K_{\gamma}, \quad (9)$$

где $q_{\text{пов}}$ – поверхностная активность, Бк/м²;
 K_{γ} – ионизационная постоянная радионуклида, загрязняющего поверхность S , (Зв/ч)/(Бк/м²).

Полная активность Q на поверхности S равна:

$$Q = q_{\text{пов}} \cdot S, \text{ Бк} \quad (10)$$

Если радионуклиды из состава активности Q переходят в объем рассматриваемого объекта $V = S \cdot d$ и распределяются в нем равномерно, то имеет место преобразование источника ИИ с поверхностной активностью $q_{\text{пов}}$ в источник с объемной активностью:

$$q_{\text{об}} = \frac{Q}{V}, \text{ Бк/м}^3. \quad (11)$$

Все поверхности рассматриваемого объекта, в том числе и плоскость S , являются источниками ИИ, испускаемого по нормали к каждой из этих плоскостей. Излучение с плоскости S формируется полубесконечным излучающим пространством, каким можно представить объем объекта. Следовательно, мощность гамма-излучения с поверхности S может быть определена из соотношения [4]:

$$P_{\gamma}^{об} = \frac{2\pi q_{об} \cdot K_V \cdot d_{0,5}}{0,693} \quad (12)$$

На практике данное соотношение используется в случаях, когда выполняется условие

$$d > 4d_{0,5}, \quad (13)$$

С целью сопоставления между собой значений мощности дозы гамма-излучения с плоскости S одного источника создаваемой активностью Q при ее поверхностном и объемном распределении в объекте длиной d (см. рис. 1), рассмотрим полученное после преобразований соотношение:

$$P_{\gamma}^{нов} = 0,693 P_{\gamma}^{об} \frac{d}{d_{0,5}} \quad (14)$$

Условие (13) практически всегда выполняется и, как видно из (14), перевод загрязняющих поверхность какого-либо объекта радионуклидов в его объем приводит к уменьшению мощности дозы гамма-излучения с этой поверхности. При этом имеет место линейная зависимость излучаемой мощности от длины объекта. Уменьшение мощности излучения с поверхности объекта происходит за счет эффекта самодезактивации в его объеме. Рассмотренный подход может использоваться для получения безопасных в радиационном отношении материалов из радиоактивно загрязненных объектов.

Оценка возможности утилизации радиоактивно загрязненных зданий и техногенных сооружений

Как было указано выше, в результате Чернобыльской катастрофы радиоактивному загрязнению подверглось большое количество зданий и сооружений, ныне находящихся в зоне отчуждения. В одном только городе Припять, сейчас «мертвом», жилой фонд составлял 658700 м² в составе 160 многоквартирных домов и 26 высотных общежитий, а также зданий административного и культурно-бытового назначения [5]. По данным автоматизированной системы контроля радиационного состояния мощность дозы гамма-излучения в настоящее время в несколько раз превышает фоновый уровень.

Утилизация этих объектов возможна путем их демонтажа или сноса, с последующим получением фрагментов до размеров щебня или гравия и дальнейшего использования полученной массы для изготовления крупногабаритных бетонных блоков, проведения бетонных работ непосредственно на стройплощадках, в качестве засыпки полотен автомобильных и железнодорожных магистралей и др. Принципиальная возможность реализации такого способа обеспечивается преобразованием поверхностного загрязнения этих объектов в равномерное объёмное распределение радионуклидов по всему объёму создаваемого при дроблении материала.

Наиболее приемлемым способом сноса зданий и сооружений в этих условиях может быть их разрушение с помощью направленного взрыва. Опыт применения этого способа в условиях современного строительства в наше время значительный, его применение достаточно простое, не требует значительных материальных затрат, использования специального оборудования, техники и инструмента и осуществляется в минимальные сроки. Дальнейшее измельчение полученных фрагментов разрушенных зданий и сооружений может осуществляться с помощью специальных передвижных мельниц, камнедробилок или на стационарном аналогичном оборудовании. Все работы, связанные со сносом радиоактивно загрязнённых зданий, сортировкой полученных фрагментов по типу материала, их измельчением и др. должен выполнять персонал категории А.

Таким образом, рассматриваемый подход, позволяет утилизировать материал, полученный в результате демонтажа радиоактивно загрязнённых зданий и сооружений, с последующим измельчением его до размеров, соизмеримых с размером гравия или щебня.

Рассмотрим возможности предложенного подхода на примере. Примем, что строительный блок, имеющий форму куба с ребром $d = 1$ м, изготовлен из бетона, имеющего плотность $\rho = 2,35$ г/см³. Одна из его сторон загрязнена цезием-137. Необходимо определить, каким может быть максимально допустимое значение мощности $P_{\gamma}^{\text{пов}}$, обеспечивающее не превышение значения мощности $P_{\gamma}^{\text{об}}$ равное 0,5 мкГр/ч с поверхности изделия той же формы, полученного из материала исходного блока.

Для указанной плотности бетона слой половинного ослабления гамма-излучения, созданного цезием-137, рассчитанный по [4] составляет $d_{0,5} = 3,5$ см. Тогда, в соответствии с выражением (14), максимально допустимое среднее значение мощности поглощенной дозы с поверхности строительного блока, взятого в качестве примера, составит $P_{\gamma}^{\text{пов}} \leq 5,9$ мкГр/ч, т.е. почти в 20 раз выше допустимого уровня $P_{\gamma}^{\text{об}}$. Необходимо подчеркнуть, что строительное сырьё, полученное из

переработанных техногенных объектов и изделия из них, могут иметь различные объемы, размеры, форму, но мощность гамма-излучения с их поверхности не будет превышать допустимую.

Одним из преимуществ предлагаемого способа утилизации радиоактивно загрязненных зданий и сооружений является то, что при этом не возникает дополнительного загрязнения окружающей среды радионуклидами, удаленными с поверхности зараженного объекта при его дезактивации. Фактически радионуклиды не удаляются, а переводятся в другой вид распределения (из поверхностного в объемный), а их количество на загрязненном объекте остается неизменным. При этом, как было показано выше, интенсивность ИИ с поверхности переработанного таким образом материала снижается в десятки раз и не превышает допустимую.

Кроме того, бетонные изделия, изготовленные из раздробленных фрагментов радиоактивно загрязненных объектов, являются источником ИИ закрытого типа, потому что радионуклиды в их массе находятся в связанном, жестко фиксированном состоянии и не могут естественным путем поступать в окружающую среду, приводя к ее дополнительному загрязнению и, соответственно, вызывать внутренние поражения.

Выводы

Исследования показали, что техногенные объекты, поверхность которых загрязнена радионуклидами, могут быть возвращены в хозяйственный оборот в качестве вторичного сырья в промышленном производстве, в том числе и в дорожном, гидротехническом и пр. Основой рассмотренного подхода является демонтаж таких объектов с последующим раздроблением образовавшихся фрагментов до небольших размеров. При этом радионуклиды с загрязненных поверхностей переводятся в объем полученной массы и распределяются в нём равномерно, что создает условия для получения радиационно безопасного сырья, пригодного для использования без каких-либо ограничений.

Показано, что критерием радиационной безопасности полученного вторичного сырья является максимальное значение мощности гамма-излучения с его поверхности, обеспечивающее не превышение установленного лимита индивидуальной годовой эффективной дозы облучения.

Применение данного подхода позволит вернуть в строительную индустрию большие объемы радиоактивно загрязненных материалов и способствовать существенному улучшению экологической обстановки.

Пример успешного решения проблем, связанных с утилизацией радиоактивно загрязненных объектов создаст благоприятный социально-психологический климат, который будет способствовать дальнейшему эффективному развитию ядерной энергетики.

Литература:

1. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97), Державні гігієнічні нормативи. Київ, 1997. – 121 с.
2. Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ). Пер. с англ. / Под ред. М. Ф. Киселева и Н. К. Шандалы. М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. – 344 с.
3. Ильин Л. А. Радиационная гигиена / Л. А. Ильин, В. Ф. Кириллов, И. П. Коренков. – М., 2010. – 384 с.
4. Кимель Л.Р. Защита от ионизирующих излучений: Справочник. Изд. 2 / Л.Р. Кимель, В.П. Машкович. – М.: Атомиздат, 1972. – 312 с.
5. Припять / Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Припять_\(город\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Припять_(город)). (Последний доступ: 07.04.2018).

Информация об авторах:

Виктор Машинистов – к.т.н., доцент, Национальная металлургическая академия Украины, кафедра технологического проектирования им. В.М. Друяна; e-mail: mashvic@i.ua.

Валерий Балакин – д.т.н., профессор, Национальная металлургическая академия Украины, заведующий кафедры технологического проектирования им. В.М. Друяна; e-mail: balakinvf@gmail.com.

Андрей Коверя – к.т.н., доцент, Национальная металлургическая академия Украины, кафедра металлургического топлива и огнеупоров; e-mail: nakover13@gmail.com.

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF TECHNOGENIC OBJECTS UTILIZATION, CONTAMINATED WITH RADIONUCLIDES DUE TO AN ACCIDENT AT THE CHERNOBYL NPP

Victor Mashinistov, Valery Balakin, Andrii Koveria

Abstract: *An approach is proposed, which will allow the use of large volumes of radiation-safe materials obtained from radionuclide-contaminated objects in the construction industry and contribute to a significant improvement in the environmental situation. The basis of this approach is dismantling of such objects with further crushing the resulting fragments to small sizes. At the same time, radionuclides from contaminated surfaces are converted into the volume of the resulting mass and distributed in it evenly. This approach creates the conditions for obtaining radiation-safe materials suitable for use without any restrictions.*

The criterion of radiation safety of the obtained secondary materials is the maximum power value of gamma-radiation from its surface, which providing the limit of the individual annual effective of irradiation dose is not exceeded.

Keywords: *radioactive contaminated object, ionizing radiation, decontamination, utilization irradiation.*

CFD-МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛАЖНОСТНОГО И РАДИАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ НОВОГО БЕЗОПАСНОГО КОНФАЙНМЕНТА (АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ)

Метель М., Крукровский П., Скляренок Д., Полубинский А., Олейник В.

НБК был установлен в проектное положение над объектом «Укрытие» (ОУ) и в настоящее время продолжают работы по его вводу в эксплуатацию, а именно: герметизация зазоров между стенами НБК и строениями, монтаж и наладка системы вентиляции и осушения воздуха, радиационного мониторинга и других систем НБК. Период ввода в эксплуатацию характеризуется неполной герметизацией зазоров и неработающей системой вентиляции и осушения воздуха. Период эксплуатации характеризуется герметизацией мембран и работающей системой вентиляции.

Установка НБК в проектное положение 27 ноября 2016 г. привела к изменению тепловлажностного состояния ОУ за счет прекращения поступления атмосферных осадков и исключения обдува ветром, а также за счет теплоизолирующего эффекта НБК, что повлияло на поведение радиоактивных аэрозолей (РА), а также на состояние ТСМ и, как следствие - на ядерную и радиационную безопасность комплекса «НБК-ОУ».

Цель данной работы - оценка тепловлажностного и радиационного состояния в комплексе «НБК-ОУ» с помощью компьютерного CFD (computational fluid dynamic) - моделирования процессов теплообмена в ОУ и НБК во время ввода НБК в эксплуатацию и эксплуатации.

Для НБК и ОУ была разработана и верифицирована компьютерная 3х мерная CFD модель, отражающая их основную геометрическую структуру, физические свойства и процессы, такие как теплоперенос, вынужденное и естественное движение воздушных потоков, выделение и распространение РА, наличие водных скоплений, испарение и распространение влаги в воздухе.

Недостаточно точно известные параметры модели (гидравлические сопротивления, источник РА и др.) уточнялись путем решения обратных задач по данным измерений температур, влажности, концентрации и скорости оседания РА на реальном объекте. В частности, использовались данные измерений метеостанций, накопительных планшетов, аспирационных установок и др. приборов, постоянно получаемые Институтом проблем безопасности АЭС под НБК и в ОУ.

Проведен ряд расчетов на объединенной CFD модели НБК и ОУ в ходе которых проведена верификация и уточнение параметров модели по данным измерений 2017г, а также рассмотрены сценарии распространения РА во время ввода НБК в эксплуатацию и его эксплуатации.

Анализ измерений и результатов расчетов показывает, что в 2017 г. концентрации РА в основном объеме НБК существенно выросли по сравнению с периодом отсутствия герметизирующие мембран, что объясняется уменьшением выноса РА из объема ОО НБК с воздушными потоками. Концентрация РА в ЦЗ составляет в среднем около 0,8 Бк/м³ и приблизительно в 2 раза выше чем в ОО, т.е. крыша ОУ служит барьером для распространения РА.

Для периода ввода НБК в эксплуатацию рассмотрено повышение выбросов РА при частичной разборке крыши турбинного зала (ТЗ) под НБК, имевшей место в ноябре-декабре 2017г. В этот период показания накопительных планшетов выросли примерно на порядок по сравнению с временем отсутствия работ. Результаты расчетов позволили оценить величину дополнительного источника выброса (около 4 Бк/с). Существенное повышение концентрации РА связано с замкнутостью объема НБК и отсутствием работы системы вентиляции.

Для предварительной оценки радиационного состояния внутреннего объема НБК во время эксплуатации были проведены расчеты при наличии и отсутствии крыши ОУ для определения влияния снятия крыши ОУ на выбросы и концентрацию РА. Результаты расчетов показывают, что в режиме эксплуатации существенно снижается концентрация РА в ОО НБК по сравнению с периодом ввода в эксплуатацию из-за включения приточной и вытяжной систем вентиляции.

Показано, что после снятия кровли ОУ скорость в завалах возрастет незначительно (на 10%). Вероятно, источник РА также изменится незначительно. Снятие крыши ОУ приведет к выравниванию концентрации РА в объемах ЦЗ и ОО, а также облегчит вытяжку РА из зоны завалов ОУ, что в целом должно привести к снижению количества РА под НБК.

Для оценки радиационного состояния внутреннего пространства НБК при существенных выбросах РА был проведен нестационарный расчет на модели НБК + ОУ при проведении работ по загрузке и извлечению РА в ЦЗ ОУ. Проводимые расчеты основываются на исходных данных и результатах, полученных авторами работы [1], в которой они проводят аналогичную оценку на основании аналитического решения дифференциального уравнения баланса количества РА в ОО НБК.

Зависимости среднеобъемной концентрации РА, полученные в результате CFD моделирования близки с результатами [1], однако CFD модель позволила показать, что локальные концентрации РА вблизи места работы в определенные моменты времени существенно отличаются от среднеобъемных и могут достигать ~2.6 кБк/м³, что значительно превышает пороговое значение данной величины (200 Бк/м³).

Література:

1. Батій В. Г. Динаміка зміни концентрації радіоактивних аерозолів під час вилучення паливовміщуючих матеріалів з об'єкта "Укриття" / В. Г. Батій, А. О. Сізов, Д. В. Федорченко, А. О. Холоднюк // Ядерна та радіаційна безпека. - 2015. - Вип. 4. - С. 41-44. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ydpb_2015_4_10.

Информация об авторах:

Метель Михаил, Круковский Павел, Скляренко Дмитрий, Полубинский Анатолий, Олейник Владислав- Институт технической теплофизики НАН Украины, г. Киев, ул. Желябова, 2а

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

*Annotation:*The results of CFD modelling of the thermal and radiation state of the New Safe Confinement (NSC) and Object "Shelter" (OS) are presented. Main results are temperature, velocity, humidity and radioactive aerosols (RA) concentration distributions. The calculations were performed for the present conditions of the NSC and OS as well as forecasting calculations of the NSC and OS state during NSC operation period to analyze and predict its thermal, humidity and radioactive state. The model was developed and then verified using measurement data provided by the Institute for safety problems of NPP measured with their equipment such as accumulation pads and aspiration units. Some unknown or uncertain model parameters were identified by the measurement data using inverse problem solution technique thus ensuring the model adequacy. The results for the commissioning period show reasonable fit with measurements. Modelling is also able to reflect the RA concentration rise during turbine hall roof partial dismantling which took place in Dec 2017. The results for the period of the NSC operation were obtained as well. The influence of OS the roof dismantling was shown and preliminary estimations say that it will not cause significant increasing of the RA concentration in main volume. The scenario of the radioactive waste removing was also simulated and RA concentration evolution in time is shown in comparison with another approach presented in literature [1].

NEW DEVELOPMENTS IN AIRBORNE GEOPHYSICAL SURVEY TECHNOLOGIES AND THEIR APPLICATION FOR INVESTIGATION AND RADIOLOGICAL ASSESSMENT OF HIGHLY CONTAMINATED AREAS AND LEGACY RADIOACTIVE WASTE STORAGE IN THE CHORNOBYL EXCLUSION ZONE

Molitor N., Zabulonov Y., Krzystek P., Siebold Karl H, Haneke K., Nitzsche O., de Groot J., Antropov V., Tretyak O., Briechle S., Sizov A., Bugai D., Kovach V., Bayer P., Drace Z., Bachmaier B.

Abstract: New developments for airborne geophysical survey technologies were recently tested in the Chernobyl Exclusion Zone. These field tests comprised different remote sensing technologies combined with unmanned air vehicles as carrier and digital processing focussing primarily to map digitally terrain, trenches and clamps with radioactive material and vegetation in the area of "Radioactive Waste

Temporary Storage Places”(RWTSP) created shortly after the accident. Tested technologies comprise gamma-spectrometry and LIDAR mapping with an octocopter, as well as digital multi-channel capturing with a new type of autonomous fixed wing air carrier. The data processing aimed at the identification of unknown trenches and clumps as well as describing the type of radioactively contaminated vegetation of the forest from data harvested from remote sensing with the objective to use them for refined radiological assessments and management plans for the RWTSP and other contaminated areas resulting from nuclear accidents.

1. Introduction

One of the consequences of the Chernobyl accident in 1986 was the contamination of large areas with radioactive fallout requiring immediate (as well as still ongoing) actions to protect population, workers and the environment.

Shortly after the accident, a restricted zone has been created around the ChNPP. This so-called Chernobyl Exclusion Zone (ChEZ) with a total area of about 2,400 km² in Ukraine is further divided into the outer 30-km Zone, which covers the contaminated area and is maintained as a zone of no-resettlement for population, and the 10-km Zone, being the inner zone with higher contamination from fallout including long-lived radionuclides from fuel particles around ChNPP (cf. Figure 1).



Figure 1. Extension and boundaries of the Chernobyl Exclusion Zone in 2018 [5]

The ChEZ is an institutional control zone with a specific regime, comprising the interdiction of resettlement, restricted and controlled access for specific permitted activities. The currently ongoing and permitted activities include

- the decommissioning the Nuclear Power Plant,
- the conversion of damaged Unit 4 into safe ecologic conditions,
- waste disposal activities at the radioactive waste disposal site (RWDS) “Buryakivka” and waste storage and disposal activities at “Vektor Complex”,
 - a centralized spent nuclear fuel (SNF) storage facility,
 - the management of waste legacy facilities,
 - monitoring and scientific research, and
 - other institutional control activities.

A large part of contaminated material resulting from clean-up operations in the first months after the accident is held within nine radioactive waste temporary storage places (RWTSP), while radioactive waste has been emplaced in three radioactive waste disposal sites (RWDS). The RWTSP and RWDS have been created inside the higher contaminated central area of the ChEZ in the vicinity of the Chornobyl nuclear power plant (ChNPP)

The RWTSP have the following denominations:

- RWTSP Neftebaza (Oil storage),
- RWTSP Peschanoe Plato (Sand Plateau),
- RWTSP StarayaStroybaza (Old Stroybaza),
- RWTSP Novaya Stroybaza (New Stroybaza),
- RWTSP Chistogalovka,
- RWTSP Kopachi,
- RWTSP Pripjat,
- RWTSP Ryzhy Les (Red Forest) and
- RWTSP StantziaYanov(Yanov Station).

The location of each sector of the RWTSP and RWDS is shown in Figure 2.

The RWTSP are defined as legacy sites and contain about 800 excavated trenches and/or clamps in total in which radioactive material (mainly soil, plants or building rubble) has been buried. As the burying of radioactive material took place within a short time, a comprehensive and complete documentation of the volumes, the radionuclide inventories, the exact positions and the total number of trenches and clamps is not available. Likewise, neither a processing and segregation of the buried material nor a construction of engineered barriers at the sites has been undertaken. The trenches and clamps have only been covered with a clean soil layer varying between 0.1 to 0.5 m thickness. An exception is RWTSP Chistogalovka, where it has been taken advantage of a geological barrier effect, as one large clamp was built within a clay pit and covered with a clay layer afterwards.

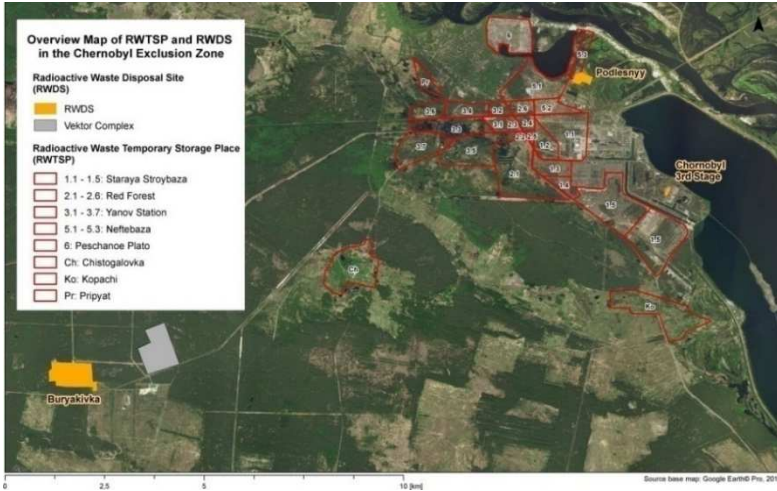


Figure 2. Location of the radioactive waste temporary storage places (RWTSPP) and disposal sites (RWDS) within the ChEZ in 2018 [5, 7]

On the one hand, these clean-up measures resulted in a decrease of the external exposure dose rate by a factor of about 10. Parts of the RWTSPP were also re-vegetated (mainly with pine and birch trees) in order to stabilize the surface covers and to reduce the effect of re-suspension of contaminated dust particles by wind. On the other hand, however, burying the radioactive material led to a higher risk of groundwater contamination.

As in any other large scale environmental contamination, it was (and still is) important to have appropriate up-to-date descriptions and evaluations on the current radiological situation and its evolution in order to justify and substantiate action plans to mitigate actual and future hazards. To gain a more detailed description of the contaminated territory and to create the corresponding overview maps, the results from different ground based and airborne survey methods need to be combined.

2. Existing and anticipated data

Partially, the RWTSPP have been well investigated in the past as for example RWTSPP Red Forest 2.1. A compilation of maps for RWTSPP Red Forest 2.1 showing different information is given in Figure 3.

Some other RWTSPP have not such detailed information and the location or the activity of inventory is unknown. These are subject for continued investigation efforts for the Centralized Radioactive Waste Management Enterprise (CRWME).

RWTSP Red Forest 2.1

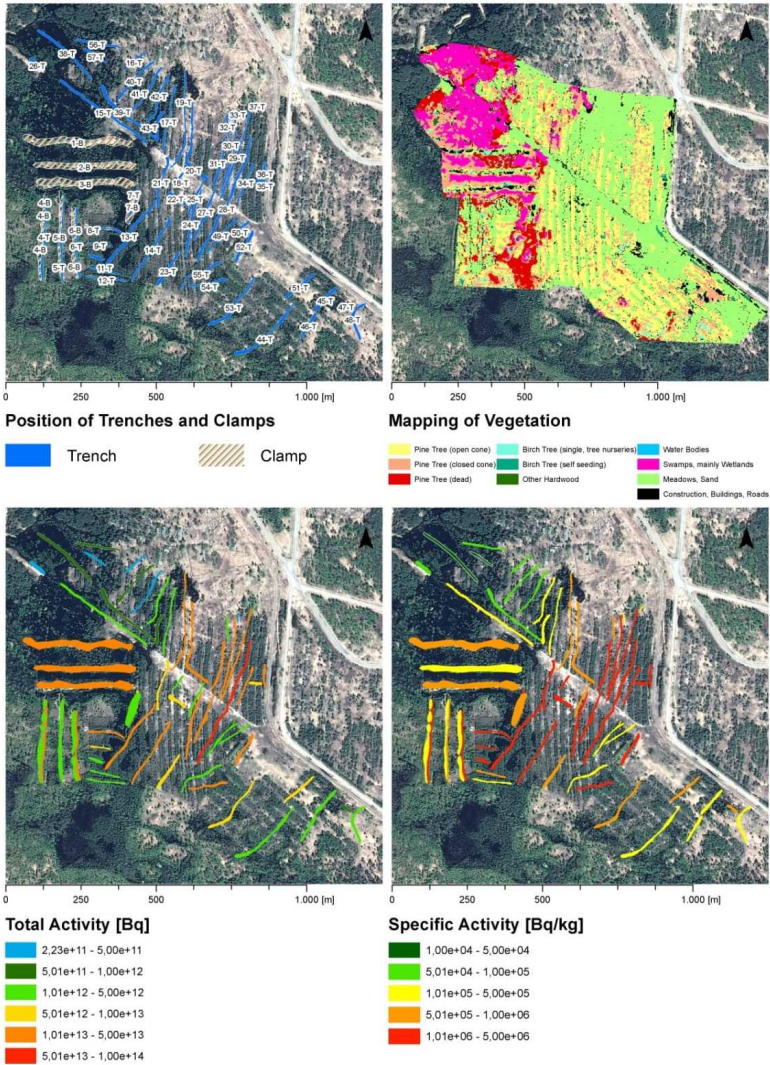


Figure 3. Compilation of maps for Red Forest 2.1 with different information from recent and past investigation (data extracted from GIS Database of CRWME [5, 7])

However, even at well investigated RWTSP detailed information on the surface contamination is missing (which for example would be important for developing updated safety assessments or site management plans), as only large-scale maps of the surface contamination within the ChEZ are available (cf. Figure 4).

Surface Contamination in the Chornobyl Exclusion Zone with Cs-137 (as of 1997)

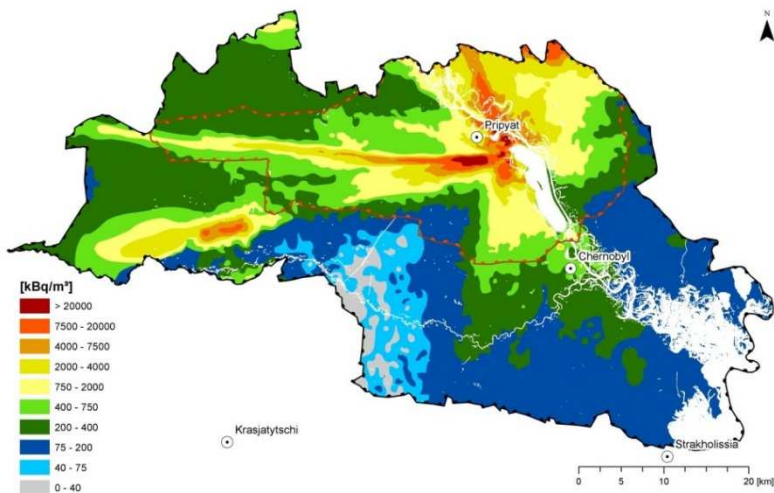


Figure 4. Contamination of the Exclusion Zone by Cesium-137 as of 1997 (data extracted from GIS Database of CRWME [5, 6])

Therefore, the use of additional airborne geophysical surveys and their benefit to complement existing information were discussed with the following outcomes:

- High resolution gamma-spectrometry:

The resolution of gamma-spectrometric measurements is mainly limited by the flight altitude, the possibility to collimate and the flight speed. The team of Prof Zabulonov (Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine) proposed to test a detector array system mounted on an unmanned air vehicle (UAV) flying on a low attitude and with low velocity. As the payload of a drone is just sufficient to carry the detector array without any physical collimation (e.g. lead shielding) it was further proposed to test a kind of numerical collimation (numerical filter) to localise noticeable anomalies.

- High resolution light detection and ranging (LiDAR):

The team of Prof Krystek (Munich University of Applied Sciences) is working with a small-scale LiDAR system, which can be mounted on an UAV, and which was initially developed to map 3-dimensionally vegetation

in areas with difficult accesses. If usable in contaminated areas like the RWTSP such system would have the advantage to create 3-dimensional maps of contamination as well as a digital terrain. Thus it was decided to test this LiDAR technology together.

- High resolution multispectral ortho-photogrammetry:

Recently small digital multi-spectral sensors which can be mounted on UAVs are commonly available. When combined with standard ortho-photogrammetric processing it may provide valuable complementary information, such that it was decided to test these.

All of the proposed remote sensors require an appropriate UAV as carrier system. The performance of the carrier system will depend on the performance of the survey both in terms of quality (accuracy e.g. influenced by vibration, flight height, flight speed, flight control) and quantity (e.g. flight speed, flight duration).

3. Overview on available recent trends on UAV

3.1. Rotary and fixed wings

On the current market for commercial drones, two different airframe types are available: Rotary wing type vehicles, usually called as “copters” (and often referred to as Quad-, Hexa-, Octocopters etc. with reference to the number of engines used), are the most common devices, working like helicopters with multiple rotors.

Still much rarer, but with an increasing number of providers and customers, are fixed-wing UAVs with wings, stabilizers, and one or more propellers.

Most modern UAVs of any type are capable of automatic flight. They are able to execute a pre-programmed flight plan without external piloting, enabling precise, complex missions and even flights beyond the line of sight.

3.2. Flight performance and efficiency

In understanding the advantages and problems of different drone configurations regarding their performance, basic concepts of physics and engineering apply. A rotary wing drone must produce propulsive thrust equal to the system’s weight to remain airborne in stationary hover flight. Inclination of the thrust direction, combined with a slight thrust increase, accelerates the drone horizontally.

Fixed wing airplanes lack the ability to perform stationary hover flight as their wings require a minimum horizontal speed to generate lift. Propulsion is needed only to overcome drag. A normal airplane could easily have a so-called “Lift to Drag Ratio” of 15 at an adept speed. This means, that in this case the engine would only have to produce a thrust force of one fifteenth of the system’s weight.

This comparison makes it easy to understand that, in theory, fixed wing drones are more efficient than rotary wing drones by an order of magnitude.

3.3. Applicability for certain mission profiles

Before choosing a UAV type for a certain mission, two important questions must be answered first: What payload mass needs to be transported? At what speed shall the flight take place?

These two decisions form the boundary conditions for the feasibility of the mission either with a rotary or a fixed-wing drone. To visualize this, an assessment model has been set up, comparing a copter drone to a fixed-wing UAV. Both systems were assumed to have the same basic features in terms of structural mass, propulsion efficiency and available battery energy.

For both systems, the maximum possible flight time was calculated, depending on a payload mass ranging from 0 to 4 kg, and a flight speed ranging from 0 to 21 m/s. The results are shown in Figure 5.

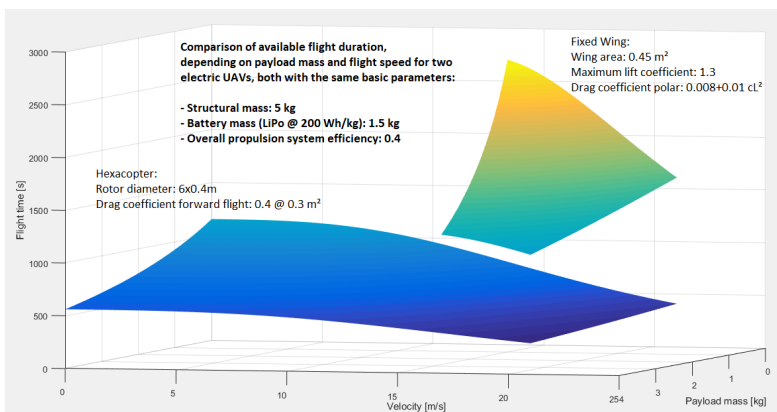


Figure 5. Available flight time for two different UAV systems, depending on flight speed and payload mass

The hexacopter is able to cover the entire spectrum of payload masses and speed at the expense of a very limited flight time. In return, the fixed wing drone offers much higher flight times (and range), but cannot cover low speeds, with the minimum possible speed even increasing with the payload.

3.4. Usability and operational applicability

Regardless of technical aspects of rotary wing and fixed wing drones, usability plays an important role. Here, a copter has several advantages: It requires very little operator skills and can be flown from almost any take-off and landing site, even with very limited space available. A fixed wing drone, in contrast, usually requires some apparatus to aid take-off (e.g. a catapult), and additionally an open space for a horizontal fly-out. Landing is even more complicated due to the necessity of a sufficiently long landing strip. Concepts for steep approach angle (“deep stall”) landing, net-catch or

pole-catch landings exist, but mostly result in reduced safety for payload and airframe. Fixed wing drones operate at given speeds and cannot be halted, requiring trained and experienced operators. Therefore, aspects regarding local conditions in the field and human factors must also be considered when choosing between a fixed wing and a rotary wing drone.

3.5. Outlook on hybrid concepts

Recent UAV concepts attempt to solve the operational limitations of fixed wing drone usability. So-called Vertical Take-Off and Landing (VTOL) airplanes can offer the best of both worlds: Using multiple propeller arrays or tilt rotors, they can take off and land like a rotary wing drone. Once airborne, they can transition to horizontal flight and work as a fixed-wing drone. Such concepts offer an ideal solution for missions where high range and flight time is required, but local conditions and resources do not favour a horizontal take-off and landing. With these complex flight phases omitted, the requirements for operators' capabilities also diminish.

VTOL drones are still rare on the market, but manufacturers like Quantum-Systems from Gilching, Germany have been offering increasingly advanced and easy to use systems for years. With their experience and a growing market ahead, VTOL drones could prove to be the ideal systems with maximum technical performance and operational flexibility, making drone application in difficult environments like disaster areas and rugged, undeveloped terrain possible [8, 9].

4. Performed field tests

4.1. Gamma-spectrometry survey with octocopter

The gamma-spectrometry survey was performed by using an octocopter as the carrier system for the custom-made detector arrangement (cf. Figure 6) as developed and proposed by SIG Pulsar and the Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine, Nuclear Physics and Innovations Department.

The detectors which have been used were five coupled NaI (Tl) multi-channel scintillation detector for the measurement of a gamma spectrum range between 0.2 - 3,000 keV and a gamma field intensity of 0.1 - 5,000 $\mu\text{Sv/h}$. The number of operative detectors automatically adapted to the respective radiation level. Due to the payload restriction of the UAV the measurements had to be performed uncollimated.

The flight route of the UAV was set for a systematic coverage of the areas to be investigated measuring both the total gamma intensity and the gamma spectrum. Due to the real time data transmission to the ground recording unit, a preliminary check of the data could already be performed in the field.



Dimensions	1,040 mm x 1,040 mm
Features	Automatic electronic stabilisation system with 3-axis magnetometer; 3-axis gyroscope and 3-axis accelerometer; Altimeters/flight altitude control: Radiometric and barometric, GPS positioning and flight tracking; Live video feed from on-board camera to field base station.
Propulsion	8 propeller blades actuated by individual electric motors
Mass / max. payload	10 kg (incl. rechargeable batteries) / 8 kg
Horizontal airspeed	0 to 10 m/s
Autonomy	~ 20 to 25 min
Flight modes	Autonomous, following pre-set way points and flight altitude, remote control for take-off and landing and manual override.

Figure 6. Octocopter during the field survey test in the ChEZ [SIG PULSAR & Institute of Environmental Geochemistry (13.05.2015), 7]

The subsequent data processing comprised the computation of

- areal maps for total gamma intensity (by kriging),
- areal maps for background gamma intensity (by the method of sliding window average),
- the local component of gamma intensity (as the difference of total gamma intensity and background gamma intensity) in order to reduce the effects of the wider contamination and the single out effects of the near-field (“numerical collimation”).

The data processing is illustrated in Figure 7 and 8.

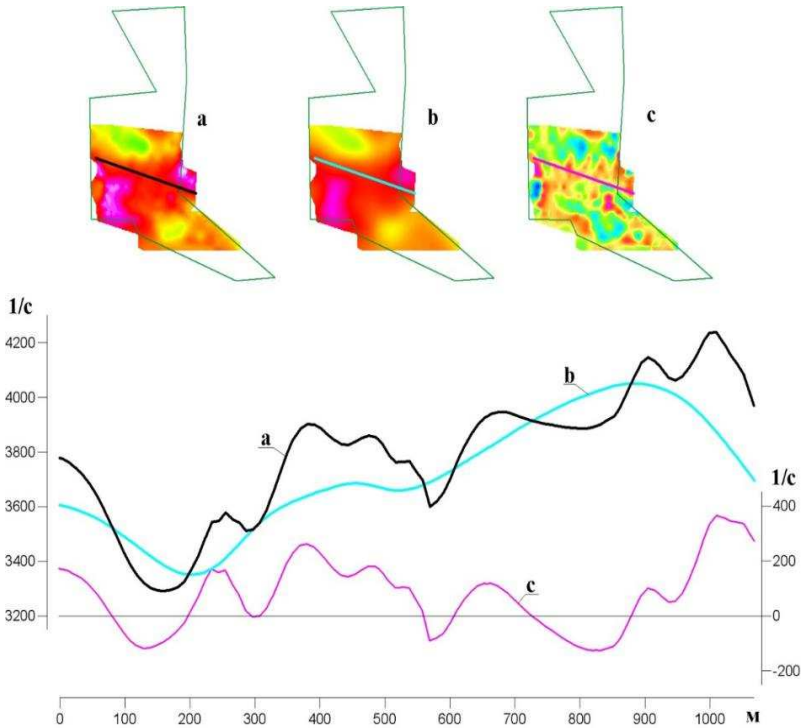


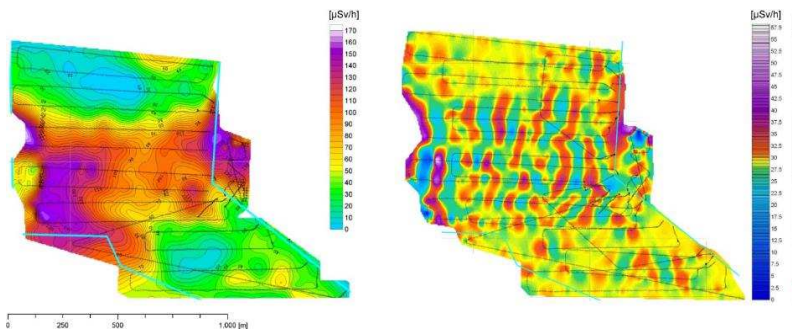
Figure 7. Diagram illustrating the calculation of the local component field for the RWTSP Red Forest Sector 2.1 [SIG PULSAR & Institute of Environmental Geochemistry (09.09.2015)]

Legend:

- a: Total gamma field intensity with corresponding black graph a.
- b: Local background of gamma field intensity evaluated from a 200×200 m square (sliding average) with corresponding cyan graph b.
- c: Local component of the gamma field intensity as the difference of total intensity and background gamma intensity with corresponding magenta graph c.

(Map insets show the position of the cross-section displayed in the graph.)

As the main target of the gamma survey was the examination of the results regarding the evaluation of finding rates of trenches and clamps in areas with the known trenches and clamps, three different methods have been tested for evaluation.



Explanation for total gamma intensity:

Black lines are survey flight paths. The east-west oriented magenta-red corridor in the middle part coincides with the main fall-out trail observed during the accident. No further detailed “morphology” in the field distribution which may indicate specifically relocated inventory can be observed in the total gamma intensity map.

Explanation for local component:

Black lines are survey flight paths. The local component of gamma intensity obtained by subtracting local background (sliding average) from total gamma intensity shows much more detailed “morphology”. The observed anomalies may be caused either by relocation of radioactive inventory into burials, contaminated vegetation, contaminated top soil or a combination of these.

Note: These aerial maps have been obtained by using Bayesian kriging algorithm for interpolation. Interpolation may be a questionable method to identify singularities within a continuous background field. Furthermore, as the resolution along the flight path is much better than perpendicular to it, it may be possible that the extrapolation may show artefacts in the direction perpendicular to the flight path instead of existing singularities.

Figure 8. Pilot area RWTSP Red Forest sector 2.1. Left: Example of a total gamma intensity isoline map (in $\mu\text{Sv/h}$). Right: Example of a local component intensity isoline map (in $\mu\text{Sv/h}$)

[SIG PULSAR & Institute of Environmental Geochemistry (09.09.2015), 7]

Method 1: Detecting a known burial by local gamma anomalies.

The evaluation of finding and missing rates has been performed for the well investigated Red Forest 2.1 and RWTSP Peschanoe Plato:

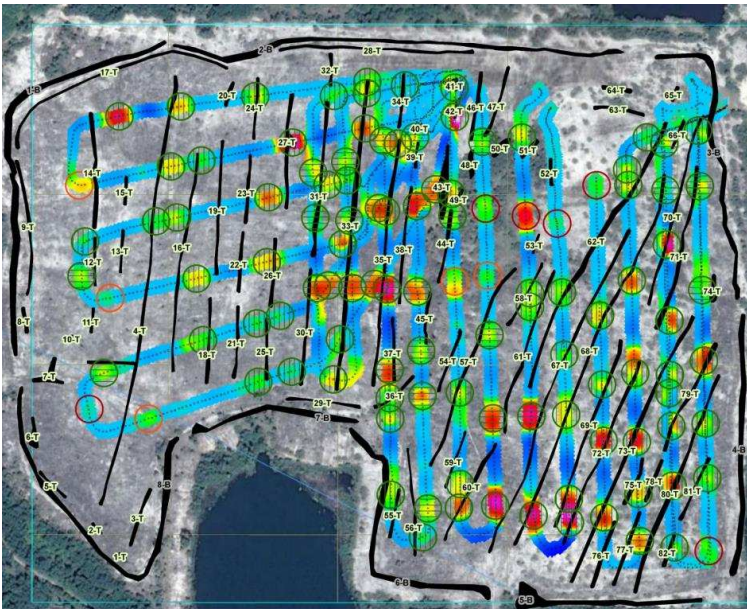
- At Red Forest 2.1 the coincidence with a local component anomaly (finding rate) was given for 29 burials out of 61 (47.5 %). No coincidence with a local component anomaly (missing rate) was given for 32 burials out of 61 (52.5 %).

- At RWTSP Peschanoe Plato the coincidence with a local component anomaly was given for 49 burials out of 66 (89 %) and for the remaining 11 % no coincidence was given.

The higher finding rate at RWTSP Peschanoe Plato compared to RWTSP Red Forest 2.1 is likely to be explained by less vegetation density and variety which influences the gamma measurements.

Method 2: Checking the number of matches and misses of local gamma anomalies with known burials crossing or in the vicinity of the flight line.

This method has been adapted to RWTSP Peschanoe Plato (cf. Figure 9) resulting in 99 of 105 anomalies coinciding quite well with a burial (finding rate of 94 %) and 6 of 105 anomalies not coinciding with a known burial (unclear anomalies 6 %). In total, 7 out of 66 burials could not be identified by an anomaly (missing rate of 11 %).



Legend:

Green circle: coincidence of anomaly with known burial (parallel/perpendicular) along the flight line.

Orange circle: coincidence of anomaly with known burial in the vicinity of the flight line.

Red circle: no coincidence of anomaly with known burial anomalies.

Figure 9. Evaluation of burial finding rate and missing rate by anomalies for RWTSP Peschanoe Plato [5, 7]

The results show that with enhanced gamma spectrometry a burial may be identified by analysing the local component of gamma intensity with a probability of about 50 % in dense vegetated areas like RWTSP Red Forest 2.1 and significantly better (>90%) in low vegetated areas like RWTSP Peschanoe Plato.

Method 3: Detecting burials by calculating the first order differential of the local gamma intensity.

The use of the first differential of local gamma intensity component showed that there are changes (sequences positive-near zero-negative) correlating to some burials very well. However, many trenches could not be found by this method and many gradient changes could not be associated with known burials (cf. Figure 10).



Figure 10. Calculation of the first differential of the local gamma intensity to identify burials at RWTSP Peschanoe Plato [5,7]

Thus, this method may be suitable for providing information on possible trenches in combination with other methods, however, it did not prove to be efficient or reliable as a stand-alone method.

4.2 LiDAR survey with octocopter

The Octocopter already used for gamma-spectrometry survey was equipped with a YellowScan Mapper laser scanner for the LiDAR survey (cf. Figure 11). With a payload of some 2 kg a flight duration of about 20 minutes was possible with the octocopter. Seven flights were conducted in four selected areas of the ChEZ in November 2017 in leaf-off situation. The measurement rate was 18.5 kHz, the flights were realized at a speed of 4 – 7 m/s and an altitude of 50 m resulting in a nominal point density of 25 – 40 points/m². All flights were carried out in “Beyond Line of Sight” (BLOS) mode to avoid the direct trespassing of contaminated areas.



Figure 11. YellowScan Mapper (black box at the bottom) mounted on the Octocopter. Results of new gammaspectrometric surveys shown as flight traces on the existing contamination maps

This system provided high-resolution three dimensional maps showing remarkable details already as raw data in the field as shown in Figure 12.

Large picture: part of RWTSP Yanov Station with forests, roads and power lines. Small picture at the top right: detail of Yanov Station with buildings, trains and trees

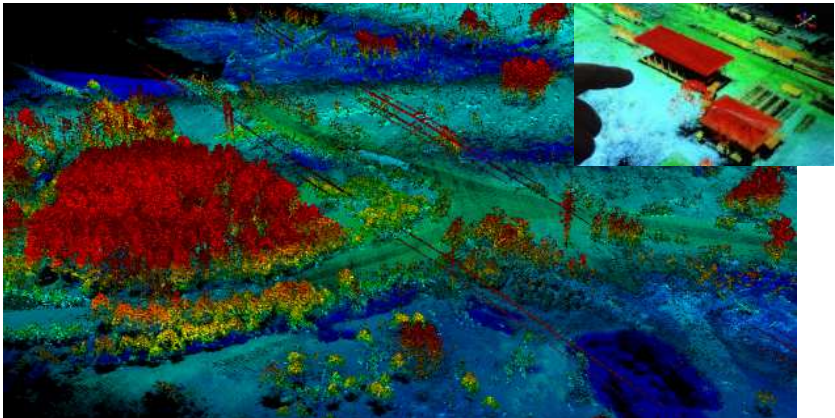


Figure 12. LiDAR survey raw results as available in the field immediately after the flights

A rapid processing test in the field showed that a digital terrain map as well as a vegetation mapping is possible as shown in the following Figure 13.

Left: rapid processing to extract a digital terrain map:
the existence of settlements indicating trenches can be seen.
Right cross section of the LiDAR point clouds are shown for three trenches. In all of them the terrain surface at the bottom as well as the vegetation surface at the top can be seen.
In the upper cross-section the terrain surface cloud indicate a clamp (marked with б) and a trench (marked with T); the two cross sections below indicate a trench (marked with T).

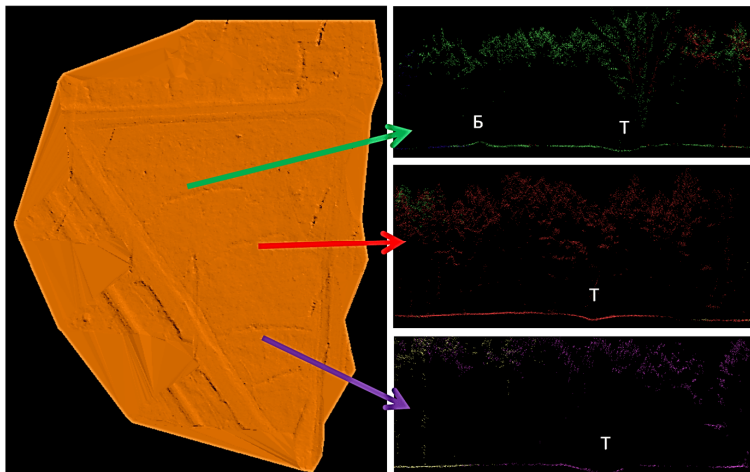


Figure 13. Rapid processing of LiDAR survey raw results in the field

4.3. Multispectral camera survey with fixed wing

Additionally, the Tetracam ADC Snap multi-spectral camera has been used on a Quantum Trinity VTOL fixed-wing system to capture photogrammetric data at the same time. The flight duration of the Trinity drone was around 50 minutes at a speed of 15 m/s.

4.4 Further data processing

After the pre-processing of the LiDAR data, ground points were filtered from the point cloud and were subsequently interpolated into a DTM grid with a grid size of 10 cm. Additionally, dense photogrammetric point clouds (15 points/m²) and ortho-photos (ground sampling distance 8 cm) were generated from the multi-spectral images.

Depending on the tree species parts of the contaminated material are accumulated in the above-ground biomass. The radioactive deposits are characterized by slight ground settlements, vegetation anomalies and a higher rate of gamma decays. Thus, the key idea is to classify the deposit areas from salient features characterizing the bare ground height, the vegetation and the gamma radiation. Single trees were automatically segmented from the LiDAR data resulting in tree position, tree height, crown volume and crown base height. Subsequently, the single trees were automatically classified w.r.t. to the two main tree species birch and pine. Finally, the above-ground biomass of every single tree was roughly estimated (cf. Figure 15).

Left: Part of RWTSP Yanov Station revealing roads and surface structures (clamps or trenches). Right: RWTSP Red Forest Sector 2.5 as an example for dense forest area, the image was taken late in the day such that the western area shows higher illumination; roads and structures (e.g. signpost to Pripyat at the bottom) can be clearly identified

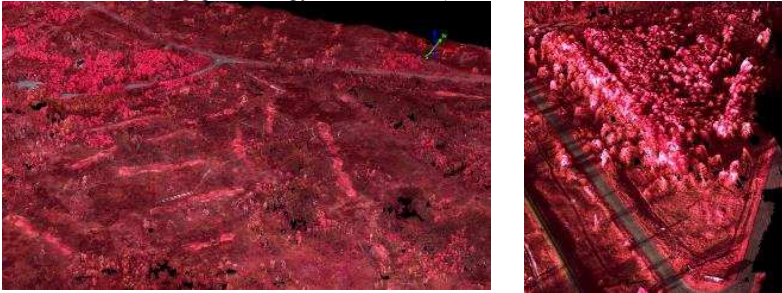


Figure 14. Field results with digital multispectral camera.

At RWTSP Red Forest 2.5, four unknown trenches overgrown with a quite dense vegetation have been detected by visualising the height map so far (cf. Figure 15). The length of these trenches ranges between 50 m and 100 m with a width up to 5 m and a depth up to 1.5 m.

Left: Height map with segmented trees coloured in green tones depending on their above-ground biomass. Right: Height map showing four trenches marked by black arrows

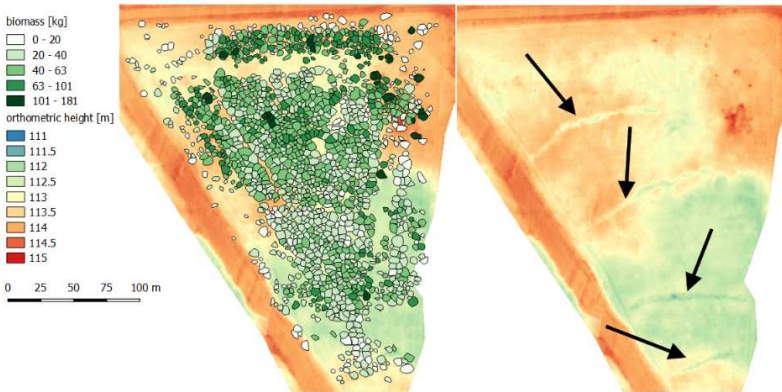


Figure 15. RWTSP Red Forest 2.5 area

At RWTSP Yanov Station, an initial visualisation showed a potential correlation between the terrain height anomalies and the gamma spectrometer measurements. In order to predict contaminated and non-contaminated areas a Random Forest classifier was trained using the bare ground height and gamma spectrometer measurements as features. The following Figure 16 shows the excellent final classification result of the test set.

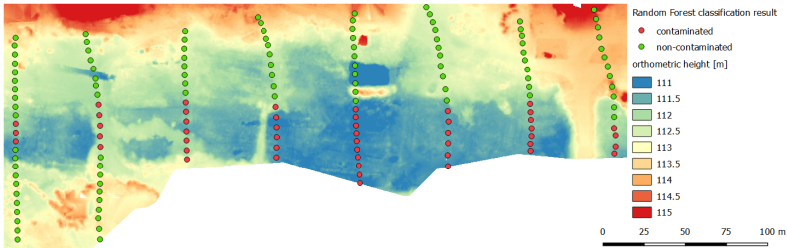


Figure 16. RWTSP Yanov Station area: Height map overlaid with Random Forest classification result using the bare ground height and gamma spectrometer measurements as features (red: contaminated area, green: non-contaminated area)

The results show that topological anomalies can be interpreted from the height maps. Some unknown trenches and clamps were detected successfully and the existing hazard maps were verified and upgraded. In some areas, the detected terrain height anomalies clearly correlate with the gamma spectrometer measurements. Based on the Random Forest classification the contaminated areas can be automatically detected using the gamma spectrometer measurements and the bare ground height. In other areas, no significant direct correlation between clearly detected clamps and the gamma spectrometer measurements were evident. Here other parameters such as measuring point, contamination and configuration of vegetation or covers of trenches and clamps shielding the buried inventory needs probably to be analysed further and taken into account.

5. Further radiologic modelling

The gamma-emitting radioactive material inside the trenches and clamps of the RWTSP and residual contamination from fallout cause the main exposure due to external irradiation of personnel working in the 10-km zone of the ChEZ. Within the framework of [3], the dose rates from the known burials as well as from contaminated topsoil has been evaluated. In addition, first approaches in assessing the dose contribution of contaminated vegetation have been conducted. The vegetation growing on contaminated soil contains a certain amount of radionuclides which accumulate in the bark, branches and leaves due to root uptake. If these radionuclides are predominantly significant gamma emitters, the vegetation poses a high risk regarding the exposure by external irradiation of a person staying in the direct vicinity.

For ground cover with a small growth height, external irradiation can be assigned to the external irradiation from soil (ground shine). Therefore, the vegetation has to be considered with respect to its nuclide content (gamma emitters) and having a very low (self) adsorption capacity. For contaminated vegetation growing on (highly) contaminated soil, the additional contribution of groundcover to the total ground shine is negligible.

Forest vegetation with a high content of gamma emitters may contribute significantly to the exposure from external irradiation apart from the ground shine so that this contribution needs to be considered separately.

Subsequently, the exposure from external irradiation of a person in a contaminated forest is calculated and compared with the measured and calculated dose rate from external irradiation on top of a well investigated trench at Red Forest 2.1 (trench T-22). Vegetation growing on top of this trench is also serving as a well studied reference for the activity concentrations accumulated in biomass, which were used for the calculations (cf. Table 2).

In addition the gamma dose field above a contaminated forest is calculated and compared with the results from the airborne gamma survey in order to give an estimate on the respective shares of contaminated vegetation and contaminated soil in the total gamma field.

5.1 Parameters and methods

In a first step the gamma radiation field of Cs-137 around different types of single trees has been calculated. These calculations were conducted with the dose assessment program MicroShield® 8.XX [1], which allows for estimating the dose rate at a receptor point due to external irradiation from a defined geometry.

Based on the results received from the investigations at RWTSP Red Forest 2.5 (cf. Figure 15) the parameters as given in Table 1 were taken for further radiological calculations for a realistic dimensioning of the forest geometry.

Table 1 – Parameters for calculating the gamma radiation field around different types of single trees resulting from investigations in 2017/2018 at RWTSP Red Forest 2.5

Average height of trees	16 m
Number of trees per ha	535
Type of tree	50 % pine trees, 50 % birch trees
Average diameter of the tree	11 cm (for an age of 30 a with respect to average tree height)

In addition, it has been assumed that 90 % of the average tree diameter is trunk wood and 10 % consists of bark. As proved by past investigations within the ChEZ [2], the activity concentration in the bark is higher than in the trunk wood. In the following calculations it has been assumed that the specific activity in the bark is about 100 times higher than in the trunk wood.

Based on past investigations at RWTSP Red Forest 2.1 [2] the average activity concentrations accumulated in different parts of pine trees were used as given in Table 2.

Table 2 – Average activity concentrations accumulated in the trees (based on [2] for RWTSP Red Forest 2.1, Trench T-22)

	Cs-137 [Bq/g]	
	Tree growing outside of trench	Tree growing on trench
Bark (inner bark)	134	261
Forest canopy (weighted average from needles and twigs)	140	290

The contribution of the forest canopy to the gamma radiation field has been calculated using a continuum approach. Here, it has been assumed, that the total mass of the forest canopy (including branches) is 35 % of the mass within the stems. The forest canopy is then separated into three different height levels (5 m, 10 m and 15 m) for calculating the exposure rate 1m above ground level. For calculating the exposure rate 15 m above the canopy (which is the approximate flight height of the drone for gamma measurements), the forest canopy was further extrapolated to a thin layer. Due to the very low self-absorbing effect of the forest canopy (effective density is in the range of some $\mu\text{g}/\text{cm}^3$), this assumption is a founded approximation.

In Table 3 the fractions within the different layers used for the dose calculations, which are valid for both type of trees, are summarised.

Table 3 – Parameters for calculating the gamma radiation field of the forest canopy 1 m above the ground

	Fraction of forest canopy at height level		
	5 m	10 m	15 m
Average 30 a old tree	60 %	40 %	0 %

5.2. Results of dose calculations

In Table 4 the results of the calculated dose coefficients for a standard specific activity of 1 Bq/g (bark and forest canopy) are given. The values for the single trees are given at a distance of 1 m from the centre of the tree in 1 m above the ground. The values for the forest canopy are given for an infinite horizontal continuum 1 m above ground.

Table 4 – Results of exposure calculations (Cs-137) for single trees and forest canopy 1 m above the ground

	Dose coefficient	
	Single tree (bark) [(mSv/h)/(Bq/g)]	Forest canopy [(mSv/h)/(Bq/g)]
Pine tree	$2.8 \cdot 10^{-7}$	$3.3 \cdot 10^{-6}$
Birch tree	$4.4 \cdot 10^{-7}$	$7.7 \cdot 10^{-6}$

To calculate the potential exposure from external irradiation for a person staying in the forest, the values for the forest canopy can be directly used as this was considered as an infinite horizontal continuum.

Calculating the potential exposure from external irradiation resulting from the trees requires a summation over all trees in the forest. Here, a forest area of 1 ha (100 m by 100 m) was assumed for calculation purpose. The number of trees per ha and the position of trees were taken from the results of the recent investigation at RWTSP Red Forest 2.5 (cf. Table 1). The distribution used of trees at RWTSP Red Forest 2.5 is shown in Figure 17.

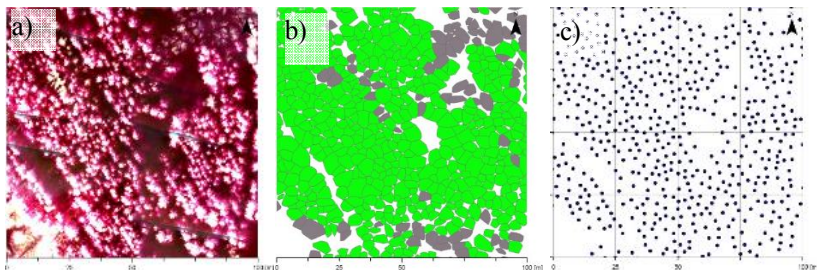


Figure 17. Steps of data processing displaying the distribution of trees within an area of 1 ha at RWTSP Red Forest 2.5. a) Results from multispectral camera survey b) Segmented trees after data processing (green: pine tree, grey: birch tree) c) Extracted positions of trees for further dose calculations

The resulting exposure is calculated at the centre of the 1 ha forest area (at X/Y-position 50 m/50 m) in 1 m above the ground. The dose contribution from each single tree is added at this point, considering the gamma radiation field of each tree depending on its distance as well as shielding effects of surrounding trees and the air.

In Figure 18 the relative values of the calculated contributions of each single tree to the overall dose rate at the reference point at 50 m/50 m are illustrated. The diameter of each plotted point is proportional to the respective dose rate.

The results show, that the relative contributions of the trees decrease with increasing distances from the reference point as expected:

- increasing of the number of contributing trees with distance of r^2 ,
- geometrical decreasing of radiation density with distance of r^2 ,
- additional decreasing due to shielding (air and trees).

Therefore, the results from a 1 ha modelling area can be applied for larger forest areas as well.

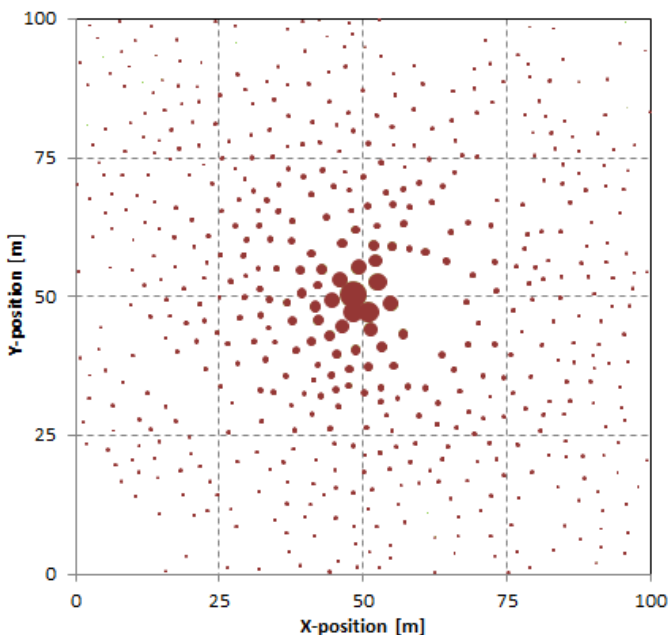


Figure 18. Dose rates (relative values) from trees within a 1 ha forest area at the reference point 50 m/50 m and 1 m above the ground

In Table 5 the calculated dose coefficients for Cs-137 for different types of trees are summarized for the bark and canopy 1 m above the ground. In addition, the dose coefficient in 15 m above the canopy has been calculated (note the different reference unit Bq/cm²). Here, only the canopy continuum contributes significantly to the overall dose rate. Contributions from the stems are negligible at this height.

Table 5 – Calculated dose coefficients for Cs-137 for different types of trees in the 1 ha forest area

	Bark (1 m above ground) [(mSv/h)/(Bq/g)]	Dose coefficient Canopy (1 m above ground) [(mSv/h)/(Bq/g)]	Canopy (15 m above canopy) [(mSv/h)/(Bq/cm ²)]
Pine tree	$1.7 \cdot 10^{-6}$	$3.3 \cdot 10^{-6}$	$1.4 \cdot 10^{-5}$
Birch tree	$3.3 \cdot 10^{-6}$	$7.7 \cdot 10^{-6}$	

Taking into account the specific activity for Cs-137 in the bark and canopy (cf. Table 2) the potential exposure rate due to external irradiation to the reference person can be calculated.

Table 6 summarizes the calculated dose coefficients for Cs-137 considering a tree growing directly on a trench. The specific activity of birch trees has been set equal to that of pine trees, assuming an equal proportion of both types of trees (50 % pine trees and 50 % birch trees).

Table 6 – Dose coefficients for calculating the exposure from external irradiation (Cs-137) in the contaminated forest

50 % pine tree + 50 % birch tree	Bark (1 m above ground)		Canopy (1 m above ground)		Canopy (15 m above canopy)	
	on burial	outside burial	on burial	outside burial	on burial	outside burial
Dose coefficient [mSv/h]	$4 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$1.6 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$

External irradiation from vegetation (inside forest)

The results show that the contribution of the canopy to the total exposure from external irradiation of a person standing in the forest is 2 times higher than the contribution from the bark and sums up to 0.23 mSv for an example reference time of 100 h (e.g. for personnel working in the ChEZ).

The exposure from external irradiation of buried material inside trench T-22 at RWTSP Red Forest 2.1 was calculated with MicroShield [1] to 55 $\mu\text{Sv/h}$ (5.5 mSv for an example reference time of 100 h) [3], considering no shielding effect of clean soil above the trench. These calculations are confirmed by direct dose rate measurements at T-22 in 2015 resulting in a heterogeneous distribution of the dose rate, ranging between 10 and 60 $\mu\text{Sv/h}$ [4].

The contribution of vegetation to the overall exposure from external irradiation at a contaminated site can therefore be assumed to be comparable low by two orders of magnitude.

External irradiation from vegetation (above forest)

The contribution of trees to the exposure rate 15 m above the forest canopy was calculated to 1 $\mu\text{Sv/h}$ (cf. Table 6), assuming that trees are growing on top of burials and therefore have been accumulating a higher activity concentration due to root uptake compared to trees growing outside of burials.

Comparing these results with those of the gamma-spectrometry survey at RWTSP Red Forest 2.1 leads to the following outcomes:

- The measured total gamma field within the gamma-spectrometry survey above trench T-22 is about 60 - 70 $\mu\text{Sv/h}$,
- dose calculations of external irradiation above trench T-22 resulted in 55 $\mu\text{Sv/h}$, assuming no clean soil cover [3], direct dose measurement showed values up to 60 $\mu\text{Sv/h}$ [4],
- in addition, the calculated contribution of 1 $\mu\text{Sv/h}$ of contaminated vegetation growing on top of the trench leads to a total exposure of about 56 $\mu\text{Sv/h}$ which matches with the airborne measurements.

According to these outcomes, the measured total gamma field is therefore mainly caused by the contaminated ground surface (e.g. from radioactive fallout or due to a burial containing radioactive material), whereas the vegetation only contributes with a small amount. This is an important issue regarding the analysis of existing and future airborne measurements concerning the identification of unknown burials covered by forest.

6. Conclusions and outlook

The filed test prove that both the high resolution UAV gamma-spectrometry as well as UAV LiDAR technology combined with multi-spectral ortho-mosaic can successfully contribute to localise unknown deposits of buried radioactive material in the ChEZ. This will contribute to minimize workers dose uptake and optimize remediation works. Future work will focus on the digital processing supported detection and description of below ground deposits and above ground contamination by fusing ground features, vegetation features, gamma spectrometer measurements and multispectral image data in combination with machine learning methods. First results in modelling the impact of vegetation on the measured total gamma field indicate, that the contribution of biomass is very low compared to contaminated soil and radioactive material buried inside trenches and clamps.

List of Abbreviations and Acronyms used

BLOS	Beyond Line of Sight
ChEZ	Chornobyl Exclusion Zone
ChNPP	Chornobyl Nuclear Power Plant
CRWME	Centralized Radioactive Waste Management Enterprise
DTM	Digital Terrain Modelling
GIS	Geographical Information System
IEG	Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences in Ukraine
IGS	Institute of Geological Sciences of National Academy of Sciences in Ukraine
LiDAR	Light detection and ranging
MUAS	Munich University of Applied Sciences
RWDS	Radioactive Waste Disposal Site
RWTSP	Radioactive Waste Temporary Storage Site
VTOL	Vertical Take-Off and Landing

Literature and other Sources of Information

1. GROVE SOFTWARE, INC.: MicroShield® User's Manual, Copyright 1992 – 2009.
2. Thiry, Y., Colle, C., Yoschenko, V., Levchuk, S., van Hees, M., Hurtevent, P., Kashparov, V.: Impact of afforestation with Scots pine (*Pinussylvestris* L.) on long term ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr recycling from a waste burial in the Chornobyl Red Forest. *Journal of Environmental Radioactivity* 100, 1062–1068, 2009.
3. Series of unpublished internal project reports produced in the framework of EC-INSC Poject U4.01 / 10CDF on “Support to Radioactive Waste Management in Ukraine” prepared by BrenkSystemplanung GmbH and Plejades GmbH – Independent Experts, 2014-2017.

4. Courbet C., Nguyen, L., Bugai, D., Levchuk, S., Khasparov, V., Protsak, V., Panza, F., Foissard, B., de Fouquet, C., Barker, E., Rodolfo, G., Vecciola, S., Diez, O., Simonucci, C.: Is ^{137}Cs buried in radioactive waste of Chernobyl Red Forest responsible for external exposure to gamma radiation? Insights from in situ gamma spectrometry measurements and dose rate calculations. (Unpublished document).

5. Geographical Information System established and operated at the Central Radioactive Waste Management Enterprise.

6. "Atlas. Ukraine. Radioactive Contamination", Developed by Intelligence Systems GEO, Ltd. on the order of the Ministry of Ukraine of Emergencies and Affairs of Population Protection from the Consequences of Chernobyl Catastrophe, 2008. 52 p.

7. "Recent Safety Assessment findings on management of legacy wastes from Chernobyl Accident", Norbert Molitor, Stefan Thierfeldt, Kirsten Haneke, Olaf Nitzsche, Dmitri Bugai, Andriy Sizov, Zoran Drace, Induceo Conference 24.-27 April 2017.

8. "DJI is running away with the drone market", <https://www.recode.net/2017/4/14/14690576/drone-market-share-growth-charts-dji-forecast>, retrieved March 1, 2018.

9. "Just fly the most efficient VTOL UAVs", <https://www.quantum-systems.com>, retrieved March 1, 2018.

Authors:

Molitor N. (PLEJADES), Zabulonov Y. (IEG), Krzystek P. (MUAS), Siebold (MUAS, ERAU), Haneke K. (Brenk), Nitzsche O. (Brenk), de Groot J. (Brenk), Antropov V., Tretyak O. (CRWME), Briechele S. (MUAS), Sizov A. (ISP NPP), Bugai D. (IGS), Kovach V. (IEG), Bayer P. (PLEJADES), Drace Z. (PLEJADES), Bachmaier B. (Quantum Systems).

ЗНЯТТЯ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС. АСПЕКТИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРИ СТВОРЕННІ СХОВИЩА ВИСОКОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ У МАШИННОМУ ЗАЛІ І ЧЕРГИ

Морозов Ю. В., Єгоров В. В., Павловський Л. І.

Чорнобильська АЕС (ЧАЕС) знаходиться на етапі зняття з експлуатації та перетворення об'єкта "Укриття" (ОУ) на екологічно безпечну систему.

Зняття з експлуатації є одним із етапів життєвого циклу будь-якої АЕС.

На Чорнобильській АЕС внаслідок запроектованої аварії на 4-ому енергоблоці у 1986 році практично вся територія промислового майданчика та більшість будівельних конструкцій й обладнання було радіоактивно забруднене. В зв'язку з цим, на ЧАЕС крім типової діяльності по зняттю з експлуатації необхідна організація підвищеного контролю по забезпеченню радіаційної безпеки при виконанні робіт.

Відповідно з цим, при знятті ЧАЕС з експлуатації та перетворенні ОУ на екологічно безпечну систему будуть утворюватися радіоактивні відходи у великій кількості, у тому числі і високоактивні відходи (ВАВ). В зв'язку з цим виникає потреба в додаткових об'єктах довгострокового зберігання ВАВ.

Одним з головних аспектів при виконанні робіт по створенню сховища ВАВ на ЧАЕС є забезпечення радіаційної безпеки персоналу і навколишнього середовища, як при виконанні будівельно-монтажних робіт, так і подальшої експлуатації сховища.

У роботі наведено комплексну оцінку радіаційних умов у зонах виконання будівельних робіт по реконструкції частини машинного залу І черги ЧАЕС по створенню сховища високоактивних відходів. У процесі виконання робіт виміряне значення потужності дози гамма-випромінювання, щільності поверхневого забруднення та концентрації аерозолів у повітрі, а також досліджено енергетичні характеристики гамма-випромінювання і кутовий розподіл інтенсивності гамма-випромінювання.

Ключові слова: зняття з експлуатації, радіаційна обстановка, машинний зал, І черга ЧАЕС, сховище високоактивних відходів.

Вступ

Чернобильська АЕС знаходиться на етапі зняття з експлуатації та перетворення об'єкта “Укриття” на екологічно безпечну систему. Зняття з експлуатації є одним із етапів життєвого циклу будь-якої АЕС, але у випадку ЧАЕС після аварії на 4-ому енергоблоці практично вся територія промислового майданчика ЧАЕС та всі будівлі мають радіоактивне забруднення. Відповідно з цим при знятті ЧАЕС з експлуатації, переробці ядерного палива та перетворенні ОУ на екологічно безпечну систему будуть утворюватися радіоактивні відходи у великій кількості, у тому числі і високоактивні відходи (ВАВ).

З огляду на сучасну проблему вичерпання вільних об'ємів існуючих сховищ ВАВ на ЧАЕС протягом наступних двох-трьох років у межах забезпечення функціонування інфраструктури поводження з ВАВ на об'єктах ЧАЕС було заплановано утворення на промисловому майданчику в межах машинного залу І черги сховища ВАВ.

Сховище необхідне для прийому та довготривалого збереження ВАВ, які будуть утворюватися в результаті зняття з експлуатації енергоблоків ЧАЕС, перетворення об'єкта “Укриття” на екологічно безпечну систему, а також продуктів переробки ядерного палива українських АЕС. Розміщення сховища передбачається у машинному залі і має економічне обґрунтування - зал І черги ЧАЕС обладнаний необхідними інженерними мережами, вантажопідійомними механізмами, транспортними під'їздами та системою фізичного захисту. Це дозволяє мінімізувати будівельні роботи при реконструкції.

Одним з головних аспектів при виконанні робіт по створенню сховища ВАВ на ЧАЕС є забезпечення радіаційної безпеки персоналу і навколишнього середовища, як при виконанні будівельно-монтажних робіт, так і подальшої експлуатації сховища.

З метою отримання необхідних вихідних даних по радіаційних умовах для проектування сховища ВАВ провідними фахівцями ІПБ АЕС НАН України було проведено комплексні дослідження основних параметрів радіаційних умов у відповідних приміщеннях машинного залу І черги ЧАЕС.

Об'єкти та методи.

Характеристика зон виконання робіт. Приміщення Г077/1 (рис. 1), Г192/1 (рис. 1 і 2) і Г219/1 (див. рис. 2), в яких планується будівництво сховища ВАВ розташовані в середній частині машинного залу І черги ЧАЕС, а саме між осями 8 - 17, з відмітки мінус 5,220 до відмітки 12,000. На час проведення досліджень у приміщеннях, що були відведені для будівництва сховища ВАВ, спеціалістами ЧАЕС проводились роботи по демонтажу наявного обладнання, трубопроводів та інженерних мереж. Загалом стан приміщень, як потенційних зон виконання будівельних робіт, задовільний.

У приміщенні Г077/1 частково демонтовано обладнання, інженерні мережі, металеві плити перекриття. Підлога на відмітці мінус 5,220 бетонна, місцями присутні сліди замокання підлоги, на відмітці мінус 4,200 підлога облицьована металевими листами, місцями присутні сліди замокання підлоги. Підлога покрита шаром пилу, частинами металевих конструкцій і будівельного сміття. На відмітці мінус 4,200 розташовані чотири технологічні приямки, в яких знаходяться трубопроводи, будівельне сміття, місцями присутня вода. На відмітках 0,000; 3,200; 5,000; 7,200 підлога з металевих листів покрита незначним шаром пилу, після демонтажу технологічних трубопроводів у підлозі залишилися отвори.

У приміщенні Г192/1 частково демонтовано обладнання, інженерні мережі, плити перекриття. Підлога бетонна, суха, з незначним шаром пилу, в іншій частині приміщення на підлозі знаходяться частини технологічних трубопроводів, будівельного сміття. У приміщенні стіни сухі, у деяких місцях залишилися отвори від технологічного трубопроводу, а на плитах перекриття залишилися кріплення для трубопроводів.

У приміщенні Г219/1 демонтовано обладнання, інженерні мережі, плити перекриття. Підлога бетонна, суха, з незначним шаром пилу. Стіни сухі, у деяких місцях залишилися отвори від технологічних трубопроводів.

Також планується використання приміщення Г363/1 (див. рис. 2), що розташовано на відмітці 9,400 деаераторної етажерки. У приміщенні частково демонтовано обладнання та інженерні мережі. Підлога бетонна, покрита лінолеумом, з незначним шаром пилу і будівельним сміттям.

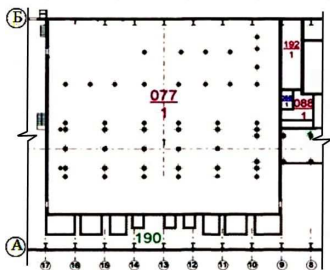


Рис. 1. План машинного залу на відмітці 0,000.

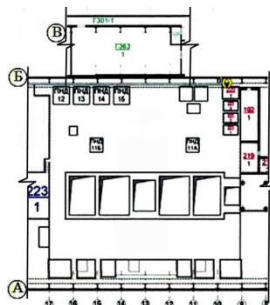


Рис. 2. План машинного залу на відмітці 12,000 і деаераторної етажерки на відмітці 9,400.

Потужність дози (ПД) гамма-опромінення. Величини ПД визначалась на висоті 0,1; 1; 2 і 3 м або вище (за необхідністю) над поверхнею підлоги за допомогою дозиметра-радіометра МКС-07 «Пошук». Точки вимірювань та їхня кількість визначались згідно даним від гомогенності поля розподілу значень ПД.

Кутовий розподіл інтенсивності гамма-випромінювання. Вимірювання кутового розподілу виконане за допомогою пристрою ШД-1 [1]. Цей пристрій використовує спосіб визначення кутового розподілу гамма-випромінювання, який полягає в одночасному вимірюванні інтенсивності гамма-випромінювання з різних напрямків декількома детекторами, розділеними поглинаючим середовищем. Дослідження з установкою ШД-1 здійснюються з метою одержання найбільш повних даних про кутовий розподіл гамма-випромінювання для застосування в розробці заходів із радіаційної безпеки.

На підставі попередніх досліджень ПД у приміщенні були визначені місця встановлення пристрою ШД-1. На місці встановлення радіометром виміряна ПД та зафіксовано час установлення пристрою ШД-1. Це дає змогу визначити термін експозиції пристрою ШД-1 у визначеному місці. Пристрій ШД-1 споряджений капсулами з термолюмінесцентними детекторами ТЛД-500К (ТЛД). По закінченні вимірювання кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання фіксується час експозиції пристрою, що є передумовою для розрахунку часу опромінювання. Після проведення дослідження опромінені капсули з ТЛД вилучаються й передаються до лабораторії ІДК ПІБ АЕС. Додатково, для контролю інтегральної ПД у місці встановлення, розміщують касету з трьома ТЛД. У лабораторії визначають дозу, накопичену ТЛД.

Енергетичні характеристики гамма-випромінювання. Для виконання розрахунків доз персоналу необхідне знання енергетичних характеристик гамма-випромінювання, яке дозволяє коректно провес-

ти необхідні розрахунки доз персоналу, промоделювати варіанти можливих заходів по протирадіаційному захисту персоналу при виконанні запланованих робіт та провести оцінювання характерного радіонуклідного складу забруднення конструкцій.

Для вирішення цього завдання і проведення досліджень енергетичних характеристик гамма-випромінювання використовували установку СЕГ-04К на основі портативного спектрометра гамма-випромінювань СЕГ-04 і свинцевого коліматора [1].

Щільність поверхневого забруднення (ЩПЗ). Визначались показники ЩПЗ поверхонь. Визначення нефіксованого (що знімається) радіоактивного забруднення поверхонь виконувалось методом «сухого мазка», який брався з досліджуваної поверхні (із плоскої ділянки площею 100 см²) за допомогою тканинного матеріалу (бязі). При оцінці величини повного радіоактивного забруднення використовувався коефіцієнт зняття для сухих мазків 0,2. Вимірювання бета-активності мазків виконувалось у лабораторії ІПБ АЕС на КРК-1 з блоком детектування БДІБ-01.

Також у польових умовах визначалась щільність потоку поверхневого забруднення поверхонь приміщень бета-активними нуклідами за допомогою дозиметра-радіометра МКС-07. Вимірювання виконувалось на висоті ~ 10 см над поверхнею підлоги. Точки вимірювань визначались шляхом пошуку найбільш радіоактивно забруднених місць.

Концентрації аерозолів в повітрі. Визначалась за методикою, що прийнята в ДСП ЧАЕС, шляхом прокачування певної кількості повітря через фільтр марки АФА-РСП-20 ТУ 95 1892-89 за допомогою переносної аспіраційної установки Н810САІС.

Точки виконання досліджень вибирались консервативно, у місця найбільшого потенційного забруднення повітря. Залежно від радіаційної ситуації або від інтенсивності виконуваних технологічних робіт у досліджуваних приміщеннях відбиралися одна або дві проби. Висота забору повітря 0,5 - 1,0 м над поверхнею підлоги, об'єм повітря не менше 5 м³. Вимірювання альфа- і бета-активності проб згідно з [2], проводились на установці КРК-1 з блоками детектування БДІА-01 і БДІБ-01. При цьому проби витримувалися не менше 5 діб, - це необхідно для мінімізації внеску у вимірювану активність випромінювання дочірніх продуктів розпаду радону і торону. Вимірювання накопиченої на фільтрах активності бета-випромінюючих довгоіснуючих нуклідів виконувалися в лабораторії ІПБ АЕС за допомогою радіометра КРК-1 і блоку детектування БДІБ-01.

Аналіз отриманих результатів ПД гамма-опромінення. Величини ПД у зонах виконання робіт (ЗВР) із реконструкції частини машинного залу І черги ЧАЕС для створення сховища ВАВ наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Діапазон величин ПД

Відмітка	Приміщення	Діапазон ПД, мкЗв/год
мінус 5,220	Г077/1	0,4 - 116
0,900	Г192/1	0,3 - 5,4
5,000	Г219/1	0,3 - 3,9
9,400	Г363/1	< 7,5*

* - Не перевищує норм, установлених для приміщень 3-ї підзони [3].

Найбільші значення ПД у приміщенні Г077/1 до 116 мкЗв/год спостерігаються у напрямках приміщення на відмітці мінус 4,000. Таким чином, можна зробити висновок про те, що радіаційний фон у приміщенні Г077/1 формується за рахунок локальних забруднень. У приміщенні Г192/1 найбільші значення ПД (до 5,4 мкЗв/год) спостерігаються на відстані 0,1 м від підлоги на відмітці 0,900. Отже, радіаційний фон у приміщенні Г192/1 формується за рахунок локального забруднення, що знаходяться на поверхні підлоги. У приміщенні Г219/1 найбільші значення ПД (до 3,9 мкЗв/год) спостерігаються на відстані 0,1 м від підлоги. Слід зауважити, що на висоті більше 1 м над поверхнею підлоги до відмітки 12,000 поле гамма-випромінювання рівномірно розподілене і значення ПД знаходяться в діапазоні 0,3 - 0,7 мкЗв/год. Тож радіаційний фон у приміщенні Г219/1 формується за рахунок локальних забруднень, що знаходяться на поверхні підлоги.

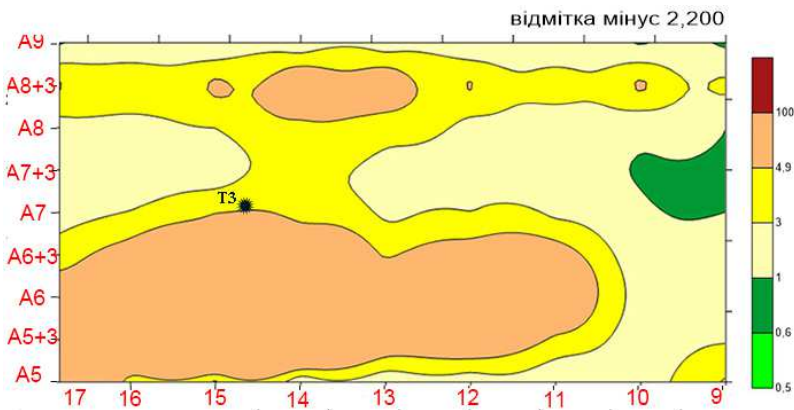


Рис. 3. Картограма ПД на відм. мінус 2,200 та точці вимірювання інтенсивності гамма-випромінювання з координатами А, 7-1 - 14+3.

Кутовий розподіл інтенсивності гамма-випромінювання. За результатами попереднього вимірювання ПД у приміщенні Г077/1 були визначені чотири точки дослідження кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання. Аналіз отриманих даних кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання показує рівномірне забруднення

будівельних конструкцій, що залишилися після демонтажу обладнання, а саме забруднення підлоги на відмітках мінус 3,500; 0,000 і мінус 5,200. Виявлені у приміщенні джерела випромінювання, що знаходяться в приямку між осями А6, 15 та А6, 12 дають внесок в ПД біля них, але враховуючи конфігурацію і розташування приямку, не можна вважати ці джерела головними у формуванні ПД в приміщенні. Характерну картограму кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання у приміщенні Г077/1 наведено на рис. 4.

Результати вимірювання ПД у приміщеннях Г192/1, Г219/1 та Г363/1 показали рівномірний розподіл значень ПД гамма-опромінювання, без яскраво виражених потужних джерел. Обладнання, радіоактивне забруднення якого могло формувати джерело випромінювання у приміщенні демонтовано. Товсті бетонні стіни повністю екранують від можливих потужних джерел зовні. Тому дослідження кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання в цих приміщеннях не проводилися.

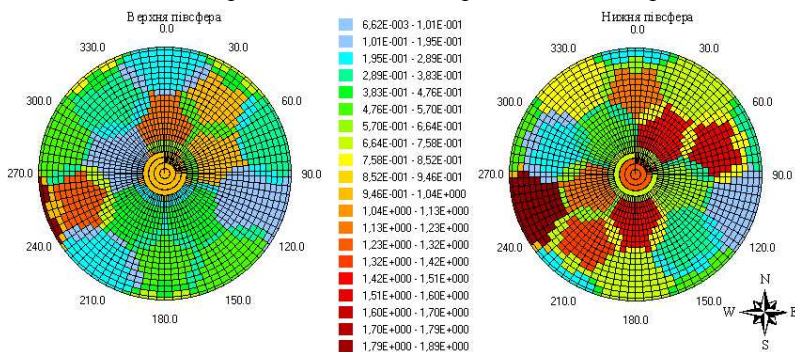


Рис. 4. Картограма кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання в точці Т3 з координатами А, 7-1 - 14+3 на відм. мінус 2,200

Енергетичні характеристики гамма-випромінювання. В результаті дослідження енергетичних характеристик в приміщеннях були отримані гамма-спектри. На спектрах для приміщень Г077/1 і Г192/1 добре помітні гамма-лінії ^{137}Cs і ^{60}Co . Такий спектр виникає при суперпозиції забруднення експлуатаційного і «аварійного» походження. Відмінність нуклідного складу від типового для «аварійного» і експлуатаційного забруднення обладнання та будівельних конструкцій також була помічена при комплексному інженерно-радіаційному обстеженні [4]. Отримані спектри в приміщеннях Г077/1 і Г192/1 наведено на рисунках 5 та 6 відповідно.

В приміщенні Г219/1 дозоутворюючим радіонуклідом є ^{137}Cs . Отриманий спектр в приміщенні Г219/1 наведено на рисунку 7.

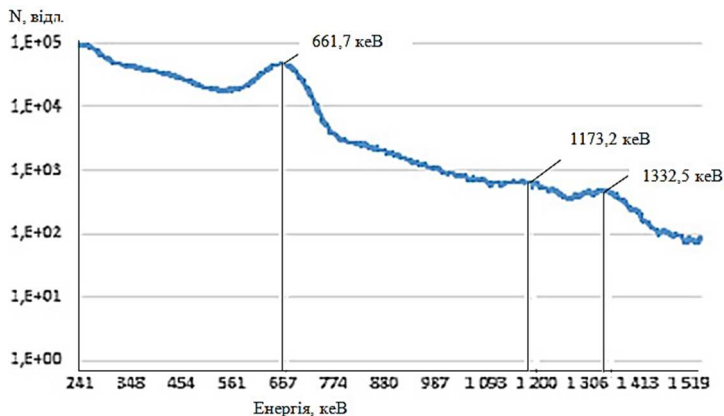


Рис. 5. Спектр у приміщенні Г077/1 на відмітці мінус 4,200

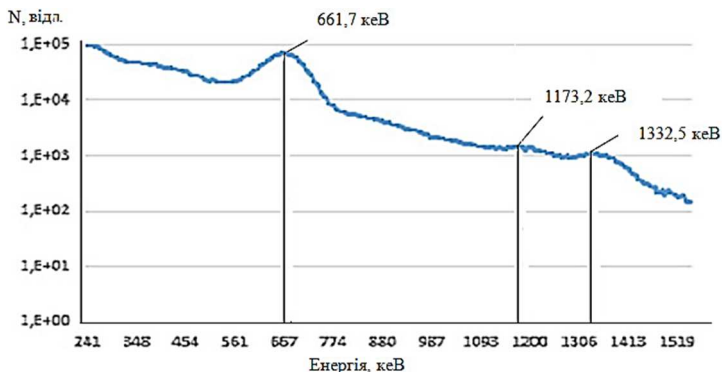


Рис. 6. Спектр в приміщенні Г192/1 на відмітці 0,000

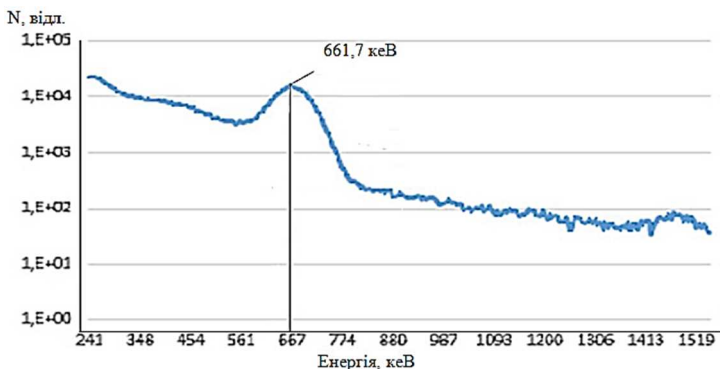


Рис. 7. Спектр в приміщенні 219/1 на відмітці 5,000

Щільність поверхневого забруднення (ЩПЗ). Величини ЩПЗ у ЗВР з реконструкції частини машинного залу I черги ЧАЕС для створення сховища ВАВ наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Діапазон величин ЩПЗ в ЗВР

№ п/п	Відмітки	Номер приміщення	Діапазон ЩПЗ, част./(см ² ·хв)	
			загальна	що знімається
1	мінус 4,000	Г077/1	10 - 11400	8 - 2700
2	0,900	Г192/1	50 - 730	12 - 53
3	5,000	Г219/1	20 - 2400	7 - 630
4	9,400	Г363/1	< 1600*	-

* - Не перевищує норм, установлених для приміщень 3-ї підзони [3].

Зафіксовано максимальні значення ЩПЗ для приміщення Г077/1 у напрямку між осями А8+3, 16, для приміщення Г192/1 між осями Б, 9-2 і для приміщенні Г219/1 між осями А6+1,5, 9.

Концентрації аерозолів в повітрі. Величини концентрації аерозолів у повітрі зон виконання робіт із реконструкції частини машинного залу I черги ЧАЕС, для створення сховища ВАВ наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Діапазон величин концентрації аерозолів у повітрі ЗВР

№ п/п	Відмітки	Номер приміщення	Діапазон концентрації аерозолів в повітрі ЗВР, Бк/м ³	
			α-випромінюючі нукліди	β-випромінюючі нукліди
1	мінус 4,000	Г077/1	< МДА	0,63 – 2,4
2	0,900	Г192/1	< МДА	0,24 ± 0,09
3	5,000	Г219/1	< МДА	0,1 ± 0,05
4	9,400	Г363/1	< 0,04*	< 3,0*

* - Не перевищує норм, установлених для приміщень 3-ї підзони [3].

Висновки

1. Використано міжнародний досвід із зняття АЕС з експлуатації в частині можливого використання існуючих будівельних споруд після проведення демонтажних робіт для утворення тимчасових об'єктів по поводженню з РАВ.

2. Аналіз діяльності по зняттю ЧАЕС з експлуатації показав, що приміщення машинного залу 1 черги після проведення демонтажу обладнання і окремих будівельних конструкцій можливо використати для утворення тимчасових сховищ по довготривалому зберіганню ВАВ до моменту будівництва сховища в глибинних геологічних формаціях. При цьому, буде забезпечена радіаційна безпека персоналу і навколишнього середовища, як при виконанні будівельно-монтажних робіт по утворенню сховища ВАВ, так і подальшої експлуатації сховища.

3. Об'єм та характеристики отриманих вихідних даних у результаті проведення комплексних досліджень цілком достатній для проектування сховища ВАВ, а також моделювання радіаційних умов і розрахунку дозових навантажень будівельного персоналу, а саме:

- ПД гамма-опромінення у ЗВР із реконструкції частини машинного залу I черги ЧАЕС для створення сховища ВАВ досягає 116 мкЗв/год (в одному з напрямків приміщень Г077/1). В інших приміщеннях значення ПД не перевищує 5,4 мкЗв/год, що не перевищує норм, установлених для приміщень 3-ї підзони;

- Аналіз отриманих даних кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання у приміщенні Г077/1 показує рівномірне розподілення забруднення будівельних конструкцій. Виявлені джерела випромінювання, що знаходяться в напрямках на відмітці -4,000м, дають внесок у ПД біля них, однак ці джерела локальні і не формують радіаційні умови в усьому приміщенні;

- Дослідження енергетичних характеристик гамма-випромінювання показало, що у приміщеннях Г077/1 і Г192/1 є наявне забруднення експлуатаційного і «аварійного» походження, у той час як приміщення Г219/1 забруднене лише Cs137 аварійного походження;

- Максимальні значення ЩПЗ досягають 11400 част./см2·хв (загальне) і 2700 част./см2·хв (що знімається) (у напрямку приміщення Г077/1);

- Концентрація аерозолів у повітрі ЗВР не перевищує норм, установлених для приміщень 3-ї підзони;

Література:

1. Оптимізація протирадіаційного захисту та ймовірнісний аналіз безпеки при здійсненні діяльності з перетворення об'єкта "Укриття". (Звіт) / ІПБ АЕС НАН України. - 2004. – 324 с.

2. Збірник робочих інструкцій по експлуатації приладів радіаційного контролю цеху радіаційної безпеки, 43Э-РБ. ДСП ЧАЕС, 1999.

3. Контрольні рівні радіаційної безпеки 41П-С. ДСП ЧАЕС.

4. Итоговый отчет по результатам комплексного инженерного и радиационного обследования энергоблока № 1. 14.50.420.120-01.57.

Інформація про авторів:

Морозов Ю. В. - Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, м. Чорнобиль, вул. Кірова 36а

e-mail: yuvmorozov@ispnpp.kiev.ua

Сторов В. В., Павловський Л. І. - Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, м. Чорнобиль, вул. Кірова 36а

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

**DECOMMISSIONING CHERNOBYL NPP. ASPECTS OF SECURITY
AT THE CREATION OF THE STORAGE OF HIGH-ACTIVE WASTE
IN THE MACHINE HALL I RUNNING**

Yury Morozov, Vladimir Yegorov, Leonid Pavlovsky.

Abstract: *Chernobyl NPP (ChNPP) now is at the stage of decommissioning and transformation of "Ukryttia" object (UO) into the environmentally safe system.*

Decommissioning is one of life cycle stages for any NPP.

In the Chernobyl Nuclear Power Plant as a result of the planned accident at the 4th power unit in 1986, almost all the territory of the industrial site and most of the building structures and equipment were radioactive contaminated. In this regard, in addition to the typical decommissioning, ChNPP requires the organization of increased control over the provision of radiation safety during the execution of works.

Accordingly, radioactive waste in large quantities, including high-level waste (HLW), will be generated when the ChNPP is removed from operation and the OC is turned into an environmentally safe system. In connection with this, there is a need for additional volumes of long-term storage of HLW.

One of the main aspects when performing work on the creation of the HLW storage facility at the ChNPP is to ensure the radiation safety of personnel and the environment, both during the construction and installation work, and the subsequent exploitation of the storage.

An integrated assessment of radiation conditions in areas of reconstruction work performance of the part of Turbine hall of the 1st stage of ChNPP for construction of high-level waste storage facility is given. During the works carrying out it was being measured value of gamma radiation dose rate, the density of surface contamination and the concentration of aerosols in the air, as well as the energy characteristics of gamma radiation and the angular distribution of gamma radiation intensity were studied.

Keywords: *decommissioning, radiation situation, turbine hall, 1st stage of ChNPP, storage facility for high-level radioactive wastes.*

References

- 1. Optimization of anti-radiation protection and probabilistic safety analysis in the process of transformation of the "Ukryttia" object. (Report) / ISP NPP. - 2004 - 324p.*
- 2. Collection of working instructions on the operation of radiation control devices for radiation safety department, 43E-RB. ChNPP SSP. 1999.*
- 3. Control levels of radiation safety 41P-S. DSP ChNPP.*
- 4. Final report on the results of integrated engineering and radiation testing of Unit 1. 14.50.420.120-01.57*

ГАРАНТОСПОСОБНОСТЬ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ – СПОСОБНОСТЬ ПРЕДОСТАВЛЯТЬ ТРЕБУЕМЫЕ УСЛУГИ С ВЫСОКИМ УРОВНЕМ ДОВЕРИЯ

Муха А. А.

Современное общество становится все более зависимым от качества услуг, предоставляемых динамично развивающимися информационными технологиями (ИТ). Очень важным аспектом в этом является уровень надежности и безопасности сервисов и систем, базирующихся на ИТ. Это обусловлено тем, что недостаточный уровень надежности и безопасности компьютерных систем (КС), как средств, реализующих ИТ, приводит либо к материальным потерям и снижению конкурентоспособности производств и продукции для бизнес - критических приложений, а для КС критического применения к техногенным и экологическим катастрофам, и человеческим жертвам.

На сегодняшний день трудно найти область человеческой деятельности, где бы не требовались КС высокой надежности, безопасности и живучести. Одной из таких КС критического назначения являются системы управления и контроля на объектах атомной энергетики. При проектировании и построении подобного рода КС, весь процесс разработки, в определенной мере базируется на соблюдении условий классической теории надежности, а также регламентирован определенными отраслевыми стандартами.

За значительный промежуток времени своего становления, теория надежности сформировалась как классическая наука и хорошо развилась относительно технических систем. Методы, средства оценки и обеспечения надежности прошли всевозможную апробацию и продолжают совершенствоваться с внедрением новых КС. Но стоит отметить, что в то же время, развитие теории надежности относительно программного обеспечения, сетевых технологий и сервис-ориентированных систем идет недостаточно эффективно и это можно связать со следующими причинами:

- классическая теория надежности ее методы не могут дать объективной оценки объектам, работоспособность которых нарушается вследствие ошибок проектирования, информационных воздействий, вторжения и тому подобного. Для таких объектов трудно определить само понятие отказа и сопоставить множество его причин;

- при разработке систем с высокой долей использования программного обеспечения и сетевых технологий сохраняется ориентация на качественные, а не на количественные инструментарию оценки и строгие математические методы.

В связи с вышеупомянутым, целью этого доклада является ознакомление научного сообщества с исследованиями в области построения гарантоспособных КС критического применения.

Еще в 1985 г. появилась статья [1], в которой англоязычный термин **dependability**, имеющий малую смысловую нагрузку, был наполнен несколько иным содержанием и назван применительно к КС **гарантоспособностью**. Базовой платформой гарантоспособности КС является **отказоустойчивость**, а атрибутами - **безотказность**, **готовность**, **живучесть**, **обслуживаемость**, **достоверность**, **информационная безопасность** (целостность, конфиденциальность) и **функциональная безопасность** (Рис.1.). В то же время надёжность, в традиционном ее понимании, определяется более узким набором комплексных свойств, которые в зависимости от назначения объекта и условий его эксплуатации может включать в себя свойства **безотказность**, **готовность**, **долговечность**, **ремонтпригодность** и **сохраняемость** с соответствующими количественными характеристиками. Если дать определение **гарантоспособной КС** (ГКС), то это отказоустойчивая, высоконадежная, безопасная и живучая система с гарантированно достоверными вычислениями или система, способная предоставлять требуемые услуги, которым можно оправдано доверять.



Рис. 1. Дерево гарантоспособности и безопасности

Актуальность исследований в области гарантоспособности обосновывается, объемами материального и морального ущерба, причиняемого отказами функционирования КС в составе критических технологий и инфраструктур. Вопросы отказоустойчивости, безопасности и живучести, являющиеся основополагающими в создании ГКС, остаются на сегодняшний день очень актуальными и еще далеки до своего окончательного решения. Только комплексный подход к решению данной проблемы на всех этапах жизненного цикла КС (от формирования концепции до утилизации) позволит создавать системы с заданным уровнем гарантоспособности.

Теория гарантоспособных систем еще развита недостаточно, что представляет собой важную научную проблему системного характера и требует комплексных научных и прикладных исследований и соответствует приоритетному направлению развития отечественной науки и техники.

Отдельно следует отметить, что на данное время в Украине нет нормативного документа, который бы установил или определил понятия и требования к гарантоспособности, элементы и связи между ними соответственно современному развитию научных исследований и разработок в области построения высоконадежных и безопасных систем критического применения. Стоит отметить тот факт, что некоторые из существующих стандартов [6,7] очень близки в своих формулировках к понятиям, описываемым термином гарантиспособность. А Указания для внутреннего пользования Национального космического агентства Украины (НКАУ) еще с 2010 года вводят понятийную базу гарантоспособности для применения предприятиями, научно-исследовательскими институтами, организациями, учреждениями, находящимися в сфере управления НКАУ[37].

В работах наиболее известных зарубежных авторов Avizienis A., Lapie J.-C., Randell B., Landwehr C. и др [1-3]. приводятся обобщенные результаты исследований в области гарантоспособных КС.

В Украине лидером данного направления является д.т.н., профессор В.С. Харченко (V.S. Kharchenko) из Национального авиационно - космического университета «ХАИ», который возглавляет научную школу и активно развивает теорию и практику ГКС во всех аспектах ее применения [4-14]. Наиболее весомые практические результаты, полученные этой научной школой, относятся к области атомной энергетики, авиации и систем специального назначения.

В ИПММС НАН Украины работы в области гарантоспособности были начаты в 1990 г. исследованиями в рамках фундаментальных и прикладных научных тем с шифрами «**Отказоустойчивость**», «**Надежность**», «**Гарантоспособность**», «**Эффективность**» и «**Живучесть**», которые нашли свое отражение в многочисленных публикациях авторов в виде научных отчетов, монографий, статей, тезисов докладов и учебных пособий [15-36].

Теория гарантоспособных систем не является застывшей классической наукой, а постоянно развивается с учетом современных реалий и достижений в области новой элементной базы и технологий производства компонентов КС, автоматизации проектирования, новых архитектурных решений и сетевых технологий, методов технической диагностики, прогнозирования неисправностей, моделирования, нового математического аппарата теории надежности и др.

Основной целью научных исследований в данном направлении является разработка комплексного теоретического подхода к проектированию гарантоспособных электронных средств и КС критического применения.

В Украине вопросам теории и практики гарантоспособных систем посвящена постоянно действующая международная научно-техническая конференция **«Гарантоспособные (надежные и безопасные) системы, сервисы и технологии»** (Dependable systems, services & technologies, DESSERT), организатором которой является Национальный авиационно-космический университет «ХАИ», г. Харьков. В качестве рекомендаций конференции **DESSERT** была сформулирована некая перспективная программа действий в области гарантоспособности.

Наиболее перспективными являются направления исследований в следующих областях:

- **Методологические аспекты теории и практики гарантоспособных (надежных и безопасных) систем.** Методология и принципы гарантоспособности как комплексного свойства компьютерных и телекоммуникационных систем и сетей. Аспекты разработки гарантоспособных систем из негарантоспособных компонент. Компонентно-ориентированный подход к разработке. Формальные методы разработки систем с высокими требованиями по безопасности.

- **Анализ и оценка гарантоспособности.** Гарантоспособность и критерии ее оценки, метрики. Взаимосвязь критериев и показателей оценки. Средства и методики оценки. Оценка устойчивости к различным дефектам и воздействиям.

- **Отказоустойчивость как основной механизм обеспечения гарантоспособности.** Методы и средства прогнозирования, предотвращения, определения, локализации, маскирования, устранения ошибок и отказов. Оценка и обеспечение отказоустойчивости СБИС-архитектур (микропроцессорных систем, ПЛИС, систолических матриц и т.д.), встроенных систем реального времени.

- **Гарантоспособность сервис-ориентированных систем.** Разработка и внедрение надежных веб-сервисов и GRID-технологий. Мониторинг и оценка гарантоспособности композитных веб-сервисов (управление исключениями, временной анализ, оценка надежности и работоспособности и т.п.). Гарантоспособность различных инфраструктур.

- **Гарантоспособные системы на программируемой логике.** Анализ рисков FPGA и ASIC-технологий. Надежные реконфигурируемые вычисления. Методы разработки и верификации гарантоспособных систем на программируемой логике.

- **Надежность программных компонент и систем.** Развитие моделей надежности программного обеспечения и вероятностных методов оценки. Методы метрической оценки. Рентабельная (по критерию «достоверность - затраты») оценка качества и надежности. Методы и средства моделирования, оценки надежности и технологий проектирования отказоустойчивого программного обеспечения. Надежные и безопасные системы на микроконтроллерах.

- **Многоверсионные технологии и системы.** Гармонизация требований международных и национальных стандартов относительно использования диверсности в различных приложениях. Типы версионной избыточности и модели многоверсионного программного обеспечения и жизненного цикла систем. Диверсность систем счисления. Метрики диверсности и методы оценки многоверсионных систем. Анализ опыта разработки и применения многоверсионного программного обеспечения. Оптимальное резервирование при разнотипных компонентах.

- **Контроль, тестирование, диагностирование и верификация компонентов, компьютерных систем, сетей и технологий.** Новые парадигмы и математические методы диагностирования сложных систем и инфраструктур. Интеллектуальные системы диагностирования. Методы и средства моделирования, обнаружения, локализации физических дефектов (аппаратных компонент), дефектов процесса разработки (программных средств) и дефектов взаимодействия, обусловленных воздействиями внешней среды разной природы. Формальные методы верификации программ.

- **Функциональная безопасность и живучесть компьютерных систем атомных станций, аэрокосмических систем и других критических систем.** Таксономии функциональной безопасности и живучести. Критерии, методы и средства оценки и обеспечения. Технологии управляемой многоступенчатой деградации.

- **Информационная безопасность компьютерных систем, сетей и сервисов.** Проблемы развития и использования современных методов и технологий обеспечения информационной безопасности для критических и бизнес - критических приложений. Устойчивость систем к вторжениям.

- **Телекоммуникационные системы и радиоэлектронные средства.** Методы оценки и обеспечения пропускной способности, помехоустойчивости, надежности и безопасности. Технологии интегрированных сетей и услуг. Развитие технологий беспроводных телекоммуникацион-

ных сетей для критических приложений. Моделирование, анализ и разработка технологий оценки и обеспечения живучести (катастрофоустойчивости) корпоративных и глобальных компьютерных сетей.

Кроме того, рекомендуется интенсифицировать разработку и гармонизацию с международной нормативной базой национальных стандартов, касающихся терминологической базы и методов, регламентирующих процессы создания, испытания, применения и экспертизы ГКС для критических и бизнес - критических приложений.

Выводы

Разработанные в рамках данного научного направления теоретические основы и прикладные методы создания гарантоспособных компьютерных средств и систем будут способствовать повышению качества проектирования отечественных информационных и управляющих систем для критических технологий и инфраструктур и снижению риска аварий в этих областях.

Экономический эффект от внедрения результатов научных исследований в области гарантоспособности КС следует ожидать прежде всего:

- в предотвращении техногенных аварий или катастроф, или минимизации потерь, связанных с ними;
- в повышении конкурентоспособности продукции и производств в бизнесе и финансах;
- в сокращении убытков от простоев систем по причине отказов оборудования за счет их высокой безотказности, готовности и живучести;
- в уменьшении затрат на работы по проведению ремонтов и техническому обслуживанию систем благодаря введению функций отказоустойчивости, самодиагностики и самовосстановления.

Литература:

1. Avizienis A., Laprie J.-C. Dependable Computing: from Concepts to design Diversity? // IEEE Transactions on Computers. – 1985. – V. 74. – P. 8 – 21.
2. Avizienis A., Laprie J.-C. Dependable Computing: From Concepts to Application // IEEE Trans. On Computers. – 1986. - N74(5). – P. 629-638.
3. Avizienis A., Laprie J.-C., Randell B., Landwehr C. Basic Concepts and Taxonomy of Dependable and Secure Computing // IEEE Trans. on Dependable and Secure Computing. – 2004. – Vol. 1. – N 1. – P. 11-33.
4. Харченко В.С., Паршин В.В. Многоверсионные системы и обеспечение гарантоспособности. – Препринт №321. – Х.: ИПМаш, 1989. – 33 с.
5. Харченко В.С. Гарантоспособность и гарантоспособные системы: элементы методологии // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2006, № 5 (17). – С. 7-19.
6. ДСТУ ІЕС 62138: 2008, «Атомні електростанції. Інформаційні та керуючі системи, важливі для безпеки. Програмні аспекти комп'ютерних систем, які виконують функції категорії В або С». / А. Андрашов, Н. Молчанова, А. Сиротюк, В. Скляр, В. Харченко, М. Ястребенський // Київ, Держспоживстандарт України. – 2008.

7. ДСТУ ІЕС 60880 (Категорія А): 2008, «Атомні електростанції. Інформаційні та керуючі системи, важливі для безпеки. Програмні аспекти комп'ютерних систем, які виконують функції категорії А» / Н. Молчанова, В. Скляр, В. Харченко, М. Ястребенецький // Київ, Держспоживстандарт України. – 2008.

8. Харченко В.С. Парадигмы и принципы гарантоспособных вычислений: состояние и перспективы развития // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2009, №2 (36).- С. 91-100.

9. Харченко В.С. Гарантоздатні системи та багатoversійні обчислення: аспекти еволюції // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2009, №7 (41).- С. 46-59.

10. Харченко В.С. Научно-методические результаты в области развития гарантоспособных систем // Радиоелектронні та комп'ютерні системи, 2009. – №4. – С. 24-33.

11. Сиора А.А., Краснобаев В.А., Харченко В.С. Отказоустойчивые системы с версионно-информационной избыточностью // Под ред. Харченко В.С. – Министерство образования и науки Украины, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2009. – 321 с.

12. Харченко В.С., Одарущенко О.Н., Поночовний Ю.Л., Скляр В.В. Технологии высокой готовности для программно-технических комплексов космических систем // Монография. Серия «Безопасность космических систем и качество программного обеспечения». Харьков: ХАИ, 2010. – 342 с.

13. Харченко В.С., Брежнев Е.В., Скляр В.В. Безопасность критических инфраструктур: математические и инженерные методы анализа и обеспечения. – Министерство образования и науки Украины, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», 2011. – 641с.

14. Ястребенецкий М.А., Розен Ю.В., Виноградская С.В., Джонсон Г., Елисеев В.В., Сиора А.А., Скляр В.В., Спектор Л.И., Харченко В.С. Системы управления и защиты ядерных реакторов. – К: Основа-Принт, 2011. – 768 с.

15. Теслер Г.С. Концепция построения гарантоспособных вычислительных систем // Математичні машини і системи. – 2006, №1. – С. 134-145.

16. Мудла Б.Г., Єфімова Т.І., Рудько Р.М. Гарантоздатність як фундаментальний узагальнений та інтегруючий підхід // Математичні машини і системи. – 2010, №2. – С. 148-165.

17. Федухин А.В., Сеспедес Гарсия Н.В. Атрибуты и метрики гарантоспособных компьютерных систем // Математичні машини і системи. - 2013. - № 2. – С. 195-201.

18. Теслер Г.С. Концепция создания вычислительных средств с высоким уровнем отказоустойчивости // Математичні машини і системи. – 2002. – № 2. – С. 176 –183.

19. Теслер Г.С. Решение проблемы гарантоспособности компьютерных систем в аспекте базисов компьютерной науки // Математичні машини і системи. – 2008. - № 4. – С. 171 – 188.

20. Федухин А.В., Муха Ар.А., Муха А.А. ПЛИС – системы как средство повышения отказоустойчивости // Математичні машини і системи. – 2010. - № 1. -С.198-204.

21. Сербін В.Г., Сухомлин А.І. Деякі аспекти живучості складних гарантоздатних комп'ютерних систем критичних умов застосування // Математичні машини і системи. - 2011. - № 4. – С. 183-191.
22. Сербін В.Г., Сухомлин А.І. Визначення і формалізація основних показників гарантоздатності живучих комп'ютерних систем керування на основі ймовірно-фізичного підходу для їх проектної оцінки і прогнозування // Математичні машини і системи. - 2012. - № 4. - С.182-189.
23. Стрельников В.П. Прогнозирование остаточного срока службы технических систем // Надежность.- ООО «Издательский дом «Технологии».- 2012.- №1(40).- С7-22.
24. Ященко В.А. Живучесть интеллектуальных систем управления, созданных на базе рецепторно-эффекторных нейроразличных растущих сетей // Математичні машини і системи. - 2012. - № 2. - С.37 -40.
25. Федухин А.В., Сеспедес Гарсия Н.В. Пакет прикладних програм **GARANTmod** в інжиниринге гарантоспособных систем // Математичні машини і системи. - 2013. - № 3. – С. 178 – 185.
26. Муха Ар.А., Пасько В.П. Структурний синтез і аналіз отказоустойчивых компьютерных систем // Математичні машини і системи.- 2013.- №2.- С. 202-206.
27. Сеспедес Гарсия Н.В. Оценка уровня целостности гарантоспособных компьютерных систем // Математические машины и системы.- 2013.-№4.-С. 204-201.
28. Федухин А.В., Ярошенко В.Н., Сухомлин А.И., Сеспедес Гарсия Н. В., Муха Ар.А. К вопросу о сравнительной оценке гарантоспособных систем // Математичні машини і системи. - 2014. - №1. - С. 185-194.
29. Федухин А.В., Мулда Б.Г. Гарантоспособность компьютерных систем – мода или объективная необходимость // Математичні машини і системи. - 2014. - №4. - С. 179-188.
30. Федухин А.В., Ярошенко В.Н., Муха Ар.А. К вопросу о взаимосвязи величин метрик и их весов // Математичні машини і системи. - 2015. - №3. - С. 191- 200.
31. Федухин А.В., Муха Ар.А. Стратегия отказобезопасности как альтернатива полной отказоустойчивости при проектировании гарантоспособных компьютерных систем. Часть 1. // Молодой ученый.- 2016. - № 8(35)- С.169-173.
32. Федухин А.В., Муха Ар.А. Стратегия отказобезопасности как альтернатива полной отказоустойчивости при проектировании гарантоспособных компьютерных систем. Часть 2 // Молодой ученый - 2016. - №10 (37).С.23-27.
33. Федухин А.В., Муха Ар.А., Сеспедес Гарсия Н.В. Доказательство безопасности компьютерных систем // Математичні машини і системи. - 2016. - №3 - С.93 – 101.
34. Федухин А.В. Гравитационная автоматика в системах защиты объектов критических инфраструктур // Математичні машини і системи. - 2017. - №.1 - С. 106-121.
35. Федухин А.В., Сеспедес Гарсия Н.В., Муха Ар.А. К вопросу о связи надежности и достоверности функционирования компьютерных систем // Математичні машини і системи. - 2017. - №.2 - С. 145-155.
36. Федухин А.В. Синтез систем противоаварийной автоматике с исключением опасных отказов // Математичні машини і системи. - 2017. - №.3 - С. 139-153.

37. СОУ-Н-НКАУ 0060:2010, «Галузева система управління якістю. Гарантоздатність програмно-технічних комплексів критичного призначення» / Ю. Алексєєв Б. Конорєв, В. Скляр, О. Одарушенко, В. Харченко, Г. Чертков // Київ, Національне космічне агентство України– 2010.

Інформація об авторе:

Муха Артем Андреевич - Інститут проблем математических машин и систем Национальной Академии наук Украины, г. Киев.

ПОВЕДІНКА КОНСТРУКЦІЙ З РІДИНОЮ НА МАЯТНИКОВОМУ ПІДВІСІ ПРИ СЕЙСМІЧНОМУ ЗБУРЕННІ РУХУ

Нефьодов О.О.

Розглянуто математичну модель руху системи циліндричний резервуар – рідина з вільною поверхнею, орієнтовану на дослідження поведінки конструкцій при сейсмічних навантаженнях. При цьому, поступальний рух точки закріплення маятникового підвісу (основи) розглядається як заданий, а за параметрами кутового руху системи – сумісний рух складових елементів. Відомо, що при кутових рухах системи резервуар - рідина її динамічні властивості суттєво залежать від довжини маятникового підвісу, тому було проаналізовано зміну поверхневих хвиль, силового та моментного відгуку рідини для різних довжин маятникового підвісу і випадку жорсткого закріплення резервуару.

Аналізується три варіанти закріплення резервуару. У звичайному варіанті резервуар рухається поступально. Для порівняння з цим випадком також розглянуто закріплення резервуару на маятниковому підвісі. Вибір довжин підвісу є важливою складовою роботи та обумовлений тим, що у діапазоні довжин $3.08R < l < 5.4R$ відбувається істотна зміна частотних характеристик системи, так для довгих довжин підвісу розподіл частот співпадає з поступальним рухом, проте, при коротких довжинах підвісу відбувається не лише значна зміна величин частот, але й зміна їх черговості. Так для коротких підвісів перша антисиметрична форма коливань рідини за значенням частоти вже поступається частотам, які відповідають окружним номерам $m = 0$ та $m = 2$. При цьому, передбачається що частина енергії піде на квазітвердий кутовий рух конструкції з рідиною, що має зменшити амплітуди хвильового руху і зсувні зусилля.

Землетрус за своїм характером представляє собою короткотривале навантаження вібраційного характеру із значним проявом модуляції.

На прикладі землетрусу 2011 року в Японії розглянуто ефективність маятникового підвісу в порівнянні з поступальним рухом системи.

Збурення вільної поверхні рідини у випадку поступального рузу резервуару переважають збурення вільної поверхні рідини у випадку маятничового підвісу.

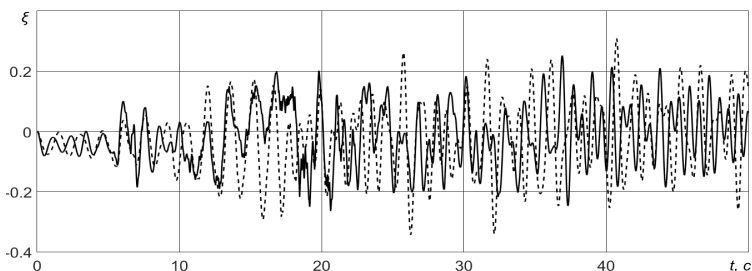


Рис. 1. Збурення вільної поверхні. Поступальний рух позначено штриховою лінією

Результати чисельного моделювання показали, що для маятничового підвісу заданих довжин збурення хвильового руху стає меншим, ніж у випадку поступального, а з аналізу силової взаємодії рідини і конструкції, а також аналізу спектральних властивостей системи, можна зробити висновок про доцільність використання саме довгих маятничових підвісів як засобу підвищення сейсмостійкості.

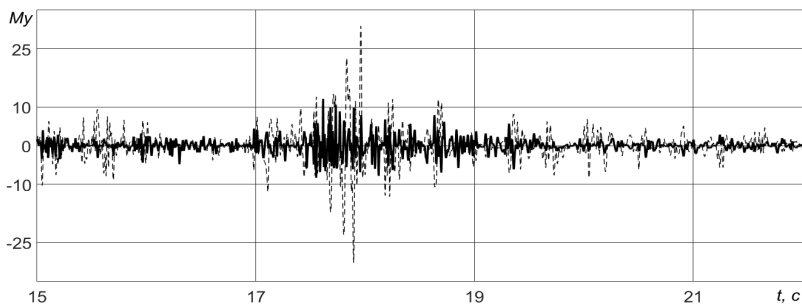


Рис. 2. Моментний відгук рідини на сейсмічну дію для випадку маятничового закріплення та поступального руху. Чорною суцільною лінією представлено результат для маятничового закріплення резервуару.

Інформація про автора:

Нефьодов О.О. - Київський національний університет імені Тараса Шевченка
e-mail: garonmail@gmail.com

РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННАЯ ВОДА В ОБЪЕКТЕ «УКРЫТИЕ» ПОСЛЕ УСТАНОВКИ «АРКИ» НБК В ПРОЕКТНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Одинцов А., Хан В.

27 ноября 2016 г. «Арка» Нового безопасного конфайнмента (НБК) была установлена в проектное положение над объектом «Укрытие» (ОУ). Установка НБК в проектное положение привела к изменениям поступления воды (за счет атмосферных осадков) в ОУ, вентиляции помещений ОУ, температурно-влажностного режима в ОУ, что может повлиять на поведение радиоактивных аэрозолей в подкровельном пространстве ОУ и состояние топлива содержащих материалов (ТСМ).

Основными источниками формирования водных потоков и скоплений радиоактивно загрязненной воды (РЗВ) внутри объекта «Укрытие» после установки «Арки» НБК в проектное положение являются конденсат, образующийся в помещениях на нижних отметках объекта «Укрытие» в летние месяцы и пылеподавляющие растворы, поступавшие в подкровельное пространство во время проведения сеансов пылеподавления. Водные потоки попадают в помещения, где локализованы ТСМ. Взаимодействие воды с конструкционными материалами и ТСМ приводит к образованию РЗВ, содержащие уран, продукты деления (ПД) и трансурановые элементы (ТУЭ). Цель настоящей работы состояла в исследовании динамики изменения количества и основных радиационных характеристик РЗВ в помещениях объекта «Укрытие» после установки «Арки» НБК в проектное положение.

Определены объемы РЗВ в помещениях объекта «Укрытие» на нижних отметках и динамика их сезонных изменений после установки «Арки» НБК в проектное положение. Экспериментально определено содержание макрокомпонентов, урана, ПД - ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{154,155}\text{Eu}$ и ТУЭ - ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{244}Cm в РЗВ объекта «Укрытие» в 2017 г. Концентрация урана в РЗВ объекта «Укрытие» составляла 0,5 – 80 г/м³. Объемная активность ПД в РЗВ находится в пределах $n \cdot 10^7$ - $n \cdot 10^{11}$ Бк/м³, а ТУЭ в пределах $n \cdot 10^4$ - $n \cdot 10^7$ Бк/м³. Показано, что сезонные колебания концентрации урана и объемных активностей радионуклидов в РЗВ могут составлять до одного порядка величины. Отношения между активностями $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$, $^{90}\text{Sr}/^{239+240}\text{Pu}$, $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ и $^{244}\text{Cm}/^{239+240}\text{Pu}$ в РЗВ объекта «Укрытие» значительно отличаются от аналогичных отношений радионуклидов в топливосодержащих материалах объекта «Укрытие».

После установки «Арки» НБК в проектное положение в помещениях на нижних отметках ОУ количество радиоактивно загрязненной воды значительно уменьшилось.

Основными источниками поступления воды на нижние отметки ОУ было образование конденсационной влаги в период август – октябрь 2017 г и технологические растворы при проведении сеансов пылеподавления.

Информация об авторах:

Одинцов Алексей Алексеевич – зав. сектором, к.т.н., ст.н.с. Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, ул. Кирова, 36а, Чернобыль, 07270, Украина

к.т. 097 307 99 85 , 04593 - 51772

e-mail: oodind@ukr.net

Хан Валерий - Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, ул. Кирова, 36а, Чернобыль, 07270, Украина

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

RADIOACTIVE WATER IN OBJECT «SHELTER» AFTER SETTING OF «ARCH» OF NSC IN PROJECT STATUTE

Odintsov Oleksii, Khan Valeriy

November, 27, 2016 «Arch» of NSC was set in project position above an object «Shelter» (OS). Setting of NSC in project position caused changes of receipt of water (due to atmospheric precipitates) in OS, ventilation of apartments of OS that can influence on the conduct of radioactive aerosols in space of OS and state fuel of containing materials (FCM).

By the basic sources of forming of water-courses and accumulations of radioactive contaminate water (RCW) into an object «Shelter» after setting of NSC in project position is condensate water, appearing in the apartments on the lower marks of object «Shelter» in summers months and dust localization solutions, entering sub roofing space during the of sessions of dust localization.

Cooperating of water with constructions materials and FCM results in formation of RCW, containing uranium, fission products (FP) and transuranium elements (TUE). The purpose of the this work consisted of research of dynamics of change of amount and basic radiation descriptions of RCW in the apartments of object «Shelter» after setting of NSC in project position.

After setting of NSC in project position in the rooms on the lower marks of OS the amount of radio-active water diminished considerably.

Keywords: *radionuclides, uranium, plutonium, americium, liquid radioactive waster, object “Ukrytyta”.*

Authors’ Information

Odintsov Oleksii, Khan Valeriy- *Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants NAS of Ukraine, Kirova str., 36a, Chernobyl, 07270, Ukraine*

УМОВИ ФОРМУВАННЯ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД ПРОММАЙДАНЧИКА ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС ТА ЗАСОБИ ОБМЕЖЕННЯ ЙОГО РОЗПОВСЮДЖЕННЯ

Панасюк М. І., Матросов Д. Т., Левін Г. В., Люшня П. А., Сізов М. О., Паламар Л. А., Чижур Л. Б., Онищенко І. П.

В статті показано, що підвищення міграційної здатності радіонуклідів (в 200-500 разів) з підземними водами відбувається в сильнолужному середовищі при $\text{pH} > 9,5$ в відновлювальній чи перехідній обстановці. В статті наводяться рекомендації, щодо зменшення рівнів радіоактивного забруднення підземних вод.

Ключові слова: проммайданчик ЧАЕС, підземні води, ^{90}Sr , уран та трансуранові елементи, основні іони, pH , міграція.

Вступ

Визначення рівнів та механізмів формування забруднення підземних вод ^{90}Sr , урану та трансуранових елементів (ТУЕ) в районі об'єкта «Укриття» проводяться з 1996 р. в межах радіогідроекологічного моніторингу (рис. 1). Також, при цьому, вивчаються джерела радіоактивного та хімічного забруднення довкілля: водні скупчення всередині Об'єкта «Укриття» та в водонесучих комунікаціях.

Основна мета проведення радіогідроекологічного моніторингу полягає в оцінці рівнів хімічного та радіоактивного забруднення ґрунтових вод, а також умов міграції радіонуклідів в оточуюче аварійний блок природне середовище для виконання ДСП ЧАЕС функцій безпеки, що стосуються обмеження розповсюдження радіоактивних речовин та іонізуючого випромінювання за встановлені межі.

Матеріали та методи. На проммайданчику ДСП ЧАЕС розвинений безнапірний водоносний горизонт, приурочений до алювіальних пісків першої надзаплавної тераси р. Прип'ять. Потужність водоносного горизонту складає 26-28 м. Напрямок руху ґрунтових вод в районі об'єкта «Укриття» за останні 3 роки змінився з північного на північно-східний у бік заплави р. Прип'ять та залишкових озер на місці розташування колишнього водоймища охолоджувача. На цьому фоні зросла швидкість руху підземних вод до 40 м/рік і, відповідно, зросли швидкості міграції радіонуклідів з підземними водами, які розвантажуються в р. Прип'ять та в залишкові озера водоймища - охолоджувача, тим самим, додаючи свою частку в радіоактивне забруднення поверхневих вод – джерел питного водопостачання населення України.

За останні декілька років по окремим свердловинам, що розташовані нижче за потоком ґрунтових вод від об'єкта «Укриття», спостерігається значне в 200-500 разів зростання об'ємних активностей ^{90}Sr , урану та ТУЕ (рис. 2). При цьому, по окремим свердловинам концентрація ^{90}Sr зростає до значень 700-2100 Бк/л.

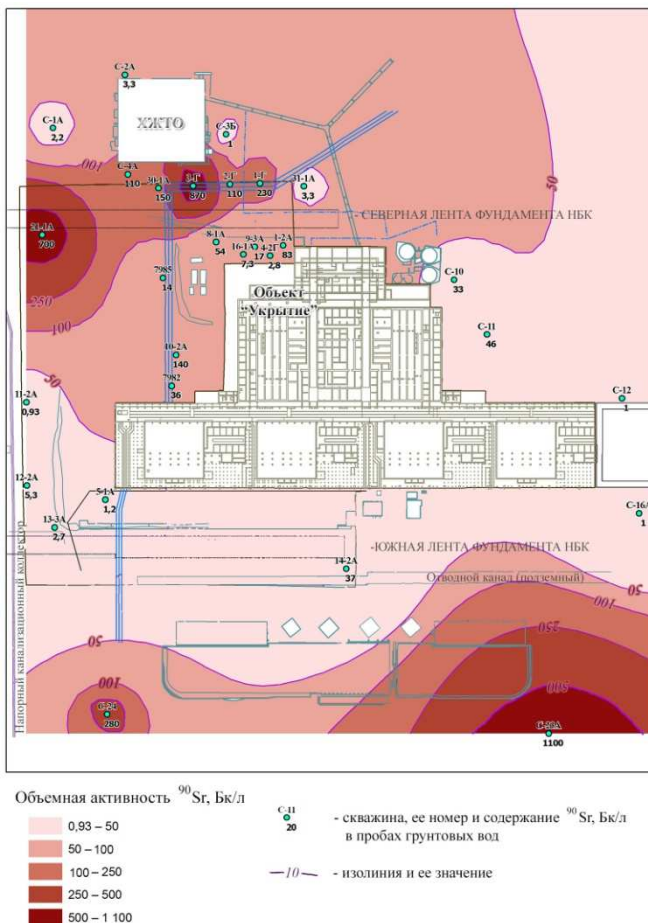


Рис. 1. Карта розподілу об'ємної активності ^{90}Sr в ґрунтових водах в районі навколо об'єкта «Укриття»

Результати. За нашими дослідженнями, один з механізмів формування високих об'ємних активностей ^{90}Sr пов'язаний зі створенням в підземних водах високолужного середовища. З літературних джерел відомо, що ступінь сорбції ^{90}Sr із лужного середовища досягає 60-100%. А за нашими даними все відбувається навпаки. На рис. 2 приведені динаміка величин рН (графік зверху) та об'ємної активності ^{90}Sr (гістограма знизу) за період спостережень 1996 – 2017 рр.. На графіку в залежності від величин рН виділені і позначені римськими числами і

різним кольором три періоди. Розподіл величин рН та об'ємних активностей ^{90}Sr приведений на рис. 3. Як видно з рис. 2 і 3, при значеннях рН підземних вод, в основному, в інтервалі 7,5 - 8,5, які характерні до періоду I, найбільш часті значення об'ємних активностей ^{90}Sr в підземних водах знаходяться в межах 6-8 Бк/л.

При значеннях рН підземних вод, переважно, в інтервалі 8,5 - 9,5, які припадають до періоду II, найбільш часті значення об'ємних активностей ^{90}Sr знижуються до 2 – 4 Бк/л. Проте, при рН вище, в основному, 9,5 (період III) різко зростають найбільш часті значення об'ємних активностей ^{90}Sr до 40-60 Бк/л, при максимальних- 160 - 340 Бк/л.

Причиною зниження концентрацій ^{90}Sr при рН в межах 8,5 – 9, 5 (період II) полягають у тому, що при рН 8,3 - 8,5 частина гідрокарбонат-іонів переходить у карбонат-іони, які у свою чергу утворюють з іоном кальцію та іонами стронцію нерозчинні сполуки, що випадають із розчину ґрунтових вод в осад.

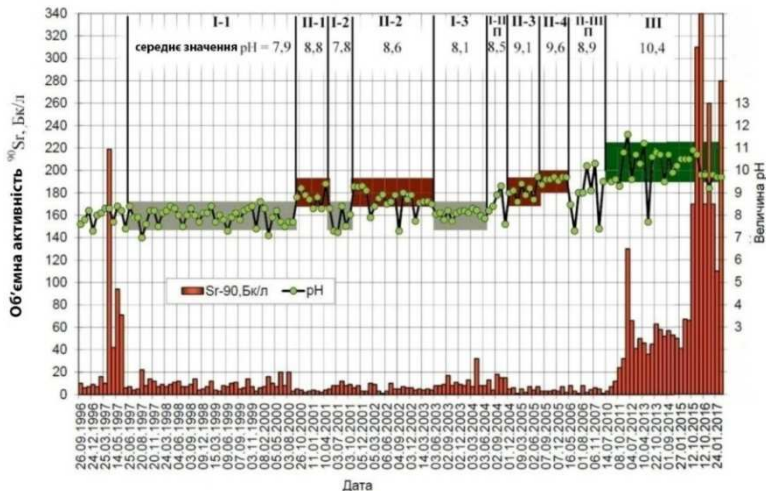


Рис. 2. Динаміка величини рН та об'ємної активності ^{90}Sr у пробах ґрунтових вод зі свердловини 2-Г

Угорі номери періодів та підперіодів і середні значення рН для кожного виділеного підперіоду.

Обговорення результатів. По суті, існують два методи визначення причин та механізмів зростання міграційної здатності ^{90}Sr та інших радіонуклідів в підземних водах при рН більше 9,5 (період III). Це вивчення фазового розподілу і форм знаходження радіонуклідів в воді за допомогою ультрафільтрації та метод термодинамічного моделювання гідрогеохімічних умов.

Фазовий розподіл радіонуклідів в блокових та підземних водах вивчався в 1996 – 2012 рр. інститутом ІБОНХ та ІПБ АЕС НАНУ. За результатами вивчення фазового розподілу ^{90}Sr в пробах ґрунтових вод зі свердловини 4-Г при настанні III періоду, частка розчинної форми ^{90}Sr зростає з 50 до 98% від загальної об'ємної активності ^{90}Sr в пробі. Такі ж дані отримані при вивченні фазового розподілу ^{90}Sr в пробах із свердл. 2-Г.

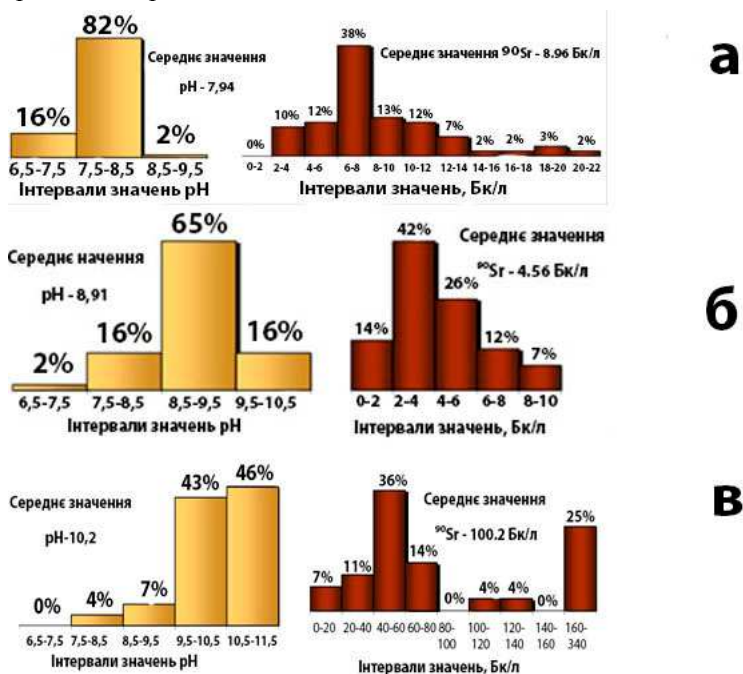


Рис. 3. Розподіл величин pH і об'ємної активності ^{90}Sr для виділених 3-х періодів:
а- період I; б - період II; в - період III

Таким чином, очевидно, що при високих pH (9,5 - 12,5) ^{90}Sr утворює комплексні сполуки, які слабо сорбуються піщаними ґрунтами алювіального водонесного горизонту. Але які саме комплексні сполуки утворюються може відповісти термодинамічне моделювання. На рис. 4 показаний розподіл величини pH та об'ємної активності ^{90}Sr по свердловині 1-2А. По даній свердловині, також як і по свердловинах 4-Г, 1-1А, 4-1н та 4-4н, III період виділяється значним зростанням концентрацій ^{90}Sr .

За даними термодинамічного моделювання результатів визначення хімічного складу проб зі свердловини 1-2А за допомогою програми SOFA_CH, доля міграційної форми ^{90}Sr в комплексній сполуці з карбонатами в 3-му періоді зростає до 14 % по відношенню до періоду II, де це значення дорівнювало 3% (рис 5). Відповідно, доля міграційної форми ^{90}Sr у вигляді вільного іону зменшується в III періоді до 83%.

Аналогічні дані отримані при термодинамічному моделюванні за допомогою програми «Geochemist's Workbench Student Edition 12.0».

На жаль, результати термодинамічного моделювання не пояснюють значне підвищення концентрації ^{90}Sr в періоді III. Як відомо, сполуки стронцію та кальцію з карбонатами - стронціаніт (SrCO_3) та кальцит (CaCO_3) слабкорозчинні у воді та при утворенні випадають в осад внаслідок незначного добутку розчинності даних речовин. Таким чином в нашому випадку для ^{90}Sr можливо утворення інших комплексних сполук, що не сорбуються ґрунтами і не виявляються за результатами термодинамічного моделювання.

Також, за даними проведення радіогідроекологічного моніторингу в сильноолужному середовищі при рН вище 9 – 9,5 міграційна здатність урану та ТУЕ зростає на один - два порядки (рис. 6).

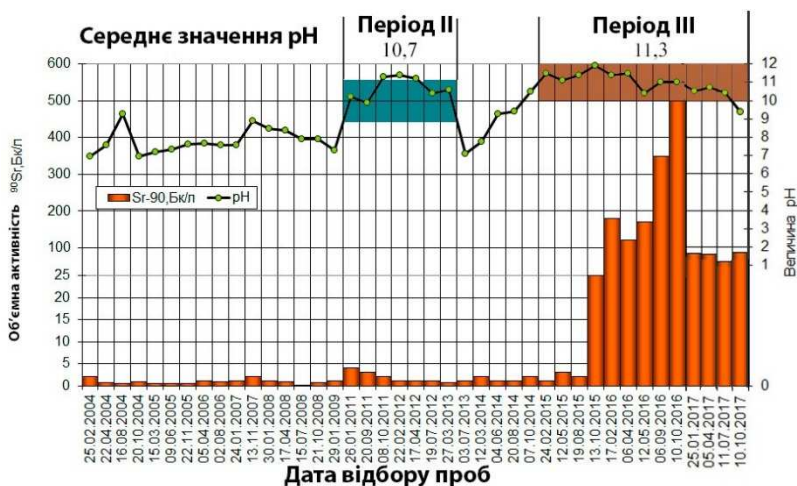


Рис. 4. Динаміка величини рН та об'ємної активності ^{90}Sr у пробах ґрунтових вод зі свердловини 1-2А

Угорі номери періодів і середні значення рН для кожного виділеного періоду.

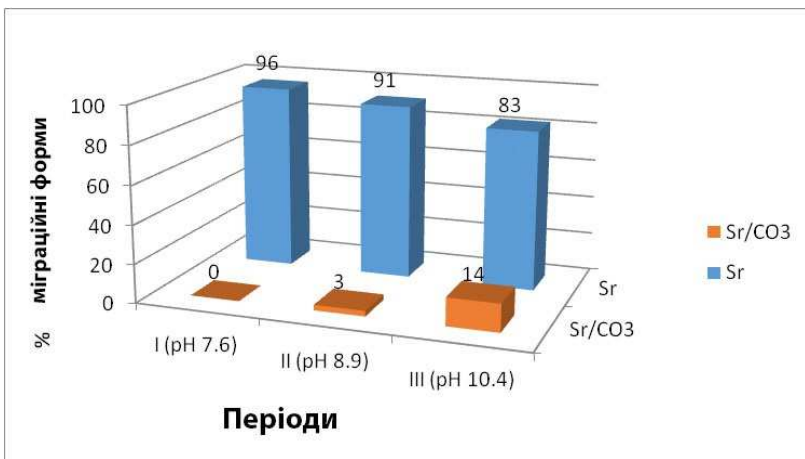


Рис. 5. Розподіл міграційних форм ^{90}Sr в залежності від періодів спостережень за даними термодинамічного моделювання результатів хімічного складу проб зі свердловини 1-2А (програма SOFA_CH)

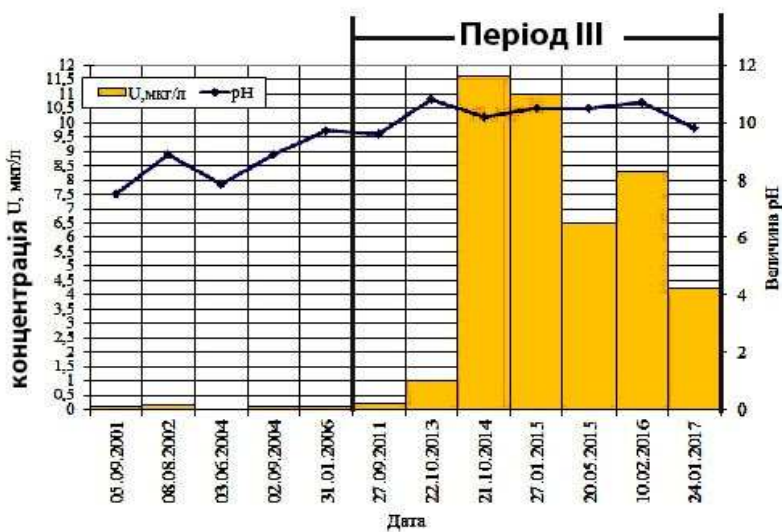


Рис. 6. Динаміка концентрацій урану в пробах ґрунтових вод із свердл. 2-Г

Аналіз фазового розподілу урану в пробах води з свердловини 4-Г показав:

- в інтервалі значень рН = 8.9 – 10.9 (на рис. 7 зафарбовано зеленим кольором) у перехідній чи відновлювальній обстановці частка урану в іонно-дисперсному (розчинному) стані збільшується в 2-2,5 рази до значень 92% порівняно з дослідженнями, які припадали до періоду ІІ (рН = 8 – 8.8);

- з подальшим підвищенням значень рН вище 10.9, на відміну від розподілу ^{90}Sr , доля урану в іонно-дисперсній формі знижується до 33-36% за рахунок гідролізації комплексних карбонатних сполук.

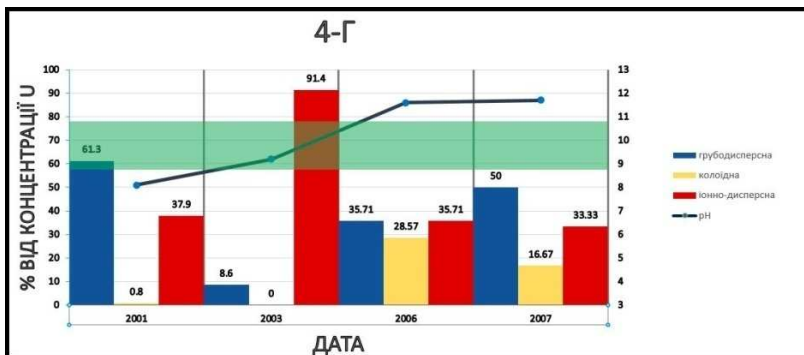


Рис. 7. Гістограми фазового розподілу концентрацій урану в підземних водах по свердловині 4-Г в залежності від значень рН. Зеленим кольором зафарбований інтервал рН= 8.9 – 10.9

Високі значення рН формуються при контакті ґрунтових вод із бетоном фундаментів споруд. У разі підвищення рН ґрунтових вод до величин 9,5 - 10, за рахунок корозії бетону пальового фундаменту НБК, що перекриває частину водоносного горизонту, можливе значне збільшення об'ємних активностей ^{90}Sr , U та ТУЕ.

Таким чином, постає питання вирішення проблем, які зв'язані з надходженням та розповсюдженням радіоактивного забруднення з підземними водами у довкіллі та розвантаження їх в поверхневі води, які є джерелами питної води населення України.

Одним із заходів, який може призвести до зменшення радіоактивного забруднення підземних вод - це регулювання поверхневого стоку атмосферних опадів. На окремих ділянках поверхні промайданчика ЧАЕС склалися сприятливі умови для зосередженої інфільтрації атмосферних опадів через радіоактивно забруднені ґрунти зони аерації в підземні води. Об'ємні активності ^{90}Sr в пробах підземних вод із свердловин, які розташовані в зоні впливу таких ділянок, досягають значень 1200 – 3800 Бк/л.

Зменшити радіоактивне забруднення на ділянках зосередженої інфільтрації атмосферних опадів (місця розташування свердловин С-24, С-23А, 21-1А, 3-Г, 30-1А, С-4А) можливо за рахунок влаштування

зливових каналізаційних колекторів. Відведення атмосферних опадів з колекторів можна здійснювати в підвідний або відвідний канали. Таким чином, будуть виключені зосереджена інфільтрація атмосферних опадів через радіоактивно забруднені ґрунти і привнесення радіонуклідів в водоносний горизонт.

Разом з тим факт зменшення об'ємних активностей ^{90}Sr при рН підземних вод в інтервалі значень 8,5 – 9,5 (період II), наводить на думку про те, що штучне підтримання у водоносному горизонті цих величин рН може затримати поширення ^{90}Sr з підземними водами за межі проммайданчика ЧАЕС.

Висновки

1. Причиною зниження концентрацій ^{90}Sr при рН в межах 8,5 – 9, 5 (період II) полягають у тому, що при рН 8,3 - 8,5 частина гідрокарбонат-іонів переходить у карбонат-іони, які у свою чергу утворюють з іоном кальцію та іонами стронцію нерозчинні сполуки, що випадають із розчину ґрунтових вод в осад;

2. Механізм формування високих об'ємних активностей ^{90}Sr , урону та ТУЕ пов'язаний зі створенням в підземних водах високолужного середовища з рН > 9,5.

3. Зменшити радіоактивне забруднення підземних вод на ділянках зосередженої інфільтрації атмосферних опадів через радіоактивно забруднені ґрунти можливо за рахунок влаштування зливових каналізаційних колекторів.

Автори висловлюють подяку Хану В. Є-І. та Одинцову О. О. за організацію та виконання визначень концентрацій радіонуклідів в пробах води.

Література:

1. Панасюк М.І., Литвин І. А. Закономірності розподілу урану в підземних водах проммайданчика ЧАЕС // Ядерна фізика та енергетика – Київ, 2017.-С. 56-62 р.

2. Руденко Л.И., Хан В.Е.-И., Панасюк Н.И. Физико-химическое обоснование миграции радионуклидов из объекта «Укрытие» и его промплощадки в грунтовые воды // Радиохимия. - 2003. - Т. 45, № 3. - С. 268 - 272.

3. Руденко Л.И., Хан В. Е.-И. Вклад микрочастиц в механизм миграции радионуклидов из объекта «Укрытие» и его промплощадки в грунтовые воды // Радиохимия. - 2005. - Т. 47, № 1. - С. 89 - 90.

4. Міграція альфа-випромінюючих радіонуклідів з об'єкта «Укриття» в ґрунтові води та механізм їх реалізації: анотований звіт по НДР / Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України. - Київ, 2010.

5. Дослідження складу альфа-випромінюючих радіонуклідів в ґрунтових водах проммайданчика Чорнобильської АЕС. Етап 2012 р. Дослідження фазового розподілу концентрації цезію, стронцію, урану і трансуранових елементів: звіт про НДР (проміжний) / Кер. Л. І. Руденко; Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України. № ДР 0111U002825. - Київ, 2012

Інформація про авторів:

Панасюк М.І., Матросов Д.Т., Левін Г.В., Люшня П.А., Сізов М.О., Паламар Л. А., Чикур Л. Б. - Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Кірова, 36а, Чорнобиль, 07270, Україна

Онищенко І. П. - Науково-інженерний центр радіогідроекологічних полігонних досліджень НАН України, вул. О. Гончара, 556, Київ, 01054, Україна

УРОВНИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРОМПЛОЩАДКИ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОГРАНИЧЕНИЯ ЕГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ

За последние годы наблюдается значительное (в 200-500 раз) повышение концентраций ^{90}Sr , U и TUЭ в подземных водах на участке расположения комплекса НБК-ОУ. В статье показано, что повышение миграционной способности радионуклидов с подземными водами происходит в сильнощелочной среде при $\text{pH} > 9,5$ в восстановительной или переходной обстановке. В статье приводятся рекомендации по уменьшению уровней радиоактивного загрязнения подземных вод

Ключевые слова: промплощадка ЧАЭС, подземные воды, ^{90}Sr , U и TUЭ , основные ионы, pH , миграция.

*Н. И. Панасюк, Д. Т. Матросов, Г. В. Левин, П. А. Люшня, М. А. Сизов, Л. А. Паламарь, Л. Б. Чикур, И. П. Онищенко**

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, ул. Кирова, 36а, Чернобыль, 07270, Украина

**Научно-инженерный центр радиогидроекологических полигонных исследований НАН Украины, ул. О. Гончара, 556, Киев, 01054, Украина*

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

LEVELS OF RADIOACTIVE POLLUTION OF LOWER WATERS OF THE CHORNOBYL NUCLEAR POWER PLANT AND MEANS OF LIMITATION OF ITS DISTRIBUTION

M. I. Panasyuk, D. T. Matrosov, G. V. Levin, P. A. Lyushnya, M. O. Syzov, L.A. Palamar, L. B. Chykur, I. P. Onyshchenko

There is increase of radionuclide migration capacity (by 200-500 times) with underground waters when $\text{pH} > 9.5$ (period III). In addition, percent of soluble fraction of ^{90}Sr is growing from 50% to 98% of total activity of ^{90}Sr . According to thermodynamic modeling, part of migration fraction of ^{90}Sr in compound with carbonates is growing from 3% (period II with pH 8.5-9.5) to 14% (period III). At the same time, percent of migration form ^{90}Sr of free ion decreases to 83% in period III. The results of thermodynamic modeling doesn't explain significant increase of strontium-90 concentration. As is known, strontium and calcium compound with carbonate, strontianite (SrCO_3) and calcite (CaCO_3), are slightly soluble in water and when formed, they fall into a precipitate. Perhaps ^{90}Sr forms other complex compounds that are not sorbed by soils and are not found by applications for thermodynamic simulation.

In the range of values of pH = 8.9-10, the proportion of uranium in the ion-dispersed (soluble) state increases by 2 - 2.5 times to 92% compared with studies at pH in the range of 8 - 8.8. With the increase pH values higher than 10.9, in contradistinction to the distribution of 90 Sr, the fraction of uranium in the ion-dispersed form is reduced to 33-36% due to the hydrolysis of complex carbonate compounds. High pH values are formed by contacting infiltration and groundwater with concrete deepened structures of buildings. In the case of pH increase of groundwater to a value of 9.5 - 10, due to the corrosion of the concrete of the foundation of the NSC, which overlaps the part of the aquifer, is possible a significant increase in volumetric activity of 90Sr, U and TUE.

The article presents recommendations for reducing the level of radioactive contamination of groundwater.

Keywords: ChNPP industrial site, groundwaters, ⁹⁰Sr, uranium and transuranium, basiscions, pH, migration.

Authors' Information

M. I. Panasyuk, D. T. Matrosov, G. V. Levin, P. A. Lyushnyia, M. O. Syzov, L.A. Palamar, L. B. Chykur - Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants NAS of Ukraine, Kirovastr., 36a, Chernobyl, 07270, Ukraine

I. P. Onyshchenko - Radio-Environmental Center NAS of Ukraine, O. Goncharastr., 55b, Kyiv, 01054, Ukraine

ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКРАНИРОВАНИЯ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ ПО ПРЕОБРАЗОВАНИЮ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЯ» В ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНУЮ СИСТЕМУ

Паскевич С. А., Егоров В. В., Павловский Л. И., Балан О. В.

Аннотация: Проведен анализ эффективности использования защиты персонала от интенсивных источников ионизирующего излучения в зонах выполнения работ на объекте «Укрытие». Представлены данные о практическом применении защитных экранов при выполнении работ по стабилизации нестабильных конструкций объекта «Укрытие». Обоснованы модели применения специальных защитных кабин для работ по демонтажу конструкций объекта «Укрытие», которые планируются выполнять вскоре после ввода в эксплуатацию Нового безопасного конфайнмента. Показано решающее значение использования экранирования для защиты персонала, как одного из наиболее эффективных методов снижения коллективной дозы облучения.

Ключевые слова: радиационная защита, экранирование, объект «Укрытие», источник излучения.

Вступление

Значительная часть работ по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически-безопасную систему выполняются в тяжёлых радиационно-опасных условиях и требуют выполнения ряда защитных мероприятий. С начала 2000-х на объекте «Укрытие» реализован большой

объем строительно-монтажных работ. Ряд работ выполнялся в местах с наличием высокоинтенсивных источников ионизирующего излучения. Для защиты персонала, выполняющего работы в таких условиях, применялись мероприятия по экранированию. Такие защитные мероприятия были реализованы при реализации проекта стабилизации балок Б1 и Б2, стабилизации конструкций объекта «Укрытие», создании ограждающего контура Нового безопасного конфайнмента (НБК) и других работах. Наиболее широко защитные экраны и защитные кабины были использованы при выполнении работ по усилению западной опоры балки «Мамонт», а также цементации грунтов локальной зоны объекта «Укрытие» цементно-водной смесью [1]. В рабочем проекте были предложены конкретные требования к экранам для каждой рабочей зоны – геометрические размеры, толщины и вес.

Институт проблем безопасности АЭС принимал участие в разработке проекта, а также осуществлял авторский надзор за его реализацией. В связи с чем, были накоплены как проектные данные, на основании которых было выполнено обоснование необходимости защиты, так и фактические результаты полученных доз облучения персонала и данные о практической эффективности защиты.

Учитывая полученный опыт, ИПБ АЭС был задействован в проектировании работ по демонтажу конструкций объекта «Укрытия». Согласно [2] демонтаж конструкций объекта «Укрытия» начнётся вскоре после ввода в эксплуатацию НБК, в связи с чем [3] работы должны завершиться к концу 2023 года.

Методика исследований

Основными исходными данными для осуществления математического моделирования геометрии, размеров и характеристик экранирующих устройств являются данные по угловым распределениям интенсивности гамма-излучения в пространстве (4π) с использованием устройства ШД-1 и экспериментальному экранированию на конкретном рабочем месте с использованием установки моделирования биозащиты «Экран». Для оценки эффективности использования защитных экранов использовали методику и данные изложенные в [4, 5]. Исходные данные для проведения расчётов (мощность дозы, характеристики энергетического спектра излучений, наличие и свойства высокоинтенсивных источников излучений) были получены в результате комплексных исследований зон проведения работ (ЗПР) на объекте «Укрытие» [6].

Результаты и обсуждение

Наличие интенсивных источников ионизирующего излучения в ЗПР на объекте «Укрытие» потребовали разработки специальных решений по экранированию.

Проект стабилизации опорных узлов балок Б1 и Б2 реализован в 1999 году. Его целью было предотвратить обрушения балок, что могло привести к падению трубного наката на перекрытия центрального зала, схему Е и т.д. Опасность такого инцидента заключалась в инициировании движения топлива и топливо содержащих материалов на нижних отметках и изменения их взаимной геометрии.

Однако проведение работ возле опорных узлов балок существенно затрудняли высокие уровни гамма-излучения от основных скоплений радиоактивных материалов в реакторном блоке. В связи с этим, одним из решений по экранированию было создание экранированной кабины. На рис. 1 представлено графический проект кабины и фотография внешнего вида кабины при проведении работ. Использование такого мероприятия позволило существенно снизить численность персонала задействованного в реализации проекта на 100 человек и уменьшить коллективную дозу облучения на 1.1 Зиверта [2].

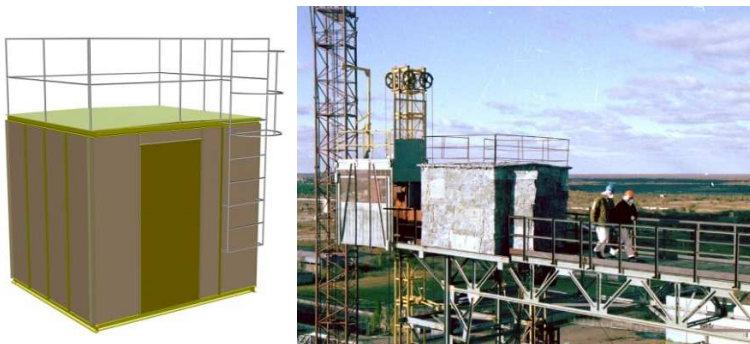


Рис. 1. Использование экранированной кабины при работах по стабилизации опорных узлов балок Б1 и Б2

В работах по стабилизации нестабильных конструкций объекта «Укрытие» основные защитные мероприятия применялись для таких участков:

- для ЗПР по усилению западной опоры балки «Мамонт»;
- для ЗПР находящихся на северной контрфорсной стене;
- для ЗПР в районе опорных узлов блоков балок Б1 и Б2;
- для ЗПР находящихся в районе консольной части МКУ;
- для ЗПР по устройству проёмов в западной контрфорсной стене;
- для ходовых площадок на южных щитах и южных щитах клюшках.

Защитная стена протяжённостью 36,6 метров и высотой 9,6 метра была разработана для экранирования рабочих мест на площадке укрупнительной сборки МКУ. Кроме этого, специально для защиты

персонала во время вынужденных перерывов в работы, были разработаны и использованы защитные боксы, защитные кабины, а также были экранированы строительные вагончики. Отметим, что в проекте стабилизации объекта «Укрытие» было применено постоянное и временное экранирование.

Особое внимание в проекте было обращено на использование защитных сооружений, таких как защитный бокс, экранированные кабины, экранированный вагончик. Например, для цементации оснований для устройства металлических конструкций усиления западной стены объекта «Укрытие» были разработаны и внедрены экранирующие кабины, а также специальные экраны. Защитные кабины предназначались для защиты от излучения рабочих мест бурильного мастера и рабочих, задействованных для бурения скважин и цементации основания. Защитная кабина состояла из каркаса металлических профилей, которые образовывали объёмную конструкцию размером 1040×1040×2520 мм. Крыша и поддон кабины были закрыты стальными листами, а две боковые стенки облицовывались свинцовыми листами толщиной 10 мм.

Согласно проектным расчетам, КЭД без экранирования при реализации таких мероприятий как, усиление западной опоры балки «Мамонт», работы на участке северного контрфорса, работы в районе узла опирания на стену балок Б1 и Б2 и дозозатраты на путях доступа составили 19221 чел.·мЗв. При использовании экранирования КЭД составила 14814 чел.·мЗв. Таким образом предотвращенная КЭД составила 4407 чел.·мЗв.

В проекте стабилизации нестабильных конструкций объекта «Укрытие», на основании анализа «доз-затрат-выгод», было принято решение о создании защитной стены в районе площадки укрупнительной сборки металлоконструкций усиления. Площадка укрупнительной сборки располагалась в локальной зоне объекта «Укрытие» и требовала защиты от источников излучения располагавшихся к востоку. Конструкционно защитная стена была устроена из блоков ФБС протяжённостью 36,6 м, высотой 9,6 м и толщиной 400 мм.

Согласно расчётам проекта, эффективность снижения потока гамма-излучения после сооружения защитной стены должна была составить 2,5 раза. После её сооружения была проверена фактическая эффективность защитной стены и было установлено, что в зависимости от места измерений, коэффициент ослабления защитной стены составляет 1,8 – 3,2 раза. Сравнение проектного и фактического уровней ослабления позволяет сделать вывод о правильности проектных решений, эффективности защитной стенки и снижении дозозатрат персонала при работах на площадке укрупнительной сборки более чем 2 раза.

Важные работы по защите персонала от гамма-излучения были выполнены при реализации работах по передаче нагрузок от балок Б1 и Б2 на металлические конструкции усиления путём поддомкрачивания. Радиационная обстановка в местах работ по передаче нагрузки от балок Б1 и Б2 требовала применения экранирования, поскольку уровни МЭД находились в пределах от 0,7 до 3,7 Р/ч.

Полученные результаты оценки МЭД гамма излучения при использовании защитных сооружений показали правильность проектных расчётов и подтвердили оправданность их использования входе выполнения задач проекта стабилизации объекта «Укрытие».

ИПБ АЭС также принимал участие в проектировании работ по созданию ограждающего контура Нового безопасного конфейнмента. Часть работ по проекту подразумевало удаление щитов и металлических кровельных панелей, демонтажу стеновых панелей торца машзала и других работ. Для части работ была определена потребность в разработке защитных мероприятий, так для демонтажа кровельных панелей машзала между осями 64 - 66, А – Б было принято решение использования горизонтального экранирования типа защитных переставных площадок и экранированных трапов. В качестве защитного материала приняты свинцовые листы толщиной 5 - 10 мм.

С точки зрения радиационных условий в ЗПР, работы по демонтажу щитов дополнительной кровли машзала, а также металлических кровельных панелей машзала с помощью башенных кранов, можно охарактеризовать, как сложные. При этом существующие источники ионизирующего излучения будут оказывать воздействие как на персонал, работающий на кровле, так и на операторов башенных кранов.

В связи с этим, проектом предусматривалось экранирование кабин башенных кранов, в которых операторы будут находиться относительно продолжительное время. Для снижения МЭД в кабинах башенных кранов предусмотрено экранирование листовым свинцом. Исходя из опыта работ по реализации проектов ПОМ на ОУ с помощью экранирования, МЭД в кабине строительных механизмов может снизиться в четыре раза.

Окончательное решение о способе экранировании кабин кранов принималось на этапе разработки ППР, после согласования с фирмой изготовителем крана. Также для снижения МЭД в кабинах строительных механизмов (мобильные краны, спецавтотранспорт), предусматривалось их экранирование листовым свинцом. С помощью экранирования МЭД в кабине была уменьшена также в 4 раза.

Согласно Стратегии преобразования демонтаж конструкций объекта «Укрытия» должен начаться вскоре после ввода НБК в эксплуатацию. На данный момент ГСП «ЧАЭС» провела разработку пилотного проекта «Реконструкция объекта «Укрытие» ДСП ЧАЭС в части демонтажа металлической фермы усиления южной кровли» [7]. ИПБ

АЕС выполнили анализ и обоснование использования защитных экранов на рабочих местах связанных с демонтажем фермы усиления и на путях доступа персонала. На основании проведённого анализа было показано, что несмотря на жёсткие радиационные условия (урони МЭД достигают 5 Р/ч) использовать защитные экраны в зонах проведения работ нецелесообразно.

Однако анализ возможных маршрутов доступа на южные щиты объекта «Укрытие» показал, что наиболее целесообразно организовывать доставку персонала в зоны проведения работ с помощью специальной экранированной кабины, которая будет подаваться в зоны проведения работ с помощью системы основных кранов НБК. Экранированная кабина также может использоваться и для защиты персонала от облучения во время вынужденных технологических перерывов. Согласно проведённым расчётам мощность дозы в экранированной кабине не должна превышать 25 мкЗв/час при её размещении на южной кровле объекта «Укрытие».

Предусматриваются такие основные конструкционные решения экранированной кабины:

1. Кабина имеет прямоугольную форму, оборудованную траверсой для стропования;
2. Кабина не имеет дверей, а оборудована предбанником и калиткой;
3. Кабина оборудована специальной откидной лестницей (на 3-4 ступеньки) для безопасного прохода персонала на покрытия и обратно;
4. Внутренние поверхности кабины должны быть выполнены из легко дезактивируемых материалов;
5. Внутренняя компоновка защитной кабины должна предусматривать сидения рассчитанные на трёх человек (с учётом использования ими основных и дополнительных СИЗ), средства экстренной эвакуации в случае отказа основных кранов и поручни и ремни безопасности для безопасного удерживания персонала во время перемещений.

Принципиальная схема кабины показана на рисунке 2.

При моделировании радиационных условий, в которых будет эксплуатироваться защитная кабина, методом экспертных оценок, был оценён вклад гамма-излучения в мощность дозы на каждом этапе маршрута передвижения кабины. Толщина стенок защитной кабины выполнялась с использованием программы Microshield MS5. Таким образом, было установлено, что верх кабины должен быть экранирован 1,5 см свинца, боковые поверхности – 3 см, пол. – 2,5 см.

Проведённые расчёты показали, что указанные толщины стенок защитной кабины обеспечат уровни мощности дозы не выше 1,0 – 2,5 мР/ч по всему маршруту движения и в случае временного пребывания в ней персонала в период технологических перерывов.

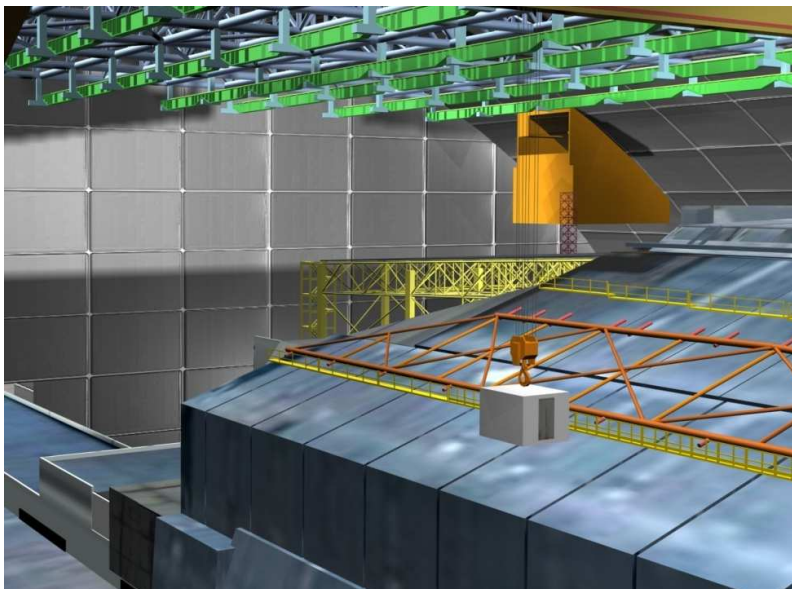


Рис. 2. Графическая модель использования защитной кабины при демонтаже фермы на южных покрытиях объекта «Укрытие»

Таким образом, основываясь на опыте предыдущих работ и проведенных расчётах, использование экранированной кабины позволяет минимизировать дозы облучения персонала на путях доступа в зоны выполнения работ, что в свою очередь ведёт к повышению безопасности деятельности по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему.

Заключение

Практический опыт участия в проектах по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему показал эффективность использования экранирования, как одного из наиболее действенных способов защиты персонала.

1. Использование защитных боксов, экранированных кабин, экранированный вагончиков персонала позволяет снизить МЭД на рабочем месте в 5 – 25 раз. При этом расчётные значения хорошо согласуются с данными полученными при фактическом использовании биозащиты в ЗГП.

2. Использование экранирования привело к существенному снижению коллективной дозы облучения при реализации проекта стабилизации нестабильных конструкций объекта «Укрытие» - 1,1 Зв, при этом используя анализ «доз-затрат-выгод» было показано важность реализации защитных операций в местах работы персонала высокой специальности (крановщики, сварщики и т.д.)

3. Показано, что использование специальных экранированных кабин для доставки персонала в ЗПР способно существенно снизить дозозатраты на реализацию мероприятий по демонтажу нестабильных конструкций объекта «Укрытие».

Литература:

1. SIP SKB 02 WCD-EP 002 00 / 02-88-02.01-КЖ.Т «ГСП Чернобыльская АЭС». План осуществления мероприятий на объекте «Укрытие». Цементация грунтов основания с учетом бурения скважин диаметром 150 мм. Технология устройства буроинъекционных скважин и цементации грунтового основания»

2. Стратегія перетворення об'єкта «Укриття» // Ухвалена Міжвідомчою комісією з комплексного вирішення проблем Чернобыльської АЕС. Протокол №2 від 12 березня 2001р. Київ. 2001

3. SIP K 04 01 000 RSR 002 03» Итоговый исполнительный отчет по стабилизационным мероприятиям (Отчет по оценке безопасности)// План осуществления мероприятий на объекте «Укрытие

4. Батий В.Г., Егоров В.В., Закревский Ю.А. и др. Оптимизация биозащиты с использованием экспериментальных данных об угловых распределениях интенсивности гамма-излучения // Проблемы Чернобыля. - 2000. - Вып. 9. - С. 53 - 55.

5. Batiy V.G., Glebkin S.I., Yegorov V.V. et. al. Physical and mathematical simulation of biological shielding // Problems of atomic science and technology. Series "Nuclear physics investigations". – 2004. - No.5 (44). - P. 101 - 102.

6. Отчет по результатам исследований радиационной обстановки в зонах производства работ по стабилизации строительных конструкций ОУ. План осуществления мероприятий на объекте "Укрытие" / Международный консорциум «Чернобыль» – ICC (МК) JV. Наряд на услуги № 4. Кн. 5. - Чернобыль, 2002.- 198 с.

7. Реконструкція об'єкта «Укриття» ДСП ЧАЕС в частині демонтажу металеві ферми підсилення південної покрівлі Проект Том 7. Звіт про відповідність вимогам санітарного законодавства 301503.201.007-ЗВСЗ

Информация об авторах:

Паскевич С.А. - Институт проблем безопасности АЕС НАН Украины г. Чернобыль, ул. Кирова 36а

e-mail: s.paskevich@ispppp.kiev.ua

Егоров В.В., Павловский Л.И., Балан О.В.- Институт проблем безопасности АЕС НАН Украины г. Чернобыль, ул. Кирова 36а.

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

Abstract: *The efficiency of the use of personnel protection against intensive sources of ionizing radiation in the areas of work at the Shelter object is analyzed. Data are presented on the practical application of protective screens when performing works to stabilize unstable structures of the Shelter object. The models for the use of special protective booths for the dismantlement of Shelter object structures are justified, which are planned to be implemented soon after the New Safe Confinement was commissioned. The use of shielding is one of the most effective methods for reducing the collective dose of irradiation is shown to be crucial.*

Keywords: *radiation protection, shielding, Shelter object, sources of ionizing radiation.*

МЕТОДИКА ОЦІНКИ РОЗРАХУНКУ РАДІОАКТИВНИХ АЕРОЗОЛІВ В АТМОСФЕРУ З ВИКОРИСТАННЯМ ФУНКЦІЇ УТОЧНЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ХМАРИ ВИКИДУ

Пашинов М. В.

Моделювання процесу розповсюдження радіоактивних аерозолів в атмосферу, є важливим аспектом при оцінці впливу радіоактивно-небезпечних об'єктів на навколишнє середовище. Особливо важливим є розрахунок викидів на території промайданчика ЧАЕС, де потенційна активність джерела викиду може призвести до істотного погіршення радіаційної обстановки і нанести шкідливий вплив на персонал та навколишнє середовище.

При проведенні робіт по перетворенню об'єкта «Укриття» (далі ОУ) в екологічно безпечну систему (ЕБС) було виконано великий обсяг робіт, які призводили до підвищення значень об'ємної активності повітря. З наявністю математичного апарату, який може з великою точністю оцінити наслідки проведення тих, чи інших робіт, є можливість мінімізувати негативний вплив на персонал та навколишнє середовище, що призводить або може призвести процес перетворення ОУ в ЕБС.

На території ЧЗВ в рамках системи моніторингу, об'ємну активність повітря детектують за допомогою автоматичних систем контролю радіаційного стану (АСКРС). І періодично значення об'ємної активності істотно відрізняються від середніх, які фіксуються на кожному з пунктів АСКРС. Це може бути пов'язано з проведенням радіаційно-небезпечних робіт на території промайданчика ЧАЕС та ОУ. Можливість спрогнозувати радіаційні впливи та результати проведення різних робіт по перетворенню ОУ в ЕБС дасть можливість мінімізувати наслідки на персонал, який приймає участь в процесі перетворення, шляхом додавання більш надійніших ЗІД, тощо.

В даній роботі проведено оцінку впливу радіоактивного викиду на навколишнє середовище при проведенні демонтажу берми «Піонерної» стіни з використанням функції уточнення ймовірності розповсюдження хмари викиду.

Функція уточнення ймовірності використовувалась в програмі розрахунку викиду радіоактивних аерозолів в атмосферу, розробленій в ІПБ АЕС, яка дозволяє проводити якісну та кількісну оцінку процесу радіоактивного викиду, а також дозволяє розраховувати об'ємну активність, поверхневе забруднення та ефективну дозу. В програмному кодї є можливість знаходити абсолютні значення об'ємної активності на довільній відстані. Цей параметр дозволив перевірити результати розрахунку програми із значеннями, отриманими на АСКРС.

Функція уточнення ймовірності являє собою функцію урахування напрямку вітру, в якому відбувався рух хмари викиду та врахування швидкості вітру в кожному з напрямків. Загальна формула розрахунку наведена нижче:

$$\sum_i^n N = \sum_i^n N_i \times \vartheta_i,$$

де N_i – ймовірність руху вітру для кожного з напрямків;

ϑ_i – швидкість вітру в кожному з напрямків.

В результаті, сумарна ймовірність для всіх категорій повинна бути менша або рівна одиниці. Дані по напрямкам та швидкостям вітру для всього процесу демонтажу було взято з всесвітнього банку метеоданих gr5.ua.

Розрахунок проводився з використанням простих значень ймовірностей та з використанням функції уточнення ймовірності. Результати моделювання було порівняно з реальними значеннями об'ємної активності на пунктах АСКРС за весь період демонтажу.

Результати розрахунків показують, що використання функції уточнення ймовірності дає змогу отримати значення об'ємної активності, які співпадають за порядком величин та знаходяться в межах допустимої похибки з реальними даними, отриманими на пунктах АСКРС. Збіжні результати підтверджують точність розрахунку програми, яка може використовуватись не тільки для оцінки викидів на території зони відчуження, але і для будь-якого радіаційно-небезпечного об'єкту. Також програму можна використовувати для прогнозування радіаційної ситуації яка може скластися при проведенні тих, чи інших потенційно небезпечних робіт.

Інформація про автора:

Пашинов М.В. - Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН України, м. Чорнобиль
e-mail: maxpachinov@gmail.com

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

Maksym Pashynov

Abstract: The simulation of the propagation of radioactive aerosols into the atmosphere is an important aspect in assessing the impact of radioactive-dangerous objects on the environment. Particularly important is the calculation of emissions in the territory of the ChNPP industrial site, where the potential activity of the source of emissions can lead to a significant deterioration of the radiation situation and cause harmful effects on personnel and the environment.

During the work on transformation of the "Shelter" object (hereinafter OS) into an environmentally safe system (ESS), a large amount of work was carried out that led to an increase in the values of volumetric activity. With the presence of a mathematical apparatus that can accurately assess the consequences of those or other works, it is possible to minimize the negative impact on personnel and the environment.

The probability refinement function used in the program to calculate the emission of radioactive aerosols into the atmosphere, developed in the ISP NPP, which allows for a qualitative and quantitative assessment of the process of radioactive emissions, and allows calculating volumetric activity, surface pollution and effective dose. The program code has the ability to find the absolute values of bulk activity at an arbitrary distance. This parameter allowed checking the results of the calculation of the program with the values obtained at the points of the radioactive contamination.

Keywords: radioactive aerosols, emissions, volumetric activity, Gaussian plume model

ЗАСТОСУВАННЯ ГЛІНОПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ ДЛЯ СОРБЦІЇ ¹³⁷Cs З ВОДИ ТА ВОДНИХ РОЗЧИНІВ СОЛЕЙ

Розко А. М., Федоренко Ю. Г.

Показано, що глинополімерні композити на основі бентоніту Черкаського родовища України, акрилату натрію та акрилової кислоти поглинають ¹³⁷Cs та солі з води та водних розчинів. Поглинання радіонуклідів та солей відбувається завдяки тому, що радіонукліди можуть проникати в композити, які при контакті з водою чи розчинами солей збільшують свій об'єм внаслідок чого змінюється конформація ланцюжків і відстань між ними та глинистими частинками зразка. Подібне відбувається також у тому випадку, коли композити потрапляють у розчин крізь шар рідких вуглеводнів. Завдяки гідрофільній поверхні композитів вуглеводні не впливають на їх сорбційні та реологічні властивості.

При десорбції переважна кількість ¹³⁷Cs та значно менша частина солей залишаються у композитах, решта солей та незначна доля радіонуклідів з композитів вимивається. Глинополімерні композити легко відокремлюються від розчинів, у яких вони перебували у якості сорбентів, це може бути використано при розділенні активних сольових розчинів на малосольові активні глинополімерні гідрогелі та слабоактивні сольові розчини. При повторному використанні композитів їх сорбційна ємність суттєво збільшується внаслідок чого відбувається накопичення їх активності.

Вступ

Глинополімерні композити є частиною великого класу речовин під загальною назвою геополімерні матеріали, які відомі з кінця минулого сторіччя. [1,2,3]

До глинополімерних матеріалів входять композити, та наноккомпозити проникнення та розшарування. Галузі застосування глинополімерних композитів постійно розширюються від сільського господарства для підвищення вологоємності ґрунтів до будівництва у якості гідроізолюючих засобів при ремонті метрополітену і т. д. [4].

На ринку зустрічаються торгівельні марки глинополімерних композитів: КАВЕЛАСТ -1, КАВЕЛАСТ - 2, НАТЛЕН, СІТКА, ІзоРИФ - 1 і т. і. Популярність композитів обумовлена властивостями пов'язаними з їх будовою, яка у загальному випадку являє собою об'ємну сітку з полі-

мерних ланцюжків (полімерна компонента), між якими розташовуються глинисті частинки (мінеральна компонента). Співвідношення між мінеральною та полімерною компонентами може змінюватись у широких межах у залежності від галузі використання композитів.

Найчастіше у якості мінеральної компоненти композитів застосовують бентонітову глину або окремі глинисті мінерали: палигорськіт, каолініт і т.д. Полімерна компонента представлена: поліакріламідом, поліакрилатом натрію чи кальцію, поліакриловою кислотою.

Створення композитів може виконуватись декількома способами. Найпростішим є змішування глинистої водної дисперсії з водорозчинним полімером (наприклад КАВЕЛАСТ) [5]. Недоліком цього способу є необхідність застосування водорозчинних полімерів внаслідок чого такі матеріали можуть розмиватися водою.

Композити, про які надалі йде мова, отримувались шляхом розподілу у об'ємі глинистої суспензії певної кількості мономерів з наступною полімерізацією та зшиванням окремих полімерних ланцюжків між собою. Внаслідок такої операції утворюється об'ємна водостійка полімерна сітка, у якій зафіксовані частинки глинистого мінералу, що виконує декілька функцій:

- активного сорбента, що надає композитам додаткової властивості;
- каталізатора процесу полімерізації завдяки розвиненій питомій поверхні (до 80 м²/г) з різними видами активних поверхневих центрів;
- зшивача полімерних ланцюжків в об'ємі композита, зшивання відбувається під час полімерізації.

Відомі високі адсорбційні властивості глинистих частинок до радіонуклідів у тому числі ¹³⁷Cs [6]. Ці властивості використовуються при створенні ефективних бар'єрних матеріалів. Але у випадку дезактивації рідин глинами виникають певні труднощі, що пов'язані з малими розмірами глинистих кристалітів (10 - 15 нм), їх набуханням у лужних розчинах та. При дезактивації частинки важко відокремлювати від рідини з якої вони сорбують радіонукліди. Цей недолік не притаманний глинополімерним композитам, у яких найдрібніші глинисті частинки зафіксовані у полімерній сітці і, що важливо, до них крізь ланцюжки набухлого полімеру можуть мігрувати у водному середовищі радіонукліди і сорбуватися на ланцюжках та активних центрах [7] глинистих частинок композитів.

Метою виконаної роботи було показати особливості застосування глинополімерних композитів для сорбції ¹³⁷Cs з води та водних розчинів солей.

Експериментальна частина

Набухання композитів відбувається під дією осмотичних сил і призводить до збільшення об'єму композитів у десятки чи сотні разів. При набуханні композитів збільшується відстань між полімерними

ланцюжками, а також між частинками бентоніту внаслідок чого радіонукліди і катіони стабільних елементів у водному середовищі можуть заглиблюватись у зразки композитів і фіксуватись на ланцюжках та поверхні глинистих мінералів. Як показують досліди, при десорбції переважна більшість ^{137}Cs утримується у зразках разом з незначною кількістю катіонів Na^+ , Ca^{2+} , чи K^+ , незафіксовані катіони вимиваються із зразків. Такий механізм може бути використано у схемі дезактивації лужних сольових розчинів табл. 1.

Таблиця 1 – Сорбція та десорбція ^{137}Cs з розчину солей (20 г/л) глинополімерними композитом та бентонітом

Зразок	^{137}Cs			
	Сорбція		Десорбція	
	Активність зразка після сорбції, Бк	Kd, мл/г	Активність зразка після десорбції, Бк	Доля залиш. активн., %
Композит	7400	168	6926	93,6
Бентоніт	5950	98	4510	75,8

Гідрофільна поверхня композитів дозволяє виконувати сорбцію ^{137}Cs з розчинів, які знаходяться під шаром рідких вуглеводнів. Зразки композитів можуть бути занурені у розчини крізь шар вуглеводнів. У залежності від конкретних вимог до кінцевого результату при збільшенні маси композиту водний радіоактивний розчин може бути повністю поглинутий композитом і вилучений з під шару вуглеводнів.

При синтезі композитів полімерізація починається поблизу активних центрів глинистих частинок і поступово розповсюджується по всьому об'єму. При цьому полімерні ланцюжки частково блокують активні центри на поверхні глинистих частинок. Крім того, якщо у початковий момент синтезу полімерізація практично не має просторових обмежень, то надалі виникають обмеження, які деформують ланцюжки бо останні вимушені утворюватися у все більш ускладнених умовах.

Якщо після синтезу і часткового підсушування дати композитам можливість контакту з водою, то ланцюжки полімеру будуть змінювати конформацію і утворювати енергетично вигідну просторову сітку. Деякі з полімерних ланцюжків відокремлюються від активних центрів, деблокуючи останні. Із зразків у рідину (воду) перейдуть мономери, що не брали участі у полімерізації. При повторному підсушуванні внаслідок зменшення об'єму зразка полімерні ланцюжки зближуються і набувають здатності при наступному набуханні значно збільшувати ступінь набухання. Одночасно збільшується сорбція композитами радіонуклідів та важких металів. Така ситуація зберігається протягом 3 - 4 циклів набухання – підсушування [8].

У якості прикладу наводяться результати дослідів по сорбції ^{137}Cs композитом з води та водних розчинів тетраборату натрію табл. 2.

Таблиця 2 – Коефіцієнти розподілу при циклічній сорбції ^{137}Cs глинополімерним композитом

Розчини	Номери циклів та коефіцієнти розподілу, мл/г		
	I	II	III
H_2O	502	15670	14250
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, 0,03%	886	351	451
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, 0,3%	928	869	519

У дослідах маса зразків складала від 0,018 г до 0,023 г. Об'єм радіоактивних розчинів становив 20 мл, початкова активність була $(616 \div 1055)$ Бк/кг.

Коефіцієнт розподілу (Kd) при повторній сорбції ^{137}Cs з води збільшується майже у 30 разів і зберігається високим і у наступному циклі.

Повторна сорбція ^{137}Cs з водних розчинів тетраборату натрію відбувається з меншими показниками Kd внаслідок накопичення у композитах молекул тетраборату натрію. Важливим є поступове накопичення радіонукліду глинополімерним композитами під час кожного циклу набухання-висушування табл. 3.

Таблиця 3 – Відносне накопичення активності композитом при сорбції ^{137}Cs з розчинів

Розчин	Номер циклу та An/Ar^*		
	I	II	III
H_2O	1	3,6	6,3
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, 0,03%	1	2,7	4,6
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, 0,3%	1	1,96	2,68

* An/Ar – відношення активності зразка після кожного циклу сорбції n до первинної активності зразка.

Для запобігання проникненню радіонуклідів у глибокі тріщини будівельних конструкцій можуть бути застосовані композити з тривалим індукційним періодом полімеризації [9], які дозволяють герметизувати тріщини і одночасно сорбувати радіонукліди, які поступають з рідиною (полімеризація виконується in situ).

Висновки

У складі композитів глинисті частинки, що утримуються об'ємною водостійкою набухаючою полімерною сіткою зберігають високі сорбційні властивості до радіонуклідів зокрема ^{137}Cs розчинених у воді чи водних розчинах лужних солей.

При десорбції переважна кількість ^{137}Cs та незначна частина солей залишаються у композитах, більшість солей із зразків вимиваються і це може дозволити розділяти лужні активні сольові розчини на слабосольові активні глинополімерні гідрогелі та малоактивні розчини солей.

Крім того після першої десорбції композити суттєво підвищують сорбційні властивості, по відношенню до ^{137}Cs , а під час багаторазового застосування накопичують активність.

Завдяки гідрофільній поверхні глинополімерні композити здатні вилучати ^{137}Cs з води чи лужних розчинів, що перебувають під шаром рідких вуглеводнів.

Композити з тривалим індукційним періодом полімерізації можуть застосовуватись для запобігання проникнення радіонуклідів вглиб швів та тріщин будівельних конструкцій.

Література:

1. Евсикова О.В., Стародубцев С.Г., Хохлов А.Р. Синтез, набухание и адсорбционные свойства композитов на основе полиакриламидного геля и бентонита натрия // Высокомолекулярные соединения. Сер. А. – Т. 44. – №5. – 2002. – С. 802-808.

2. Gao F. Clay/polymer composites : the story // Materials today. -2004. -7, № 11. – P. 50 – 55.

3. Jun Ping Zhang, Ai Qin Wang. Study on superabsorbent composites IX: Synthesis, characterization and swelling behaviors of polyacrylamides/clay composites based on various clays. Reactive and Functional Polymers. – 2007. – 67, Is. 8. – P. 737 – 745.

4. Шапановская Н.В. «Грушевка» - «Михайлово»: решение найдено!, Минск: «РОБТ», № 7, 2012 – С. 3 – 6.

5. Григорян С.С., Гулакян К.А., Шахназаров А.А. Способ получения полимерминерального композита. А.С. СССР №1707052 А1. Бюл. №3. 23. 01.92.

6. Кононенко Л.В., Колябина И.Л., Маничев В.И., Коромисличенко Т.И. Кинетика сорбции цезия -137 и стронция -90 глинами // Минерал. Журнал, – 2010. Т. 32, №3. – С. 88 – 95.

7. Мдивнишвили О.М. Активные центры глинистых минералов (монтмориллонита и каолинита) Автореф. Докт. Дис. – Киев, – 1972, – 32 с.

8. Федоренко Ю.Г., Розко А.Н. Спосіб підвищення ступеня набухання та сорбційної здатності глинополімерних композитів Патент на корисну модель № 116022, Бюл. № 9 10.05.2017

9. Федоренко Ю.Г., Розко А.М., Туронок О.Ч., Мазер Є.О. Спосіб формування тривалого індукційного періоду полімерізації Патент на корисну модель № 90732. Бюл. № 11. 10.06.2014.

Інформація про авторів:

Розко А.М. - Інститут геохімії мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семненко НАН України, місто Київ
e-mail: al.rozko@gmail.com

Федоренко Ю.Г. - ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», місто, Київ.

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

APPLICATION OF CLAYPOLIMER COMPOSITES FOR ^{137}Cs SOPTION FROM WATER AND WATER SOLUTIONS OF SALT

A. M. Rozko, Yu. G. Fedorenko

It was shown that clay-polymer compositions based on the bentonite of Cherkassy deposit of Ukraine, sodium acrylate and acrylic acid absorb ^{137}Cs and salts from water and aqueous solutions. The absorption of radionuclides and salts is due to the fact that radionuclides can penetrate into composites that in contact with water or salt solutions increase their volume, resulting in a change in the conformation of the chains and the distance between them and the clay particles of the sample. This is also the case when composites fall into a solution through a layer of liquid hydrocarbons. Due to the hydrophilic surface of the composites, hydrocarbons do not affect their sorption and rheological properties.

After desorption, the vast majority of ^{137}Cs and a significantly smaller proportion of salts remain in composites, the remaining salts and a small fraction of radionuclides are washed out from composites. Clay-polymer compositions are easily separated from solutions where they were used as sorbents. This can be used for the separation of active saline solutions into low-salt active clay-polymer hydrogels and weakly active saline solutions. When reusing composites, their sorption capacity increases significantly as a result of that accumulation of their activity occurs.

Authors' Information

A. M. Rozko – PhD (geology), Institute of geochemistry, mineralogy and ore formation of NAS of Ukraine

e-mail: al.rozko@gmail.com

Yu. G. Fedorenko – Researcher in SE «Institute of environmental geochemistry of NAS of Ukraine»

НОВАЯ МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ МАЛЫХ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Розоринов Г., Пилькевич Ю.

Введение

Выявление потоков ионизирующих излучений малой интенсивности осуществляется в настоящее время, как правило, путем проведения непрерывного спектрального анализа радиационной обстановки в течение десятков часов [1, 2]. При этом в качестве детекторов излучений, в основном, используют жидкостные или твердотельные сцинтилляторы, с помощью которых выделяют области в энергетических спектрах, соответствующих пикам энергии определенных радионуклидов, и/или измеряют среднюю интенсивность излучений (среднее число распадов в единицу времени). Заметим, что на среднем числе распадов в единицу времени изотопа ^{14}C основана датировка исторических событий.

Для обеспечения необходимой точности результатов измерения в специальном оборудовании, как например в сцинтиляционном спектрометре энергии бета излучения СЕБ-01-70, применяется высокоэффективная низкофоновая защита (сталь + свинец), которая снижает уровень фонового излучения до значений, не превышающих 0,35 имп/с. Однако время измерения, необходимое для достижения высокой достоверности результатов измерения, при интенсивностях излучений порядка 1...3 имп/с достигает 24-х часов.

Целью настоящей работы является показать, что методы многомерного вероятностного анализа позволяют эффективно решить задачи измерения интенсивности ионизирующих излучений, уменьшения влияния естественного радиационного фона на точность измерений и уменьшения времени измерений [3-5].

1. Методика измерения интенсивностей излучений по многомерным функциям распределения вероятностей

Пусть t_i , $i = 0, N$ - момент появления i -го импульса на выходе детектора, регистрирующего ионизирующее излучение. Тогда совместная функция распределения вероятностей того, что интервалы времени между появлениями каждой пары смежных импульсов не превышают некоторого заданного интервала времени T , имеет вид

$$P\{t_{k+1} - t_k < T, t_{k+2} - t_{k+1} < T, \dots, t_{k+N+1} - t_{k+N} < T\}, \quad k = 0, 1, \dots (1)$$

Отметим, что величина, обратная среднему значению интервала между импульсами, поступающими с детектора излучений, представляет собой не что иное, как среднюю интенсивность излучения.

Как показано в работе [5], задача измерения совместных функций распределения вероятностей решается с помощью устройства, структура которого показана на рис. 1.

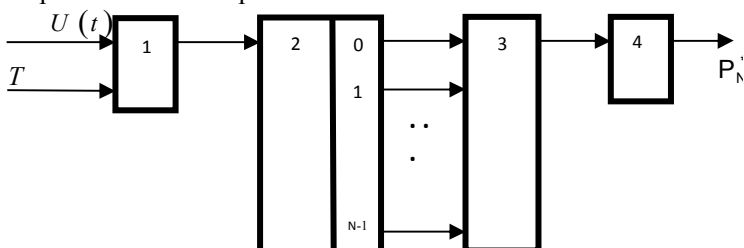


Рис. 1. Структурная схема измерителя совместных N -мерных функций распределения вероятностей интенсивности излучения

Поток импульсов $U(t)$, снимаемый с выхода детектора излучений, подается на один из входов квантователя по времени 1, который вырабатывает сигнал сравнения между временными интервалами поступления импульсов и постоянным временным интервалом T (окном измерения), который задается вручную. Это соответствует алгоритму

$$U(t_k) = \begin{cases} 1, & \text{при } t_{k+1} - t_k < T, \\ 0, & \text{при } t_{k+1} - t_k \geq T, \quad k = 0, 1, \dots \end{cases} \quad (2)$$

Полученная в результате квантования последовательность импульсов $U(t_k)$ запоминается в N -разрядном сдвигающем регистре 2. Сигналы, снимаемые с параллельных выходов регистра, поступают на N -входную схему совпадения 3, формирующую процесс

$$Y(t_k, t_{k+1}, \dots, t_{k+N-1}) = \bigcap_{i=k}^{i=k+N-1} U(t_i), \quad k = 0, 1, \dots \quad (3)$$

Результат совпадения, полученный в соответствии с выражением (3), далее подается на t -текущий интегратор 4 (накапливающий сумматор), который осуществляет формирование оценки N -мерной функции распределения интенсивности излучения

$$P_N^* \{t_{k+1} - t_k < T, t_{k+2} - t_{k+1} < T, \dots, t_{k+N} - t_{k+N-1} < T\} = \frac{1}{M} \sum_{i=k}^{i=k+M-1} Y(t_i, t_{i+1}, \dots, t_{i+N-1}), \quad k = 0, 1, \dots \quad (4)$$

где M - постоянная накопления.

Как показано в работе [5], доверительный интервал δ и доверительная вероятность P_δ для оценок типа (4) связаны между собой соотношением

$$P_\delta = P \left\{ \left| P_N^* (t_{k+1} - t_k < T, k = \overline{0, N}) - P_N (t_{k+1} - t_k < T, k = \overline{0, N}) \right| > \delta \right\} \leq \frac{0,25}{M\delta^2}, \quad (5)$$

где $P_N (t_{k+1} - t_k < T, k = \overline{0, N})$ – истинное значение функции распределения. Из условия (5) видно, что его правая часть зависит только от постоянной накопления M и величины доверительного интервала δ (ассоциируемой с разрешающей способностью), а это позволяет оценивать достоверность результатов измерений вне зависимости от вида распределения вероятностей исследуемых процессов и вида распределения

самой оценки (5). Важно отметить, что из независимости доверительной вероятности P_δ от распределения интервалов между импульсами следует, что при измерении функций распределения вероятностей интенсивности излучения можно ограничиться обработкой такого числа M импульсов, которое при заданной доверительной вероятности P_δ обеспечивает требуемую разрешающую способность δ .

2. Экспериментальные исследования

Для проверки предлагаемой методики было проведено несколько серий экспериментов по измерению t -текущей характеристики n -мерной функции распределения вероятностей временных интервалов между импульсами, вырабатываемой детектором излучений. Изменялись одно-, трех- и пятимерные характеристики функции распределения вероятностей для фонового излучения, в отсутствие источника излучения и при его наличии. При этом уровень излучения источника составлял 2 %, 4 % и 8 % уровня фонового излучения. Результаты измерений показаны на рис. 2-4.

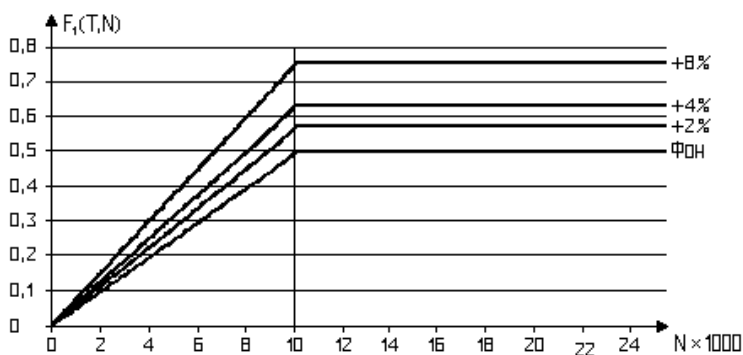


Рис. 2. Одномерная характеристика функции распределения вероятностей

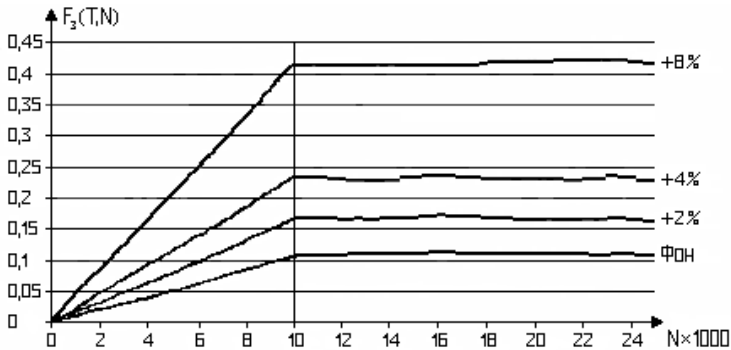


Рис. 3. Трехмерная характеристика функции распределения вероятностей

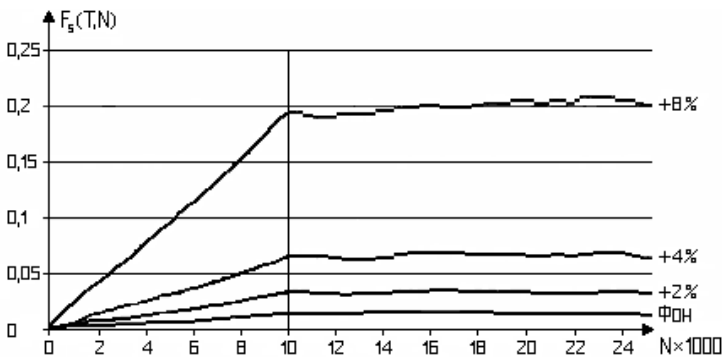


Рис. 4. Пятимерная характеристика функции распределения вероятностей

На этих рисунках по оси абсцисс отложено число импульсов, поступающих на измеритель t -текущих характеристик n -мерных функций распределения вероятностей с детектора излучений, а по оси ординат – значения соответствующих характеристик. Значение аргумента T выбиралось равным среднему значению временных интервалов между импульсами фонового излучения. В описываемых сериях экспериментов это время равно 0,1 с, что соответствует интенсивности фона почти в 30 раз большей, чем допустимая интенсивность фона при измерениях с помощью серийного спектрометра СЕБ-01-70. Очевидно, что среднему временному интервалу 0,1 с соответствует средняя интенсивность импульсов фона 10 имп/с.

На всех рисунках промежутки значений $N=0..10000$ соответствует времени установления устройства, измеряющего соответствующие характеристики n -мерных функций распределения вероятностей.

3. Анализ результатов

Из полученных результатов следует, что многомерные функции распределения вероятностей являются весьма эффективным средством для обнаружения излучений, интенсивность которых во много раз меньше интенсивности фонового излучения. В настоящее время при выполнении датировки по интенсивности излучения изотопа ^{14}C требуется точность результатов не хуже, по крайней мере, 1 %. Для получения такой точности при достаточно большой доверительной вероятности, в соответствии с теорией принятия статистических решений [4] необходимо накопить не менее 10000 импульсов излучения. При средней интенсивности 10...20 распадов в минуту это приводит к тому, что измерения должны проводиться сутками. Это, в свою очередь, приводит к проблемам, связанным со стабильностью параметров аппаратуры, а также экранирования источников излучений, для обеспечения высокого отношения сигнал/фон.

Измерения одно-, трех- и пятимерных характеристик функций распределения вероятностей позволяют уверенно выявлять источники излучения, интенсивность которых в 50 раз меньше интенсивности фонового излучения. То есть предлагаемая методика позволяет анализировать пробы при значительно более высоких уровнях фонового излучения, по сравнению с известными методиками, что, в свою очередь, позволяет существенно снизить требования к низкофоновой защите, и, соответственно, уменьшить материалоемкость и вес применяемых защитных экранов.

С другой стороны, из неравенства (5) следует, что требуемая точность и достоверность результатов измерений фактически полностью определяется числом импульсов M , поступающих на измеритель характеристик n -мерных функций распределения вероятностей с выхода детектора излучений, и не зависит от времени, в течение которого эти импульсы поступают на измеритель. Это позволяет выполнять измерения при высоких, порядка десятков импульсов в секунду, интенсивностях фонового излучения и автоматически приводит к существенному (в десятки раз) уменьшению времени экспозиции проб по сравнению с известными методами.

Из результатов измерений также следует, что увеличение мерности измеряемых характеристик функций распределения вероятностей приводит к увеличению относительной чувствительности измерений. При увеличении интенсивности излучения на 8 %, то есть при увели-

чении интенсивности потока импульсов в 1,08 раза одномерная характеристика функции распределения вероятностей возрастает в 1,25 раза, трехмерная – в 3,5 раза, а пятимерная – приблизительно в 10 раз.

Выводы

1. Предложена, обоснована и экспериментально проверена методика измерения интенсивности ионизирующих излучений, основанная на измерении t -текущих характеристик n -мерных функций распределения вероятностей временных интервалов между импульсами, вырабатываемыми детекторами излучений.

2. Показано, что разработанная методика позволяет достоверно выявлять излучения с интенсивностями в десятки раз ниже интенсивности фоновых излучений, причем при высоких интенсивностях фонового излучения.

3. Применение предлагаемой методики существенно уменьшает (в десятки раз) время анализа и снижает требования к экранированию исследуемых объектов от фонового излучения.

Литература:

1. Ларин В.Ю. Концепции профессионального проектирования приборов и систем: учебник: в 2-х книгах. Книга 1. / В.Ю. Ларин, Е.Ю. Ларина, Я.А. Савицкая, Г.Н. Розоринов, Е.Е. Федоров, Н.И. Чичикало. – К.: Кафедра, 2016. – 468 с.

2. Гридин С.В. и др. Измерительная система для радиоуглеродных исследований // Известия РАН, "Приборы и техника эксперимента". – 1996. - №6. - ноябрь-декабрь. - С. 45 - 48.

3. Даджион Д., Мерсеро Р. Цифровая обработка многомерных сигналов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 488 с.

4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. - М.: Наука, 1984. – 832 с.

5. Брягин О.В., Егоров А.К., Розоринов Г.Н. Об оценке многомерных функций распределения вероятностей речевых сигналов // Ресстрація, зберігання і обробка даних. – 2004. - Т.6, №3. – С. 41 - 49.

Информация об авторах:

Розоринов Георгий, Пилькевич Юлия - Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского", Киев, просп. Победы, 37

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

NEW MEASUREMENT PROCEDURE OF SMALL RADIATION INTENSITY

Julia Pilkevich, Heorhiy Rozorinov

Abstract: *It is offered and experimentally confirmed the new procedure of radiation intensity evaluation, based on measuring of multidimensional probability distribution functions of impulse streams from the scintillator output.*

It is rotined that the developed method allows for certain to expose radiations with intensities in dozens of one times below than intensity of base-line radiations, thus at high intensities of base-line radiation.

Application of the offered method substantially diminishes (in dozens of one times) time of analysis and reduces requirement to screening of the probed objects from a base-line radiation.

Keywords: *radiation intensity, measuring system, multidimensional probability distribution function*

Authors' Information

Julia Pilkevich – National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kiyv Polytechnic Institute", Ukraine;
e-mail: lulya-kiev@yandex.ru

Major Fields of Scientific Research: Automated System Life Circle Models, System Analysis, Electroacoustics;

Heorhiy Rozorinov – National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kiyv Polytechnic Institute", Ukraine;
e-mail: hnroz@ukr.net

ПЕРСПЕКТИВИ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ГАЗОФТОРИДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ЯДЕРНІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ

Ролік І. Л., Левенець В. В., Хованський М. О., Широков Б. М.

Великі можливості і високі показники газофторидних технологій (ГФТ) змушують неодноразово звертатися до них багато ядерних країн (Японія, Великобританія, Франція, РФ) з метою створення виробництв переробки відпрацьованого ядерного палива, радіоактивних відходів та удосконалення паливного циклу ядерної енергетики. Останні десятиріччя спостерігався спад робіт в цьому напрямку, що пояснюється загальним уповільненням розвитку ядерної енергетики, незначним фінансуванням робіт і історично сформованим пріоритетом використання водно-екстракційних процесів. Однак, можливість розділу фторидів, що утворюються при використанні ГФ методів, та перспектива їх додаткової очистки з подальшим відокремленням небезпечних речовин і отриманням навіть чистих елементів, зумовлює знов наростаючий інтерес до цієї технології [1-3]. Дискусійним залишаються питання екологічної безпеки самої ГФТ, що потребує додаткових досліджень.

Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут» (ННЦ ХФТИ) вже багато років займається цією проблематикою. Тут успішно проведено відпрацювання ГФТ на різних об'єктах ядерного паливного циклу України, але крім вдосконалення технологічних рішень тут також приділяється увага й оцінці потенційних негативних факторів їх впливу на довкілля та здоров'я людини.

Ціллю роботи є ознайомлення широкого загалу з результатами відпрацювання газотригідних методів при переробці низки відходів урановидобувної промисловості України, та з результатами оцінки потенційних факторів їх екологічної небезпеки.

1. Методи досліджень

Об'єктами досліджень представленими в поданій роботі є відходи Державного підприємства «Східний гірничо-збагачувальний комбінат» (ДП «СхідГЗК»), що веде переробку та збагачення уранових руд в Україні та відходи Виробничого об'єднання «Придніпровський хімічний завод» (ВО «ПХЗ»), що вів переробку уранової руди до 1996 р.

ДП «СхідГЗК» розташовано в м. Жовті Води Дніпропетровської області. Загальний обсяг відвалів пустих порід та за балансових руд на рудниках «СхідГЗК» складає 4 млн. м³, з активністю 1.9 тис. Ки. Обсяг хвостосховищ гідрометалургійної переробки складає більш 35 млн. м³ з активністю 75.3 тис. Ки. В дослідженнях використовувались 4 зразки рудних концентратів що є відходами гідрометалургійної переробки.

ВО «ПХЗ» розташовано в м. Кам'янське тієї ж області. Тут накопичено більш ніж 28.5 млн. м³ з активністю 74.3 тис. Ки [4]. На даний час законсервованими є лише 30 % майданчиків і хвостосховищ. Використовувались зразки відходів забрані з різних глибин хвостосховища «Сухачівське».

В роботі було визначено початковий елементний склад і радіоактивність досліджуваних відходів, відстежувалась зміна елементного складу зразків і визначався склад отриманих продуктів переробки. Для цього використовувалися аналітичні методи: ХРВ - заснований на реєстрації характеристичного рентгенівського випромінювання, збуджуваного протонами; МІЯР - реєстрації миттєвого γ - випромінювання з ядерних реакцій ініційованих протонами. Дослідження складу гамарадіонуклідів проводилось за допомогою гамма-спектрометра СЭГ-50(П) на базі напівпровідникового германій-літійового дифузно-дрейфового детектора ДГДК-60В.

Елементи що містяться у відходах такого типу, знаходяться в зв'язаному стані, в основному у вигляді оксидів. Тому зразок, що підлягав переробці, розглядався як механічна суміш оксидів цих елементів. Відсотковий вміст оксидів у відходах визначався розрахунковим шляхом. Для фторування використовувалися зразки-імітатори максимально ідентичні за складом з реальними але радіоактивно безпечні.

Фторування було проведено на пілотній установці розробленій та реалізованій в ННЦ ХФТІ за таких параметрів: розмір часток порошку 10-25 мкм, швидкість його розсипу 1,7 г/хв, початкова температура зони реакції ~320°C, швидкість потоку фтористого водню ~5,0 см/с. Окрім безпосередньо блоку фторування установка також включає блок температурних пасток для уловлювання летючих фторидів [5].

Небезпека утворених в процесі фторування твердих відходів визначалася по встановленню класу їх небезпеки (КН) [6] і за розрахунком ризику для здоров'я населення при можливому контакті з ними [7].

КН визначався по LD₅₀ і ГДК екзогенних хімічних речовин у ґрунті. Така система встановлення небезпеки промислових відходів має дуже суттєві недоліки, в тому числі і застарілість довідкових джерел на які вона посилається, адже перелік встановлених LD₅₀ постійно розширюється і уточнюється. Для більш точного відображення небезпеки відходів газового фторування величину К_Σ, яка і відображає ступінь небезпеки відходів, було розраховано з використанням сучасних даних. Оцінка КН строго по ДСанПіН. 2.27.029-99 р матиме ще більше значення К_Σ, тобто ще менший рівень небезпеки.

При оцінці ризиків погіршення стану здоров'я населення від потенційного контакту з відходами газового фторування, були використані селітебний і промисловий сценарії впливу. Тобто передбачається можливість проживання або роботи людей на територіях розташування досліджуваних відходів. Передбачаються умови гідроізоляції отриманих відходів, тоді найбільш серйозними потенційними шляхами зовнішнього впливу будуть: потрапляння їх в систему травлення; шкірні контакти з відходами; вдихання повітряних випарів. Оцінка небезпеки отриманих рівнів ризику проводилася за шкалою рекомендованої в роботі [8]: надзвичайно високий (> 10), високий (5-10), середній (1-5), низький (0,1-1,0), мінімальний (менш 0, 1).

Також було проаналізовано склад та оцінено небезпеку повітря в робочій зоні при різних режимах роботи газофторидної установки. Відбір проб повітря при різних режимах роботи в приміщенні, де працює газофторидна установка проводився з використанням паперових фільтрів типу АФА-ВП-20 (діаметр 70мм), які розташовувалися на висоті 1,8 м над витяжною шафою. Оцінка небезпеки забруднюючих речовин в повітрі робочої зони проводилася відповідно до [9].

2. Результати досліджень

Результати вимірювань радіоактивності відходів ДП «СхідГЗК» та ВО «ПХЗ» представлені в табл. 1

Таблиця 1 – Радіоактивність відходів, А_{эф}, Бк/кг

ДП «СхідГЗК»				ВО «ПХЗ»	
№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 1 (9-9,5 м)	№ 2 (16-16,5 м)
1288	1515	1239	1413	230	220

Даний рівень ефективної удільної активності природних радіонуклідів в зразках не передбачає їх використання [10].

Основним елементом, що міститься у відходах підприємств є Si, його зміст перевищує 30%. У відходах ДП «СхідГЗК» і ВО «ПХЗ» міститься практично однаковий набір елементів, розрізняються тільки їх концентра-

ції. Вміст U складає 0,107 та 0,044 мас%, відповідно. У відходах ДП «СхідГЗК», окрім Si, можна виділити три групи елементів з приблизно рівним змістом. Першу групу складають чотири елементи (Na, Fe, Al і Ca; від 5 до 8%), в другу входять три елементи (Ti, Mn і Mg; ~1%), в третій знаходяться усі інші елементи, що мають концентрації менше 0,5%. У відходах ВО «ПХЗ» разом з Si, переважаючим елементом є Ca (15,43%); є також група елементів (Al, Fe, Ti, Mn і Sc) з концентрацією 1-2%. Зміст інших елементів, як і в ДП «СхідГЗК», не перевищує 0,5%.

Як відзначалося вище, елементи знаходяться у відходах в зв'язаному стані, як правило у вигляді оксидів. Таким чином на основі результатів їх елементного аналізу було розраховано зміст оксидів основних елементів що наведено в таблиці 2 (з концентрацією вище 0, 5%).

Таблиця 2 – Склад зразків-імітаторів відходів підприємств ДП «СхідГЗК» і ВО "ПХЗ"

Зразок-імітатор відходів ДП «СхідГЗК»			Зразок-імітатор відходів ВО «ПХЗ»		
Оксид елемента	Зміст у відходах (%мас.)	Кількість окислу в зразку (г)	Оксид елемента	Зміст у відходах (%мас.)	Кількість окислу в зразку (г)
SiO ₂	59,2	8,88	SiO ₂	68,4	10,26
Al ₂ O ₃	10,5	1,58	CaO	19,8	2,97
Na ₂ O	9,4	1,41	Al ₂ O ₃	2,2	0,33
Fe ₂ O ₃	8,4	1,26	Fe ₂ O ₃	1,5	0,23
CaO	5,7	0,86	TiO ₂	1,5	0,22
TiO ₂	1,8	0,27	MnO	1,0	0,15
MnO	0,9	0,14	Sc ₂ O ₃	1,0	0,15
MgO	0,8	0,12	-	-	□

При фторуванні зразків-імітаторів відходів ДП «СхідГЗК» утворювалися два леткі фториди: SiF₄ і TiF₄, їх загальна кількість склала 15,7г, що практично співпадає з розрахунковим значенням. Маса твердого осаду, що є сумішшю з шести фторидів (AlF₃, NaF, FeF₃, CaF₂, MnF₂ і MgF₂), склала 7,66г, що всього на 3% менше розрахункової величини. Таким чином, загальна кількість відходів в порівнянні з первинним (14,52 г) за рахунок видалення кремнію і титану зменшилася на 6,86г, або на 47%.

При газофторидній переробці штатних відходів ДП «СхідГЗК» результати трохи зміняться. В суміш газоподібних продуктів потраплять додатково фториди ванадію і урану, проте їх концентрації в ній складуть близько 0,6 і 0,3% відповідно. VF₄ може уловлюватися в першій пастці при температурі ~150°C разом з TiF₄, так як обидва фториди мають близькі температури плавлення (325 і 257°C). UF₆ сублімує при 56,4°C, тому його можна уловлювати в окремій пастці при температурі ~25°C. SiF₄ може уловлюватись в азотній пастці (T~ -187°C).

Маса нелеткого осаду збільшиться на ~2% за рахунок фторидів елементів, що не увійшли до складу зразків-імітаторів, що практично не вплине на її співвідношення з початковою масою відходів.

При фторуванні зразків-імітаторів відходів ВО "ПХЗ" отримані аналогічні результати. Тут також в газову фазу потрапляли SiF_4 і TiF_4 , їх співвідношення в ній було 49:1, а їх загальна кількість склала 18,57г (103% від розрахункової величини). Маса зібраної в піддоні суміші твердих фторидів (CaF_2 , AlF_3 , FeF_3 , MnF_2 і ScF_3) виявилася рівною 4,89г, що також майже співпало з розрахунковим значенням. Зменшення загальної кількості відходів в порівнянні з первинним (14,31г) склало біля 9,2г (~65%).

При газофторидній переробці штатних відходів ВО "ПХЗ" стануться дуже незначні зміни в порівнянні з переробкою зразків-імітаторів. До складу газової фази додадуться VF_4 , UF_6 , а також леткий AsF_3 у кількості 0,005%. На 1-2% збільшиться маса нелеткого осаду, проте в процентному відношенні зменшення загальної кількості відходів практично не зміниться.

Отримані тверді відходи газофторидної переробки досліджуваних об'єктів матимуть IV КН. Ці відходи без негативних екологічних наслідків можуть бути об'єднані з побутовими відходами в місцях захоронення останніх або використані як ізолюючий матеріал, а також для різних планувальних робіт при освоєнні територій.

При цьому, ризик для здоров'я населення від потрапляння забруднюючих речовин з ґрунту де розташовано ці відходи, за умов як селітебного, так і промислового сценарію впливу, як при хронічній (>30 років), так і при довічній дії буде низьким. Тобто ризик виникнення шкідливих ефектів є зневажливо малим. При цьому існує технічна можливість і подальшого розділення отриманої суміші з ціллю вилучення корисних, або шкідливих компонентів.

Щодо безпеки викидів для здоров'я персоналу в процесі фторування за умов дотримання герметичності установки фторування по всіх елементах спостерігаються концентрації, що задовольняють вимогам до змісту забруднюючих речовин в робочій зоні навіть при вимкненій витяжці або її прибиранні, при розбиранні самої установки, а також при роботі з газоподібними і твердими фторидами, утвореними в процесі фторування.

Висновки

Газофторидне фракціонування радіаційних відходів з оксидною матрицею дозволяє зменшити їх об'єм в середньому на 50%. Небезпека утворених при цьому нелетких фторидів буде залежати безпосередньо від їх токсичних властивостей. Для відходів переробки уранової руди вони є малонебезпечними і не спричинять шкоди здоров'ю людини за умов їх гідроізоляції. Технічно можливим є розділення цих

фтоидів з отриманням цільового фториду металу або навіть виділення чистого елемента, однак доцільність цього цілком залежить від наявності цінних або шкідливих складових.

Радіоактивна складова відходів буде зосереджена у леткій фракції. При переробці відходів уранового виробництва леткі фториди будуть складатися в основному з фториду кремнію (>95%), який за технологічною схемою повинен виділятися в якості чистого продукту. Останні 5% будуть складатися з фторидів титану, вольфраму та урану, які також технічно можливим є розділити.

Таким чином, екологічна ефективність та безпека газофторидної переробки радіоактивних відходів буде залежати від показників роботи устаткування уловлювання летких фторидів та подальших способів їх використання, утилізації або захоронення. Відповідно дослідження та розробка методів уловлювання та розділення летких фторидів є на даний час важливим та перспективним напрямком для розвитку та екологічно безпечного впровадження ГФТ в ядерній енергетиці.

Література:

1. Шаталов В.В. Новые подходы к переработке ядерного топлива газофторидным способом / В.В. Шаталов, М.Б. Серегин // Международная конференция «Многосторонние технические и организационные подходы к ядерному топливному циклу для укрепления режима нераспространения ядерного оружия», 13-15 июля 2005, Тезисы докладов – Москва, 2005. – С.17.
2. Ежов В.К. Фторидно-дистилляционный рецикл облученного ядерного топлива / Ежов В.К., Загнитько А.В., Лебедев О.Г. и др. - ИАЭ – 6262/13 , РНЦ «Курчатовский институт», М., 2003.
3. Шаталов В.В. Газофторидная переработка отработавшего оксидного топлива / В.В.Шаталов, М.Б.Серегин, В.Ф.Харин, Л.А.Пономарев // Атомная энергия. – 2001. – Т.90. – № 3. – С.212 – 222.
4. Коваленко Г. Д. Радиоэкология Украины [Текст] : монография / Г. Д. Коваленко. - 2-е изд., перераб. и доп. - Харьков : ИНЖЭК, 2008. - 264 с. : ил. - Библиогр.: с. 249-261. Пазухин Э.М. Лавообразные топливосодержащие массы 4-го блока Чернобыльской АЭС: топография, физико-химические свойства, сценарий образования // Радиохимия. – 1994. – Т. 35, №2. – С. 98 – 142.
5. Левенець В. В. Щодо застосування газофторидної технології переробки відходів / Ролік І. Л., Хованський М.О., Широков Б. М. // XI Міжнар. наук.-практ. конф. "Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення". Зб. наук. праць., м. Харків, 7 – 11 вересня, 2015. – УкрНДЦЕП. – X., 2015. – С. 140-144.
6. ДСанПІН 2.2.7.029-992. Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення.
7. Р.2.1.10.1920-04. «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду». – М: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2004

8. Dennis J. Paustenbach Human and ecological risk assessment. Theory and practice. – New York, 2002. – 635 p.

9. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України, затверджені МОЗ України 02.02.05 за № 54 і зареєстровані Мін'юстом 20.05.05 за № 552/10832.

10. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). – К., 1997. – 121 с.

Інформація про авторів:

Левенець В.В. - Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут», м.Харків, 61108, вул. Академічна 1
e-mail:levenets@kipt.kharkov.ua

Ролік І.І., Хованський М.О., Широков Б. М. - Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут», м.Харків, 61108, вул. Академічна 1

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

***Abstract:** The chemical vapor deposition (CVD) with the fluorine of uranium ore processing's wastes was studied. A developed and created at the National Science Center "Kharkiv Institute of Physics and Technology" gas fluoridation installation was applied. The State Enterprise's "Eastern Mining and Processing Plant" and the Production Association's "Pridneprovsky Chemical Plant" wastes were treated. The compositions of the initial and the processed materials were studied using nuclear-physical analysis methods. The risk analysis of CVD technology's potential hazard factors was conducted. A possibility of reducing the dumps' mass by ~ 50% has established. Their danger will reach a low-risk level (4 HC). It has determined that volatile fluorides are > 95% composed of SiF₄, the radioactive component (UF₆) is in the remaining 5% together with TiF₄, VF₄ and etc. The conclusion has made that the CVD processing's of radioactive wastes with an oxide matrix ecological efficiency and safety depends on further methods of separation, use, utilization or disposal of fluorides. Currently, research and development of methods for trapping and separating volatile fluorides is a promising direction for the development and environmentally sound implementation of the fluorine CVD in nuclear power energy.*

***Keywords:** Uranium ore processing's wastes, recycling, chemical vapor deposition, risk assistant, environmental safety.*

КОНЦЕПТУАЛЬНІ РІШЕННЯ ЩОДО «РАНЬОГО» ДЕМОНТАЖУ НЕСТАБІЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ОБ'ЄКТА «УКРИТТЯ»

Рудько В. М., Бамбура А. М., Корчагін П. О., Говоров В. О.

Реалізовані у 2004 - 2008 рр. стабілізаційні заходи забезпечують прийнятний рівень безпеки об'єкта «Укриття», виходячи із 15-річного терміну експлуатації стабілізованих конструкцій (до кінця 2023 р.) з урахуванням завершення будівництва НБК у вказаний період. У подальшому проблема нестабільних конструкцій повинна вирішуватись шляхом їхнього демонтажу всередині НБК.

Необхідність і важливість демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» обумовлена низкою причин:

- ймовірність обвалення цих конструкцій навіть в умовах експлуатації всередині НБК є досить високою і з кожним роком буде збільшуватись;

- потенційне обвалення нестабільних конструкцій спричинить інтенсивне піднімання радіоактивного пилу і аерозолів, в результаті чого зазнають суттєвого радіоактивного забруднення конструкції і технологічні системи НБК, що погіршить радіаційну обстановку та призведе до додаткового опромінення експлуатаційного персоналу, а також необхідності проведення затратних робіт з дезактивації;

- обвалення нестабільних конструкцій буде мати негативні наслідки для довкілля, оскільки частина радіоактивних речовин через систему вентиляції та нещільності буде викинута за межі НБК;

- падіння нестабільних конструкцій ОУ на пошкоджені конструкції 4-го енергоблоку може спровокувати їх обвалення і призвести до руйнування існуючих інженерних бар'єрів навколо скупчень ПВМ, що буде мати негативні наслідки для рівня ядерної та радіаційної безпеки;

- обвалення нестабільних конструкцій створить певні проблеми для подальшої діяльності з перетворення об'єкта «Укриття», оскільки утруднить доступ до ПВМ з метою їх вилучення / переведення у контрольований стан;

- важливим є моральний аспект стосовно неприпустимості самовільного руйнування конструкцій об'єкта «Укриття». З моменту створення і протягом усього терміну існування об'єкта «Укриття» затрачені колосальні людські і матеріальні ресурси для забезпечення безаварійної експлуатації цього унікального об'єкта. Це потрібно завжди пам'ятати і цінувати.

Попередній перелік нестабільних будівельних конструкцій об'єкта «Укриття», що потребують демонтажу, був визначений при виконанні досліджень на початковому етапі робіт по Плану здійснення заходів на об'єкті «Укриття» (ПЗЗ ОУ) [1]. Цей перелік був складений на основі попередніх оцінок надійності конструкцій без урахування радіаційних наслідків потенційного їх обвалення, а також без урахування того, що після завершення будівництва НБК визначальним зовнішнім фактором для оцінки ймовірності відмови будівельних конструкцій об'єкта «Укриття» стає сейсмічний вплив. Інші види впливів (сніг, вітер і смерч) перестають бути актуальними.

Зважаючи на це, фахівцями ІПБ АЕС та НДІБК була виконана переоцінка складу нестабільних конструкцій, що підлягають «ранньому» або «відкладеному» демонтажу [2, 3]. Робота виконувалась згідно з «Технічним завданням на проектування ПК-2 НБК – Інфраструктура для демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття», етап 1 (концептуальні дослідження)».

«Ранній» демонтаж – це перший етап виконання першочергових робіт із демонтажу нестабільних конструкцій, що повинен розпочатися відразу після введення в експлуатацію НБК і бути завершений до кінця 2023 р.

«Відкладений» демонтаж – це другий етап виконання демонтажних робіт, що є продовженням «раннього» демонтажу і повинен розпочатися відразу після закінчення першого етапу.

Переоцінка складу нестабільних конструкцій, що підлягають «ранньому» або «відкладеному» демонтажу виконувалась з урахуванням таких критеріїв:

- при імовірності обвалення вищій або рівній 10^{-2} рік⁻¹ конструкції підлягають «ранньому» демонтажу;

- при імовірності обвалення відповідальної несучої конструкції в межах нижче 10^{-2} рік⁻¹, але вищій або рівній 10^{-4} рік⁻¹ питання про її «ранній» чи «відкладений» демонтаж вирішується на основі аналізу радіаційних наслідків обвалення;

- при імовірності обвалення конструкції нижче 10^{-4} рік⁻¹ конструкція відноситься до «відкладеного» демонтажу.

При оцінці рівнів наслідків обвалення (РНО) нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» виходили з того, що у ліцензійних документах [4 - 6], які входять до складу проектної документації ПК-1 НБК, виконана оцінка наслідків обвалення будівельних конструкцій об'єкта «Укриття». У результаті чого продемонстровано, що навіть у випадку реалізації критичної події з максимальними радіаційними наслідками, пов'язаної з викидом 8 кг паливного пилу у внутрішній простір НБК, радіоактивне забруднення навколишньої території і доза опромінення населення, яке проживає за межами 10-кілометрової зони, не перевищують критеріїв, установлених у документі [7]. З цього випливає, що радіаційні наслідки обвалення конструкцій об'єкта «Укриття» для навколишнього природного середовища та населення є прийнятними.

Таким чином, для оцінки прийнятності РНО нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» були встановлені критерії прийнятності наслідків обвалень (КПНО) тільки для внутрішнього простору НБК.

З урахуванням вищевикладеного, а також результатів раніше виконаних оцінок наслідків обвалення нестабільних конструкцій та їхньої класифікації за ступенем впливу на ядерну та радіаційну безпеку, які наведені в документі [8], були встановлені такі КПНО:

- критерій 1 – обвалення конструкцій не призводить до пошкодження/руйнування систем (елементів) управління запроектною аварією об'єкта «Укриття», що виконують функції безпеки, установлені в [9];

- критерій 2 – при обваленні нестабільних конструкцій відсутній вплив на стан ядерної безпеки об'єкта «Укриття» внаслідок неконтрольованого переміщення ядерно-небезпечних скупчень ПВМ;

- критерій 3 – індивідуальна доза опромінення персоналу НБК не перевищує ліміт річної ефективної дози, що встановлюється НРБУ-97 [10] для нормальної експлуатації (20 мЗв/рік);

- критерій 4 - радіоактивне забруднення поверхонь ділянок (робочих місць) періодичного перебування персоналу і обладнання, що розміщається в них, не перевищує допустимі рівні загального радіоактивного забруднення робочих поверхонь, встановлені НРБУ-97 [10] 8000 част.·хв·см-2 для β-активних нуклідів і 50 част.·хв·см-2 для α-активних нуклідів).

РНО вважається прийнятним, якщо виконуються всі встановлені вище КПНО. РНО вважається неприйнятним, якщо перевищується хоча б один із установлених вище КПНО.

Оцінка РНО та її порівняння з критеріями 3 і 4 виконується тільки в тому випадку, якщо виконуються попередні критерії 1 і 2.

За результатами виконаної переоцінки до переліку конструкцій для «раннього» демонтажу включено 17 конструкцій, з яких 14 металоконструкцій і одна бетонна східна опора балки «Мамонт», зведених у процесі будівництва ОУ, а також завали на деаераторній етажерці та аварійні плити покриття деаераторної етажерки (таблиця 1).

Таблиця 1 – Переоцінений перелік нестабільних будівельних конструкцій, що підлягають «ранньому» демонтажу

№ п/п	Найменування конструкцій
1	Металева ферма, що встановлена при стабілізації*
2	Похилі щити*, що обпираються на блоки покриття машинного залу та південні щити-ключки
3	Південні щити-ключки
4	Легка покрівля над трубним накатом
5	Південні щити
6	Об'ємний блок «Котячий будиночок»*
7	Балка «Мамонт» (з виконанням проміжних опор для можливості розчленування балки на окремі частини для демонтажу)
8	Балка «Восьминіг»
9	Західна опора балки «Мамонт»
10	Розподільча рама східної опори балки «Мамонт» *
11	Східна опора балки «Мамонт»
12	Додаткова опора балки «Мамонт» **
13	Завали на ДЕ на позначці 38,60. Основа балок «Мамонт» і «Восьминіг»
14	Плити перекриття ДЕ на позначці 38,60 уздовж осей 41-51 між рядами Б-В
15	Північні щити-ключки
16	Об'ємний блок «Мишкін будиночок» *
17	Трубний накат в осях 43-50, ряди Ж-П

* Необхідність демонтажу обумовлена технологічними чинниками.

** Додаткова опора буде споруджена перед демонтажем балки «Мамонт».

Для етапу «раннього» демонтажу сформувалося два підходи (варіанти) організації робіт: «інтегрований демонтаж/поводження» та «демонтаж з відкладеним поведженням».

«Інтегрований демонтаж/поводження» передбачає безперервність у часі процесу демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» і подальшого поведження з РАВ демонтажу аж до передачі їх на тривале зберігання та/або захоронення. Такий підхід був визначений у концептуальному проєкті НБК документом [11] і відповідав раніше прийнятим стратегіям щодо демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття».

Запропонована Міжнародною консультативною групою (МКГ) [12, 13] альтернативна стратегія «демонтажу з відкладеним поведженням» передбачає поділ у часі таких складових процесу демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття»:

- виконання власне демонтажних робіт;

- забезпечення тимчасового зберігання РАВ демонтажу на обладнаних майданчиках всередині Арки НБК та/або за її межами протягом досить тривалого часу (10 і більше років);

- поведження з РАВ демонтажу (після завершення періоду тимчасового зберігання), включаючи переробку, довготривале зберігання та/або захоронення.

Конструкції, що підлягають демонтажу мають радіоактивне забруднення і тому кваліфікуються як РАВ. Очікується утворення чотирьох основних потоків РАВ:

- радіоактивно забруднені металеві конструкції (РЗМК) - великі елементи конструкцій, установлених після аварії. Ці масивні елементи мають значні габарити і вимагають великого обсягу робіт із фрагментації для можливості подальшого поведження;

- радіоактивно забруднені (залізо)бетонні конструкції (РЗБК) - великі елементи бетонних і залізобетонних конструкцій зруйнованого 4-го енергоблока і опорних конструкцій об'єкта «Укриття». Ці конструкції можуть знаходитися як на своїх проєктних місцях, так і в завалах;

- змішані РАВ - дрібні фрагменти будівельних конструкцій, систем і комунікацій, що утворилися в результаті аварії 1986 р., матеріали, що утворилися внаслідок ліквідації наслідків аварії (матеріали засипки, що скидалися з гелікоптерів, «свіжий» бетон і мішки з бетонною сумішшю, що використовувались при будівництві об'єкта «Укриття», матеріали, утворені в результаті стабілізаційних заходів, тощо). Змішані РАВ мають в основному об'ємне забруднення;

- ВАВ - фрагменти конструкцій і елементи завалів, що за радіаційними характеристиками відносяться до високоактивних РАВ.

Для кожного із варіантів «раннього» демонтажу фахівцями ІПБ АЕС та КІЕП розроблено концептуальні проектні рішення щодо поводження з різними потоками РАВ демонтажу.

На рисунку 1 показано об'єкти (майданчики) у межах НБК, де буде здійснюватися поводження з РАВ демонтажу.

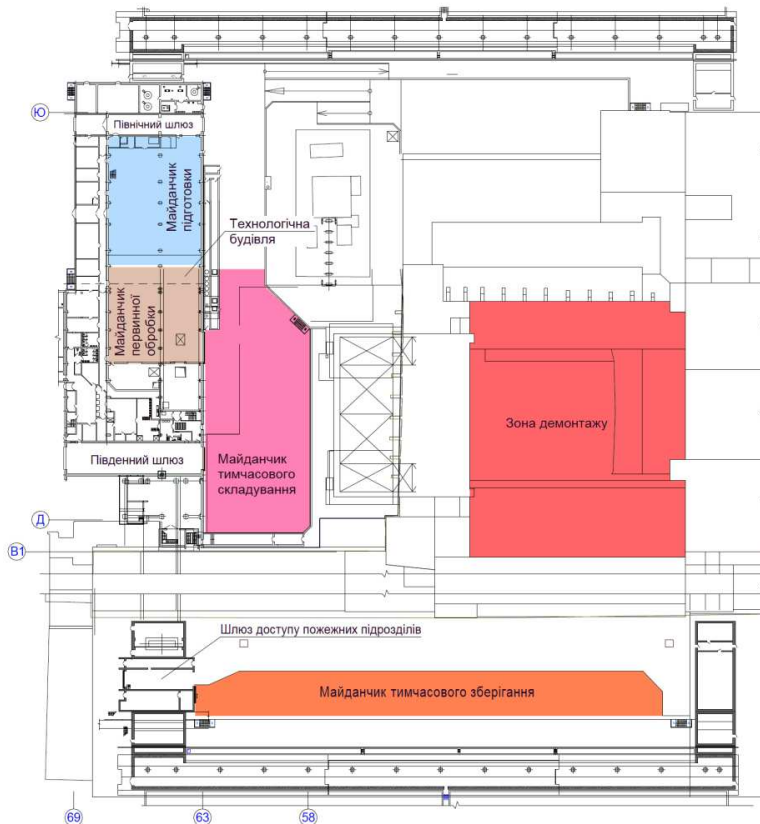


Рис. 1. Майданчики для поводження з РАВ

Поводження з РЗМК, змішаними РАВ і ВАВ у варіанті «демонтаж з відкладеним поводженням» і у варіанті «інтегрований демонтаж/поводження» повністю збігаються.

Поводження з РЗБК у варіанті «демонтаж з відкладеним поводженням» має відмінні риси порівняно з поводженням із РЗБК у варіанті «інтегрований демонтаж/поводження», які полягають у такому:

- у варіанті «інтегрований демонтаж/поводження» РЗБК, які не відповідають критеріям приймання на ПЗРВ «Буряківка» (або у сховища комплексу «Вектор»), переміщуються для обробки в технологічну будівлю, після чого направляються на захоронення (при відповідності критеріям приймання) або передаються для подальшої обробки на установки ДСП ЧАЕС (ЗПТРВ ЧАЕС);

- у варіанті «демонтаж з відкладеним поведженням» РЗБК, які не відповідають критеріям приймання на захоронення, переміщуються на майданчик тимчасового зберігання для зберігання протягом 10 і більше років. По закінченні тимчасового зберігання РЗБК направляються на майданчик тимчасового складування, звідки переміщуються для обробки в технологічну будівлю, після чого направляються на захоронення (при відповідності критеріям приймання) або передаються для подальшої обробки на установки ДСП ЧАЕС (ЗПТРВ ЧАЕС).

Проте, незважаючи на відмінності в реалізації двох варіантів «раннього» демонтажу, їхні початковий і кінцевий стани повністю збігаються.

Порівняльний аналіз «доз – витрат - вигод» для двох варіантів «раннього» демонтажу виконувався з метою вибору кращого варіанта для реалізації. Такий порівняльний аналіз здійснювався з використанням методики [14, 15], погодженої Державною інспекцією ядерного регулювання України.

Виконаний порівняльний аналіз двох варіантів «раннього» демонтажу свідчить про те, що обидва варіанти в плані реалізації практично рівноцінні. При прийнятті остаточного рішення щодо вибору варіанта «раннього» демонтажу необхідно точніше оцінити потенційні ризики (або передбачити заходи з їхнього зменшення), пов'язані з готовністю інфраструктури щодо поведження з РАВ, з урахуванням реальних перспектив і джерел фінансування.

За результатами переоцінки складу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» для «раннього» демонтажу та порівняльного аналізу двох варіантів «раннього» демонтажу ДСП ЧАЕС було підготовлено технічне рішення «Про вибір варіанта «раннього» демонтажу для розробки робочого проекту ПК-2 НБК «Інфраструктура для демонтажу нестабільних конструкцій ОУ»», яке було погоджено ДІЯР України (лист № 24-14/482 від 23.01.2015 р.). У цьому технічному рішенні сформульована така стратегія подальшої діяльності щодо «раннього» демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття»:

- за результатами 1-го етапу робіт (концептуальні дослідження) прийняти до реалізації на 2-му етапі «Проектування ПК-2 НБК – розробка робочого проекту «Інфраструктура для демонтажу нестабільних конструкцій ОУ» стосовно «раннього» демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» варіант 1 («інтегрований демонтаж/поводження») як

найдоцільніший з економічної та технологічної точок зору з урахуванням рекомендації МКГ у частині організації «буферної зони» для забезпечення тимчасового зберігання демонтованих конструкцій;

- в обсяг робіт 2-го етапу додатково включити такі вимоги:

в якості першочергового завдання виконати корегування документа «Проектні критерії і вимоги до інфраструктури НБК для демонтажу нестабільних конструкцій ОУ» (ПКВ) з урахуванням проектних рішень ПК-1 НБК, переоціненого складу нестабільних конструкцій для «раннього» демонтажу та концептуальних проектних рішень ПК-2 НБК для варіанта 1 («інтегрований демонтаж/поводження»). Погодити ПКВ з ДІЯР України;

передбачити в робочому проекті створення «буферної зони» для тимчасового зберігання демонтованих конструкцій усередині НБК на майданчику південніше машинного залу, запропонованому в концептуальних проектних рішеннях для варіанта 2 («демонтаж з відкладеним поводженням»).

Література:

1. Проектные критерии и требования к инфраструктуре НБК для демонтажа нестабильных конструкций объекта «Укрытие» (SIP 031 003 07 DCR 001 05).

2. SIP09-2-001 NI 03 RPT 036 06. Методология переоценки состава нестабильных конструкций ОУ, подлежащих «раннему» демонтажу.

3. SIP09-2-001 NI 03 RPT 037 05. Отчет о переоценке состава нестабильных конструкций ОУ, подлежащих «раннему» демонтажу.

4. Лицензионный пакет-6 (ЛП-6). Проект «Защитное сооружение с технологическими системами жизнеобеспечения и необходимой инфраструктурой». Отчет по анализу безопасности, SIP-N-LI-22-E001 -SAR-002-02.

5. Лицензионный пакет-6 (ЛП-6). Проект «Защитное сооружение с технологическими системами жизнеобеспечения и необходимой инфраструктурой». Отчет о соответствии требованиям санитарного законодательства, SIP-N-LI-22-E002-SCR-002-01/LCO-NKA-NSC-017-1-RU.

6. Лицензионный пакет-6 (ЛП-6). Проект «Защитное сооружение с технологическими системами жизнеобеспечения и необходимой инфраструктурой». Оценка воздействий на окружающую среду, SIP-N-LI-22-E003 -EIA-002-01/LCO-NKA-NSC-018-1-RU.

7. Проектные критерии ограничения потенциального облучения для НБК, утвержденные Министерством здравоохранения Украины и ГКЯР, 2005.

8. Итоговый исполнительный отчет по стабилизационным мероприятиям (отчет по оценке безопасности). SIP K 02 01 000 RSR 002 04. КСК, 2008. – 342 с.

9. Технологический регламент объекта «Укрытие реактора блока № 4 Чернобыльской АЭС». – 1Р-ОУ. – ГСП ЧАЭС, 2013.

10. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). – МОЗ України, 1998.

11. SIP-P-PM-21-330-EXN-004-01. Стратегия дальнейшей реализации проекта НБК, ред. 2 от 23.04.2004.

12. Чернобыльский фонд «Укрытие» – международная консультативная группа. Протокол совещания и основные решения от 9 ноября 2010 года. МКГ-10/04 от 24 ноября 2010.

13. Чернобыльский фонд «Укрытие» – международная консультативная группа. Протокол совещания и основные решения 12 - 13 июля 2011 г. МКГ-11/02 от 20 июля 2011 г.

14. SIP09-2-001 NI 03 RPT 039 04. Методика проведения анализа «доз-затрат-выгод» для двух вариантов «раннего» демонтажа.

15. Методика проведения сравнительного анализа «доз-затрат-выгод» для двух вариантов «раннего» демонтажа нестабильных конструкций объекта «Укрытие» / В. В. Деренговский, В. М. Рудько, В. А. Говоров // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чорнобиля. – 2015. – Вип. 24. – С. 110 - 117.

Інформація про авторів:

Рудько В. М. - Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, м. Чорнобиль, Київська обл.

e-mail: ispnpp@ispnpp.kiev.ua

Бамбура А.М.- Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій, м. Київ
e-mail:ndibk@ndibk.gov.ua

Корчагін П.О. - Київський науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Енергопроект», м. Київ

e-mail: enproject@kiep.kiev.ua

Говоров В.О.- Державне спеціалізоване підприємство «Чорнобильська АЕС», м. Славутич, Київська обл.

e-mail:govorov@sip-pmu.slavutich.kiev.ua

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

The results of the substantiation of the list of unstable structures of the Shelter object that require "early" dismantling (by the end of 2021) are given. This justification was performed on the basis of assessments of the reliability of these structures, the radiation consequences of their potential collapse, and also with taking into account the fact, that after the completion of the construction of the NSC, a determining factor for the estimation of the probability of failure of the construction structures of the Shelter object is a seismic effect. Other types of influences (snow, wind and tornado) are not relevant.

The conceptual decisions concerning "early" dismantling of unstable structures of the Shelter for two potential variants of organization of works are considered: "integrated dismantling/handling" and "dismantling with delayed processing". For both variants, technological solutions have been proposed for performing dismantling operations, as well as for handling of four main streams of radioactive waste: radioactive contaminated metal constructions, radioactive contaminated concrete and reinforced concrete structures, mixed waste and high-level waste.

In order to choose the best option for implementation, a comparative "doses - costs - benefits" analysis was performed for two "early" dismantling options. Such a comparative analysis was carried out using the methodology agreed upon by the State Inspectorate for Nuclear Regulation of Ukraine.

A comparative analysis of two variants of "early" dismantling shows that both variants in terms of realization are practically equivalent. When making a final decision on the choice of an "early" dismantlement, it is necessary to more accurately assess potential risks (or provide for measures to reduce them) related to the readiness of the RW management infrastructure, taking into account the real prospects and sources of financing.

IT-SYSTEMS REQUIRED ON THE STAGE OF NUCLEAR DECOMMISSIONING

Saveliev M.

Abstract: IT-systems that required on the stage of decommissioning of nuclear facility like nuclear power plant are described. The definition of Nuclear Decommissioning Execution System is given. Main functional areas of Nuclear Decommissioning Execution System are provided.

Keywords: Nuclear decommissioning, IT-systems, Nuclear Decommissioning Execution System.

Introduction

There are around 200 operational nuclear power plants (NPP) around the world, and most of them being constructed in years 1970-1990. With its life circle of 30-40 years of operation, the word will face into the problem of decommissioning a large number of NPPs in nearest future. It makes actual the task to elaborate general requirements and architectural solutions to the computerized informational and control system for support of decommissioning of NPPs and other nuclear facilities that accompany nuclear energy. Nuclear industry is not yet formulated a specific term for such system. With this paper we propose to use the term Nuclear Decommissioning Execution System (NDES) making an analogy with the recent spread in the industry Manufacturing Execution Systems (MES), but focusing on issues that specific to the nuclear decommissioning processes.

Nuclear Decommissioning Execution System

Nuclear Decommissioning Execution System is integrated computerized system-of-systems used in decommissioning of nuclear power plants and related facilities. It is aimed to support, track and document the transformation of nuclear facility to its final state in accordance with Decommissioning Strategy elaborated to such facility (e.g. greenfield, brownfield or reuse). NDES should work in a real time to enable the control of multiple elements of the nuclear decommissioning process and should operate across multiple function areas.

The idea of NDES might be seen as a deep integration of existing on nuclear facility computerized systems (like ERP, I&C, RMS, SCADA and various databases) with a new computerized systems required only on the stage of NPP decommissioning. But opposite to other industrial IT-systems like MES, initially it is foreseen that as the life cycle of the NDES, the system sub-components will be also decommissioned and the data streams will constantly decrease.

Here could be defined final state for NDES as knowledge database of NPP life circle including its decommissioning.

NDES functional areas

Nuclear decommissioning foreseen the need for the following works:

- Construction of facilities and infrastructure required for decommissioning and management of radioactive waste.

- Final shut down.
- Removal of nuclear fuel, radioactive sources including liquids.
- Decontamination, dismantling and clean-out.
- Immediate or deferred dismantling of structures.
- Waste management - treatment, storage and disposal of operational and decommissioning wastes.
- Survey and release of site for unrestricted use.

Based on the acquired experience in the field of decommissioning of two German Nuclear Power Plants (NPP), Rheinsberg and Greifswald sites, as well as the experience of Chernobyl NPP (ChNPP) site decommissioning [1] and development of the Automated Support System for Comprehensive Engineering and Radiation Survey (ASS CERS) [2], the most important functional areas of the common Nuclear Decommissioning Execution System could be formulated as follows.

Safety area – to protect human health and the environment from the radiological & non-radiological hazards resulting from the shutdown facility. This area is mainly represented by radiation monitoring systems, fuel and RAW management systems, technological and process control systems.

Planning area – to provide decommissioning works management by adequate planning of activities, control of its performance and associated costs. It should be represented by project management and control systems and may include local scheduling sub-systems that provides optimal use of local resources.

Resource management area – this may include registration, exchange and analysis of resource information (including human and dose resources), aiming to prepare and execute decommissioning tasks with resources of the right capabilities and availability. It could be represented by existing NPP ERP systems. Both planning and resource management areas should be integrated.

Waste management area – this area can be considered from the position of MES systems, in which the role of products is performed by containers with radioactive waste.

Document management area – this normally includes existing NPP document management system and archive databases.

Deconstruction management area – this represents various CAD, construction drawings management systems and 3D modeling [3].

Comprehensive Engineering and Radiation Survey area – this may include registration, exchange and analysis of information related to the status of buildings, premises, different equipment (including pipes) of nuclear facility in terms of its radiation and engineering status. Such tool needs to historical review of the status of recorded objects.

Bibliography:

1. A. Schlemmer, M. Saveliev. Investigation of ChNPP Information System Suitability for Decommissioning (Reactor Units 1 and 2). OSAT/RPT/OSA/00042. Tacis services DG IA, OSAT, Project Reference: NUCUK9403A/97-0305, European Commission, 1999.

2. D. Koniaev. Automated Support System for the Comprehensive Engineering and Radiation Survey (ASS CERS). International Experts' Meeting «The experience exchange in the application of automated identification technology, electronic archives of the design documentation and engineering three-dimensional models of the operation and decommissioning of nuclear power units», Chernobyl Center, Slavutych, Ukraine, 2011

3. V. Tikhonovsky, D. Chuyko, V. Kononov, N. Salmikov. Experience of Implementation of Information Technologies for Preparation for the Decommissioning and Decommissioning (IAEA-CN-211/16PD). – International Experts' Meeting on Decommissioning and Remediation after a Nuclear Accident. IAEA Headquarters, Vienna, Austria, 28 January–1 February 2013.

Authors' Information

Maxim Saveliev – PhD, Researcher, Institute of Mathematical Machines and Systems Problems, Ukraine; e-mail: mcsim@sitex.com.ua

Major Fields of Scientific Research: Software Engineering, Automated System Life Circle Models, Requirements Evolution, System Analysis, System-of-Systems, Nuclear Decommissioning Execution Systems

СИСТЕМА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ В ПРОЕКТІ

Савенко М. О. (науковий керівник - Дорош М. С.)

Анотація: Управління інформацією (взаємодія) - це сбор інформації з одного або декількох джерел, до якої можна отримати доступ всі учасники проекту, який розробляється та спостерігати в режимі реального часу. Існує певне програмне забезпечення, яке дає деякі частини цієї функції, але не всі. Таким чином, в цих тезах пропонується нова система, яка виконуватиме збирання всіх даних, які передаються між усіма учасниками проекту та дають можливість контролювати зареєстровані інформаційні потоки.

Ключові слова: управління інформацією, інформаційний потік, взаємодія в проекті.

Інформаційна взаємодія в проекті – сукупність завдань управління на всіх етапах розробки проекту, які включають в себе всі операції, що пов'язані з інформацією, яка необхідна для виконання завдань проекту.

Існує декілька типів програмного забезпечення, що спростовує обмін інформацією між різними учасниками проекту та допомагає виконавцям проекту швидше отримати загальнодоступні ресурси. Нижче наведено список основних напрямків систем інформаційної взаємодії в проекті:

1. Системи управління інформацією про готовий продукт. Використовується в більшості випадків для систематизації інформації про продукт, який може переглядати кінцевий користувач через веб-інтерфейс, мобільний додаток чи будь-який інший тип інтерфейсу програми чи сервісу.

2. Системи планування проектами. Такий тип програмного забезпечення дозволяє встановити залежність між виконуваними завданнями, різними етапами розробки. Проте такий тип не дає змогу відслідковувати реальне виконання робіт, тільки заплановане.

3. Information Management Software, що створені компанією IBM. Використовуються ієрархічні бази даних з транзакційними можливостями, а також засоби взаємодії з базами даних.

Представлені типи програмного забезпечення дають змогу запланувати життєвий цикл продукту, який розробляється або ж систематизувати дані про готовий продукт в єдине місце збереження даних. Тому виникають деякі проблеми на етапі безпосереднього виконання завдань проекту, такі як:

- Відсутність достатньої комунікації у проекті між його учасниками.
- Відсутність контролю над постачанням необхідних ресурсів учасникам, які виконують певні задачі проекту.
- Відсутність єдиної системи зберігання переданої інформації.

На базі визначених проблем в інформаційній взаємодії в проекті необхідно створити засіб інформатизації призначений для обміну інформацією, а також відстеження обігу інформаційних потоків між учасниками проекту в системі.

Така система повинна забезпечити:

- Обмін інформацією (як текстової так і файлової) між двома кінцевими користувачами системи.
- Перегляд зареєстрованої інформаційної взаємодій у проекті без прямого підключення клієнта до БД.
- Отримання даних з БД шляхом запитів до сервера системи.

На основі вимог до системи можна побудувати діаграму варіантів використання системи (рисунок 1).

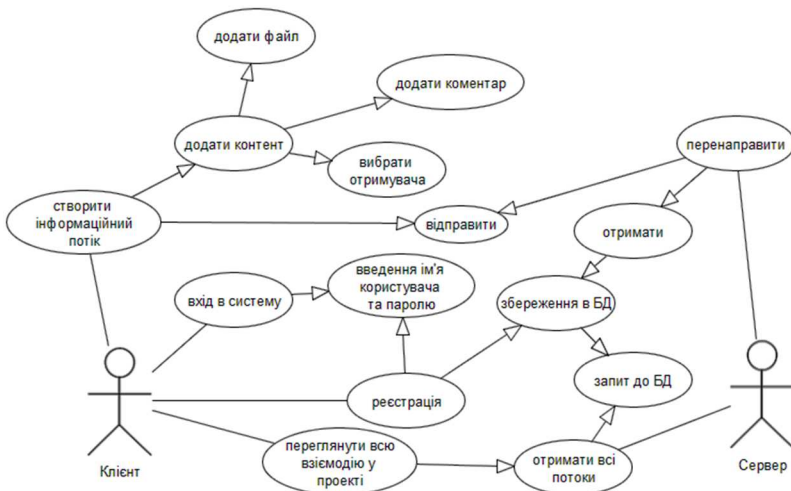


Рис. 1. Діаграма варіантів використання

З діаграми використання видно, що це має стати клієнт-серверний застосунок, де клієнт має можливість створити інформаційний потік (повідомлення до іншого користувача) або переглянути зареєстровану у базі даних взаємодію у проекті в цілому. При перегляді має бути чітко видно хто має надати інформацію учаснику проекту та чи була вона надана на даний момент часу.

Таким чином всі учасники проекту зможуть бачити де відбулася затримка у виконанні завдань та швидко почати вирішувати проблему.

Література:

1. Informationmanagement [Електронний ресурс] // Wikipedia. 2018. 20 січня. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Information_management
2. IBM InformationManagementSoftware [Електронний ресурс] // Wikipedia. 2016. 18 липня. URL:https://en.wikipedia.org/wiki/IBM_Information_Management_Software

Інформація про авторів:

Савенко М.О. – студентка, Чернігівський Національний Технологічний Університет, вул. Шевченка 95, Чернігів, 14027, Україна

Науковий керівник:Дорош М.С. - Чернігівський Національний Технологічний Університет, вул. Шевченка 95, Чернігів, 14027, Україна

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

SYSTEM OF INFORMATION INTERACTION IN PROJECT

Annotation: Information management (interaction) is the acquisition of information from one or more sources to which can access all members of project which is developing and can be observed in real time. There some software which produces some parts of this functionality but not all of this. So in this statement offers new system which will perform collection of all data which transferred between all members of project and give opportunity to supervise registered information flows.

Keywords: information management, information flow, interaction in project.

Authors' Information

Savenko M. – student, Chernihiv National University of Technology, Shevchenka str. 95, Chernihiv, 14027, Ukraine

Suoervisor: Dorosh M.- Chernihiv National University of Technology, Shevchenka str. 95, Chernihiv, 14027, Ukraine

РЕАБІЛІТАЦІЯ І РОЗВИТОК РАДІАЦІЙНО ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ В УКРАЇНІ

Сакаль О., Коваленко А.

Аварія 26 квітня 1986 р. на ЧАЕС визнана Міжнародним агентством з атомної енергії (МАГАТЕ) як комунальна сільськогосподарська, що спричинила забруднення сільськогосподарських угідь [1]. Унаслідок Чорнобильської катастрофи в Україні радіаційно забруднено 1,1 млн га сільськогосподарських угідь. Постраждали агроєкосистеми, сформувалися зони підвищеного екологічного ризику, відтак докорінно порушилися історично сформована стабільність сільськогосподарського виробництва [1–3]. Щодо екологічних наслідків аварії на ЧАЕС виділяють три ключових аспекти [4, с. 499]: власне надходження в навколишнє середовище великої кількості радіоактивних речовин, їх розсіювання в атмосфері, формування забруднених територій і подальша міграція в екосистемах; радіаційний вплив на об'єкти живої природи і окремі компоненти екосистем; зміни антропогенних навантажень на об'єкти живої природи внаслідок припинення господарської діяльності або реалізації захисних заходів.

Відповідно відзначають такі фактори динаміки радіаційної ситуації на забруднених територіях [4, с. 501]: природний розпад радіонуклідів; заглиблення радіонуклідів під дією природно-кліматичних процесів; фіксація радіонуклідів у геохімічних і ґрунтових структурах; перерозподіл радіонуклідів у ґрунті, спричинений антропогенною діяльністю.

Виділяють низку каналів міграції радіонуклідів [5, с. 159]: перенесення повітряним шляхом; перенесення шляхом змиву і далі поверхневими водами; міграція за профілем ґрунту і далі підземними водами; винос рослинністю і далі трофічними ланцюгами.

Масштабними радіоекологічними дослідженнями [1; 4, с. 501–504] було встановлено, що біологічна доступність, зокрема ^{137}Cs , обумовлена насамперед властивостями ґрунтів. Виявлено, що коефіцієнт переходу радіонуклідів з ґрунту в рослини для органічних ґрунтів між травами і зерновими складає 50–100 разів, тоді як для мінеральних – 5–30 разів. На сьогодні найбільші величини накопичення ^{137}Cs відзначено для природних і сіяних трав, що вирощуються на дерново-підзолистих піщаних, супіщаних та торф'яно-болотних ґрунтах.

Щодо реабілітації і розвитку радіаційно забруднених територій в Україні, зокрема вирішення проблеми сільськогосподарського землекористування, відзначимо, що техніко-технологічні та фізико-хімічні її аспекти є достатньо відпрацьованими, тоді як інституціональне забезпечення і фінансування залишаються відкритим. Так, ІБОНХ НАН України обґрунтували концепцію нерозповсюдження радіонуклідів із забруднених земель як чинника зниження антропогенного навантаження зони відчуження на навколишнє середовище і для цього розробили такі технології, що обмежують міграційні можливості ^{137}Cs і ^{90}Sr у системі ґрунт–рослина–вода [5, с. 161]. Тоді як починаючи з 1994 р. обсяги фінансування заходів забезпечення радіаційної безпеки постійно скорочувалися. Упродовж 2006–2008 рр. обсяг фінансування на сільськогосподарських заходів з метою зменшення змісту радіонуклідів у продовольстві і обумовлених цим доз опромінення населення щорічно виділялося менше 12 млн грн. Впродовж 2009–2010 рр., 2013–2016 рр. проведення зазначених заходів не фінансувалося зовсім. Проблемним також є належне фінансування робіт у зоні відчуження та утримання (відновлення) об'єктів інфраструктури [1]. Щодо інституціональних аспектів регулювання землекористування на радіоактивно забруднених територіях, здійснення земельної реформи в Україні, відзначено [1], що реалізовано найгірший сценарій ведення сільського господарства: при розпаюванні земель місцеве населення для випасів і сінокосів отримало угоддя, що знаходяться на гідроморфних органічних чи дерново-підзолистих піщаних і супіщаних ґрунтах, розміщених часто у зволжених пониженнях і заплавах річок з високим рівнем ґрунтових вод, найбільш схильних до накопичення радіонуклідів ландшафтах. Загальновідомо, що споживання продукції рослинництва і тваринництва, отриманої на таких землях без належного контролю, призводить до збільшення дози внутрішнього опромінення. Не менша загроза збільшення дози внутрішнього опромінення місцевого населення сьогодні може виникнути на новітньому етапі земельної реформи в Україні, що пов'язано з передачею земель сільськогосподарського призначення державної власності у комунальну власність об'єднаних територіальних громад, що має завершитися до кінця 2018 р.

Заходи з реабілітації і розвитку техногенно забруднених територій в Україні можуть здійснюватися в рамках стратегічного планування діяльності об'єднаних територіальних громад та передбачати розвиток несільськогосподарської спеціалізації і кооперації виробництва на території громади тощо. При розробці та оцінці ефективності заходів з реабілітації і розвитку таких територій, пропонується виходити з положення концепції забезпечення радіологічної безпеки біоти. Різниця у коефіцієнтах переходу радіонуклідів з ґрунту в рослини дозволяє застосовувати для розвитку і реабілітації територій, що зазнали радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи (мова не йде про радіаційно небезпечні землі, а також зони відчуження та безумовного (обов'язкового) відселення) інструменти адміністративного і організаційного механізму регулювання й контролю рівня забруднення продукції рослинництва і тваринництва. Зокрема, застосування землевпорядних інструментів у частині науково обґрунтованого чергування сільськогосподарських культур у сівозмінах з обмеженим використанням органомінеральних ґрунтів, а також використання природних і сіяних трав, що вирощуються на дерново-підзолистих піщаних, супіщаних та торф'яноболотних ґрунтах зазначених територій як кормову базу у тваринництві.

Вищеназвані проблеми можуть отримати ефективне вирішення у документах і заходах стратегічного планування різного рівня – національного, територіального, галузевого.

Література:

1. Інформаційно-аналітичні матеріали Кабінету Міністрів України до парламентських слухань на тему: «30 років Чорнобиля: уроки та перспективи», запланованих до проведення 16 березня 2016 року (лист Кабінету Міністрів України від 09.03.16 № 3613/0/2-16)/ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://komekolog.rada.gov.ua/print/73766.html>.

2. Особливості формування дози внутрішнього опромінення населення радіоактивно забруднених територій у віддалений період аварії на ЧАЕС та заходи щодо зниження рівнів внутрішнього опромінення мешканців цих районів (методичні рекомендації) / Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини Національної академії медичних наук України»; укладачі Василенко В. В., Нечаєв С. Ю., Циганков М. Я., Пікта В. О., Задорожна Г. М. – К., 2013. – 20 с.

3. Результати комплексного радіаційно-гігієнічного моніторингу окремих населених пунктів радіоактивно забруднених територій київської області у 2016 році / Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини Національної академії медичних наук України»; Василенко В. В., Нечаєв С. Ю., Циганков М. Я., Пікта В. О., Задорожна Г. М., Міщенко Л. П. – К., 2016. – 4 с.

4. Чорнобыльская авария: обновление INSAG-1 и INSAG-7: доклад международной консультативной группы по ядерной безопасности / Международное агентство по ядерной безопасности. – Вена, 1992. – 541 с.

5. Кухар В. Радіоекологічні проблеми земель зони впливу аварії на ЧАЕС у дослідженнях ІБОНХ НАН України / Кухар В., Ляшенко О. // Вісник львів. ун-ту. Серія фізична. – 2008. – Вип. 42. – С. 159–169.

6. Про створення Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника: указ Президента України від 26.04.2016 р. № 174/2016 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.president.gov.ua/documents/1742016-19957>.

Інформація про авторів:

Сакаль Оксана - Державна установа «Інститут економіки природокористування та сталого розвитку Національної академії наук України», місто Київ
e-mail: o_sakal@ukr.net

Коваленко Андрій - Державна установа «Інститут економіки природокористування та сталого розвитку Національної академії наук України», місто Київ
e-mail: A.Kovalenko@nas.gov.ua

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

As a result of the Chernobyl catastrophe, 1.1 million hectares of agricultural land have been radiation contaminated in Ukraine. Agroecosystems have suffered, zones of high ecological risk have been formed, and therefore historically formed stability of agricultural production has been radically disturbed. Large-scale radioecological studies have established that the biological availability of radioactive substances is due primarily to the properties of soils. At present, the greatest accumulation of ^{137}Cs is noted for natural and sown grasses grown on turf-podzolic sandy, sandy and peat-marsh soils. Regarding the rehabilitation and development of radiation-polluted areas in Ukraine, in particular the solution of the problem of agricultural land use, we note that its technical and technological and physical and chemical aspects are sufficiently worked out, while institutional provision and financing remain open. The threat of an increase in the domestic exposure of the local population today may arise at the latest stage of the land reform in Ukraine, which is due to the transfer of state-owned agricultural land to communal property of the united territorial communities, which should be completed by the end of 2018. Measures for the rehabilitation and development of technogenically contaminated territories in Ukraine may be carried out within the framework of strategic planning of the activity of the united territorial communities and provide for the development of non-agricultural specialization and cooperation of production on the territory of the community, etc. In developing and evaluating the effectiveness of measures for the rehabilitation and development of such territories, it is proposed to proceed from the position of the concept of providing radiological safety of biota.

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ В ПРОЦЕСІ ЗНЯТТЯ ЧАЕС З ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Сидоренко В., Азаров С.

Відповідно до чинних в Україні Правил виведення енергоблоків ЧАЕС з експлуатації після видалення ядерного палива передбачається забезпечення заходів, що виключають використання блоку в якості джерела енергії і гарантують безпеку персоналу, населенню і навколишньому середовищу [1].

Питання зняття з експлуатації ядерних установок з уран-графітовими реакторами є комплексом проблем, пов'язаних з необхідністю вибору оптимальних способів і методів поводження з радіоактивними відходами (РАВ). Енергоблоки РВПК-1000 відносяться до радіаційно небезпечних об'єктів і вимагають наявності й чіткого дотримання спеціально розробленої нормативно-технічної документації з метою мінімізації можливості виникнення і розвитку радіаційних аварій і надзвичайних ситуацій на них.

На стадії підготовки енергоблоку до зняття з експлуатації проводиться ряд заходів, включаючи:

- видалення ядерного палива з активної зони реактора і приміщень енергоблоку АЕС;
- видалення радіоактивних робочих середовищ з обладнання і технологічних систем;
- видалення і переробку експлуатаційних радіоактивних відходів;
- штатну дезактивацію устаткування, систем і будівельних конструкцій енергоблоку [2].

У зв'язку із завершенням терміну експлуатації ЧАЕС в результаті надзвичайних ситуацій техногенного характеру утворюється велика кількість графітових РАВ. Саме реакторний графіт становить більшу частину накопичених твердих РАВ. Маса графітової кладки одного реактора, в залежності від його типу, становить 1,5–2,5 тис. т. Звідси можна зробити висновок, що загальна маса опроміненого графіту з 3-х блоків приблизно дорівнює 7,5 тис. т. Опромінений реакторний графіт поділяють на три основні групи:

- 1) графітові блоки активної зони (блоковий графіт);
- 2) графітові внутрішньоблокові втулки (втулковий графіт);
- 3) графіт, що забруднений посип'ями ядерного палива і продуктами поділу (радіонукліди, що потрапили в кладку під час протічках теплоносія та інциденти з розгерметизацією ТВЕЛів і попаданням матеріалів, що діляться в кладку).

Опромінений графіт відноситься до категорії невикористовуваних РАВ і вимагає індивідуального підходу під час вибору способів поводження з ним [2]. Нині перспективним стає розробка методів високотемпературної термічної обробки радіоактивного графіту, наприклад, спалювання, так як він забезпечує значне зменшення обсягу графітових відходів. Наразі пропонуються різні способи спалювання графіту: традиційне (окислення повітрям, киснем), в киплячому шарі, за допомогою газового лазера, газифікація графіту за допомогою перегрітої водяної пари (піроліз), а також окислення в розплавах лугів, хлоридів, карбонатів. За оцінкою фахівців спалювання відпрацьованого графіту дасть в результаті РАВ, готові для тривалого поховання, об'ємом (1–2) % від початкового об'єму графіту [2].

Особливістю уран-графітових реакторів є наявність великої кількості опроміненого графіту, забрудненого матеріалами, що діляться, вуглецем-14 і різними радіонуклідами. Радіоактивний графіт містить різні радіонукліди, продукти поділу, продукти корозії/активації, а також невелику кількість урану і елементів перетворення [3]. Графіт згодом накопичує в собі невелику кількість урану, елементів перетворення (^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{241}Am тощо), радіонукліди (такі, як тритій і ^{14}C), а також продукти поділу (^{137}Cs , ^{90}Sr й ін.). Опромінений графіт несе потенційну небезпеку людям і навколишньому природному середовищу внаслідок накопичення в ньому довгоживучих радіонуклідів. Особливу небезпеку становить графіт, що містить вуглець-14, період напіврозпаду якого становить 5790 ± 30 років, хлор-36 і тритій, які під час виходу в атмосферу можуть призвести до забруднення природних комплексів землі, так як вони входять до складу органічних і неорганічних речовин. Тому прийнятність викидів радіоактивних елементів для збереження навколишнього середовища є критерієм успішного розвитку процесу спалювання [4]. Радіоактивні елементи знищити спалюванням неможливо. Вони або залишаються з негорючої частиною відходів, або випаровуються в залежності від ступеня їх летючості. Газоподібні елементи конденсуються на більшій частинці в потоці газів, що видаляються газоочисною системою.

На етапі припинення і зняття з експлуатації 1–3 енергоблоків ЧАЕС з ядерними реакторами типу РВПК-1000 існує ймовірність виникнення пожежі з обваленням будівельних конструкцій [5]. Пожежі на цьому об'єкті є небезпечним антропогенним фактором, здатним за короткий час різко змінити радіаційну обстановку на значній відстані від ЧАЕС. У процесі пожежі в навколишнє середовище будуть викидатися радіоактивні продукти горіння, концентрація яких у повітрі може в декілька разів перевищити припустимі радіаційні рівні [3]. Стохастичний характер процесів виникнення пожеж і вибухів на таких потенційно небезпечних об'єктах обумовлює необхідність проведення досліджень фізико-хімічних процесів, що можуть стати причинами радіаційних аварій, створення бази даних з оцінки і прогнозування післярадіаційного стану, а також з розробки управлінських рішень оперативного-тактичного завдання пожежно-рятувальних підрозділів (ПРП). Беручи до уваги виняткову важливість цих проблем необхідно провести моделювання варіантів виникнення і розвитку пожеж різних типів у приміщеннях енергоблоків, поведінки радіонуклідів під час дії високих температур, міграції викидів радіоактивних продуктів згорання в атмосфері й інших середовищах (воді, ґрунті) [3, 4]. Необхідно провести ретельний і детальний аналіз досвіду зняття інших АЕС з експлуатації в провідних країнах світу, а саме:

- науково-технічної документації з пожежної і техногенної безпеки;
- інформації щодо нормативно-технічної документації, пожежного навантаження об'єкта, особливо паливомасливих матеріалів і графітової кладки, що має властивості акумулювати енергію за рахунок ефекту Вігнера;
- стану існуючої системи протипожежного захисту;
- протипожежних заходів під час звільнення реакторів від ядерного палива, його перевезення і зберігання;
- проведення різних вогневих робіт;
- звільнення енергоблоків від вибухопожежнебезпечних і пожежнебезпечних речовин і матеріалів;
- зберігання, транспортування і спалювання горючих радіоактивних відходів [2].

Попередня оцінка показала, що в результаті пожеж під час зняття ЧАЕС з експлуатації можливі наступні негативні наслідки:

- порушення стійкості внутрішніх будівельних і огорожувальних конструкцій, їх обвалення, що супроводжується викидом у навколишнє середовище значних кількостей радіоактивних речовин;
- порушення в роботі і навіть повний вихід з ладу систем контролю і підтримки ядерної та радіаційної безпеки, а також системи забезпечення, у першу чергу, електропостачання;
- створення загрози для життя і здоров'я персоналу ЧАЕС від впливу вогню, високих температур, швидкого поширення диму і продуктів горіння;
- збільшення дозових навантажень на персонал і особовий склад ПРП, що беруть участь у гасінні пожеж;
- втрата матеріальних цінностей.

Не виключений розвиток у будівлі ЧАЕС об'ємних пожеж, що можуть призвести до створення в повітряному просторі залу аерозолів продуктів розпаду і можливості виходу їх у навколишнє середовище. Тому постає важливе питання здійснення організаційно-технічних заходів, що відповідають зміненому стану ЧАЕС відносно забезпеченню пожежної і техногенної безпеки, утриманню підрозділів ПРП і їх взаємодії з іншими аварійно-рятувальними службами, технічному забезпеченню систем протипожежного захисту та їхньої працездатності, навчанню персоналу правилам пожежної і радіаційної безпеки тощо. Так само залишаються не вирішеними проблеми, пов'язані з питаннями відключення систем безпеки під час демонтажу устаткування, особливості тактики ведення пожежно-рятувальних робіт, тактики і складом речовин щодо гасіння ядерного палива, забезпечення персоналу засобами індивідуального захисту, проведення тренувань і навчання персоналу і ПРП, зростання кількості вогнебезпечних робіт, ролі людського фактора тощо.

Література:

1. Азаров С.І., Святун О.В., Сорокін Г.А. Екологічна безпека при знятті з експлуатації Чорнобильської АЕС. Екологія і ресурси. 2004. № 10. С. 72–76.
2. Бабич Е.В., Азаров С.И. Возможные варианты утилизации отработанного реакторного графита при выводе энергоблоков ЧАЭС из эксплуатации. Наук. та технічні аспекти Міжнародного співробітництва в Чорнобилі. Зб. наук. ст. 2001. Вип. 3. С. 219–231.
3. Азаров С.І., Святун О.В., Сорокін Г.А. Радіологічні наслідки можливих аварій при виведенні ЧАЕС з експлуатації. Гігієна населених місць. 2004. Вип. 43. С. 331–333.
4. Азаров С.І., Тарапон Г.А., Сидоренко В.Л. Моделирование выкиду радиоактивности при аварии та пожежі на ЧАЭС. Проблемы надзвичайних ситуацій. 2007. Вип. 6. С. 23–29.
5. Азаров С.И., Сидоренко В.Л., Еременко С.А. Проблемы пожарной безопасности при снятии с эксплуатации Чернобыльской АЭС. Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сб. тез. докл. V Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 8–10 июля 2009 г.). Минск, 2009. Т. 1. С. 41–44.

Інформація про авторів:

Сидоренко Володимир Леонідович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри профілактики пожеж та безпеки життєдіяльності населення Інституту державного управління у сфері цивільного захисту
e-mail:generals2007@i.ua.

Азаров Сергій Іванович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Інституту ядерних досліджень НАН України,
e-mail:azarovski@i.ua.

Annex for papers written in Ukrainian and Russian

A number of measures are being carried out at the stage of preparation of the unit LWGR-1000 before decommissioning. The danger of graphite radioactive waste accumulated during the operation of power units, perspective methods of handling it is presented. The probability of occurrence of bulky fires in the premises and their consequences is presented. The task of the necessity of conducting researches of physical and chemical processes that can become the causes of radiation accidents, creation of the database for estimation and prediction of the post-radiation condition, as well as the development of managerial decisions of operational-tactical tasks of fire and rescue services is set.

ОЦІНКА СТАНУ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТА "УКРИТТЯ"

Сидоренко В., Азаров С.

Об'єкт «Укриття» – це складна технічна споруда, що локалізує значну кількість радіоактивних речовин, які вийшли з-під контролю внаслідок аварії на 4-му блоці Чорнобильської АЕС у 1986 році. Його слід розглядати як особливу систему, що має кілька джерел небезпеки – ядерної,

радіаційної, пожежної, загальнотехнічної, але включає в себе лише один захисний бар'єр – зовнішнє покриття (оболонку) без будь-яких внутрішніх інженерних протипожежних перешкод або розривів. Аналогів цієї споруди немає ніде у світі, але вона не відповідає міжнародним вимогам щодо ядерної, радіаційної та загальнотехнічної безпеки [1]. Зовнішні захисні конструкції унеможливають вихід лише радіоактивних хімічних елементів, викид яких із зони реактора стався під час аварії. Загальна радіоактивність цих елементів становить більше 2,5 МКі, в тому числі ізотопів ^{137}Cs – 1,3 МКі та ^{90}Sr – 0,7 МКі. Наявне значне пожежне навантаження (майже 2000 т горючих матеріалів) [2–4]: низький рівень пасивного протипожежного захисту; огорожувальні конструкції мають невідомі показники вогнестійкості та неспроможні локалізувати пожежу; багато решток розгалуженої системи вентиляції, ліфтів, сходових маршів, а також кабельних каналів і шахт, що дозволяють швидке розповсюдження вогню.

Назагал це дає підстави стверджувати, що ймовірним є виникнення та швидке поширення пожежі на об'єкті, що може призвести до руйнування фізичних перешкод, порушення герметичності та виходу радіоактивних продуктів горіння за межі об'єкта. Протягом 1986–2016 років на об'єкті сталося сім пожеж [5, 6]. Найбільш небезпечними з них були пожежі в приміщеннях 402/3; 403/3-4 і 805/3 (табл. 1).

Особливо складними були пожежі в приміщеннях 402/3, 403/3-4 та 805/3, що тривали близько 7 годин та в гасінні яких брали участь 282 особи, 47 з них одержали дозу опромінення більше 20 бер. Протипожежний стан об'єкта залишається тривожним, тому що зберігається велика кількість горючих матеріалів, зокрема [7, 8]: 1) 170 т графітових блоків та їхніх уламків; 2) близько 1400 т змішаних матеріалів, до складу яких входять 489 т каучуку та 140 т інших горючих полімерів; 3) десятки тонн пірофорного пилу з палива та графіту; 4) ізоляційні покриття кабельних систем; 5) фарба на стінах та на технологічному обладнанні; 6) більше 100 т горючих будівельних відходів (паперові й дерев'яні ящики, мішки, комбінезони, парашути тощо); 7) більше 10 т горючого «сухого» залишку з органічних компонентів: полівінілового спирту (ПС-32, ВЛ-85-03), бутадієнстирольного латексу (СКС-65гп) та сополімера акрилату, водні розчини яких використовувалися для придрушення пилу. Всі горючі матеріали, що становлять пожежне навантаження, можна розділити на первинні та вторинні. До первинних належать матеріали, згадані вище, до вторинних – газоподібні продукти радіаційного розкладу води й полімерів, а також радіаційні пилородібні матеріали.

Таблиця 1 – Характеристики пожеж на об'єкті "Укриття"

Час	Місце загоряння	Горючий матеріал	Причина пожежі	Тривалість пожежі
14 год 40 хв 23.05.1986	Приміщення 402/3, 403/3-4, позн. 12.50	Кабелі силових збірок, пластикат, мастильна олива	Коротке зами- кання в силовому кабелі	~ 7 год
17 год 53 хв 14.02.1988	Приміщення 201/3, позн. 6.00	Демонтована ка- бельна продукція, сміття і пластикат	Електрозва- рвальні роботи	1,5–2 год
10 год 05 хв 19.02.1988	Приміщення 207/4, позн. 6.00	Дошки (відходи), сміття у венти- ляційному коробі	Іскра від електро- зварювання	0,5 год
17 год 45 хв 17.10.1988	Приміщення 402/3, позн. 12.50	Будівельне сміття, пластикат	Електрозва- рвальні роботи	0,3 год
1 год 00 хв 09.11.1992	Приміщення Г-359/1, позн. 10.00	Ізоляція кабелю приладу	Коротке зами- кання	0,1 год
8 год 25 хв 14.01.1993	Приміщення 805/3, позн. 31.50	Дерев'яні шпальні клітини та ізоляція кабелю в метале- вому коробі	Тепловий вплив електроламп тимчасового освітлення	> 6 год
10 год. 20 хв. 23.02.1996 р.	Приміщення Г-284/4, позн. 5.80	Будівельне сміття, пластикат	Іскра від електрозва- рювання	0,3 год

Аналіз характеристик більшості первинних горючих матеріалів не становить особливих труднощів, а вторинні вивчені недостатньо. Необхідно виконати глибші дослідження механізму утворення газоподібних продуктів і пилоподібних частинок, а також умов, за яких їх горіння та вибух піддаються регулюванню. Залишається не до кінця з'ясованою й роль води у процесах утворення вторинних горючих матеріалів. Крім того, під дією радіації із залишків реакторного графіту, ізоляції проводів, пластифікатів можуть утворюватися пожежовибухонебезпечні гази. Враховуючи, що в приміщеннях об'єкта міститься майже 2000 т органічних полімерних матеріалів (поліетилен, полівініловий спирт, полівінілхлорид тощо), в процесі їх деструкції також утворюються горючі й токсичні гази. Кількість їх залежить від структури полімерів, рівня радіації та інших складових процесів опромінювання. У табл. 2 представлено характеристики речовин та матеріалів, що є потенційними джерелами утворення вибухонебезпечних газів.

У табл. 3 представлені результати розрахунку швидкості виходу водню під час взаємодії ядерного палива з водою.

Таблиця 2 – Характеристики речовин і матеріалів, що є потенційними джерелами утворення вибухонебезпечних газів

Найменування речовини або матеріалу	Кількість, тонн (м ³)	Група забрудненості	Примітка
Паливомісткі матеріали	(192)	III	I група – слабоактивні (до 30 мбер/год); II група – середньоактивні (від 30 до 1000 мбер/год); III група – високоактивні (понад 1000 мбер/год)
Тепловідляючі стрижні	60	III	
Окремі фрагменти твелів	13–36	III	
Паливний пил	~40	III	
Реакторний графіт	(320)	III	
Радіоактивна вода	(3100)	I–III	
Ізоляція кабелю	250	II–III	
Пластикат	160	II–III	
Будівельне сміття	~10	II–III	
Органічні компоненти системи пілопригнічення в сухому стані	6	II–III	

Таблиця 3 – Результати розрахунку швидкості виходу водню під час взаємодії ядерного палива з водою

Параметр	Питома активність, Бк/кг			Вихід радіометричного водню, м ³ /год
	q_a	q_b	q_r	
Ядерне паливо	$6,52 \cdot 10^3$	$8,31 \cdot 10^3$	$4,1 \cdot 10^5$	$5,5 \cdot 10^{-4}$
Паливний пил	$3,65 \cdot 10^3$	$4,28 \cdot 10^3$	$3,6 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^{-4}$
Паливомісткі матеріали	$5,2 \cdot 10^2$	$7,9 \cdot 10^2$	$2,0 \cdot 10^4$	$9,8 \cdot 10^{-4}$

З табл. 3 випливає, що сумарний вихід радіолітичного водню не перевищує $1,4 \cdot 10^{-4}$ м³/год з площі поверхні води 1 м² над паливної пилом, що злежався і $5,5 \cdot 10^{-4}$ м³/год над шаром ядерного палива. Видно, що для води, що міститься в порах і тріщинах паливомісткі матеріали вагою в 1 т, швидкість утворення водню не перевищує $9,8 \cdot 10^{-3}$ м³/год. Велику пожежну небезпеку становить також радіоактивний пил з палива та графіту. За оцінками експертів у приміщеннях об'єкта накопичилося близько 10 т такого пилу, що перебуває як в осілому, так і в збуреному стані. Натурні дослідження доступних місць об'єкта показали, що радіоактивний пил є [9] в шахті й колишньому реакторі та приміщеннях під ним (540/2, 305/2); у південних та північних барабанах-сепараторах і на покрівлі; під західною стіною об'єкта. До радіоактивного пилу належать частинки паливної матриці з легкими радіонуклідами (ізотопи цезію, рутенію тощо), які за розміром поділяються на великі (10–30) мкм, середні (5–10) мкм й дрібні (1–5) мкм, а також тверді частинки, радіоактивність яких обумовлена адсорбцією осколочних радіонуклідів [10]. Такий пил є пожежонебезпечним. Для пилу, що перебуває в збуреному стані, нижня концентраційна межа спалахування становить (29–32) г/м³, а температура спалахування – (700–800) °С. Коли він перебуває в осілому стані, то має температуру спалахування (160–230) °С, а температуру самоспалахування – (550–620) °С [11].

Результати наведених вище досліджень можна використати для оцінки безпеки ряду приміщень за консервативним методом. В цілому результати аналізу дозволили узагальнити дані щодо пожежного навантаження й рівня пожежовибухонебезпеки приміщень об'єкта, що в подальшому можна використовувати для оцінки ризику появи техногенної аварії та її екологічних наслідків.

Література:

1. Азаров С.И. Величины и оценка критериев и факторов, определяющих статус объекта "Укрытие" по пожарной безопасности. Итоги 10 лет работ по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС: тез. докл. V Междунар. науч.-техн. конф. Зеленый Мыс, 1996. С. 140–141.
2. Азаров С.И., Б.С. Назаренко Статус объекта "Укрытие" по взрыво- и пожаробезопасности. Пожежна безпека: матер. III наук.-практ. конф. Киев, 1997. С. 141–142.
3. Азаров С.И., Бабич Е.В., Бачинский В.С. Анализ пожарной опасности объекта "Укрытие". Наукові та технічні аспекти Міжнародного співробітництва в Чорнобилі: зб. наук. статей. Славутич: Укратомиздат, 2000. С. 409–417.
4. Азаров С.И., Перімов Р.Р. Стан пожежної безпеки об'єкта "Укриття". Пожежна безпека. 2004. № 5(56). С. 32–33.
5. Азаров С.И., Бабич Е.В. Моделирование развития пожара на объекте "Укрытие". Пожежна безпека: матер. наук.-практ. конф. Черкаси, 1999. Ч. 1. С. 156–158.
6. Азаров С.И., Токаревский В.В. Прогноз радиационной обстановки при пожаре на объекте "Укрытие". Весті нац. акад. наук Беларусі. Сер.: "Фізико-технічних наук". 1999. № 1. С. 137–141.
7. Азаров С.И. Анализ поражающих факторов при пожарах в объекте "Укрытие". Атомная энергия. 2001. Т. 90. Вып. 4. С. 296–304.
8. Азаров С.И. Анализ опасных и вредных факторов при пожаре на разрушенном IV энергоблоке ЧАЭС. Ядерная и радиационная безопасность. 2001. Т. 4. Вып. 4. С. 58–63.
9. Азаров С.И. Сорокин Г.А. О риске радиационного поражения спасателей при тушении пожара на объекте "Укрытие". Пожарная безопасность. 2004. № 2. С. 98–107.
10. Литвинов Ю.В. Азаров С.И., Сидоренко В.Л. Оцінка радіаційного впливу при гасінні пожеж на об'єкті "Укриття". Збірник наукових праць СНУ-ЯЕтаП. 2013. № 2(46). С. 125–133.
11. Азаров С.И., Литвинов Ю.В., Сидоренко В.Л., Єременко С.А. Оцінка дозових навантажень за рахунок радіоактивних продуктів згоряння при пожежі в об'єкті "Укриття". Матер. XV Всеукр. наук.-практ. конф. рятувальників (Київ, 24–25 вересня 2013 р.). Київ: МВЦ, 2013. С. 197–199.

Інформація про авторів:

Азаров Сергій Іванович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Інституту ядерних досліджень НАН України
e-mail: azarovsi@i.ua.

Сидоренко Володимир Леонідович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри профілактики пожеж та безпеки життєдіяльності населення Інституту державного управління у сфері цивільного захисту
e-mail:generals2007@i.ua.

Annex for papers written in Ukrainian and Russian

The dangers of the "Shelter" object are presented, characteristics and analysis of the fires that took place on it. The fire status of the "Shelter" object is analyzed; the characteristics of substances and materials that are potential sources of explosive gas formation are given. The results of calculating the rate of hydrogen yield during the interaction of nuclear fuel and water are presented. The results of the above studies can be used to assess the safety of a number of premises by conservative method.

ОГЛЯД ПРОЕКТУ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ЯДЕРНОГО АВАРІЙНОГО РЕАГУВАННЯ ПРОДОС В УКРАЇНІ

Синкевич Р. О.

У системах підтримки прийняття рішень на аварійні ситуації, що виникають на атомних станціях, вирішальне значення набуває швидкість та обмін інформацією, щодо самої аварії та контр заходів які потрібно провести. У зв'язку з цим було виконано покращення Національної системи ядерної безпеки шляхом постачання, інсталяції та адаптації до умов українських АЕС системи JRODOS [1]. До тогож була розроблена і реалізована схема обміну даними між всіма кризовими центрами і атомними станціями.

Сама система JRODOS включає в себе:

1. Рівень 0: огляд і перевірка радіологічних даних разом з географічною й демографічною інформацією й подання їхнім особам, які приймають рішення.

2. Рівень 1: аналіз і прогнозування поточної й майбутньої радіологічної ситуації, що базується на інформації про джерело викиду, даних моніторингу (радіологічного, метеорологічного) і даного розрахунків моделей.

3. Рівень 2: моделювання потенційних контрзаходів (наприклад, укриття, евакуація, поширення йодних таблеток, переселення, дезактивація, заборона на окремі продукти харчування) для визначення їхньої ефективності, переваг і недоліків.

4. Рівень 3: оцінка й ранжирування альтернативних стратегій контрзаходів за рахунок балансування їхніх переваг і недоліків (наприклад, витрати, відвернена доза, зниження стресів), беручи до уваги вимоги осіб, які приймають рішення.

У кожному кризовому центрі (НАЕК Енергоатом та ДІЯР України) на кожній АЕС була встановлена система JRODOS (рис. 1). Крім того, на базі Українського Гідрометцентру був створений Центр прогнозування наслідків радіаційних аварій (ЦПНРА), в якому також встанов-

лена система JRODOS. ЦПНРА також відповідає і за постачання даних метеорологічних прогнозів локалізованих для умов українських АЕС. Локалізовані метеорологічні прогнози розраховуються у 100 км зоні навколо кожної із українських АЕС за допомогою прогностичної системи WRF-Україна, яка здійснює прогнозування на підставі автоматизації розрахунків мезомашнабної моделі WRF [2], та вільно розповсюджуваних даних глобального прогнозу погоди [3]. Були проведені дослідження щодо налаштування WRF для умов кожної з АЕС (наприклад, [4]) та показано, що здійснення локалізованого гідрометеорологічного прогнозу дозволяє спрогнозувати локальні гідрометеорологічні явища, такі як адаптація повітряного потоку до неоднорідностей місцевості, бризові циркуляції, тощо. Прогностична гідрометеорологічна інформація автоматично оновлюється та відправляється до усіх клієнтів системи JRODOS, тобто до усіх кризових центрів і на АЕС.

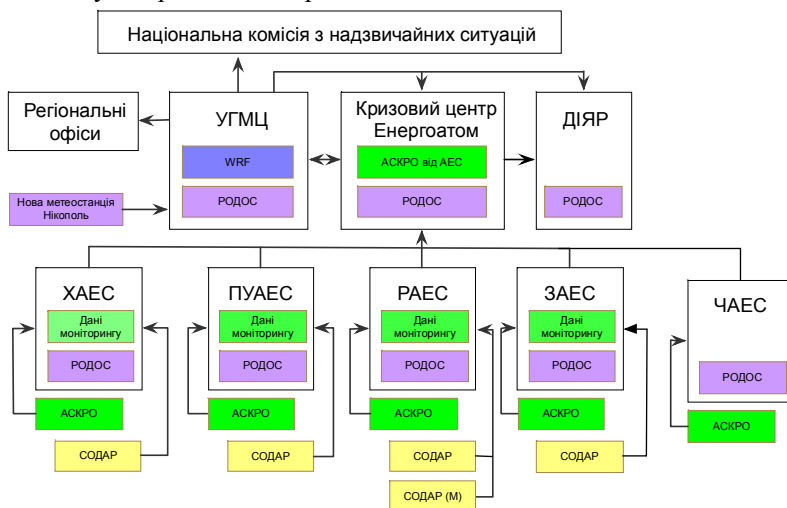


Рис 1. Схема взаємодії всіх учасників системи ядерного реагування JRODOS в Україні

АЕС відправляють дані радіологічного моніторингу, дані автоматичних метеорологічних станцій та дані СОДАР (акустичний прилад, який вимірює швидкість вітру на різних висотах та термодинамічну структуру нижніх шарів атмосфери) до кризового центру в Енергоатом, а потім ці дані потрапляють до кризового центру у Гідрометцентрі та у бази даних систем JRODOS. Гідрометцентр також володіє даними метеорологічних станцій, як автоматичних, так і не автоматичних. У даний час здійснюється робота щодо інтеграції цих даних у БД JRODOS. Дані метеорологічних станцій та СОДАРів, на-

явні у БД JRODOS, можуть бути використані при проведенні розрахунків системою JRODOS на робочих місцях, як у діагностичному режимі, так і у режимі асиміляції даних [5]. Усі учасники мають можливість обмінюватися результатами розрахунків окремих сценаріїв розвитку ситуації при аваріях.

На даний час система JRODOS була неодноразово використана, зокрема, під час тренувань з ядерної радіаційної безпеки, проведених на ХАЕС, у період пожеж у Чорнобильській зоні відчуження у квітні-травні 2015 р. [6], під час радіаційних інцидентів за межами України (наприклад, після ядерних іспитів у КНДР [7]), у період пожежі на нафтобазі у Василькові [8] тощо. Досвід використання цієї системи підтвердив її величезну перспективність щодо покращення реагування на радіаційні та інші техногенні екологічні аварії в Україні.

Література:

1. RODOS re-engineering: aims and implementation details / Y. Ievdin, D. Trybushny, M. Zheleznyak [et al.] // Radioprotection. – 2010. – Vol. 45, N 5. – P. 181–190.
2. Rutledge G. NOMADS – a climate and weather model archive at the National Oceanic and Atmospheric Administration / G. Rutledge, J. Alpert, W. Ebusizaki // Bulletin of the American Meteorological Society. – 2006. – Vol. 87. – P. 327–341.
3. A description of the advanced research WRF version 3. [Електронний ресурс] / W.C. Skamarock, J.B. Klemp, J. Dudhia [et al.] // NCAR Technical Note NCAR/TN-475+STR. – USA, Boulder: National Center for Atmospheric Research, 2008. – 125 p. – Режим доступу: <http://wrf-model.org/>
4. Халченков А.В., Ковалец И.В., Романенко А.Н. Адаптация метеорологической модели WRF для прогнозирования полей ветра вокруг Ривненской АЭС // Математичні машини та системи. – 2015. - №1. – С. 130-137
5. Andronopoulos S., Ievdin I., Kovalets I., Anulich S., 2015. New functionalities developed in the NERIS-TP project regarding meteorological data used by Decision Support Systems // Radioprotection [accepted]
6. Ковалец И.В. Романенко А.Н., Анулич С.Н., Евдин Е.А. Прогноз радиационной обстановки во время пожара в Чернобыльской зоне отчуждения с использованием системы JRODOS // Зб. Пр. 10-ї дистанційної науково-практичної конф. з міжнар. участю “Системи підтримки прийняття рішень – СППР 2015”, (Київ, 08 червня 2015 р.). – Київ: ПІММС НАН України. – С.62-65.
7. Використання системи JRODOS під час ядерних іспитів у КНДР [ел. ресурс]. - Режим доступу: <https://www.facebook.com/photo.php?fbid=575895515898936&set=a.484689331686222.1073741827.100004354778384&type=3&theater>
8. Використання системи JRODOS під час пожежі на нафтобазі у Василькові [ел. ресурс]. – Режим доступу: <https://www.facebook.com/photo.php?fbid=500258883462600&set=a.484689331686222.1073741827.100004354778384&type=1>

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНОГО ҐРУНТУ ТА ПИЛУ

Сімейко К. В.

У результаті аварії на АЕС Фукусіма у рамках дезактивації зрізали верхній шар радіоактивно зараженого ґрунту, який завантажували у великі чорні пластикові мішки. Більш ніж 19,8 метрів кубічних зараженого ґрунту (достатньо, щоб заповнити 6000 басейнів для плавання) зберігається на місцевих полях у Японії (рис. 1). Більше 700 мішків ґрунту, який містить ізотопи радіоактивного цезію, були змиті у наслідок паводку 2015 року, деякі мішки були знайдені у річках за 150 кілометрів від станції [1].

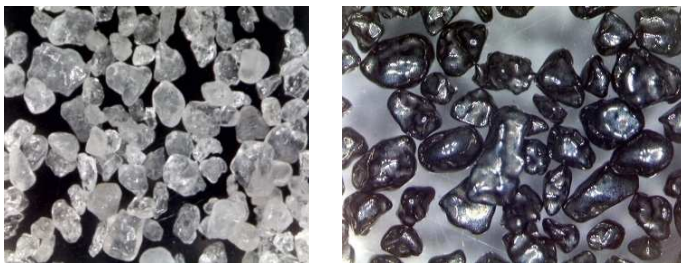


Рис. 1. Мішки з радіоактивно забрудненим ґрунтом після аварії на АЕС Фукусіма [2,3].

Зона відчуження Чорнобильської АЕС містить достатньо велику кількість радіоактивно зараженого ґрунту, є місця де людина не зможе жити більше ніж тисячі років. В особливо забруднених місцях спочатку знімали ґрунт, потім це місце засипали піском, гравієм і бруківкою, іноді бетонували. У деяких місцях товщина бетону досягала одного метра. Ґрунт і радіоактивні уламки ховали в окремих місцях [4]. Основним методом знезараження радіоактивно забрудненого ґрунту є захоронення. Радіоактивно забруднений пил є одним з найбільш небезпечних джерел іонізуючого випромінювання [5-6]. Враховуючи вищесказане дослідження направлені на знезараження радіоактивно забрудненого ґрунту та пилу є актуальними.

Дослідження, що ведуться у Російській Федерації (РНЦ «КИ», ВНИИАМ, НПО «ЛУЧ», ОКБ «Гидропресс») показують, що піровуглець має радіаційну та корозійну стійкість, а також має властивість стримувати продукти ділення ядра атому під час ланцюгової реакції [7-8]. Основною ідеєю технології є покриття (капсулювання) радіоактивно зараженого ґрунту та пилу піровуглецем, який утворюється в результаті процесу піролізу вуглеводневих газів. Капсульований піровуглецем радіоактивно забруднений ґрунт та пил у теорії не представлятиме радіаційної небезпеки. Як приклад, його можна буде використовувати як складової бетону для фундаменту будівель або підводної частини мостів (оскільки витік радіації можливий при горінні піровуглецевого покриття). Під час процесу капсулювання піровуглецем утворюється водень, використання якого у різних технологічних процесах дозволить окрім екологічної складової мати й економічну.

В Інституті газу НАН України створені установки для одержання піровуглецю піролізом вуглеводневих газів [9-10]. Проведено ряд досліджень, які дозволяють осаджувати піровуглець на частинки кварцевого піску (рис. 2) [10-13]. Завдяки впливу плазми мікророзряду та напруженості поля [14] одержано матеріал з широким спектром вмісту піровуглецю (від 2 до 97%_{мас.}).



а

б

Рис. 2. Кварцевий пісок:

а - чистий, б - капсульований піровуглецем

Для підтвердження можливості знезараження радіоактивно забрудненого ґрунту та пилу, вибору оптимальних технологічних параметрів та визначення екологічної складової технології необхідно провести ряд досліджень з радіоактивними матеріалами.

Література:

1. 5 лет после аварии на "Фукусиме": как Япония решает проблему ядерных отходов. <https://www.segodnya.ua/world/5-let-posle-avarii-na-fukusime-kak-yaponiya-reshaet-problemu-yadernyh-othodov-697957.html> [Електронний ресурс]
2. Arkadiusz Podniewski: «Fukushima». <https://www.podniewski.pl/portal/fukushima/> [Електронний ресурс]

3. Радиоактивный грунт в Фукусиме начали перемещать в промежуточное хранилище. <http://www.atomic-energy.ru/news/2015/03/30/55816> [Электронный ресурс]

4. Дезактивация Припяти: как территорию вокруг АЭС «отмывали» от радиации. <https://mir24.tv/news/14294796/dezaktivaciya-pripyati-kak-territoriyu-vokrug-aes-otmyvali-ot-radiacii> [Электронный ресурс]

5. Основы ликвидации последствий аварий на радиационно-опасных объектах / В. И. Ушаков. – «Издательские решения», 2017. – 26 с.

6. Антонова М.Ю. Реакции бронхо-легочной системы у ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС в отдаленные сроки М.Ю. Антонова Медицина труда и промышленная экология. 2005. №3. С. 8-13.

7. Филиппов Г.А. Исследование коррозионной стойкости и целостности оболочек микросферических топливных элементов из карбида кремния и пироуглерода применительно к условиям работы легководных реакторов АЭС при нормальных и аварийных режимах. / Г.А. Филиппов // Вопросы атомной науки и техники. – выпуск 25.– 2009. – С. 28–43.

8. Перспективы развития микротвэлов в ВВЭР [Пономарев Степной Н.Н., Кухаркин Н.Е., Хрулев А.А. и др.] Атомная энергия. –1999. –т. 86, вып. 6. – С. 443–449.

9. Пат. 86131 Україна, МПК (2013.01) B01J 8/18(2006.01), B01J 12/00. Реактор для високотемпературних процесів / В.О. Богомолов, Б.І. Бондаренко, О.П. Кожан, К.В. Семейко; заявник і патентовласник: Інститут газу НАН України. – № u201309320; заявл. 25.07.2013; опубл. 10.12.2013, Бюл. №23. – 7 с.

10. Пат. 83147 Україна, МПК C10G 9/32 (2006.01). Реактор для піролізу газоподібних вуглеводнів / В.О. Богомолов, Б.І. Бондаренко, О.П. Кожан, К.В. Семейко; заявник і патентовласник: Інститут газу НАН України. – № u201303318; заявл. 18.03.2013. опубл. 27.08.2013, Бюл.№16. – 7 с.

11. Богомолов В.А. Капсулирование кварцевого песка пироуглеродом в электротермическом псевдоожигенном слое / В.А. Богомолов, А.П. Кожан, Б.И. Бондаренко, А.И. Ховакко, К.В. Семейко // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2013. – № 5. – С. 36–40.

12. Семейко К.В. Использование электротермического псевдоожигенного слоя в качестве внешнего нагревательного элемента реактора / К.В. Семейко // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2015. – № 1. – С. 58 – 64.

13. Семейко К.В. Исследование процесса осаждения твердого углерода при пиролизе углеводородных газов / К.В. Семейко, В.К. Безуглый, А.П. Кожан, Б.И. Бондаренко // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2015. – № 2. – С. 18 – 24.

14. Simeiko K. Thermal influence of microdischarge plasma on the process of receiving of quartz sand encapsulated by pyrocarbon / K. Simeiko // Proceedings of the National Aviation University. – 2014. – N 2. – P.131 – 135.

Інформація про автора:

Сімейко К.В. - к.т.н., Інститут газу НАН України, м. Київ
вул. Дегтярівська, 39, 03113 Київ, Україна
e-mail: k_simeyko@ukr.net

Annex for papers written in Ukrainian and Russian

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR THE DISINFECTION OF RADIOACTIVELY CONTAMINATED SOIL AND DUST

Simeiko K. V.

As a result of the accident at the Fukushima nuclear power plant, upper layer of radioactively contaminated soil, which was dipped into big black plastic bags, has been cut for deactivation. More than 19.8 cubic meters of infected soil are stored on the local fields of Japan. Chernobyl exclusion zone contains a fairly large amount of radioactively contaminated soil. There are some places where human will not be able to live for more than thousand years. Radioactively contaminated dust is one of the most dangerous sources of ionizing radiation.

Pyrocarbon has radiation and corrosion resistance. The main idea of the technology is coating (encapsulation) of radioactively contaminated soil and dust by pyrocarbon which are formed as a result of pyrolysis of hydrocarbon gases. Radioactively contaminated soil and dust, which are encapsulated by pyrocarbon, theoretically won't constitute a radiation hazard. Hydrogen, which is formed during the encapsulation can be used in different technological processes. It will allow to have not only ecological component, but also economic.

There are plants which created at the Gas Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine. They allow to receive pyrocarbon through pyrolysis of hydrocarbon gases.

Series of studies that allow to receive pyrocarbon precipitated on quartz sand particles were made. The material with a wide spectrum of pyrocarbon content (from 2 to 97% by mass) was obtained due to influence of the plasma of microdischarges and field strength.

It is necessary to do research with radioactive materials for confirmation of disinfection of radioactively contaminated soil and dust.

Authors' Information

Simeiko K. V. - Candidate of Technical Science

The Gas Institute of National Academy of Science of Ukraine, Kiev

39, Degtyarivska Str., 03113 Kiev, Ukraine

e-mail: k_simeyko@ukr.net

РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЕКТУ СТВОРЕННЯ ПРОМИСЛОВОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Скакаліна О. В.

Модернізація і перехід національної економіки на інноваційний вектор розвитку, зростання рівня та якості життя населення складають комплекс стратегічних задач, рішення котрих вимагає пошуків ефективних моделей управління. Ці моделі управління повинні бути адекватними в сучасних умовах господарювання. Важливу роль у цих процесах має підвищення ефективності управління пулами обмежених ресурсів - фінансо-

вих, інвестиційних, людських, управлінських, матеріальних. Аналізуючи успішний світовий досвід вирішення подібних проблем приходимо до висновку, що саме застосування проектного підходу до процесу управління сприяє цьому успіху. Згідно даних Міжнародної асоціації управління проектами (IPMA, International Project Management Association) застосування методології та інструментарію проектного управління дозволяє зекономити 20-30% часу і 15-20% грошових коштів. Починаючи з 2011 року при Офісі прем'єр-міністра Великої Британії був створений Департамент пріоритетних проектів (Major Projects Authority). В його основні функціональні обов'язки входить забезпечення підтримки управлінських процесів, формування та розвиток компетенції управління проектами і програмами. Аналогічні структури діють в Японії, США, багатьох інших країнах. Існують національні стандарти для управління проектами в державному секторі (у Великій Британії – PRINCE2, Projects In Controlled Environments, у США – PMPMBOK Government Extension). В цілому слід зазначити, що затребуваність проектних методів управління в світовій практиці зростає дуже стрімко. Спостерігається тенденція зростання інвестицій до мегапроектів. Можна дати таке визначення проектного управління – це особливий вид діяльності, котрий може застосовуватися до управління будь-якого об'єкту, а не тільки такого, що має явні ознаки проекту.

До основних ознак проекту можна віднести наступні:

- наявність конкретної мети, що направлена на вирішення певної проблеми;
- чітко визначені часові рамки реалізації;
- обмеженість ресурсів (фінансових, матеріальних, людських) на його реалізацію;
- наявність команди проекту;
- певна унікальність, неповторність.

Реалізація проектів потребує створення відповідної системи управління та проходження наступних етапів[1]:

1. аналізу ситуації з врахуванням особливостей предметної області – аналітичного;
2. побудови ієрархії цілей та задач - концептуального;
3. відбору ефективного інструментарію;
4. декомпозиції основної мети до рівня задач та порядку їх вирішення;
5. бюджетування проекту;
6. визначення критеріїв ефективності реалізації проекту, очікуваних показників і методів їх оцінки.

Сонячна енергетика – одна з галузей альтернативної (відновлюваної) енергії, що розвиваються найбільш динамічно. Але термін окупності інвестицій в процес створення проектів побудови сонячних електрос-

танції становить 5-7 років, а для приватних (домашніх) сонячних електростанцій – до 10 років. Будівництво сонячних електростанцій є технічно складним проектом, що потребує досить великих капітальних інвестицій і витрат часу. Для зменшення потенційних ризиків необхідно виконання всього комплексу робіт з проектного інжинірингу, включаючи передпроектні роботи. В Україні річне надходження сонячного випромінювання перебуває на одному рівні з країнами, які активно використовують сьогодні сонячні колектори (Швеція, Німеччина, США тощо). Уся територія України придатна для розвитку систем теплопостачання з використанням сонячної енергії. Згідно з картою сонячного випромінювання, найперспективнішими регіонами країни для розвитку сонячної енергетики є Кримський півострів та степова Україна (рис. 1).

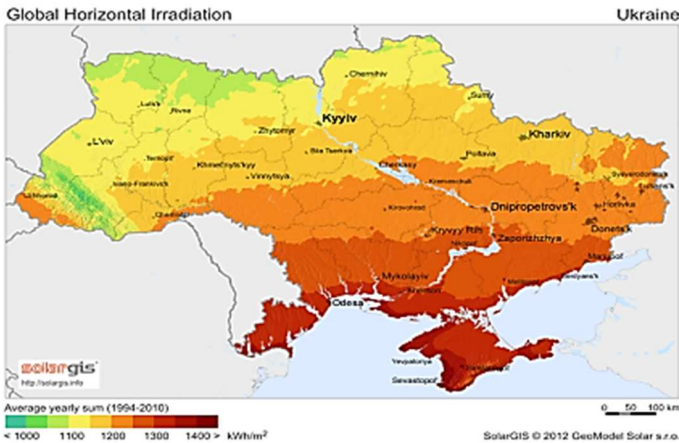


Рис. 1. Карта сонячноговипромінюванняУкраїни

Основні фази реалізації типового PV проекту [2]:

- 1) попереднє ТЕО;
- 2) ТЕО;
- 3) Тендерний проект;
- 4) Закупівлі;
- 5) Будівництво;
- 6) Введення в експлуатацію;
- 7) Експлуатація.

Отримана ієрархія заноситься до файлу проекту в представленні «Діаграма Ганта». На наступному етапі визначаємо кількість ресурсів та часу. Загальна статистика базового плану проекту має такий вигляд (рис.2).

Статистика проекта для 'Project SES_base.mpp'

	Начало	Окончание
Текущее	Чт 01.06.17	Пт 14.09.18
Базовое	Чт 01.06.17	Пт 14.09.18
Фактическое	НД	НД
Отклонение	0д	0д

	Длительность	Трудозатраты	Затраты
Текущие	337д	5,012ч	\$871,112.00
Базовые	337д	5,012ч	\$871,112.00
Фактические	0д	0ч	\$0.00
Оставшиеся	337д	5,012ч	\$871,112.00

Процент завершения
 Длительность: 0% Трудозатраты: 0%

Закреть

Рис. 2. Статистика базового плана проекту

Загальні результати оптимізації застосування проектного управління при створенні промислової сонячної електростанції наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Кількісні результати проектного управління

	Вартість по видах ресурсів до оптимізації	Вартість по видах ресурсів після оптимізації	Абсолютне значення оптимізації	Коефіцієнт оптимізації
Загальна вартість	\$871,112.00	\$796,014.40	\$75,096.60	8,62%
Вартість трудових ресурсів	\$123,392.00	\$118,174.40	\$5,217.6	4,23%
Вартість матеріальних ресурсів	\$747,720.00	\$677,840.00	\$69,880.00	9,35%
Значення витрат часу	5 012 год	4 820 год	192 год	3,83%

Література:

1. Кожевников С.А., 2016. Проектное управление как инструмент повышения эффективности деятельности органов государственной исполнительной власти // Вопросы территориального развития .-2016.- №5(35).- С.1-17.
2. «Рентехно» - Проекування сонячної електростанції [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://rent techno.ua/ua/services/design.html>.

Інформація про автора:

Скакаліна О.В.- Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, проспект Першотравневий, 24, 36011, Україна

Annex for papers written in Ukrainian and Russian

REALIZATION OF THE PROJECT TO CREATE AN INDUSTRIAL SOLAR POWER PLANT

E. V. Skakalina

Abstract. Project management is always associated with innovation and allows business entities to deviate from traditional standardized technologies and choose only those approaches that they need to achieve maximum efficiency. Project management is a methodology, methodology for modern companies. This leads to a mul-

tiplier in crease in the number of method sand tools for project management, knowledge provided in the for mofmeta-practice. There fore, practical implementation of the application of the project approach has the oretica land applied value. Taking into account the fact that modern solar panels are capable of operating with out additional investment for almost ten years, in the longrun the electricity produced in this way becomes super-profitable. Renewableenergy (RES), which is generally referred to as the energy of the sun, water, wind, biomass, show a positive dynamics of the share in the global energy balance. The capitalization of the national solar energy market exceeds \$ 1.4 billion. Project management is a power ful tool for attracting investment in to the energy sector of Ukraine. The results of the verification of this approach on the example of the project implementation of the construction of a typical solar power plant fully confirmed its expediency.

Authors' Information

E. V. Skakalina- PhD, Department of Computer and Information Technologies and Systems, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Per-shotravnelyiavenue, 24, 36011, Poltava, Ukraine
e-mail: wboss@i.ua

ПЕРЕВІРКА ДІАГНОСТИЧНИХ ОЗНАК ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДЕЯКИХ ВУЗЛІВ ВЕА ТА ДЕА

Соболевська Л. Г., Вольтерс А. О.

Інформаційним сигналам, що супроводжують роботу електроенергетичних агрегатів, властива стохастична періодичність (ритмічність, циклічність). Така періодичність обумовлена роботою ротора, що входить до складу електроенергетичного агрегату. Один із можливих класів випадкових процесів які можуть врахувати таку циклічність є математичні моделі лінійних періодичних випадкових процесів (ЛПВП). Для обробки та аналізу означених інформаційних сигналів, які можуть бути представлені у вигляді кутових спостережень, статистичні методи мають деякі особливості. Наприклад, потрібно ввести визначення функції розподілу, характеристичної функції та моментів, узгоджених з періодичністю, що виникає при розгляді на колі.

Імовірнісний аналіз математичних моделей, що описують процеси вібрацій та нерівномірність зміни обертових моментів, які виникають на валу роторних енергетичних машин, надав можливість теоретично обґрунтувати низку діагностичних ознак, що дозволяють визначити технічний стан окремих вузлів в роторних енергетичних машинах.

На базі результатів дослідження математичних моделей фізичних процесів, що супроводжують роботу вузлів електроенергетичного обладнання, було обґрунтовано параметри інформаційних сигналів, які можуть бути використані для визначення його технічного стану. Це, у свою чергу, зумовило розробку та вибір відповідних статистичних методів, що дозво-

ляють одержувати оцінки параметрів досліджуваних сигналів. Одержані результати послужили теоретичною основою для розробки алгоритмів та програмного забезпечення, які реалізують алгоритми контролю, аналізу технічного стану та діагностики електротехнічного обладнання.

Перевірка діагностичних ознак, отриманих на базі аналізу теорії ЛПВП, за допомогою комп'ютерної програми обробки експериментальних даних, що дозволяють з певною точністю та вірогідністю визначати технічний стан електроенергетичного обладнання. Програма побудована на основі використання системи кривих К. Пірсона для згладжування гістограм.

Експериментальна перевірка розроблених математичних моделей діагностичних сигналів та створеного програмного забезпечення здійснювалась за даними експериментів, що були проведені на таких об'єктах:

- вітроагрегат типу USW 56-100, який випробувався на стенді ДП «ВО Південмаш»;

- дизель-електричний агрегат 10Д100, що випробувався на стенді «ВО завод ім. Малишева»

За результатами статистичної обробки експериментально отриманих даних на дизель-генераторі 10Д100 було досліджено деякі параметри, які в подальшому можуть бути використані в якості діагностичних ознак при проведенні діагностики ЦПГ дизель-генераторів.

Експериментально досліджено вібраційні сигнали у деяких вузлах вітроагрегату. За результатами статистичної обробки цих сигналів одержано їх статистичні оцінки і характеристики, які можуть бути використані в якості діагностичних ознак для визначення технічного стану вітроагрегатів.

Інформація про авторів:

Соболевська Л. Г. - Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

e-mail: sobolevska@atp.in.ua

Вольгерс А. О. - Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Annex for papers written in Ukrainian and Russian

Abstract. On basis of the probabilistic analysis results of physical vibration processes and of speed rotation nonuniformity were validated some of diagnostic symptoms for technical state estimation of several units of rotary electric-power machines.

As a result of spectrum-correlation and histogram analysis of some diagnostic signals, using the statistical diagnostic model information-measuring system, experimentally was validated qualitative and quantitative estimations of diagnostic symptoms.

Keywords: *electric power machine, diagnostic system, statistical signal analyzer.*

Authors' information

*L. G. Sobolevskaya, A. A. Wolters - Kyiv national university of construction and architecture, Povitroflotsky avenue 31, 03037, Kyiv, Ukraine
e-mail: sobolevska@atp.in.ua*

«ЖИВІ» ТЕХНОЛОГІЇ: ВПРОВАДЖЕННЯ В СИСТЕМАХ НАВЧАЛЬНОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ В КП ТА СПЕЦІАЛЬНОГО – НА ОБ'ЄКТАХ ЧАЕС

Степаненко В. (науковий керівник - проф. Власюк Г. Г.)

Як і будь-яка сфера інформаційних послуг, телебачення, а точніше – його технології, стрімко розвиваються. Настільки, що людство не завжди встигає осмислювати: як можна те чи інше використати. Дивитись можна під різними кутами.

В даному матеріалі розглядатиметься впровадження «живих» телевізійних технологій, які можна використати як в навчальному процесі, так і в наукових дослідженнях. Мова йтиме про застосування техніки і технологій здійснення відеотрансляцій через мережу Інтернет в комплексі з навчальною телестудією Кафедри звукотехніки та реєстрації інформації Київської політехніки для підготовки фахівців-телевізійників, а також про можливість перспективного використання таких технологій для віддаленого моніторингу за процесами на об'єктах Чорнобильської АЕС.

Потокове мовлення, трансляція або стрім – це доставка мультимедійних потоків інформації (відео, аудіо) віддаленим користувачам, в режимі реального часу.

Для початку приведемо загальну схему тракту, спільну для всіх реалізацій (рис. 1).

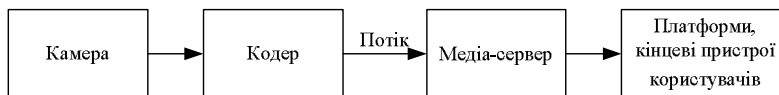


Рис. 1. Схема організації тракту потокового мовлення

В якості камери може використовуватись смартфон, камера відеоспостереження, професійна камера чи будь-яка інша. Кодер здійснює захоплення зареєстрованої інформації та формує потоки медіа, які передаються до медіа-сервера. Він, в свою чергу, розповсюджує контент через плеєри різноманітних платформ та кінцевих пристроїв до користувачів. Тому, в залежності від призначення, до таких серверів висуваються відповідні вимоги щодо кросплатформності й масштабованості.

Розглянемо технології організації потокового мовлення в середовищі, яке стрімко досягає нових рівнів розвитку: мережа Інтернет. Почнемо з найпростіших та наочніших: використання Android-додатків для смарт-техніки, яка використовує базовий та вищі рівні доступної в Україні мобільної інтернет-мережі.

Мобільний додаток IP Webcam перетворює смартфон в веб-камеру з високою роздільною здатністю. Програма передає потік відео через бездротовий зв'язок або мобільну інтернет-мережу. Для цього рекомендовано мати пристрій з ОС Android 4.1 або пізнішої версії. Таким чином, додаток зможе транслювати контент в форматах MPEG-4 й AAC.

Як і більшість аналогів, додаток може змінювати параметри роздільної здатності відео, налаштування передачі та з'єднання, додавати прості ефекти тощо. Його особливістю є графічний інтерфейс серверу, який відкриває розширені функції з налаштування камери, а також виявлення руху. Це – основна функція, яку можна використовувати в цілях безпеки. Перегляд стріму здійснюється за IP-адресою [1].

Додаток Wowza GoCoder на додачу до всього має можливість вибору підключення: використовуючи хмарні технології обчислень Wowza Streaming Cloud або окреме програмне забезпечення Streaming Engine. Останнє налаштовується індивідуально для замовника, тому забезпечує надійну та конфіденційну передачу відео- і аудіо-контенту високої якості на будь-які пристрої. Серед переваг додаток має RTSP-аутентифікацію, технологію адаптивного бітрейту. Існує також можливість задавати бітрейт вручну. В якості транспортних протоколів можуть використовуватися, як TCP, так і UDP протокол [2].

Ще один безкоштовний додаток Larix Broadcaster дозволяє відправляти потоки в форматі H.264/AAC на медіа-сервер по протоколу RTSP поверх TCP. В той же час, більшість аналогів користується протоколом RTMP.

Поява таких програм говорить про те, що користувачі мережі Інтернет будуть все активніше використовувати свої мобільні пристрої для передачі відео- й аудіо-потоків своїм глядачам в реальному режимі часу.

Повертаючись до першого додатку, варто зазначити, що технологія IP-трансляції передбачає потокове мовлення безпосередньо в мережу Інтернет з веб-камери, камери в планшеті або смартфоні. При цьому важливою є наявність каналу з достатньою пропускною здатністю. З камери конвертується IP-потік, а потім через мережеве підключення (модем, Wi-Fi чи мобільний інтернет) доставляється до телецентру, де конвертується з IP-потіку назад в відеосигнал, який і видається в ефір.

З огляду на ситуацію в Україні, іноді зв'язок через інтернет стає єдиним можливим каналом комунікації. Наприклад, на сьогоднішній день для українських телеканалів це – чи не єдиний спосіб включення з окупованого Криму [3].

Потокове передавання зі смартфонів – це одне, але професійні мультикамерні відеоролики, які можна побачити в соціальних мережах Facebook та YouTube, створюються при використанні високопродуктивних відеокамер та зовнішніх відеокордерів.

Наприклад, компанія з виробництва живої музики в Нью-Йорку Soul Kitchen Creative трансливала блок «запитань-відповідей» на одному з форумів у США, використовуючи декілька камер. Контент з яких передавався до комутатора, а звідти – до трансляційної станції Teradek VidiU Pro. Таким чином, вдалося досягти професійного ефірного потоку максимальної роздільної здатності 720p в соцмережі Facebook.

Справді, постачання HD-контенту наживо на платформу соцмережі наразі є простим та доступним. За допомогою кордерів, таких як VidiU Pro, все, що необхідно зробити – це підключити до нього відеокамеру через HDMI, підключити джерело мережі (канал Ethernet, Wi-Fi або 4G USB-модем) та вибрати платформу призначення, щоб розпочати потокове передавання. Як тільки це станеться в мережі, соціальні медіа зроблять все інше [4].

Недоліком продуктів Teradek для здійснення відео трансляцій є необхідність локального підключення до мережі. На противагу ним існує ряд інших моделей від таких компаній, як LiveU та AviWest.

В передавальних блоках, аналогічних, за принципом дії, Teradek, міститься слот для SIM-карток. Тобто, до наведених способів підключення додається мережа стільникового зв'язку.

Технології мобільного інтернету, які активно впроваджуються в Україні останнє десятиліття, щоразу змінюються в бік збільшення пропускної здатності мережі. Отже, якість передачі відеопотоків в ній буде не набагато гіршою за якість при використанні кабельного з'єднання чи мережі Wi-Fi.

Як правило, моделі усіх розглянутих компаній передбачають вивід потоків відео не лише на медіа-сервери в апаратно-студійних комплексах, а й одразу в соціальні мережі та платформи розповсюдження медіа-контенту. Тому збільшення пропускної здатності початкової ланки тракту лише додає переваги над Unicast-трансляціями (лише на одну платформу) зі смартфонів.

В той же час, сервіси окремих моделей передавальних станцій дозволяють об'єднати пропускну здатність з Ethernet, Wi-Fi та декількох підключень 3G/4G/LTE, щоб створити єдину стійку високошвидкісну лінію для забезпечення ще кращої якості, організації надійніших трансляцій з будь-якого місця [5].

Ще однією родзинкою таких зразків є можливість віддаленого налаштування не лише самих стрім-блоків, а й камер, що дозволить зекономити на робочій силі або зменшити вплив середовища зйомки на здоров'я оператора.

Розглянемо організацію трансляцій на прикладі одного з українських телеканалів, який здійснює виробництво на усій її території. Потік даних з камери передається по мобільному інтернет-зв'язку за допомогою трансляційних станцій LU200, на сервери в Ізраїлі. Після чого по глобальній мережі його отримує приймач-сервер LU2000 в серверній апаратно-студійного комплексу.

Медіа-сервер LU2000 має 4 роз'єми SDI-виведення в АСБ з 4-х незалежних передавачів, а також вивід синхронізації (Timecode). Заводяться потоки по Ethernet-інтерфейсу. По каналу VGA сигнали серверу надходять на екран в АСБ до робочого місця інженера прямих трансляцій.

Сам кодер містить до 8 SIM-карток, одна з яких слугує для службового зворотнього зв'язку інженера телецентру з телеоператором на локації. Керування потоками та вивід в ефір здійснюється через веб-інтерфейс LU-Central.

Найбільше витрат для реалізації такої схеми тракту здійснюється для оплати пакетів послуг кількох мобільних операторів, картки якого використовує передавач. Разом з тим, обладнання LiveU та AviWest дозволяють зменшити залежність прямих трансляцій від супутникового зв'язку, обслуговування якого потребує ще більших витратків.

В серпні 2017 року космічна організація NASA здійснювала трансляцію "Велике американське сонячне затемнення", яка була опублікована на кожній соціальній медіа-платформі. Тоді вона досягла 85,9 мільйонів переглядів. Але це було не просто завдяки ретельному плануванню та широкій рекламі перед трансляцією. В ході трансляції відеоролику NASA отримали 296 тисяч коментарів на Facebook, 89 тисяч твіттів та 198 тисяч соціальних публікацій про це. Усі ці дії сприяли просуванню компанії завдяки «живим» відео в мережі Інтернет.

Все це вказує на одну головну річ у прямому ефірі: взаємодія з користувачами є ключовою. Згідно з дослідженням, проведеним компанією Yahoo Live Opportunity, люди відчують себе більш збудженими, дивлячись відео в прямому ефірі в Інтернеті, ніж на відео або трансляції VOD (контент за вимогою). Вміння спілкуватися з глядачами на одному рівні має вирішальне значення: емоційно відреагувати біля телевізійного екрану чекати відповіді – марно, але можна висловити це хвилювання в Інтернеті та одержати однаковий відгук.

Завдяки тому, як власне працює мережа Facebook, коментування та обмін дають змогу переглядати відеоролики на більшій кількості інформаційних панелей людей, що дозволяє швидко виділяти багатьох

активних користувачів-споживачів контенту. І якщо більше людей витрачають більше часу на соціальні медіа, ніж будь-коли раніше, це робить чудову стратегію охоплення глядачів. І, відповідно, їх інформування про цікаві та важливі події [4].

Придбання набору для використання «живих» технологій також дозволить підвищити рівень розвитку студентів, які проходять навчання в галузі телебачення. Говорячи про наші реалії, зауважимо, що впровадження таких в процес навчання «Київського політехнічного інституту ім.Ігоря Сікорського» посилить зв'язки між ним та Славутицькою філією.

Одним і варіантів є співпраця філії зі студентським телебаченням «КПІ-ТВ». За основний розглядається варіант спільної роботи в рамках навчальної телестудії кафедри звукотехніки та реєстрації інформації. За допомогою портативних систем LiveU і Aviwest студенти філії могли б здійснювати виїзди на об'єкти ЧАЕС та проводити там телевізійні трансляції, які прийматиме навчальна телестудія. Також, за допомогою програмних та апаратно-програмних комплексів Wirecast, vMix або Tricaster студенти навчатися обробляти медіапотоки, накладати графіку. Одним словом, виробляти повноцінний телевізійний контент.

Крім того, Славутицька філія в зв'язці з місцевою телерадіоорганізацією «Медіадім» також може виробляти власний повноцінний продукт при використанні обладнання LiveU/Aviwest.

Реалізація таких ідей дозволить не тільки зупинити відтік молоді з міста-супутника Чорнобильської АЕС, але і набуде нового сенсу для міграції молоді з інших міст. Більше того, багато представників мегаполісів, побувавши в Славутичі хоч раз, мають бажання повертатися до міста періодично, хоча б з метою рекреації й туризму.

Пропонується також обмін студентів між Києвом і Славутичем для проходження практики організації трансляцій і, безпосередньо, зйомок сюжетів на природі Полісся, об'єктах Чорнобильської станції, в Київській та Чернігівській областях.

Важливим питанням є контроль роботи об'єктів станції, де зберігаються радіоактивні відходи або проводиться робота з їх відбором. Запуск в Україні технології 4G дозволяє забезпечити віддалений моніторинг місцевості на більш якісному рівні. Досить лише встановити на об'єктах систему описаного вище тракту, яка по бездротовому зв'язку дозволить як спостерігати зміни місцевості в режимі реального часу, так і керувати камерами віддалено з будь-якої точки світу.

Згадуючи доповідь американських колег на конференції INUDECO в 2017 році про систему спеціального телебачення, яка дозволяє будувати 3D-модель приміщення зйомки з її джерелами радіоактивного випромінювання. Особливо цінним, на думку автора, є

симбіоз цих двох технологій з роботизації переміщення камери, що допоможе науковцям з усього світу відстежувати наживо стан різноманітних радіоактивних об'єктів, будь це Чорнобиль або Фукусіма, мінімально витратити цінний людський ресурс.

Як показало дослідження, наразі для організацій, які зацікавлені в підвищенні інформатизації своєї діяльності, найбільш вдалий час для впровадження в своїй структурі технологій потокової передачі в прямому ефірі.

Література:

1. Ваш телефон – ваша веб-камера: обзор IP Webcam – Обзоры Софта. [Електронний ресурс] - Режим доступу до стат.: <https://ergonotes.ru/obzor-ip-webcam>.
2. Поточковий сервер, медиа-сервер – Wowza Live Streaming Software [Електронний ресурс] - Режим доступу до стат.: <https://www.wowza.com/ru-ru/products>.
3. Топ-5: Как интернет преобразил телевидение – Forbes Украина. [Електронний ресурс] - Режим доступу до стат.: <http://forbes.net.ua/business/1369609-top-5-kak-internet-preobrazil-televidenie>.
4. 5 Reasons to Live Stream in 2018 – Teradek, LLC. [Електронний ресурс] - Режим доступу до стат.: <https://www.teradek.com/blogs/articles/5-reasons-to-live-stream-in-2018>.
5. Stream to Facebook Live, YouTube, Periscope, and more – Teradek, LLC. [Електронний ресурс] - Режим доступу до стат.: <https://www.teradek.com/collections/vidiu-family#live-streaming-without-a-pc>

Інформація про авторів:

Степаненко Владислав - НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”, м. Київ

e-mail: mstepanenko@gmail.com

Науковий керівник: проф. Власюк Г.Г. - НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”, м. Київ

Annex for papers written in Ukrainian and Russian

"LIVE" TECHNOLOGIES: IMPLEMENTATION IN THE SYSTEMS OF EDUCATIONAL TV IN KPI AND SPECIAL TV IN CHORNOBYL NUCLEAR POWER PLANT

Vladislav Stepanenko

Abstract: *The Internet is the most trained environment where streaming broadcasting technologies are rapidly reaching new levels of development. You can use simple systems based on smartphones with Android applications and sophisticated hardware and technology complexes for broadcasting. Cellular networks are a feature of the use of broadcasts in Ukraine.*

The article is part of the study of trends in the development of a television studio-production complex, which will be further elucidated in the master's dissertation of the student.

The article synthesizes ideas on the application of live-technologies in the educational process. Considered at a new angle and proposed solutions to a range of issues related to information technology support for decommissioning of nuclear power plants.

Keywords: *Android, bonding, broadcast, education, nuclear power plants, stream, students, studio-production complex, television, technologies, video monitoring system.*

Authors' Information

Vladislav Stepanenko – National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine;

Email: mstepanenkov@gmail.com

Major Fields of Scientific Research: *Acoustic Design of Premises, Development of Flowsheets Equipment, Television Technology, Television Stations.*

СИСТЕМНИЙ АНАЛИЗ АВАРИИ НА ЧАЭС: ПРИЧИНЫ И СЛЕДСТВИЯ

Тимченко А. А., Теслюк Д. В., Орлова Т. И.

В докладе предоставлены результаты системного анализа объектов и процессов, связанных с аварией на Чернобыльской АЭС. В основу системных исследований положена методика использования технологического определения сложной системы как объекта исследований (*структура, функция, целесообразность*) и системного анализа, как метода исследования (*синтез – системная оптимизация*), (*анализ – системная моделирование*), (*принятие решений – выбор альтернатив*). Определяются системные исследования как процесс построения представлений о сложных объектах как целерационализованных системах в базисах системных свойств (*оптимальности, устойчивости, качества*), в составе системных ресурсов и структурах жизненных циклов. Рассматриваются системные отношения и взаимодействия в виде категорий типа технико-энергетических, организационно-технологических, социально-экономических и даже политико-дипломатических. В заключение рассмотрены этапы жизненных циклов поколений техники, технологий, организаций и др. Чернобыльская авария с системных позиций рассматривается как уникальное явление, являющееся событием общественного значения.

Ключевые слова: система, системный подход, системный анализ, технологии.

Объекты системных исследований

1. В докладе рассматриваются следующие классы объектов исследования [1]:

- естественная природа (поля, леса, реки, озёра – недаром край называется Полесьем), биологическая – включая человека и вторую природу (искусственная), созданная человеком;
- организационно-технологические, материально-энергетические и энерго-информационные технологии;
- социально-экономические структуры (населённые пункты, города, регионы, предприятия, учреждения).

2. Человеко-машинные системы как отдельные агрегаты так и комплексы с большими коллективами персонала, которые могут быть как стационарными (АЭС, ГЭС, ГРЭС, заводы, фабрики) так и мобильными – объекты автономного функционирования (АПЛ, ВКС, ракетные комплексы). На достигнутом человечество пока не останавливается.

Рассмотрим комплекс технических средств (КТС) ЧАЭС. Несмотря на громадные размеры КТС ЧАЭС, представляют собой взаимодействие двух основных агрегатов: теплогенератора и турбогенератора, а также вспомогательных средств: циркуляционные насосы, сепараторы, соединительные коммуникации и контрольно-управляющая аппаратура.

Основные недостатки с учетом вопросов рассматриваемых на проводимых конференциях [2-3] :

- недоработки проектных и конструктивных характеристик комплекса;
- несоответствие проектным конструктивные и строительные исполнения станции;
- преждевременные переподчинения ЧАЭС Минэнерго вместо предыдущего Минсредмаш;
- снижение уровня ответственности эксплуатационного персонала станции в целом.

Методы и процессы системных исследований

Системный анализ позволяет рассматривать как системные (комплексные) так и систематические свойства.

Одним из системообразующих начал являются т.н. жизненные циклы (ЖЦ) поколений объектов новой техники (ОНТ) и технологий, которые традиционно включают в себя этапы:

- научные исследования и изобретательство;
- системное проектирование (планирование и управление) сложных проектов ОНТ как целеориентированных систем;
- изготовления и постройка ОНТ;
- эксплуатация и использование в различных областях человеческой деятельности;
- списание и утилизация в силу морального старения либо в силу непредвиденных обстоятельств.

С точки зрения IT-технологий, как сейчас принято говорить, можно сделать следующие выводы:

- недостаточный уровень интеллектуальности средств вычислительной техники, учитывая быстроту изменения в этой области, например, возможно могли бы быть осуществлены автоматизированные проверки на безопасность;

- в отсутствие всевозможных (кроме принятых) защит (не только по технологическим параметрам, а и «от дурака»);
- большая коррумпированность в среде энергетики (и не только в ней);
- наличие большого числа т.н. ведомственных барьеров и др.

Вместо заключения. Системный анализ двух оставшихся категорий – *явления* (как проявления, обнаружения сущности) и *события*. Чернобыльская авария рассматривается как уникальное явление, а событие – как факт всеземного значения.

Многое из того что произошло на ЧАЭС стало известно, но исследования по уточнению и анализу причин продолжают как известными учеными так и большим числом исследователей и участников этого События [4].

Литература:

1. Тимченко А.А. Основы системного проектирования та системного аналізу складних об'єктів. Т.1 Основы САПР та системне проектування складних об'єктів: 2-ге вид.-К: Либідь. 2003.- 272с.

2. “Проблеми виведення з експлуатації об'єктів ядерної енергетики та відновлення оточуючого середовища” [Текст] // Збірка матеріалів першої МНК – INUDESCO_2016. –К: ТОВ “Талком”, - 2016.-260с.

3. Тимченко А.А. Орлова Т.І. Системний підхід: матерія, енергія, інформація. Бажання та обмеження. [Текст] // Збірка матеріалів другої МНК “Проблеми зняття з експлуатації об'єктів ядерної енергії та відношення навколишнього середовища” – INUDESCO-2017. Славутич – 2017.- с.275-276.

4. Тимченко А.А. Системний аналіз моделей комплексу технічних засобів АЕС на прикладі ЧАЕС [Текст]

// Тези доповідей Двадцятій МНПК “Математичне та імітаційне моделювання”. МОДС 2017.- Чернівці: ЧНТУ. 2017.-С.34-37.

Информация об авторах:

Тимченко А. А. – д.т.н., профессор, Черкасский Государственный Технологический Университет, Черкассы, бульвар Шевченко, 460

Теслюк Д. В. – магистр, Черкасский Государственный Технологический Университет, Черкассы, бульвар Шевченко, 460

Орлова Т. И. – технолог, Черкасский завод «Фотопробор»

Annex for papers written in Ukrainian and Russian

A SYSTEMATIC ANALYSIS OF THE CHERNOBYNSK ACCIDENT ANY CAUSES AND CONSEQUENCES

Tymchenko A. A., Teslyuk D. V., Orlova T. I.

Annotation: *The report provides the results of a system analysis of objects and processes related to the accident at the Chernobyl nuclear power plant. The basis of system studies is the methodology of using the technological definition of a complex system as research object (structure, function, reaching goal) and system analysis as*

a research method (synthesis – system optimization), (analysis – system modeling), (decision-making – choice of alternatives). Systemic studies are defined as the process of constructing representations about complex objects as goal-oriented systems in the basis of system properties (optimality, stability, quality), as part of system resources and life cycle structures. The systemic relation and interactions in the form of categories of the type of technical-energy, organizational-technological, socio-economic and even political-diplomatic are considered. In conclusion, the considered stages of the life cycles of generations of technology, organizations, etc.

Chernobyl accident of system positions is considered as a unique phenomenon that is an event of social significance

Keywords: *system, system approach, system analysis, technologies.*

Authors' Information

Tymchenko A.A. Teslyuk D.V. Orlova T.I. – Cherkassy State Technological University, Cherkasy, Shevchenko boulevard, 460

ОХОРОНА ВОДНОГО БАСЕЙНУ ПРИ ВИДОБУТКУ І ПЕРЕРОБЦІ УРАНОВИХ РУД

Тобілко В. Ю., Корнілович Б. Ю., Павленко В. М.

Одним з основних напрямів розвитку ядерної енергетики в Україні є розширення її сировинної бази, що обумовлено передусім тим, що потреби вітчизняних атомних станцій тільки частково (близько 30%) задовольняються паливом за рахунок власного видобутку урану. В той же час, Україна займає місце в першій десятці країн світу за запасами уранових руд [1]. Енергетичною стратегією України на період до 2035 року [2] передбачено, зокрема, збільшення виробництва електричної енергії атомними станціями при збільшенні обсягів видобутку уранової руди та виробництва концентрату природного урану для повного забезпечення потреб АЕС.

Наразі видобуток та переробка уранових руд з метою отримання уранового концентрату як сировини для виготовлення палива для АЕС здійснюється на єдиному в Україні Державному підприємстві “Східний гірничо-збагачувальний комбінат” (м. Жовті Води Дніпропетровської області); видобування уранової руди – на Смолінській та Інгульській шахтах в Кіровоградській області, а її переробка – на гідрометалургійному заводі в м. Жовті Води (Дніпропетровська область).

Видобуток і переробка уранової сировини супроводжується низкою шкідливих для навкілля екологічних факторів, основними з яких є забруднення поверхневих та підземних вод твердими та рідкими продуктами переробки, які мають високий вміст природних радіонуклідів та значну мінералізацію. Ці проблеми будуть наростати в результаті введення в експлуатацію нових уранових родовищ, подальшого використання методу свердловинного підземного вилуговування, більш широкого застосування методів купного та блокового вилуговування [3-4].

Шахтні води

Суттєву екологічну небезпеку в Україні представляють мінералізовані шахтні води, котрі утворюються при проведенні підземних робіт з видобутку різних видів мінеральної сировини. У випадку розробки уранових родовищ, разом з підвищеним солевмістом, такі води характеризуються також наявністю в них більше $1,0 \text{ мг/дм}^3$ урану, а їх кількість тільки на одному руднику може сягати до десяти тисяч кубічних метрів на добу. В 80-х роках минулого сторіччя українськими вченими була розроблена технологія комплексного очищення шахтних вод, що дозволяла доводити до необхідних кондицій мінералізовані води різних класів. Проте вимога глибокого вилучення радіонуклідів відносно шахтних вод уранових рудників перед їх скидом в природну гідрографічну мережу, що відповідає світовій тенденції подальшого ужорсточення нормативів на вміст урану в поверхневих та підземних водах, робить необхідним доопрацювання запропонованих технологічних схем з внесенням додаткових стадій [3].

Цілеспрямований вибір найбільш ефективних методів глибокого очищення забруднених водних систем обумовлюється, в першу чергу, їх радіонуклідним складом, а також наявністю і концентрацією розчинених неорганічних та органічних речовин. Одним із традиційних та найбільш широко вживаним для видалення радіонуклідів із розчинів є сорбційний метод. Сорбційні матеріали для вилучення токсикантів повинні відповідати низці вимог, а саме: високою сорбційною здатністю; сорбційні матеріали повинні забезпечити високу швидкість вилучення речовини; висока стійкість сорбційного матеріалу у водних середовищах (хімічна, механічна, радіаційна); доступність, простота синтезу, оптимальна вартість таких матеріалів.

В останні роки отримано цілий ряд нових органічних та неорганічних сорбентів з підвищеними, а часом унікальними по відношенню до різних груп радіонуклідів, характеристиками. Висока селективність синтезованих сорбентів дає можливість забезпечити розділення складних радіонуклідвмісних розчинів, зокрема глибоке очищення уранвмісних вод. При цьому, сорбційні методи в ряді випадків досить ефективні навіть при дуже низькому вмісті урану в водах, що очищуються. Використання тих чи інших сорбентів обумовлюється, перш за все, економічними чинниками.

Підземне вилуговування уранових руд

Збільшення обсягів виробництва уранового концентрату в Україні передбачається також за рахунок промислового освоєння порівняно невеликих уранових родовищ „пісковикого” типу, які не придатні для розробки традиційним гірничим способом, але перспективні для відпрацювання методом підземного вилуговування. Цей метод має певні

переваги (зменшення капітальних витрат на спорудження гірничих виробок, виробничих комплексів для транспортування, подрібнення та гідрометалургійної переробки рудної маси, будівництво і експлуатацію хвостосховищ тощо), які дозволяють суттєво знизити собівартість продукції. Наразі така технологія широко застосовується такими передовими урановидобувними країнами, як Австралія, Казахстан, США та іншими. Необхідно зазначити, що Україна має достатній досвід в освоєнні таких родовищ, зокрема, родовища Девладівське (Дніпропетровська обл.) та Братське (Миколаївська обл.), відпрацьовані за цією технологією.

Метод свердловинного підземного вилуговування (СПВ) – метод видобутку корисних копалин шляхом вибіркового розчинення його хімічними реагентами з рудного тіла на місці залягання, найбільший розвиток отримав для відпрацювання уранових родовищ піщового типу. Цей метод підземного вилуговування, який здійснюється з невеликими порушеннями природних умов, відзначається меншим впливом на довкілля у порівнянні з традиційною гірничою технологією, зокрема на повітряне середовище. Однак, застосування для вилуговування урану з породи розчинів сірчаної кислоти призводить до накопичення в підземних горизонтах широкого спектру забруднюючих компонентів. Основними небезпечними факторами при цьому є суттєве підвищення кислотності підземних вод, перехід в них аніонів SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , а також продуктів вилуговування – природних радіонуклідів (U, Ra, Po) і катіонів Fe^{3+} , Fe^{2+} , Al^{3+} та інших у кількостях, що обумовлюють значне перевищення величин гранично допустимих концентрацій. Тому, як на стадії експлуатації, так і при завершенні видобутку, необхідне проведення моніторингу міграції забруднювачів і оцінка ореолів залишкових розчинів у напрямку руху підземних вод [3].

Сховища відходів уранового виробництва

Серйозну екологічну небезпеку представляють також сховища рідких та шламоподібних відходів гідрометалургійної переробки уранових руд. На одну тону руди, що переробляється на гідрометалургійних заводах, використовується в замкнутому циклі до 4 – 5 м³ оборотної води зі ставків-відстійників хвостосховищ. На сьогоднішній день хвостосховища такого типу в Україні займають сотні гектарів родючих земель, а загальна кількість відходів уранового виробництва, що там накопичено, складає біля 102 млн. т з сумарною активністю $5,24 \cdot 10^{15}$ Бк.

Джерелами техногенного забруднення є райони видобутку та переробки уранових руд. Так, вміст природного урану в підземних водах в районі розташування одного з хвостосховищ відходів переробки уранових руд в цьому регіоні складає 1,3-5,7 Бк/дм³, а мінералізація сягає 2,9-4,8 г/дм³. Зважаючи на технологічну необхідність подальшого розширення системи хвостосховищ в цьому регіоні та обумовлене цим зрос-

тання екологічного навантаження, нагальним питанням є техніко-економічний порівняльний аналіз існуючих методів з метою включення відповідних природоохоронних заходів в програми розвитку галузі [3].

Запропоновано чимало методів поводження з ґрунтами та мулами, що забруднені небезпечними токсичними речовинами. В залежності від виду забруднення, ступеню забрудненості та кількості забруднених ґрунтів чи мулів, в кожному конкретному випадку, звичайно пропонуються ті чи інші підходи. Одним із підходів, котрий має досить широке розповсюдження, є технології закріплення або стабілізації забруднень в дисперсних системах за рахунок їх зв'язування під час хімічних реакцій з реагентами, що вносяться до ґрунту, у малорозчинні сполуки, наприклад, фосфати, або міцні поверхневі комплекси, наприклад, з цеолітами [4, 5].

Іншим методом для очищення забруднених підземних вод є використання реакційноздатних проникних бар'єрів, що встановлюються в ґрунті на шляху підземних потоків. Основою для впровадження такої технології є аналіз довгострокової поведінки токсичних компонентів відходів виробництва, вивчення геологічних структур в зоні розміщення хвостосховищ та виявлення можливих напрямків розвантаження стічних вод, реабілітація забруднених горизонтів підземних вод шляхом створення проникних реакційних бар'єрів, які вміщують реакційно активні матеріали та біологічно активну мікрофауну. Хімічно активні бар'єри ефективні для видалення розчинених токсичних металів, радіонуклідів, нейтралізації кислих шахтних вод та технологічних розчинів, органічних речовин. В якості активного завантаження для них можуть бути використані різноманітні реагенти, механізм дії яких базується на різних хімічних процесах. Так, широко використовують залізо в металевому стані та його сполуки (для відновлення рухливих форм урану(VI) до малорозчинних форм урану(IV) за рахунок протікання окисно-відновних реакцій), цеоліти, глауконіти (сорбція переважно катіонних форм урану), природні фосфати (осадження фосфатів урану), тощо.

Одним із найважливіших чинників, що визначають термін дії таких бар'єрів є втрата ними гідравлічної проникності внаслідок, перш за все, замулювання колоїдними частинками органічного та неорганічного походження. Розроблені нами високопоруваті комірчасті склокристалічні матеріали, з нанесеним шаром заліза та цеоліту, внаслідок високої гідравлічної проникності, дозволяють в значній мірі вирішити цю проблему.

Цікавим підходом до створення тимчасових напівпроникнених бар'єрів, що не потребує суттєвих економічних витрат, є закачування в поруваті породи на шляху забруднених підземних вод реакційних роз-

чинів, що містять сполуки (наприклад, сполуки фосфору або заліза), які сорбуються глинистими або гумусовими компонентами ґрунтів та здатні утворювати нерозчинні комплекси з сполуками урану [4, 6-7].

Перспективним у технології реабілітації природних та техногенних об'єктів з використанням хімічно активних бар'єрів є, також, поєднання їх з біологічними підходами. Біологічно ініційовані реакції, що відбуваються на активному неорганічному носії, можуть сприяти зменшенню концентрації багатьох неорганічних катіонів та аніонів за рахунок окислювально-відновних реакцій в природних забруднених розчинах та процесів їх осадження. Наприклад, велика кількість важких токсичних та радіоактивних металів, таких як кадмій, мідь, цинк, марганець, свинець, уран та інші, можуть бути вилучені за допомогою, наприклад, сульфатредукуючих бактерій.

Література:

1. Pavlenko V.M. Status and perspective developments of uranium production in Ukraine / Developments in uranium resources, production, demod and the environment // Vienna, IAEA, 2005. – p. 51-72.
2. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р.
3. Коваленко Г.Д., Волошин В.С. Основы радиационной экологии. – Мариуполь: Рената, 2009. – 298 с.
4. Корнілович Б.Ю., Сорокін О.Г., Павленко В.М., Кошик Ю.Й. Природоохоронні технології в урановидобувній та переробній промисловості. – К.: Вид-во „Норма”. – 2011. – 156 с.
5. Корнілович Б.Ю. Некоторые аспекты развития прикладной радиохимии и радиозологии // Укр. Хим. Журн. – 2006. – Т. 72. - №5. – С. 3 – 11.
6. Kornilovich B., Wireman M., Caruso B., Koshik Y., Pavlenko V., Tobilko V. The Use of Permeable Reactive Barrier against Contaminated Groundwater in Ukraine // Central European Journal of Occupational and Environmental Medicine. – 2009. – V. 15. - №1-2. – P. 73–85.
7. Тобілко В.Ю., Маковецький О.Л., Ковальчук І.А., Корнілович Б.Ю. Очищення вод від хрому(VI) та урану(VI) з використанням іммобілізованого нанодисперсного Fe⁰ // Східно-європейський журнал передових технологій.- 2015.- № 5/10 (77). – С. 34-40.

Інформація про авторів:

Корнілович Б.Ю., Павленко В.М. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Тобілко В.Ю. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ
e-mail: vtobilko@gmail.com

Annex for papers written in Ukrainian and Russian

Abstract: *Uranium mining, shallowing, extraction are the first stages in nuclear-fuel cycle. The energetics strategy of Ukraine envisages increase in electric energy production on nuclear stations and, according to this, uranic ore mining rise on the purpose of domestic nuclear energy stations needs complete satisfaction. It definitely deteriorates the ecology situation in uranium-mining areas. The article analyzes the file of ecology and chemistry problems appearing through the major uranium pollution sources impact toward the environment. They are: uranium mines underground waters, tailings forming by the uranium extraction out of ores, underground acid leaching out of ores body products. Authors analyze in detail the train of remeditive technologies for the sake of efficacy in ecology situation on uranium industry points polluted terrains amendment determination.*

АНАЛІЗ ПРИРОДНО-РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЛІСОВОГО УРОЧИЩА «ХОЛОДНИЙ ЯР» ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСТІ В КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Черевко О. В., Гаврилюк М. Н.

Механізм регулювання рекреаційного навантаження на ландшафти є важливою складовою екологічної політики України в цілому, так і окремих областей. Оптимізація ландшафтів передбачає пошук збалансованого відношення між використанням геосистем, їх охороною, цілеспрямованим перетворенням та збереженням ресурсного потенціалу шляхом створення системи науково-обґрунтованих заходів щодо забезпечення оптимальних умов тривалого і стійкого виконання ландшафтом його функцій.

Перспективи розвитку рекреації і туризму в Черкаській області визначаються дією широкого спектра ресурсних, екологічних та історико-культурних чинників, які мають чітко означені регіональні особливості. Однією з найбільш важливих як з природної, так і з історичної точки зору територій у Черкаській області є урочище «Холодний Яр».

Лісове урочище «Холодний Яр» має загальну площу понад 6800 га та розташоване на території Чигиринського та Кам'янського районів Черкаської області. Тут зростають високопродуктивні дубово-ясеневі деревостани з надзвичайно високою якістю деревини. В урочищі зустрічається велика кількість реліктових рослин, які збереглися з дольодовикового періоду: дуб скельний, азалія понтійська, кадило духмяне, бруслина карликова, цибуля ведмежа та інші. У трав'яному ярусі переважають види рослин неморального географічного елементу, вони становлять близько 60% флори дубово-грабових лісів. Основними домінантами є осока волосиста (в умовах південних схилів та на підвищених плато) і яглиця звичайна (в умовах північних схилів). На території лісового масиву інколи вони виступають як співдомінанти. Однією з характерних особливостей широколистяних лісів є розвиток ранньовесняних

ефемероїдів. Тут зростають: проліска дволиста, проліска сибірська, гусяча цибулька жовта, анемона жовтецева, пшінка весняна, рясти Галлера, порожнистий та Маршала; медунка лісова, зубниця бульбиста, фіалки шорстка, дивна та запашна; копитняк європейський, вороняче око звичайне, купина багатоквіткова, конвалія травнева, барвінок малий, цибуля ведмежа та інші [1]. Остання в Холодному Яру утворює суцільні зарості, аелопатично пригнічуючи інші види. Найбільшу ботанічну цінність для урочища становить популяція підсніжника складчастого. Виявлення цього виду в Холодному Яру є науковою сенсацією. Адже основна частина ареалу цього виду зосереджена в горах Криму [6]. Популяція підсніжника складчастого займає площу близько 35 кв. км. Вид зростає на п'яти ділянках, всі вони взяті під охорону, для чого створено пам'ятку природи «Холодний Яр» та 4 ботанічних заказника.

Багатий також тваринний світ. Зустрічається понад 140 видів птахів, серед яких 10 занесено до Червоної книги України. Це – гоголь, лунь польовий, лунь степовий, канюк степовий, зміїд, підорлик малий, орел-карлик, орлан-білохвіст, журавель сірий та сорокопуд сірий [3]. Фауна кажанів представлена 10 видами, всі з яких занесено до Червоної книги України [2]. Серед безхребетних «червонокнижних» тварин зустрічаються: жук-олень (його чисельність є доволі великою), вусач дубовий великий західний, бджола-тесяр звичайна, сатурнія велика та інші.

Кількість археологічних, історичних та наукових об'єктів на території урочища досягає понад 150 найменувань.

З 2002 щороку Черкаським національним університетом ім. Б. Хмельницького (ЧНУ) спільно з НІКЗ «Чигирин» проводиться акція «Первоцвіт» по охороні місць зростання підсніжника складчастого. У результаті проведених заходів чисельність виду збільшується, площа зростання розширюється. У 2017 році за поданням науковців ЧНУ в урочищі створено 3 нових ботанічних заказника для охорони підсніжника складчастого.

На території урочища силами викладачів та студентів ЧНУ спільно з НІКЗ «Чигирин» прокладено екологічну стежку, яка дозволяє ознайомитися з природою та історією цієї території [4]. Досвід показав, що такий спосіб екологічної освіти є досить ефективним. Відомо, що екологічна стежка – навчально-виховний комплекс (форма) організації навчально-пізнавальної, дослідницької і конкретної природоохоронної роботи дітей та молоді безпосередньо у природі, в основу якої покладено вивчення її об'єктів та явищ [5]. Силами студентів та викладачів університету проводилося розчищення джерел, проведення заходів екологічного виховання серед місцевого населення тощо.

Однак, реалії сьогодення свідчать, що пам'ятки історії, культури та природи, визначні місця, які пов'язані з видатними історичними подіями, приваблюють значну кількість туристів, що негативно впли-

ває на природний ресурсний потенціал території. Потік відвідувачів в урочище «Холодний Яр» з року в рік зростає. За останнє десятиліття кількість відвідувачів зросла у декілька разів. Якщо протягом 2000–2002 рр. Холодний Яр відвідувало 10–15 тис. туристів на рік, то протягом 2016–2017 рр. їх нараховувалось 50–60 тис. Крім того, контингент відвідувачів розширився у вікових та соціальних межах. Досить популярними стали сімейні тури. Якщо раніше серед туристів переважали діти, то на сучасному етапі – дорослі.

Таким чином, сучасні умови вимагають розробки менеджмент-плану управління даною територією. На наш погляд, найбільш ефективною формою, яка дасть можливість вести господарську, науково-дослідну, просвітницьку, туристичну діяльність з якомога найменшою шкодою для природи та сприятиме збереженню цього унікального лісового масиву є створення на території урочища національного природного парку. Такий підхід повністю відповідає ідеям сталого розвитку та буде сприяти економічному розвитку регіону.

Література:

1. Білоножко В. Я. Методологія організації та аналіз природно-ресурсного потенціалу екологічної стежки на території урочища «Холодний яр» / В. Я. Білоножко, Л. М. Титаренко, М. Н. Гаврилюк, О. А. Спрягайло, О. В. Спрягайло // Вісник Черкаського університету. Серія Біологічні науки. – 2010.
2. Білушенко А. А. Рукокрилі проєктованого національного природного парку «Холодний Яр» / А. А. Білушенко // Науковий вісник ЛНТУ України. – 2013. – Вип. 23. – С. 83-87.
3. Гаврилюк М. Н. Орнітофауна проєктованого національного природного парку „Холодний Яр” та його околиць / М. Н. Гаврилюк, В. М. Грищенко, Є. Д. Яблоновська-Грищенко // Заповідна справа в Україні. – 2005. – Т. 11, вип. 1. – С. 49–52.
4. Гаврилюк М. Н. Досвід створення та використання екологічної стежки в урочищі Холодний Яр / М. Н. Гаврилюк, С. І. Дерій, В. В. Осипенко, Б. В. Легоняк // Перспективи розвитку території Холодного Яру. Матер. Наук.-практичн. Конф. 27 квітня 2010 р., Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького, Ресурсний центр АНГО м. Черкаси. – Черкаси: Вертикаль, 2010. – С. 46–47.
5. Екологічна стежка (методика, організація, характеристика модельної стежки «лісники» / під ред. Я.П. Дідуха. – К.: Фітосоціоцентр, 2000. – 88 с.
6. Мельник В.І. Рівнина популяція *Galanthus plicatus* Vieb (Amaryllidaceae I.) в Україні / В.І. Мельник, С.Я. Діденко, О.В. Спрягайло // Інтродукція рослин. – 2006. – №3. – С. 7-12.

Інформація про авторів:

Черевко Олександр Володимирович, Гаврилюк Максим Никандрович – Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, бульвар Шевченка, 81, м. Черкаси, 19031, Україна

Annex for papers written in Ukrainian and Russian

THE ANALYSIS OF NATURAL AND RESOURCE POTENTIAL OF "HOLODNY YAR" FOREST RESERVE OF CHERKASY REGION IN THE CONTEXT OF SUBSTANTIAL DEVELOPMENT

Prospects for sustainable development of Cherkasy Region should include rational use of natural resources, development of tourism and recreation. Among the most important natural and historical places in Cherkasy Region is the forest reserve "Holodny Yar". The forest reserve occupies more than 6,800 hectares on the territory of Chyhyryn and Kamianka Districts of Cherkasy Region. In the reserve one can find high-yield oak-ash trees with extremely high quality wood as well as a large number of relict plants and species that are protected in accordance with the Berne Convention and the Red Data Book of Ukraine.

Among "Holodny Yar" flora the most valuable are the *Galanthus plicatus* population, located as far as 500 km away from their main area of growth in the Crimea Peninsula. Early-blossom ephemeroïds are of significant value. One of them is the *Allium ursinum*, which is included into the Red Book of Ukraine. The ornithofauna is represented by more than 140 species. Ten species of birds and ten species of mammals that live in "Holodny Yar" area are in the Red Book of Ukraine. Since 2002, Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy has been organizing a number of special events to maintain sustainable use of the territory. These actions were planned so that they meet economic and recreational needs of "Holodny Yar" Forest Reserve. In particular, here belong the "Pervotsvit" action aimed at protecting of *Galanthus plicatus* places of growth, ecological trails development, scavenging, conducting education activities on environment protection among the local population. We came to the conclusion that creation of a national natural park on the "Holodny Yar" territory is the most suitable way to foster economic, scientific, educational and tourism activities that will help preserve this unique forest area.

Authors' Information

Cherevko Oleksandr Volodymyrovych, Gavrylyuk Maksym Nikandrovych-
Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, 81 Shevchenko Boulevard,
Cherkasy, Ukraine 18031

РАДІАЦІЙНЕ ЗАБРУДНЕННЯ УНАСЛІДОК АВАРІЇ НА ЧАЕС ЯК ФАКТОР ВПЛИВУ НА ЕКОСИСТЕМИ ТА ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ УКРАЇНИ

Черевко О. В., Соколенко В. Л.

За період використання радіоактивних речовин у якості джерела енергії сталося кілька великих радіаційних катастроф на атомних електростанціях. Серед них Чорнобильська має кілька специфічних рис. По-перше, це найбільша аварія на атомному реакторі, що призвела не лише до людських жертв, але й супроводжувалася значним забрудненням радіонуклідами навколишнього середовища [11]. По-друге, викид радіоактивних речовин продовжувався понад два тижні. Короткочасне

підвищення рівня радіоактивності атмосфери (у 10-100 разів порівняно із природним фоном) було відмічено не лише в 14 областях України, але й у Молдові, Білорусі, Прибалтиці, на Чорноморському узбережжі Кавказу. Поширення радіонуклідів визначалося напрямком вітрів та дисперсністю радіоактивної хмари. Сформовані унаслідок цього території радіаційного забруднення і зараз зумовлюють для біологічних об'єктів, що там проживають, не лише зовнішнє γ -опромінювання, але і внутрішнє внаслідок процесу міграції радіонуклідів, з накопиченням у тканинах організму [2]. До цього часу значні території України забруднені довгоживучими ізотопами цезію і стронцію [7].

У Черкаському національному університеті проводяться комплексні дослідження щодо оцінки впливу факторів чорнобильської катастрофи на довкілля. Фахівці здійснюють оцінку біологічних наслідків радіаційного забруднення територій Черкаської області у віддалений період після аварії на ЧАЕС.

Перший напрям досліджень стосується вмісту біологічно-активних речовин у рослинній сировині з територій посиленого радіоекологічного контролю, які відображають реакцію екосистем на пролонговане опромінення та можливі компенсаторно-адаптаційні процеси. Хромато-мас-спектрометричний аналіз, проведений на базі Черкаського науково-дослідного експертно-криміналістичного центру МВС України, показав, що у рослин родини селерових, зібраних на забрудненій території, у всі періоди вегетації спостерігалася підвищена концентрація кверцетину, важливого природного антиоксиданта. Особливо високим вміст кверцетину був у період стиглого плодоносіння і, на відміну від рослин, зібраних на відносно екологічно чистих територіях, не залежав від умов поливу. Згідно даних літератури, флавоноїди, зокрема, кверцетин, відіграють важливу роль в адаптації рослинної клітини до різноманітних стресових факторів. Накопичення кверцетину є механізмом захисту від окислювальних пошкоджень фотосинтетичного апарату, причиною яких може бути радіаційний вплив [10]. Таким чином, вже на рівні рослинних угруповань з території посиленого радіоекологічного контролю наявні ознаки фізіологічної реакції на стресовий вплив, зумовлений пролонгованою дією малих доз радіації.

Другий напрям досліджень, що проводяться в ЧНУ, стосується населення ІV радіаційної зони. Після аварії на Чорнобильській АЕС пройшло вже більше 30 років, тобто, завершився офіційний період піврозпаду ^{137}Cs , активність якого є важливою характеристикою територій посиленого радіоекологічного контролю [8]. Як наслідок, певні території Черкаської області вже втратили статус радіаційно забруднених, а їх населення – статус потерпілих унаслідок аварії на ЧАЕС. Проте, статистика

медичних закладів області свідчить про незадовільний стан здоров'я і тенденцію до зростання відсотку онкологічної та тиреоїдної патологій у мешканців територій, забруднених радіонуклідами.

Вважають, що в умовах радіоактивного забруднення основне дозове навантаження формують радіонукліди, що потрапляють в організм людини з харчовими продуктами [9]. Тобто, навіть особи, котрі змінили місце проживання, але, при цьому, споживають продукти, вирощені на забруднених радіонуклідами територіях, продовжують зазнавати впливу малих доз радіації. Такий стан характерний, зокрема, для студентів, що приїхали на навчання до Черкаського національного університету з IV-ї радіаційної зони. Цей контингент можна вважати особливою групою ризику, оскільки, радіаційний чинник здатен вступати в адитивні чи синергічні взаємозв'язки зі стресовими впливами, зумовленими змінами умов навчання та проживання, викликаними екзаменаційною сесією чи фізичними навантаженнями.

Аналіз стану здоров'я студентів університету показав, що питома вага осіб з хронічними захворюваннями (III та IV групи здоров'я) серед чорнобильців складає майже 65% [3]. Дослідження імунологічних та біохімічних показників на базі лабораторій ННІ природничих наук продемонструвало, що території посиленого радіоекологічного контролю, які сформувалися внаслідок аварії на ЧАЕС у 1986 році, є зоною ризику розвитку стрес-індукованих дисфункцій регуляторних систем організму у населення віком 18-24 роки. Ступінь імуносупресії у студентів, котрі від народження зазнавали впливу малих доз іонізуючого випромінювання, значною мірою визначалася активністю радіонуклідів на території проживання та зумовленою їхньою дією гіперпродукцію кортикостероїдів. На прояв імуносупресії у даної когорти впливали тиреоїдний статус, особливості ліпідного обміну та окремі генетичні фактори крові. Додаткове стресове навантаження, зокрема, під час екзаменаційної сесії, викликало прогресуюче зниження показників імунної системи та пов'язаних з нею фізіологічних систем, призводячи до виходу за межі рекомендованої норми [4].

Відмічені тенденції щодо фізіолого-біохімічних показників студентів університету, котрі приїхали на навчання з територій посиленого радіоекологічного контролю, свідчать про наявність серйозних потенційних проблем для даної когорти населення України. Молодь є важливою складовою людського ресурсу, про який повинна піклуватися кожна держава. Збереження, відновлення та покращення психофізіологічного стану молодих людей є запорукою виживання та подальшого прогресу людства [1]. Здоров'я молодого покоління – один із базисів сталого розвитку людства. Особливо важлива пріоритетність даного питання у ракурсі Євроінтеграційних процесів в Україні [5].

Світові організації, що займаються проблемами наслідків аварії на ЧАЕС, наголошують: враховуючи її вплив на економічну, соціальну сфери та систему охорони здоров'я, є всі підстави вважати її глобальною радіоекологічною катастрофою, ліквідувати наслідки якої повністю неможливо [6]. Тобто, на перспективу можна прогнозувати лише послаблені дії окремих чорнобильських чинників.

Отримані в ЧНУ дані показують, що підвищена активність радіонуклідів на території посиленого радіоекологічного контролю створює специфічне навантаження на довкілля. Зумовлені ним адаптаційні процеси та дисфункції проявляються на різних рівнях екосистеми, починаючи від продуцентів і закінчуючи людиною. Для запобігання та прогнозування можливих негативних наслідків потрібен регулярний медико-біологічний моніторинг природних об'єктів, котрі до цього часу продовжують зазнавати впливу факторів аварії на ЧАЕС.

Література:

1. Вакуленко О. В. Сучасні аспекти формування здорового способу життя в Україні та світі // Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М.П. Драгоманова. Серія 11. Соціальна робота. Соціальна педагогіка. Вип. 21. К.: Вид-во НПУ імені М. П. Драгоманова. 2016. С. 114-121.
2. Дьоміна Е.А., Баріляк І.Р. Медико-генетичні наслідки радіаційних аварій // Цитология и генетика. 2010. №3. С.73-82.
3. Соколенко В.Л., Соколенко С.В., Шмиголь І.В. Генетично-детерміновані та соціально-екологічні фактори, що визначають стан здоров'я студентської молоді України // Загальна теорія здоров'я і здоров'язбереження: колективна монографія. За заг. Ред. Проф. Ю.Д.Бойчука. Харків: Вид. Рожко С.Г., 2017. С.71-77.
4. Соколенко В.Л., Соколенко С.В. Стрес-індукована імуносупресія, зумовлена тривалим проживанням на радіаційно забруднених територіях // Human Health: Realities and Prospects. Monographic series, Volume 2: Health and Environment. Дрогобич, ПП «Посвіт». 2017. С.50-63.
5. Щорічна доповідь про стан здоров'я населення, санітарно-епідемічну ситуацію та результати діяльності системи охорони здоров'я України. 2015 рік / за ред. Шафранського В.В.; МОЗ України, ДУ «УІСД МОЗ України». Київ, 2016. 452 с.
6. Bazyka D.A. et al. Cellular immunity and telomere length correlate with cognitive dysfunction in clean-up workers of the Chernobyl accident. *Clinical Neuropsychiatry*. 2013;106:280-281.
7. Bennett B., Repacholi M., Carr Z. Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes. Geneva: WHO Press, 2006.
8. Godekmerdan A. et al. Diminished cellular and humoral immunity in workers occupationally exposed to low levels of ionizing radiation // *Arch. Med. Res*. 2004. V.35. P.324-328.
9. McMahon D.M. et al. Effects of long-term low-level radiation exposure after the Chernobyl catastrophe on immunoglobulins in children residing in contaminated areas: prospective and cross-sectional studies. *Environ. Health*. 2014. 13(1). P.36-50.

10. Pourmorad F., Hosseinimehr S. J., Shahabimajd N. Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of some selected Iranian medicinal plants // African Journal of Biotechnology. – 2006. V. 5(11). P. 1142-1145.

11. United Nations. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to the general assembly, with annexes C, D and E. New York, NY: United Nations, 2008; 2011.

Інформація про авторів:

Черевко Олександр Володимирович, Соколенко Вадим Леонідович – Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, бульвар Шевченка, 81, м. Черкаси, 18031, Україна

Annex for papers written in Ukrainian and Russian

CHORNOBYL ACCIDENT RADIATION POLLUTION AS A FACTOR OF INFLUENCE ON ECOSYSTEMS AND HEALTH OF UKRAINE'S POPULATION

Cherevko O. V., Sokolenko V. L.

The article is a comprehensive assessment of biological effects of radiation contamination of Cherkasy Oblast after the Chernobyl accident. The article holds that plants of the celery family gathered on the contaminated area demonstrate an increased concentration of quercetin, an important natural antioxidant, during all vegetation periods. This indicates a radiation-induced stress already present at the level of plant groups. Students who came to study from areas of intensive radioecological control have a significant immunosuppression, whose manifestation was affected by thyroid status, lipid metabolism features, and certain genetic factors of blood. Additional stress during the examination session caused a progressive decrease of their immune system and associated physiological systems, which results in going beyond the recommended norm. Increased activity of radionuclides in the area of intensive radioecological control, caused by the Chernobyl accident, exerts a specific stressful load on biological objects. The adaptation processes and malfunctions caused by it are manifested on various ecosystem levels, ranging from producers and to human beings. To prevent a possible negative aftermath, a regular medical and biological monitoring of biological objects is required.

Authors' Information

Cherevko Oleksandr Volodymyrovych, Sokolenko Vadym Leonidovych – Cherkasy Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, 81 Shevchenko Boulevard, Cherkasy, Ukraine 18031

ВИЯВЛЕННЯ КІБЕРЗАГРОЗ В ПРОМИСЛОВИХ СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ

Харченко Д. (науковий керівник – Грудзинський Ю.)

Вступ

При розробці стратегій для процедур відновлення, корисно розглянути весь спектр можливих і ймовірних векторів кібератак, які становлять небезпеку для організації. З цього кола загроз, для найбільш впрогідних сценаріїв і повинні бути розроблені і застосовані відповідні

стратегії. Будь-які процедури відновлення повинні бути досить гнучкими, щоб реагувати на тривалі переривання в роботі організації, а також на форс-мажорні події.

Кращий спосіб досягнення цієї мети полягає в розробці процедур, які можуть бути використані для відновлення роботи системи після форс-мажору, але поділяються на частини, що можуть бути використані і для відновлення після тривалих перерв у роботі компанії. В той час, як кожен з певних векторів атаки може привести до катастрофи і сам по собі, у разі великої кіберфізичної атаки, кілька векторів атаки будуть виникати одночасно або послідовно один за одним, в залежності від обставин.

В результаті, доцільно розробляти декілька рівнів стратегій, які можуть бути застосовані в разі потреби. Критичність в часі і важливість операцій в поєднанні з грошовими обмеженнями, рівнем загрози і ступенем ризику мають бути основними факторами в розробці рекомендованої стратегії з виявлення і реагування на кібератаку.

Частина 1. Виявлення кібератак, спрямованих на фізичне пошкодження систем

У багатьох випадках «передвісники» (індикатори) кіберфізичної атаки були своєчасно виявлені, але багато які з них ігнорувалися обслуговуючим персоналом. Тут треба сказати, що якщо це не є абсолютно необхідним, мережі АСК ТП не повинні бути доступні зовні будівлі організації. Однак, якщо існує необхідність мати дистанційний доступ і можливість підключення, то кожен раз, коли індикатори атаки (такі як збільшення частоти сканування портів або різке зростання кількості спроб фішингу) вказують, що кіберфізична атака неминуча, всі зовнішні з'єднання повинні бути розірвані негайно в якості запобіжного заходу.

Першою ознакою того, що кіберфізична атака ведеться, можуть бути сигнали від АСК ТП, які кажуть про те, що у певному обладнанні сталася проблема/дефект. Складна атака буде використовувати кілька вразливостей нульового дня таким чином, щоб антивірусні програми не виявляли їх. Автоматичне виявлення вторгнення за допомогою програмових засобів, таких як мережеві монітори, аналізатори мережевого трафіку, IDS, антивірусні ПЗ, що можуть виявити і помітити шкідливі програми, спроби злому, порушення політик можуть допомогти визначити фактичну наявність хакерів, але вихід з ладу обладнання та знаходження користувачем ненормальної поведінки системи або компоненти, швидше за все, виявиться раніше.

Обслуговуючий персонал, оператори обладнання, або технологи будуть знати про втручання раніше, ніж ІТ персонал чи системні адміністратори, коли побачать, що кіберфізична атака вже змінила роботу обладнання. Досвідчений персонал є найкращим джерелом виявлення аномальної поведінки, тому що невеликі відмінності в роботі

обладнання можуть створити уявлення «атмосфери невідчутності» суттєвих змін. Досвідчені оператори обладнання знають, коли устаткування не працює правильно і можуть виявити потенційні кібервторгнення на такому ж рівні чи навіть краще, ніж автоматизовані системи виявлення вторгнень.

Системи виявлення вторгнень (IDS), призначені для виявлення цільових/нецільових подій, можуть бути подолані хакером просто шляхом зміни профілю конфігурації в АСК ТП. IDS порівнює символічні рядки на відповідність відомим сигнатурам вірусів чи певній поведінці мережі, такою як атаки, спрямовані на переривання роботи. IDS може виявляти спроби доступу на певні обмежені порти чи може розпізнати відомі шахрайські IP-адреси.

Частина 2. Виявлення та попередження кібератак за допомогою дерева загроз

Дерево кібератак – це концептуальна схема, що показує як комп'ютерна система може бути атакована, описуючи загрози і можливі кібератаки для реалізації цих загроз. Дерева кібератак піддаються визначенню стратегії забезпечення безпеки інформації і все частіше застосовуються в промислових системах управління та електромережах. Виконання стратегії змінює дерево кібератак.

Наприклад, при будівництві та реконструкції промислових чи технологічних будівель, що використовують технології «розумного будинку» найбільш поширеними цілями кібератак є комунальні мережі будівель (електрика, вода, газ, каналізація), а також опалення, вентиляції та системи кондиціонування повітря. Інші цілі, перераховані в таблиці 1 є вторинними в тому, що вони менш ймовірно призведуть до катастрофічного руйнування і загрози безпеці життя.

Таблиця 1.

Імовірність загрози			
	Висока	Середня	Низька
Вибух котла			X
Вимикання електропостачання	XX		
Збій системи кондиціонування	XX		
Прорив труб водопостачання		X	
Втрата зв'язку	X		
Пожежа		X	
Вимикання освітлення	X		
Втручання в роботу відеоспостереження		X	
Відключення системи охорони	X		
Відмикання дверей			X
Сбій в системі опалення	X		
Знищення даних	X		
Збільшення кількості чадного газу в приміщенні		X	
Прорив трубопроводів природного газу			X

Висновки

У цій статті подано короткий огляд особливостей виявлення загроз у сфері кібербезпеки. Зроблено та проаналізовано типове дерево кіберзагроз. Слід бути готовими до кіберфізичних атак і продумати можливі ризики наперед (наприклад, за допомогою дерева кіберзагроз).

Література:

1. Ayala L. Cyber-Physical Attack Recovery Procedures: A Step-by-Step Preparation and Response Guide / L. Ayala – APRESS, Fredericksburg, Virginia, USA, 2016.

2. NIST Special Publication 800-82 rev. 2. Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security [Electronic resource] // May. 2015: Proceedings. – Mode of access: WWW.URL: <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.800-82r2>. - Last access: 2018. – Title from the screen

Інформація про авторів:

Харченко Денис – НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», Україна;
e-mail: denisxar@gmail.com

Науковий керівник: Грудзинський Юліан – НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», Україна;
e-mail: jug@sonettele.com

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

DETECTION OF CYBER THREATS OF INDUSTRIAL SYSTEMS.

Denys Kharchenko, Julian Grudzinskiy

Abstract: *The features and peculiarities of detection mechanisms for cyber-attacks were researched, as well as the general scheme of the cyberattacks tree and its typical appearance. The tools for reacting to cyber-attacks were shown and analyzed. The proposed solutions allow to increase the efficiency of the response of the personnel of operational management in case of occurrence of cyber threats in the control system.*

Keywords: *cybersecurity, industrial systems, cyber-attack, network protection, threat detection, risks, vulnerability, response, protective measures*

MODELING OF THERMOBAROMETRIC LEVELS OF FISSURE PERMEABILITY IN CRYSTALLINE ROCKS WITH DEPTH

Shabatura O., Ivanik O., Kuziv L., Mazko A.

Resume.As for the case of unconsolidated deposits, for cracking crystalline rocks with an increase in total pressure, the permeability of rocks decreases. Changes of the permeability coefficient from pressure are greater than the change of porosity about 100 times of magnitude. The increase in compression from 0 to 340 atm permeability decreased to 25%, and porosity up to 5%.

With sufficiently large pressures at considerable depths (2500-3000 m), it is likely that the stresses are equalized up to the values determined by the hydrostatic pressure.

In order to ensure the long-term storage of radioactive waste in a geological depository, it is necessary that hostrocks have the effective insulation properties. An important component of the protective barriers assessments are petrophysical properties of hostrocks, in particular, their filtration and capacitive characteristics. Magmatic and metamorphic rocks as rule have a low primary porosity and very low permeability but high fissure permeability rocks can occur in large natural bodies of rocks, in zones of development of cracks and the weathering. These formations are the least studied in our time, the actual data on the filtration-permeable properties are limited both spatially (especially in the radial direction) and originally, so the question of determining the permeability in crystalline rocks of various degree of fractures remains open and to require comprehensive hydrodynamic and geophysical studies.

A modeling of the behavior of the filtration-capacitive parameters from changes in thermobarometric conditions with depth underlie a broad range of the information comprising an multiparameter data on petrophysical parameters of rocks, results of laboratory measurements of mechanical parameters of rocks under pressure and temperature, analysis of the state of the geological environment in the depths horizons etc.

Pressure and temperature increase with depth and make hard rocks transforme to plastic ones. But in some cases, rocks can maintain relative fragility, even in conditions of significant depths.

Geostatic pressure on the rock is complex and depends on the tectonophysical stresses associated with the movement of the earth's crust, the weight of the overlapping strata, gravity forces, temperature changes, and other geological factors.

The dependences of porosity and permeability from the effective pressure have the same form [1]:

$$k = k_0 \exp \left[a_k (p^f - p_0^f) \right], \text{ where } k_0, m_0 -$$

$$m = m_0 \exp \left[a_m (p^f - p_0^f) \right]$$

parameters at standard fiction pressure p_0^f ; k, m - parameters with active fiction pressure p^f ; a_k, a_m - respectively, the coefficients of change in permeability and the coefficient of compressibility of pores.

The stress-strain state of the cracked rocks is described by the expression: $\delta_T = \delta_{T0} \left[1 - \beta_T^* (p_0 - p) \right]$, where δ_{T0} - the width of the cracks at initial pressure p_0 ; β_T^* - compressibility of the cracks.

The parameter β_T^* , in turn, is determined by $\beta_T^* = \frac{l\beta_{II}}{\delta_{T0}}$, where β_{II} -

the compressibility of the matter of the block (of rocks), l - the average distance between the cracks.

For fissure environments $\frac{l}{\delta_{T0}} > 100$ and therefore the compressibility of cracks is high. So, with increasing depth and comprehensive pressure, the permeability of rocks is decreased.

As the temperature increases, the viscosity of the solutions decreases, the solutions become more mobile and it is likely the fissure filtration to be strengthened. However, in the range of low temperatures (100-150 °C) the influence of the coefficients of volumetric expansion of minerals will affect more strongly than changes in viscosity. Accordingly, the porous channels due to the volumetric expansion of mineral grains will reduce the effective pore space and reduce filtration permeability. Such an effect of the volumetric expansion coefficient may be caused to the certain temperatures, and it is likely that this effect will be different for various rocks and solutions.

The effect of temperature on the permeability of crystalline rocks (for example granites and gneisses) is doubled when the temperature rises from 150 to 300 °C [2]. Temperature influence from 150 °C and above intensifies the filtration and physico-chemical influence.

It was suggested that the fissure filtration with depth under the influence of thermo-rheological factors is gradual faded. It will enable to establish the hypsometric levels of applicability of data for modeling the behavior of fissure permeability. The main levels of depths are demonstrated in scheme where behavior of the fissure permeability have the specific values:

- H_i - a minimal depth where cracking is appeared
- H_f - a terminal depth of fragile deformation
- H_0 - a depth of appearance of permanent deformations
- H_e - a depth where cracks are disappeared (depth of the beginning of elastic flow of rocks).

The stress-strain state of rocks is determined not only by the mass of the overlapping strata, but also by tectonic stresses. Under impact of the total stress to the depth of H_f rocks undergoes only a fragile destruction, and after H_e - only the elastic flow. In the depth range from H_e to H_f , the rocks mostly are broken up by cracks. At the depth of H_0 the significant permanent deformations begin to appear, therefore, cracks in the rock can be observed only up to a depth of H_0 , and at depths exceeding H_e . The depth of H_e , obviously, is the limit, below which in this rocks of cracks practically does not exist.

Determination of the terminal depth of a fragile deformations of rocks

Hf. $Ha = \frac{1-\nu}{\nu} \frac{\sigma_2}{\rho}$, where σ_2 - compression in which the rock passes from

the fragile destruction to elastic flow (tense σ_2 is determined from the data of the deformation properties of the rocks at trivial compression), ν - the Poisson coefficient, ρ - the average thickness of the cover layer.

To determine the depth of appear of the permanent deformations H_0 it is necessary to have data of laboratory measurements of deformation properties of rocks under conditions of at trivial compression at pressure σ_2 and specific temperature t .

Since the temperature factor affects the values of H_k and H_e , they are used to obtain the deformation curves $\sigma_1 - \sigma_2$ for parameters σ_2 and t , where σ_1 - maximal main tense; $\sigma_1 - \sigma_2$ - the differential tense.

If the tensions in the rock are created only by the mass of the overlapping rocks, then the vertical component of the stresses is calculated: $\sigma_1 = \rho g H$, where ρ - rock density, g - acceleration of gravity, H - depth of formation.

Horizontal component of tense σ_2 : $\sigma_2 = n H H \phi$, where $n = \frac{\nu}{1-\nu}$.

The value n for fragile rocks is $0 < n < 0.5$.

The oscillations of the density ρ and Poisson's coefficient ν from the temperature and pressure are insignificant, therefore their values can be taken appropriately under normal conditions. Thus, the ratio of the differential tense:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{1}{\nu - 2} \sigma_2.$$

To obtain the value of the lateral tense at a constant temperature σ_2^t it assume a number of assumptions:

- $(\sigma_1 - \sigma_2)_{e.l.} = (\sigma_1 - \sigma_2)_{e.l.}$, where index e.l. - the limit of elasticity;
- differential tense at the appropriate values of temperature and pressure [3]:

$$\begin{aligned} (\sigma_1 - \sigma_2)_{e.l.} &= f(\sigma_2) \quad t = const \\ (\sigma_1 - \sigma_2)_{e.l.}^{\sigma_2} &= \psi(t) \quad \sigma_2 = const \end{aligned};$$

- knowing σ_2^t , we obtain the maximal depth of elastic behavior of H_0 under the action of the mass of overlapping rock at a given temperature t ;

- parameter H_0 is a function of temperature and thus we will denote it as H_0^t , then we rewrite it as: $H_0^t = \frac{1-\nu}{\nu\rho\sigma_2^t}$.

The ratio of the differential tenses and temperature in the earth's crust (taking into account the simple dependence t with depth $t = \Gamma H$, where Γ is the geothermal gradient): $\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{1-2\nu}{1-\nu} \rho \frac{t}{\Gamma}$.

Hypsometric limits of the applicability of data for calculating fissure permeability and crack porosity. Under the impact of the mass of the overlapping strata of rocks and temperature, loose rocks are gradually sealed and are practically losing its cracks. In reaching of depth H_0 , the permanent deformation appears in the rocks and then from a certain depth H_e rocks passes into the state of the elastic flow (Table). The example of the petrotypes of the granitoids of the Volynsky geoblock of Ukrainian shield shows the results of modeling the geobarometric levels of the propagation of fissure permeability in crystalline rocks.

Table – Hypsometric boundaries of applicability of data for calculation of fissure permeability of granitoids of the Volyn geoblock of Ukrainian Shield

Petrotype	ρ	ν	$\sigma_1 - \sigma_2$	Γ_{\min}	Γ_{\max}	$H_{0\min}$	$H_{0\max}$
	kg/m ³		MPa	°C/km		km	
Ostriivsky granite	2595	0,198	19	10	17	9,58	9,90
Ignatpilsky granite	2630	0,215	19	10	17	9,88	9,90
Korostensky granite	2620	0,250	17	10	17	9,58	9,90
Malyn rapakiwi	2635	0,239	18	10	17	9,88	9,90
Liznykivsky granite	2620	0,265	16	10	17	9,58	9,80
Ppotievsky rapakiwi	2660	0,250	17	10	17	9,58	9,80
Osnitsky granite	2640	0,218	19	10	17	9,88	9,90
Novograd-volynsky granite	2625	0,198	19	10	17	9,88	9,90
Bekhivsky granite	2630	0,194	20	10	17	9,88	9,90
Mukharivsky granite	2615	0,195	19	10	17	9,58	9,80

The series of calculations allows us to obtain approximate values of H_0 for rocks with different values of differential stresses taking into account the temperature effect. For the selected collection of samples of granitoids of the Volyn geoblock, the extreme values of the geothermal gradient were chosen from 10 °C/km to 17 °C/km, after which the boundaries H_0 is changed.

Literature:

1. Nikolayevsky V. N. Mechanics of saturated porous media / V. N. Nikolaevsky, K. S. Basniev, A. T. Gorbunov, G. A. Zotov. Nedra, M., 1970, 320 p. (in Russian).

2. Nikolaenko V. I. Factors of the filtration properties of rocks under various thermodynamic conditions / V. I. Nikolaenko, V. F. Indus // Applied petrogeochemistry and petrophysics, K., №9, 1982, p.78-88. (in Russian).

3. Soldak A. G. Influence of depth of occurrence and geothermal conditions on deformation strength properties and fracturing of rocks of various petrographic society / A. G. Soldak, A. I. Fialko // Applied petrogeochemistry and petrophysics, K., №15, 1988, p. 58 -63 (in Russian).

Authors' Information

Oleksandr Shabatura - Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology, Ukraine, 03022, Kyiv, 90 Vasylykivska str.

Olena Ivanik - Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology, Ukraine, 03022, Kyiv, 90 Vasylykivska str.

Liliana Kuziv - Institute of geological sciences, NAS of Ukraine, Hydrogeological problems department

Ukraine, 01054 Kyiv, O. Honchar Str., 55-b

Andriy Mazko - Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology, Ukraine, 03022, Kyiv, 90 Vasylykivska str.

ВПЛИВ ҐРУНТОВИХ РИЗОСФЕРНИХ МІКРООРГАНІЗМІВ НА ПЕРЕХІД ^{137}Cs ТА ^{90}Sr У СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ РОСЛИНИ

Шаванова К. Є., Ілєнко В. В., Паренюк О. Ю., Гудков І. М.

Нами проведено комплексні дослідження щодо впливу ґрунтових ризосферних мікроорганізмів на перехід ^{137}Cs та ^{90}Sr у сільськогосподарські рослини та оцінено можливість використання даного методу для зменшення накопичення радіонуклідів у зеленій масі рослин.

Вперше проведено дослідження впливу інокуляції насіння штамами ґрунтових мікроорганізмів *Azotobacter chroococcum* УКМ В-6082, *Azotobacterchroococcum* УКМ В-6003, *Bacillusmegaterium*УКМ В-5724, *Agrobacteriumradiobacter* ІМВ В-7246 та *Rhizobiumleguminosarumbv. viceae* у монокультури та у складі комплексних препаратів на морфометричні, ростові показники та накопичення ^{137}Cs рослинами ріпаку, вики та пшениці за умов вирощування в лабораторних умовах та в полі.

Визначено закономірності взаємодії досліджуваних штамів з рослинами за різних умов вирощування: на інертному середовищі, простерилізованому дерново-підзолистому, торфво-болотному, чорноземі типовому та у полі на дерново-підзолистому ґрунті.

За результатами лабораторного експерименту з вирощування рослин ріпаку, вики і пшениці на стерильному кварцовому піску визначено, що ґрунтові мікроорганізми можуть як знижувати, так і підвищувати рівень накопичення ^{137}Cs в біомасі рослин. Дана властивість не залежить від локалізації мікроорганізму на поверхні кореня, бо всі проаналізовані бактерії належать до групи таких, які колонізують ризосферу рослини.

На підставі експериментальних даних лабораторних дослідів було встановлено, що мікроорганізми-інокулянти при використанні на бідних елементами живлення ґрунтах прискорюють ріст рослин в довжину, що свідчить про поліпшення умов їх зростання. Встановлено, що мікроорганізми-інокулянти, протестовані у варіантах із ріпаком, стимулюють проростання насіння. Відсоток проростання насіння, не інокульованого бактеріями, становив $78,3 \pm 5,8 \%$, а в решті експериментальних посудин проросла більша кількість насіння, досягаючи максимуму в посудинах з насінням, обробленим *A. radiobacter* ІМВ В-7246 ($91,7 \pm 5,8 \%$). У досліді із пшеницею підвищений, порівняно з контролем в 1,3 рази, відсоток проростання насіння виявили у варіанті з інокуляцією *B. megaterium*УКМ В-5724. У досліді з викою було отримано схожий результат. Як і в досліді з ріпаком, найвищий показник проростання насіння було виявлено у варіанті з інокуляцією *A. radiobacter* ($88,3 \pm 8,5 \%$).

За результатами лабораторного експерименту з вирощування рослин ріпаку та вики на простерилізованому чорноземі типовому, дерново-підзолистому і торфово-болотному ґрунті показано, що найбільша питома активність ^{137}Cs у зеленій масі рослин ріпаку та вики посівної спостерігалася у разі вирощування на торфово-болотному ґрунті, що серед решті досліджуваних типів ґрунту відрізнявся найнижчим рівнем обмінного калію. Тому через нестачу цього макроелемента рослини поглинали більш активно його хімічний аналог – цезій, що й зумовило збільшення питомої активності ^{137}Cs у біомасі досліджених рослин.

Щодо порівняння впливу інокуляції різними штамами мікроорганізмів на накопичення ^{137}Cs , варто зазначити, що всі дослідні варіанти з викою статистично вірогідно відрізнялися від контролю за умов вирощування на дерново-підзолистому ґрунті. При цьому у варіанті з інокуляцією насіння вики *R. leguminosarum* спостерігали найвищий для цієї культури рівень накопичення ^{137}Cs . Решта штамів, навпаки, зменшували перехід радіонукліда з ґрунту. Для ріпаку, у варіантах з інокуляцією *A. chroococcum*УКМ В-6082 та *A. radiobacter*, виявили зменшення накопичення радіонукліда, порівняно з контролем. На торфово-болотному ґрунті в ріпаку спостерігали зниження накопичення ^{137}Cs у всіх варіантах, крім варіанта з інокуляцією *B. megaterium*. Майже втричі нижчою порівняно з контролем була активність зеленої маси рослин, вирощених після інокуляції *A. radiobacter*. Для вики посівної на даному типі ґрунту статистично вірогідне зниження накопичення спостерігали за інокуляції насіння штамом *A. chroococcum*УКМ В-6003. На чорноземі типовому, найбільш збалансованому типі ґрунту з погляду агрохімічних показників, спостерігали зниження накопичення радіонукліда тільки для варіанта з інокуляцією *A. chroococcum*УКМ В-6003 для обох культур.

Проведено дослідження впливу інокуляції насіння штамом *A. chroococcum* УКМ В-6082 на морфометричні, ростові показники та накопичення ^{90}Sr рослинами ріпаку, вики та пшениці за умов польового експерименту. Встановлено, що питома активність ^{90}Sr у ґрунті дослідної ділянки становила 35 ± 3 Бк/кг. Для вики та пшениці за інокуляції *A. chroococcum* УКМ В-6082 + *Rhizobiumleguminosarum* K_{H} знижувався в середньому у 2,5 раза, для ріпаку – у 1,5 раза у порівнянні з контролем.

Продуктивність зеленої маси рослин в умовах польового експерименту практично не відрізнялася для дослідних варіантів, хоча і відзначався деякий її приріст в варіантах, інокульованої комбінацією штамів *B. megaterium* УКМ В-5724 і *A. radiobacter* ІМВ В-7246. Це свідчить про те, що механізм зменшення накопичення рослинами ^{137}Cs не визначений простим його розведенням в біомасі.

За результатами проведених досліджень обробка насіння бактеріальним добривом на основі штаму *A. chroococcum* УКМ В-6082 може бути рекомендована як додатковий захід щодо зниження накопичення рослинами ^{137}Cs і ^{90}Sr .

Ключові слова: ґрунтова мікрофлора, бактеріальні препарати, ^{137}Cs , ^{90}Sr , забруднені радіонуклідами ґрунти, коефіцієнт накопичення.

Інформація про авторів:

Шаванова К. Є. - Національний університет біоресурсів і природокористування України.

e-mail: shavanova@gmail.com

Ілленко В.В., Паренюк О. Ю., Гудков І. М. - Національний університет біоресурсів і природокористування України

Annex for papers written in Ukrainian and Russian

THE INFLUENCE OF SOIL RHIZOSPHERIC MICROORGANISMS ON THE UPTAKE OF ^{137}CS AND ^{90}SR BY AGRICULTURAL PLANTS

Shavanova K., Illienko V., Pareniuk O., Gudkov I.

*Comprehensive research out on the influence of soil rhizospheric microorganisms on the uptake of ^{137}Cs and ^{90}Sr by agricultural plants was conducted, and the possibility of using this method to reduce the accumulation of radionuclides in the green mass of plants was evaluated. According to the results of the laboratory experiment on the cultivation of rape, vetch and wheat on sterile quartz sand, it has been determined that soil microorganisms can both reduce and increase the accumulation of ^{137}Cs in plant biomass. According to the results of the research, seed treatment with bacterial fertilizer based on the strain *A. chroococcum* UCM B-6082 may be recommended as an additional measure to reduce the accumulation of plants ^{137}Cs and ^{90}Sr .*

Keywords: soil microflora, bacterial preparations, ^{137}Cs , ^{90}Sr , radionuclide-contaminated soils, accumulation factor.

SLIDING MODE CONTROL OF A SOLAR POWER PLANT AT WEATHER FLUCTUATED IRRADIANCE

Shatalov V.

Abstract: Matlab/Simulink model of Sliding Mode Control was built to optimize a solar panel performance at a fluctuating by weather irradiance. This dynamic model shows a high performance relative to the pre-calculated Maximum Power Point Tracker, which may significantly improve the outcome of a solar power plant.

Keywords: INUDECO, solar power plant, Matlab, Simulink, Lyapunov function.

Introduction

Effects of local weather fluctuations on photo voltaic (PV) panels performance were presented in our previous work [1]. It was shown based on a data set of 12 years weather observations that the cloudiness can triple reduce the average power outcome and change the optimal slope and azimuth of a solar panel in a steady state set.

During a day, cloudiness may vary giving rise to some PV power fluctuations, which eventually are resulting in temperature and current changes of the PV panel. The maximum power point (MPP) can be easily calculated in the steady state case (Figure 19).

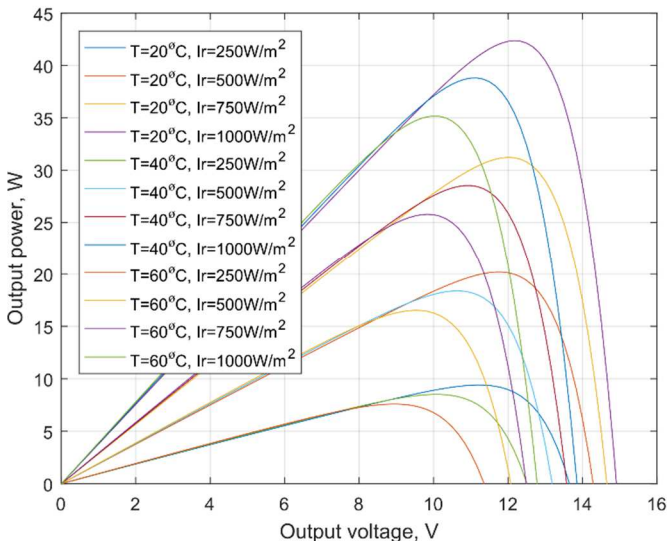


Figure 19. Solar Cell Power Curves for the set of irradiance and temperature values

However, in dynamically changing environment the maximum power point should be tracking and targeting by any method to increase the average PV panel outcome. A solar panels power plant with maximum power control is a kind of a hybrid system with “Zeno behavior”, that is moving away while achieving its destination. The power converges to the maximum point by the photo voltage V_{pv} and/or I_{pv} current variations. The control dynamics and the maximum PV power tracking for some irradiance perturbations are investigated in this work.

Lyapunov function in the state space

Lyapunov optimizing control [2, 3] produces feedback controls by selecting a candidate Lyapunov function and choosing the control to minimize this function as much as possible along system trajectories. If the candidate Lyapunov function increases everywhere outside the target, a sufficient condition for asymptotic stability is satisfied. In this simulation, the negative PV power value was chosen as the candidate Lyapunov function:

$$F_{Lyapunov} = -P(V_{pv}, I_{pv}) = -V_{pv}I_{pv} \quad \text{Eq. 1}$$

This function minimum values vs time presents the desired steady states called as sliding surface. This surface is a stable hyperplane in the voltage-current space on which motion should be restricted. Co-called switching function drives the system trajectory selecting a path in dependence of a control parameter U . The control value is searching by the minimization the Lyapunov function $\min_{\{V_{pv}, I_{pv}\}} F_{Lyapunov}$. The switching function

Ψ and sliding surface Φ are given as following:

$$\Psi = \frac{dV_{pv}}{dt} + \frac{V_{pv}}{I_{pv}} \cap \Phi = \{\Psi=0\} \quad \text{Eq. 2}$$

This way SMC method evaluates the stable hyperplane in the (V_{pv}, I_{pv}) state space on which the motion should be bounded. The next step of SMC design is invention a model law which makes the selected sliding surface attractive.

Simulink block of sliding mode control

Matlab/Simulink model of Sliding Mode Control (SMC) was made to compare the PV panel performance with the pre-calculated Maximum Power Point set (Figure 19). Digital experiments were carried out to investigate the model dynamics at different variations of the irradiance.

The structure of SMC block is shown in Figure 20. Two input ports accept values of V_{pv} and I_{pv} . Next, the derivatives $\frac{dV_{pv}}{dt}$ and $\frac{dI_{pv}}{dt}$ as well as the switching function Ψ value are calculated. Finally, the S-function block calculates the value of control voltage U , which switch the load in the system to put the point (V_{pv}, I_{pv}) on the sliding surface Φ .

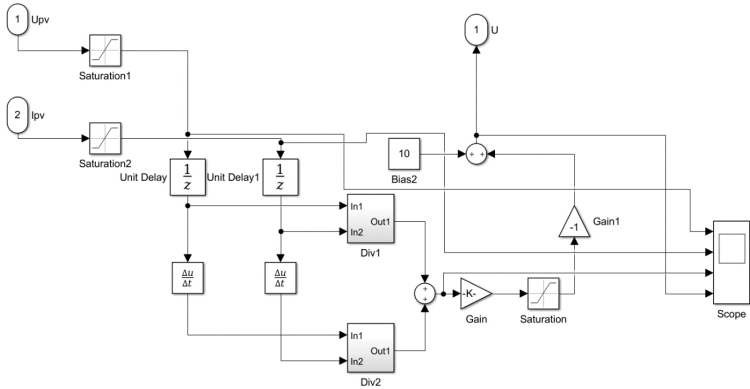


Figure 20. Sliding Mode Control block diagram

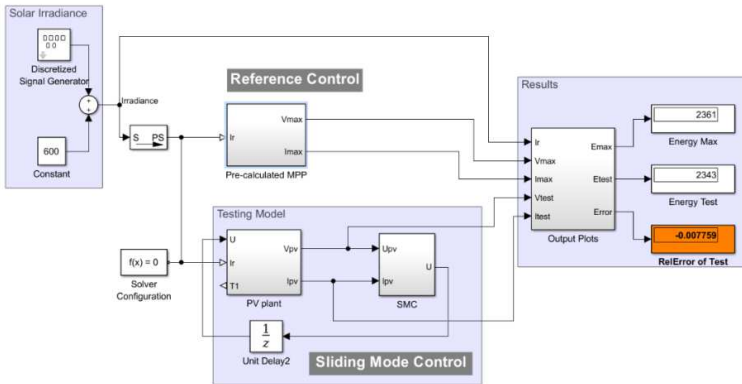


Figure 21. Simulink model diagram

Conclusion

A trajectory of SMC starting from a non-equilibrium initial condition, eventually evolves in two phases:

- a) Reaching mode, in which it reaches the sliding surface, and
- b) Sliding mode, in which the trajectory on reaching the sliding surface, remains there for all times and thus evolves according to the dynamics specified by the sliding surface.

The target of SMC switching is a retention of the drive control parameter U on the surface of power maximum in the space of photo voltage and current variables $\{\Psi=0\}$. For this aim the control parameter Ψ is moving along the weighted sum of voltage and current derivatives in time (Eq. 2). The control parameter U (Figure 20) is a properly normalized logistical function of Ψ , which controls the power consumption via electronic switcher.

The SMC model on Figure 21 was tested in several digital experiments with different time dependencies of the solar irradiance. The model shows a high performance and should be implemented in a real solar power plant.

Bibliography:

1. Шаталов В. М., Савельев М. В. Моделирование производительности солнечных панелей с учетом погоды в районе Чернобыля. The Second International Conference on Nuclear Decommissioning and Environment Recovery (April 25-27, 2017), P.30. Available at: http://2017.inudeco.pro/media/mixed_content/results_INUDECO_30_10_2017.pdf
2. Lyapunov A. M. The General Problem of the Stability of Motion (In Russian), Doctoral dissertation, Univ. Kharkov 1892.
3. Freeman, Randy A.; Petar V. Kokotović (2008). Robust Nonlinear Control Design (illustrated, reprint ed.). Birkhäuser. p. 257. ISBN 0-8176-4758-9.

Authors' Information

Vladimir Shatalov – National Technical University of Ukraine Kiev Polytechnic Institute, Slavutych, Ukraine
e-mail: v.shatalov@kpi.ua

Major Fields of Scientific Research: Physics, Data Science, Mathematical Modelling, Statistical Analysis

MAPPING OF X-RAY CONTAMINATION. A DIGITAL MODEL

Shatalov V.

Abstract: This is a digital search and mapping of X-ray sources by means of a stationary set of sensors placed around the contaminated object. The problem was solved by the genetic algorithm. It was shown that in some cases of four and more detectors the X-ray sources may be mapped if their number does not exceed much the number of detectors.

Keywords: Gamma-ray imaging, contamination, mapping, genetic algorithm.

At the previous conference INUDECO 2017 Prof. Kai Vetter presented a report on visualization of gamma-rays [1]. In short, the proposed method intended a scanning the contaminated area by a hand-held radiation detector and subsequent mapping the measured results in 3D image. The obvious advantage of this method is that we immediately get a ready-to-use map of radioactive contaminations. The drawback of the method is that the operator or robot has repeatedly to cross the contaminated space, which is dangerous and not always possible. In addition, if the sources of contamination are situated in an area that is not available for scanning, the sensor gets an integrated result over the inaccessible part of space, which makes it difficult to locate the sources.

In fact, the method discussed can be considered a method of direct observation. Such methods could include using a kind of X-ray telescope for remote scanning, or using a lead camera obscura to obtain a photograph. It is also pos-

sible to sprinkle the object with a scintillating powder and observe in dark the light from X-ray sources, also one could try to observe the heat radiation of the contaminated object, the area near X-ray sources might have an elevated temperature. The general drawback of all these methods is a necessity of new technical solutions, devices and methods, which are not always feasible.

The present work is a digital solution of search and mapping of X-ray sources by means of a stationary set of typical detectors placed around the contaminated object. The proposed model uses the genetic algorithm to search the set of locations and power of sources, which could explain the detected values. Obviously, such a solution may be ambiguous. Nevertheless, this investigation is aimed to identify the conditions under which such a mapping is possible.

The model works in the following way.

A) A set of detectors distributed in space and their power are postulated.

B) Power and coordinates of X-ray sources are randomly set.

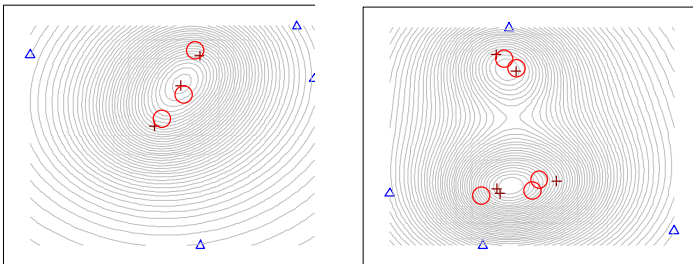
C) A target function as the sum of squared deviations from all the sensor readings (SSE) is built.

D) The genetic algorithm is applied to the target function minimum search with the variable power and coordinates of the sources.

E) The steps B, C and D reiterate with increased number of sources while the target function value converges.

F) The steps from A to E repeat for another set of detectors.

In the case of one or two detectors the mapped area obviously has the spherical or axial symmetry, and no one point location is detectible. In the case of three detectors at least the average position of mapped contamination can be found. The genetic algorithm casts trial locations of sources in the radiation field (Figure 1) and selects those sets which reproduce all the sensors readings. It is shown (Figure 1) that in some cases of four and more detectors the source locations may be found if their number does not exceed



i)

Figure 1. Mapping of X-ray sources (crosses) inside of 4 elevated sensors (triangles) area

Bibliography:

1. Haefner, Andrew; Barnowski, Ross; Luke, Paul; Amman, Mark; Vetter, Kai (2017) Handheld real-time volumetric 3-D gamma-ray imaging. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Volume 857, Pages 42-49. DOI: 10.1016/j.nima.2016.11.046

Authors' Information

Vladimir Shatalov – National Technical University of Ukraine Kiev Polytechnic Institute, Slavutych, Ukraine
e-mail: v.shatalov@kpi.ua

Major Fields of Scientific Research: Physics, Data Science, Mathematical Modelling, Statistical Analysis

ПРИРОДООХОРОННІ ТЕРИТОРІЇ БАСЕЙНУ РІЧКИ ПРИП'ЯТЬ, ЇХ ЗНАЧЕННЯ В ЗБЕРЕЖЕННІ БІОРИЗНОМАНІТТЯ

Шевцова Л. В., Глуховський П. В.

Створення природоохоронних територій сприяє збереженню біорізноманіття і за визначенням Міжнародного Союзу Охорони Природи (МСОП) це – «територія суші та/або моря, яка спеціально призначена для охорони та підтримання біологічного різноманіття а також природних та асоційованих з ними культурних ресурсів, і яка управляється за допомогою законодавчих або інших ефективних засобів» [1].

Філософія створення природних охоронних територій сягає в далеку давнину. Однак, сучасна історія пов'язана зі створенням 1 квітня 1872 р. Єллоустонського національного парку у США. На сучасному етапі, у світі під охороною, знаходиться більше ніж 147 тис. природних об'єктів, площа яких становить 13% усієї поверхні суші. Більше 4,5 тис. природоохоронних територій (ПТ), включаючи Об'єкти світової спадщини та заповідники за програмою ЮНЕСКО «Людина і Біосфера», створено у відповідності до різних міжнародних договорів та конвенцій, ратифікованих Україною – Конвенції про біологічне різноманіття (СВД), Конвенції про водно-болотні угіддя, що мають міжнародне значення, переважно як середовища існування водоплавних птахів (Рамсарська угода), Конвенції про охорону мігруючих видів диких тварин (СМС) та інших.

Площа природоохоронних територій значно відрізняється у різних країнах. Так, у США, вона становить 15,5% загальної площі країни, у країнах Європейського Союзу – більше 18% [2]. Станом на 01.01.2018 р природно-заповідний фонд України має в своєму складі 8296 територій та об'єктів загальною площею, 6,6% по відношенню до загальної площі країни [3].

Мета роботи – дослідити значення природоохоронних територій в басейні річки Прип'ять для збереження та відновлення біорізноманіття Українського Полісся.

Завдання – дати аналіз класифікацій ПТ рекомендованих, як МСОП так і діючої в Україні; дослідити значення ПТ басейну Прип'яті у відновленні та збереженні біорізноманіття; проаналізувати досвід застосування принципу зонування ПТ.

Згідно рекомендацій МСОП, ПТ підрозділяють на шість категорій. Перша включає дві підкатегорії – 1А). Природний заповідник суворого режиму - територія, якого переважно використовується для проведення наукових досліджень; 1Б). Територія дикої природи - ПТ призначена переважно для охорони дикої природи; Друга категорія – Національний парк – ПТ призначена переважно для охорони екосистем та для рекреації. Третя категорія це - пам'ятка природи, що призначена переважно для збереження специфічних особливостей природи. Четверта - це заказник для охорони окремих біотопів/видів, що призначений переважно для збереження окремих видів, часто із навмисним втручанням в екосистему. П'ята – Охоронний наземний/морський ландшафт, що призначений переважно для збереження наземних/ морських ландшафтів. Шоста – це територія контрольованого природокористування призначена переважно для сталого використання природних екосистем [4].

В Україні використовується інша класифікація ПТ. Території та об'єкти, що охороняються Законом України поділяють на Природні та Штучно створені. До природних відносять: 1) Природні заповідники, що створюються з метою збереження всієї сукупності компонентів живої природи та проведення наукових досліджень. Їх в Україні є 19; 2) Біосферні заповідники – для збереження найбільш типових природних комплексів біосфери, наукових досліджень та міжнародного моніторингу - 5; 3) Національні природні парки – збереження, відтворення та ефективного використання природних комплексів - 45; 4) Регіональні ландшафтні парки, що створюються для збереження у природному стані типових або унікальних природних комплексів та об'єктів і для організації відпочинку населення. 5) Заказники – для збереження та відтворення природних комплексів чи окремих компонентів; 6) Пам'ятки природи задля збереження в природному стані окремих унікальних природних утворень, які мають особливе природоохоронне, наукове, естетичне, пізнавальне і культурне значення; 7) Заповідні урочища для збереження у природному стані лісових, степових, болотних та ін. відокремлених цілісних ландшафтів, що мають важливе наукове, природоохоронне та естетичне значення. До штучно створених об'єктів відносять: 1) Ботанічні сади, що створюються для збереження, вивчення, акліматизації, розмноження в спеціально створених умовах та ефективного господарського використання рідкісних і

типових видів місцевої і світової флори.2).Дендрологічні парки - збереження і вивчення у спеціально створених умовах різноманітних видів дерев і чагарників та їх композицій для наукового, культурного, рекреаційного та іншого використання; 3).Зоологічні парки - для організації екологічної, освітньо-виховної роботи, створення експозицій рідкісних, екзотичних та місцевих видів тварин, збереження їх генофонду;4).Парки – пам'ятки садово-паркового мистецтв - найбільш визначні та цінні зразки паркового будівництва з метою їх охорони і використання в естетичних, виховних, наукових, природоохоронних та оздоровчих цілях [5].

Аналіз цих класифікацій показує, що їх мета споріднена і спрямована на збереження та відновлення біорізноманіття.

Найбільша кількість заповідних територій в Україні знаходиться в басейні р. Прип'ять. Їх площа складає 14% площі Полісся. Формування долини р. Прип'ять відбувалася у льодовиковий період. Льодовики танули та залишали за собою марени та безкраї водні простори, з яких у подальшому утворилися болотні масиви та розгалужена річкова мережа. Тут збереглися у природному стані низові, верхові та перехідні болота, заплавні діброви, чорно-вільшаники, луки, стариці. Різноманіття біотопів сприяло формуванню великої кількості реліктових видів рослин та тварин. Однак, у другій половині ХХ століття ця територія зазнала суттєвої трансформації, в результаті меліоративних робіт з осушення перезволожених земель. Задля збереження реліктової фауни та флори були створені об'єкти природно-заповідного фонду, такі, як Природний Поліський заповідник (1968 р.), що є одним з найстаріших в Україні, Шацький Національний природний парк, Національний природний парк Прип'ять – Стохід та значна кількість природоохоронних територій державного, регіонального та місцевого значення.

Незважаючи на антропогенний прес, Прип'ятське Полісся характеризується багатим біорізноманіттям, а його територія залишається осередком проживання зникаючих Європейських видів. Так, 80% європейської популяції вертлявої камишівки знаходиться в Прип'ятському Поліссі. Через цей район проходять міграційні шляхи птахів, Захід-Схід. У заплаві р. Прип'ять зупиняються на перепочинок та харчування 35 тис. особин різних видів гусей, 50-100 тис. турухтанів, а також багаточисельні зграї інших птахів. В заплаві Прип'яті живуть водноболотні, навколоводні тварин, що знаходяться під охороною – це болотна черепаха, норка Європейська, бекас, чібис, мала крачка та інші.

Наявність гідралічного зв'язку басейну р. Прип'ять з Західним Бугом створює умови транс-басейнових міграцій гідробіонтів. Гідроекосистеми басейна налічують 80 видів рослин, 44 види тварин, що занесені до Зеленої та Червоної книг України та 77 видів водних навколоводних тварин, що знаходяться під охороною різних Міжнародних Конвенцій та охоронних списків [6].

Басейн р. Прип'ять є унікальною територією внаслідок радіоактивного забруднення після аварії на Чорнобильській АЕС. До радіаційного забруднення на цій території у 1980 р. засновано Іллінський гідрологічний. Після аварії на ЧАЕС у 1986 р. у Білорусії у 1988 р. створено Поліський державний радіаційно-екологічний заповідник, що є найбільшим у Європі. У 2007 р., в Україні частина зони відчуження отримала статус зоологічного заказника загальнодержавного значення. 26 квітня 2016 р. Указом Президента України в межах Іванківського та Поліського районів Київської області, у зоні відчуження Чорнобильської АЕС створено нову природоохоронну територію – Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник (РЕБЗ), що займає 2/3 ЧЗВ та має транскордонний характер. Створення Чорнобильського РЕБЗ, вимагало особливого підходу щодо визначення функціонування його окремих територій.

Використання значних площ під заповідні території обмежує використання цих земель населенням, що часто призводить до конфліктних ситуацій. Тому, при залученні великих площ до заповідних територій часто застосовують принцип їх зонування, який полягає в поділі території за її функціональним призначенням. Цей принцип широко використовується в Національних парках США та Європи. При зонуванні території виділяються певні площі, що знаходяться під суворим контролем, тобто являють собою резервати з неторкнutoю природою і ділянки, на яких поєднується принцип охорони екосистем з частковим використанням їх природних ресурсів.

В Україні цей принцип також застосовують у структуризації біосферних заповідників. Створення Чорнобильського РЕБЗ, вимагало особливого підходу щодо визначення функціонування його окремих територій. У Чорнобильському РЕБЗ виділена Центральна зона та Буферна. У Центральній зоні суворо обмежена людська діяльність, у Буферних зонах дозволяється регульована діяльність. Інші основні категорії зонування Чорнобильського РЕБЗ включають зону абсолютного заповідання, територію обмеженого доступу та територію регульованого доступу. Такий підхід дає змогу природного регулювання та самовідновлення екосистем, збереження міграційних шляхів, що сприяє у перспективі відновленню популяцій рідких та зникаючих видів.

Біологічні дослідження та візуальні спостереження свідчать про те, що відбувається самовідновлення природних комплексів до природного стану. Збільшилось різноманіття рослинного та тваринного світу, включає охоронні види, що були притаманні дикій природі Полісся, відбувається природне регулювання популяцій.

Наразі, розглядається перспектива створення в рамках ЮНЕСКО (Людина і Біосфера) транскордонного українсько-білоруського біосферного резервату, загальною площею 500 тисяч га, з включення до

його складу екологічного природного заповідника «Древлянського» та Поліського державного радіаційно-екологічного заповідника, Р. Білорусь [8]. Важливим також є включення Чорнобильського РЕБЗ до Смарагдової мережі «Emeraldanetwork» Європейських ПТ [9].

Таким чином, збільшення заповідних територій та створення унікального Чорнобильського РЕБЗ, сприятиме збереженню та відновленню біорізноманіття Українського Полісся.

Література:

1. IUCN [The World Conservation Union]. 1994. Guidelines for protected area management categories. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. – [Electronic resource]. – Access mode: www.wild.org/wp.../IUCN-Protected-Area-Catagories.pdf. – Access date April, 07, 2018.

2. UN Environment World Conservation Monitoring Centre - [Electronic resource]. – Access mode: www.unep-wcmc.org/wdbpa. – Access date April, 07, 2018.

3. Природно-заповідний фонд України. Території та об'єкти [Електронний ресурс]. – [Режим доступу]. - <http://pzf.menr.gov.ua/.html>.-[Дата доступу]. – 07.04.2018 под ред. А.Г. Ободовского, А.П. Станкевича и С.А. Афанасьева. – К.: Кафедра, 2012. – 448 с.

4. UN Environment World Conservation Monitoring Centre - [Electronic resource]. – Access mode:www.unep-wcmc.org/protected_areas/categories. – Access date April, 07, 2018.

5. Міністерство екології та природних ресурсів України. Природно-заповідний фонд. - [Електронний ресурс]. – [Режим доступу]. - <https://menr.gov.ua/>.-[Дата доступу]. – 07.04.2018

6. Управление трансграничным бассейном Днепра: суббасейн реки Припяти: монография /под ред. А.Г. Ободовского, А.П. Станкевича та С.А. Афанасьева.-К.;Кафедра, 2012.- 448 с.

7. Державне агентство України з управління зоною відчуження. - [Електронний ресурс]. – [Режим доступу]. - <http://dazv.gov.ua/>.-[Дата доступу]. – 07.04.2018.

8. Урядовий портал. - [Електронний ресурс]. – [Режим доступу]. - <https://www.kmu.gov.ua/news/>.-[Дата доступу]. – 07.04.2018

9. Emerald Network – [Electronic resource]. – Access mode: <https://era.org.mt/en/Pages/Emerald-Network.aspx> – Access date April, 07, 2018.

Annex for papers written in Ukrainian and Russian

THE NATURE CONSERVATION AREA OF THE PRIPYAT RIVER BASIN, THEIR SIGNIFICANCE IN PRESERVING BIODIVERSITY

Shevtsova Liudmila, Glukhovskiy Pavel

Abstract: *The analysis of the classification of protected areas recommended by the International Union for the Conservation of Nature and operating in Ukraine is given. The significance of the protected areas of the Pripyat basin in the restoration and conservation of biodiversity has been researched and the application of the zoning principle based on the example of the Chornobyl radiation and ecological biosphere reserve has been analyzed.*

Keywords: Nature conservation area, biodiversity, the Chernobyl radiation and ecological biosphere reserve.

Authors' Information

Liudmila Shevtsova – Professor, National university of “Kyiv-Mohyla Academy”, Ukraine

e-mail: shevtsova245@gmail.com

Major Fields of Scientific Research: Ecology, Biology, Hydrobiology.

Pavel Viktorovich Glukhovskiy – PhD, Associate Professor, National University, Los Angeles, CA, USA

e-mail: pglukhovskiy@nu.edu:

Major Fields of Scientific Research: Ecology, Biology, Chemistry

**РЕЗУЛЬТАТИ ЦИТОГЕНЕТИЧНОГО МОНІТОРИНГУ
ГІДРОФІТІВ У ВОДОЙМАХ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ
ВІДЧУЖЕННЯ**

Шевцова Н. Л., Гудков Д. І.

Вступ

Радіоекологічний моніторинг водойм Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ) здійснюється відділом водної радіоекології Інституту гідробіології НАН України починаючи з перших днів аварії на Чорнобильській атомній станції (ЧАЕС). Зокрема, цитогенетичний моніторинг, який є одним з ефективних засобів контролю за зростанням мутагенного потенціалу навколишнього середовища, започаткували у 2000 році. Збільшення рівню цитогенетичних пошкоджень в апікальних клітинах кореневих меристем рослин, які відрізняються швидким клітинним поділом, є дуже чутливим показником у реєстрації та кількісній оцінці дії йонізуючого випромінювання на рослини. Забруднені внаслідок Чорнобильської катастрофи території є унікальним полігоном для вивчення та визначення найбільш чутливих до дії радіаційних джерел різного типу показників-біомаркерів, які можуть бути використані при оцінці та прогнозуванні радіоекологічного стану довкілля, забрудненого тривалоіснуючими радіонуклідами штучного походження.

Головною метою досліджень є експрес-оцінка вищих водяних рослин за цитогенетичними показниками в умовах хронічної дії малих доз радіаційного опромінення *in vivo*.

Матеріали та методи

Дослідження проводили у 2006-2015 рр. на водоймах в межах 10-кілометрової ЧЗВ. Проби вищих водяних рослин для цитогенетичного аналізу та оцінки питомої активності радіонуклідів відбирали у літоральній зоні оз. Азбучин, Янівського затону, водойми-охолоджувача (ВО) ЧАЕС та озер лівобережної заплави р. Прип'ять –Глибоке і Далеке, а також безпосередньо ва р. Прип'ять (біля м.Чорнобиль). Для по-

рівняння відбирали проби на Київському водоймищі (біля с. Лютіж), де потужність поглиненої рослинами дози опромінення відповідає значенню природного радіаційного фону.

Рівні зовнішнього опромінення вимірювали за допомогою радіометрів ДКС-01 та СРП-68-03. Потужність поглиненої дози за рахунок інкорпорованих у тканинах радіонуклідів розраховували за допомогою програмного забезпечення ERICA Assessment Tool 1.0 [6]. Дозові навантаження на вищі водяні рослини в літоральній зоні полігонних водойм знаходяться на рівні середніх значень 0,05 – 0,30 Гр/рік [9]. В порядку зменшення величини потужності поглинутої дози для гідробіонтів літоралі, досліджувані водойми можна розташувати у наступній послідовності: оз. Глибоке > оз. Далеке > оз. Азбучин > Янівський затон > ВО ЧАЕС > р. Прип'ять. Потужність поглиненої дози для вищих водяних рослин у Київському водосховищі біля с. Лютіж не перевищує 0,006 Гр/рік.

Для аналізу відбирали види рослин, які домінують або субдомінують у літоральних угрупованнях повітряно-водяних чи водяних рослин у полігонних водоймах – очерет звичайний (*Phragmites australis*), лепешняк великий (*Glyceria maxima* (С.Hartm.) Holmb.), півник болотний (*Iris pseudacorus*) і стрілолист стрілолистий (*Sagittaria sagittifolia* L.). Рівень частоти абераційних анафаз (ЧАА) визначали за модифікованим для макрофітів анафазним методом [5]. Показники хромосомних порушень обробляли стандартними статистичними методами за допомогою програмного забезпечення Excel-2010.

Результати та їх обговорення

Проведений аналіз даних, отриманих за допомогою анафазного експрес-тесту, виявив стабільне протягом 2006-2015 рр. значне перевищення рівня спонтанного мутагенезу у досліджуваних референтних видів.

На рис. 1 наведено дані частоти хромосомних порушень в апікальних клітинах кореневих меристем очерету звичайного, який є домінантом у прибережно-водяних угрупованнях повітряно-водяних (гелофітів) рослин практично в усіх полігонних водоймах. Найвищі показники частоти хромосомних порушень за п'ятирічний період досліджень зареєстровані у 2014 р. у рослин з полігонних водойм ЧЗВ, що розташовані на лівобережній одамбованій ділянці заплави р. Прип'ять – озерах Глибоке та Далеке. Також, високі показники ЧАА в 2014-2015 рр. реєстрували у очереті звичайному з ВО ЧАЕС та Янівського затону (див. рис. 1).

Найнижчі показники хромосомних порушень, які знаходяться на рівні спонтанного мутагенезу були зареєстровані у рослин р. Прип'ять та Київського водосховища (с. Лютіж), де показник ЧАА за весь досліджуваний період не перевищував спонтанного значення 2%, що є встановленим рівнем спонтанного (природного) мутагенезу для гідробіонтів [4].

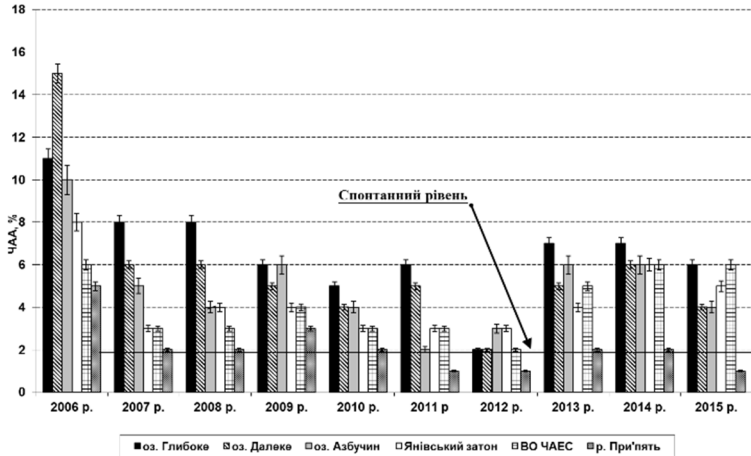


Рис. 1. Часова динаміка середньорічних показників ЧАА у клітинах кореневих меристем очерету звичайного з водойм ЧЗВ

Звертає на себе увагу той факт, що протягом досліджуваних вегетаційних сезонів показник частоти хромосомних порушень в апікальних клітинах кореня очерету звичайного майже з усіх полігонних замкнучих або слабо проточних водойм достовірно збільшувався (табл. 1).

Таблиця 1 – Середні за вегетаційний сезон (2008 р.) показники хромосомних порушень в апікальних клітинах очерету звичайного в полігонних водоймах ЧЗВ, % (M±m)

Місце відбору	Час відбору	Кількість проаналізованих анафаз та раних телофаз	Частота аберантних анафаз, %	
			M±m	інтервал min-max
1	2	3	4	5
оз. Глибоке	весна	2024	6,93±0,67	5,38-8,48
	літо	3210	7,8±0,58	6,44-9,12
	осінь	2814	8,16±0,59	7,38-10,32
	середнє	8048	7,62±0,61	
оз. Далеке	весна	1996	4,36±0,66	2,83-5,89
	літо	4506	5,47±0,64	3,98-6,96
	осінь	2758	7,14±0,61	5,89-8,15
	середнє	9260	5,66±0,64	
оз. Азбучин	весна	1848	4,47±0,44	3,49-5,46
	літо	3864	5,00±0,71	3,44-6,56
	осінь	1908	7,67±0,56	6,34-8,75
	середнє	7620	5,71±0,57	
Янівський затон	весна	2178	3,75±0,34	2,95-4,56
	літо	2802	3,92±0,22	3,43-4,4
	осінь	3100	4,17±0,23	3,63-4,70
	середнє	8080	3,95±0,26	

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5
ВО ЧАЕС	Весна	3558	2,99±0,21	2,42-3,55
	осінь	2931	3,19±0,21	2,53-3,86
	<i>середнє</i>	6489	3,09±0,21	
р. Прип'ять	весна	3794	1,97±0,21	1,34-2,6
	літо	2104	2,15±0,21	1,67-2,62
	осінь	1977	1,34±0,21	0,82-1,82
	<i>середнє</i>	7875	1,82±0,21	

Можна припустити, що ця тенденція може бути пов'язана, поперше, з накопиченням у клітинах коренів рослин сублетальних ушкоджень з кожним наступним поділом, а по-друге – зі зростанням у коренях рослин внутрішньої дози опромінення під час вегетаційного сезону внаслідок інтенсивного накопичення радіонуклідів під час прискороного обміну речовинами, який притаманний апікальним частинам молодих коренів рослин.

Дослідження часової динаміки середньорічних значень ЧАА інших вищезгаданих референтних видів водойм ЧЗВ, які є субдомінантами у більшості досліджуваних водойм, не виявило суттєвих відмінностей від показників очерету звичайного. (табл. 2).

Таблиця 2 – Середня за 2006-2015 рр. частота хромосомних аберацій в апікальних клітинах кореневих меристем субдомінуючих видів водяних рослин у водоймах ЧЗВ

Місце відбору	Частота аберацій хромосом, % (M ± m)		
	<i>Glyceria maxima</i>	<i>Iris pseudokorus</i>	<i>Sagittaria sagittifolia</i>
оз. Глибоке	6,03± 0,85	6,15±1,26	6,31± 1,57
оз. Далеке	5,48± 1,44	5,21±1,35	-
оз. Азбучин	4,92± 0,91	5,01±1,96	4,81± 1,47
Янівський затон	4,98± 0,76	4,04±0,73	5,41± 0,88

- вид у рослинному угрупованні відсутній.

Загальні тенденції до варіювання по роках значень ЧАА у досліджуваних рослин водойм ЧЗВ збереглися. Для цих видів також реєстрували значне перевищення рівня спонтанного мутагенезу.

Припускається, що на рівень хромосомних порушень у клітинах досліджених видів вищих водяних рослин значною мірою може впливати умови та місця зростання, тобто потужність поглиненої дози, хімічний склад води, рН середовища тощо. Про це свідчить невисокий рівень варіювання показників ЧАА різних видів з однієї водойми. Видові розбіжності у показниках ЧАА клітин кореневої меристеми, на наш погляд, здебільшого залежать від типу кореневої системи рослини.

При проведенні цитогенетичного моніторингу дуже важливим є контроль за співвідношенням генетичних порушень різного типу [1]. Як правило, підвищена частота порушень хромосомного типу пов'язана із впливом радіаційного фактору [1-3, 8].

Спектр хромосомних аберацій є невід’ємною часткою характеристики мутагенного стану популяції, який у корневих меристемах референтних видів ВВР з полігонних водойм ЧЗВ представлений наступними цитогенетичними порушеннями:

1) пошкодженнями хромосом – хроматидними та хромосомними фрагментами та мостами;

2) пошкодженням мітотичного апарату, що призводить до порушення нормального розподілу хромосом по клітині та порушенню їх сегрегації:

– центромери чи кінетохору, що приймає участь у поєднанні сестринських хроматид та формується на центромері;

– пошкодження веретена поділу, що призводить до відставання хромосом та розсіювання хромосом по клітині;

– пошкодження центріолей, що призводить до появи багатополюсних та асиметричних мітозів.

3) порушенням цитотомії, що призводить до появи клітин з двома або більше ядрами.

Якщо перший тип ушкоджень свідчить про кластогенну дію, радіонуклідів, за рахунок яких формується поглинена доза на вищі водяні рослини, то останні два типи свідчать про анеугенну дію йонізуючого випромінювання, пов’язану з пошкодженням внутрішньоклітинних механізмів контролю сегрегації хромосом та нормального перебігу окремих етапів клітинного циклу.

Незважаючи на те, що у досліджуваних референтних видів упродовж десятирічного періоду досліджень спостерігали поступове збільшення частки мультіаберантних клітин, спектр хромосомних аберацій, загалом, характеризується досить стабільним співвідношенням досліджуваних типів хромосомних аберацій (рис. 2).

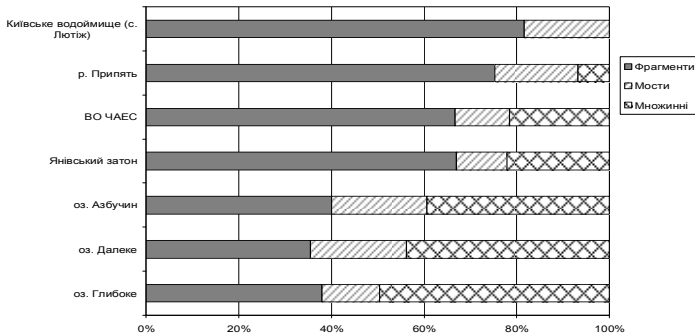


Рис. 2. Розподіл основних типів аберацій хромосом в рослинах очерету звичайного з водойм ЧЗВ у 2014 р.

За час спостережень збільшилась також і кількість багатополіосних мітозів та клітин з нерівномірно поділеними наборами хромосом. Доля множинних аберацій залишається стабільно високою. Впродовж 2013–2015 рр. спостерігали збільшення кількості клітин з важкими ушкодженнями мітотичного апарату, які призводять до порушення нормального розподілу хромосом по клітині та порушенню їх сегрегації. Це може свідчити про певне поглиблення процесу ураження мітотичного апарату клітин – порушення у формуванні центріолей та акроматинового веретена у клітинах корневих меристем гелофітів.

Висновки

Процеси автореабілітації замкнутих водойм ЧЗВ відбуваються вкрай повільно, унаслідок чого екосистеми більшості замкнутих чи слабопроточних водойм і дотепер характеризуються високим рівнем радіонуклідного забруднення. За умов водойм ЧЗВ у клітинах водяних рослин зареєстровано підвищені рівні хромосомних пошкоджень, які свідчать про значне ураження біологічних систем.

У період 2006–2015 рр. середньорічна величина частота цитогенетичних порушень в клітинах корневих меристем чотирьох референтних видів – очерета звичайного, лепешняку великого, півників болотних, стрілолиста стрілолистого з водойм ЧЗВ достовірно перевищує спонтанний рівень у 2–3 рази. Основний внесок у спектр цитогенетичних пошкоджень досліджених видів рослин вносять тяжкі хромосомні порушення – одинарні та подвійні мости, а також множинні аберації.

В останні роки значно збільшилася частка множинних аберацій в клітинах корневих меристем, зокрема, очерету звичайного у водоймах ЧЗВ, серед яких зустрічаються порушення, що свідчать не тільки про кластогенну, але й про анеугенну дію малих доз хронічного низькоінтенсивного йонізуючого випромінювання, пов'язані з пошкодженням мітотичного апарату і навіть порушення цитотомії. Подальше вивчення цих ефектів є важливою складовою комплексу заходів, пов'язаних із прогнозуванням і мінімізацією наслідків аварії на ЧАЕС для біоти.

Література:

1. Бочков Н.П. Анализ типов аберрантных клеток – необходимый элемент биологической индикации облучения // Мед. радиология. 1993. Т.38, 3. С.32-35.
2. Гераськин С. А., Зяблицкая Е.Л., Удалова А.А. Закономерности индукции гамма-излучения структурных мутаций в корневой меристеме проростков семян гексаплоидной пшеницы // Радиационная биология. Радиозкология. 1995. Т.35.2. С.137-149
3. Куцоконь Н.К. Радіаційна індукція множинних хромосомних пошкоджень у рослин. Автореф дисс... канд. биол. наук.: 03.00.01. К. 2004. 24 с.

4. Поликарпов Г.Г., Цицугіна В.Г. Порівняльна оцінка біологічного впливу радіоактивного і хімічного забруднення в водоймищах зони відчуження ЧАЕС і водосховищах дніпровського каскаду. // Бюлетень екологічного стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення №14 жовтень 1999. С.22-25.

5. Шевцова Н.Л., Гудков Д.І., Сазонов В.В.Спосіб виготовлення цитогенетичних давлених препаратів з коренів вищих водяних рослин Бюлетень – 10.09.2014. - №17. Патент на винахід (19)UA №106547 (13)C2 Україна, (51)МПК G01T 1/16 (2006.01)

6. ERICA Assessment Tool 1.0. The integrated approach seeks to combine exposure/dose/effect assessment with risk characterization and managerial considerations (Version November 2012) (<http://www.ERICA-tool.com>).

7. Gudkov D.I., Shevtsova N.L., Pomortseva N.L. et al. Radiation-induced cytogenetic and hematologic effects on aquatic biota within the Chernobyl exclusion zone // Journal of Environmental Radioactivity – 2016. – Vol. 151. – P. 438–448.

8. Gudkov D.I., Shevtsova N.L., Pomortseva N.A. et al. Aquatic plants and animals in the Chernobyl exclusion zone: effects of long-term radiation exposure on different levels of biological organization // Biosphere and Humanity / V. Korogodina, C. Mothersill, S. Inge-Vechtomov, C. Seymour (Eds.), Series C: Environmental Security. – Dordrecht: Springer. – 2017. - P. 287–302

Annex for papers written in Ukrainian and Russian

RESULTS OF CYTOGENETIC MONITORING OF HYDROFITS FROM WATER-BODIES OF CHORNOBYL EXCLUSIVE ZONE

Nataliia Shevtsova, Dmitro Gudkov

Abstract: High level of genetic disorders in root meristems of Helophyte from contaminated sites of Chornobyl exclusive zone are found out. The chromosomal aberrations rate and their range were analyzed. Frequency of chromosomal aberrations in plants from the water bodies within the Chornobyl exclusion zone exceeds frequency of spontaneous mutagenesis in hydrobionts 2–6 times and is in power dependence on the absorbed dose.

Keywords: chromosomal aberrations, Helophyte, absorbed dose, water bodies of the Chornobyl exclusion zone.

Authors/ Information

Nataliia Shevtsova – Senior Researcher, Institute of Hydrobiology, Ukraine;
e-mail: shevtsovanl245@gmail.com

Major Fields of Scientific Research: Radioecology, Radiobiology Hydrobiology, Genetic

Dmitri Gudkov – Chief of the Department, Institute of Hydrobiology, Ukraine;
Major Fields of Scientific Research: Radioecology, Radiobiology Hydrobiology

ПРИМЕНЕНИЕ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ГЛУБИНЫ ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

*Шевченко И. А., Гедзь О. О., Баран В. С. (Научные руководители -
Чичикало Н. И., Розоринов Г. Н.)*

Сейсмоакустика является комплексом разночастотных методов, которые основываются на использовании упругих волн (акустических, сейсмических или ультразвуковых). Для более детального изучения физико-механических свойств грунтовых массивов применяются сейсмоакустические исследования.

Сейсмоакустические исследования проводятся при помощи различных методов: сейсмический каротаж, сейсмическое просвечивание, сейсмические наземные измерения, ультразвуковые измерения в естественной среде, вертикальное сейсмическое профилирование, уточнение ультразвуковых измерений на образцах пород.

Для проведения сейсмоакустических исследований используются заряды взрывчатки небольшой мощности, при помощи которых вызываются взрывы для возбуждения упругих волн. Иногда волны могут возбуждаться не взрывчатыми веществами, а при помощи разного рода излучателей (электродинамических, электроискровых или магнито-стрикционных) или специальных вибраторов. К выбору сейсмической аппаратуры стоит подходить ответственно, это зависит от строения разреза, типа измерений и задач, которые необходимо решить. Возникающие упругие волны регистрируются специальными сейсмоприемниками. Обработка и преобразование результатов проводится на портативных приборах (одно- или многоканальных), затем данные обрабатываются на компьютере.

При использовании методов сейсмоакустики проводится изучение проходящих или преломленных волн, возникающих на поверхности. В процессе работ выстраивается сейсмограмма, представляющая собой запись колебаний, на основании которой происходит расчет времени и скорости распространения волн и их динамических характеристик. На завершающем этапе производится построение сейсмологического разреза, что позволяет получить данные об акустических характеристиках среды и геометрических параметрах неоднородностей слоев.

Для исследований горных пород используется их способность откликаться электромагнитной волной на упругую волну взрыва. Для улавливания ответной электромагнитной волны используются металлические стержни, вставленные в землю. Индуцированный в стержнях электрический ток подводится к усилительному устройству, связанному с самописцем. Некоторые минералы горных пород обладают пьезо-

электрическим свойством за счёт того, что электрические оси этих минералов расположены не хаотично, а ориентированы преимущественно в одном направлении, поэтому одноимённые концы электрических осей группируются вместе. Явление обратного пьезоэффекта заключается в появлении механической деформации горных пород под действием электрического поля.

На сегодняшний день сейсмоакустические методы и аппаратура широко применяется в разных отраслях человеческой деятельности. Например, для предотвращения человеческих жертв при обвалах в шахтах с помощью специальной аппаратуры, гораздо более чувствительной, чем человеческий слух, можно объективно регистрировать подземные шумы в течении длительного времени. На большой глубине из-за высокого давления в пластах породы увеличивается вероятность опасных выбросов газа, угля и т.д. Во избежание пагубных последствий, горные акустики изучают мощные звуковые сигналы, которые начинает излучать порода, перед тем как в ней произойдут разломы и разрывы. Звуки, которые предшествуют ряду механических явлений (например, растрескиванию и разрушению металлов) называются акустической эмиссией.

На сегодняшний день актуальна проблема захоронения радиоактивных отходов без вреда окружающей среде и отрицательных последствий для человеческого организма. Учитывая впечатляющие результаты и практическую пользу сейсмических исследований, целесообразно использование сейсмоакустических методов для нахождения наиболее оптимальных территорий утилизации радиоактивных отходов и предотвращения утечки радиации из-за природных катаклизмов.

Технические решения и технологии имеют решающее значение для безопасного обращения с радиоактивными отходами. В настоящее время доступен большой объем информации о множестве технологий по обращению с отходами, в том числе о технических новшествах и альтернативных вариантах. Принципы выбора технологии могут варьироваться в зависимости от приоритетов, накопленного или общеизвестного опыта, результатов проведения оптимизации. В любом случае, из-за сопутствующих расходов, потенциальных сложностей технического и экологического характера, а также необходимости обеспечить адекватную реализацию технических решений и технологий механизм отбора требует достаточно четких критериев. Некоторые из них могут быть обобщенными и использоваться практически в любой системе управления отходами, другие могут применяться к отдельным категориям РАО или на конкретных этапах обращения с ними.

Выбор технологии обработки каждого конкретной категории отходов должен быть основан на процессе оценки и включать следующие элементы:

- определение объема, характеристик и свойств конкретных РАО;
- рассмотрение и анализ различных вариантов обращения с отходами;
- оценка преимуществ и недостатков каждого варианта с использованием метода мульти-атрибутивного анализа или другой подходящей методологии, которая сравнивает безопасность, технологическое состояние, рентабельность, а также социальные и экологические факторы;
- выбор лучших доступных технологий, не сопряженных с чрезмерными расходами и удовлетворяющих всем нормативным требованиям;
- утверждение выбранной технологии путем лицензирования или получения разрешения.

Перемещение ядерных материалов, как правило, зависит от целесообразности их дальнейшего применения. Предусмотрены следующие основные пути (рис. 1):

- освобождение от регулирующего контроля, которое предполагает нелимитированное захоронение отходов и неограниченное повторное использование полезных материалов;
- регулируемый сброс (выброс) отходов в окружающую среду и разрешенное повторное использование полезных материалов;
- регулируемое захоронение отходов и передача полезных материалов на утилизацию.

Обращение с отходами, как правило, делится на два крупных этапа – предшествующий захоронению и непосредственно захоронение. Первый включает все стадии обращения с РАО от образования до захоронения, в том числе обработку (например, предварительная обработка, переработка и кондиционирование), временное (промежуточное) хранение и транспортировку. РАО готовят к захоронению с помощью технологий, которые, в первую очередь, предназначены для получения формы отходов, совместимой с выбранным или ожидаемым вариантом захоронения. Для оценки того или иного процесса или технологии необходимо рассмотреть имеющиеся решения с точки зрения выполнения требований к переработке, хранению и захоронению отходов.

Предварительная обработка РАО включает все операции до непосредственной обработки, направленные на обеспечение возможности последующего применения выбранных технологий переработки и кондиционирования, – сбор, разделение, дезактивацию, корректировку химического состава и фрагментацию.

Обработка объединяет операции, нацеленные на повышение безопасности и экономических показателей за счет изменения характеристик радиоактивных отходов. Ее основными задачами являются

уменьшение объема, удаление радионуклидов из РАО, а также изменение их физико-химического состава. Некоторые методы обработки могут обеспечить форму РАО, соответствующую требованиям хранения и захоронения. Однако в большинстве случаев переработанные отходы требуют дальнейшего кондиционирования либо отверждения и иммобилизации (инкапсуляции).

Кондиционирование охватывает работы по созданию упаковки отходов, пригодной для перемещения, транспортировки, хранения и/или захоронения. Оно может включать иммобилизацию РАО, размещение их в контейнерах, а также, при необходимости, переупаковку. Иммобилизация предполагает создание формы отходов за счет отверждения и включения РАО в матрицы (или инкапсуляции). Общеизвестными матрицами для иммобилизации являются цемент, битум и стекло.

Хранение обеспечивает изоляцию РАО с сохранением возможности извлечения, а также охрану окружающей среды и мониторинг хранилищ в течение всего срока размещения в них РАО.

Захоронение предусматривает размещение отходов в соответствующем сооружении без намерения их изъятия. Отметим, что в некоторых странах контролируемые сбросы в окружающую среду часто рассматриваются в качестве регулируемого варианта захоронения.

Каждое из выбранных технических решений разрабатывается вместе с соответствующим ему предварительным планом по обращению с РАО. На данном этапе эти планы могут быть сравнительно краткосрочными, но, тем не менее, они должны быть достаточно хорошо проработаны, чтобы дать представление об основных препятствиях и рисках.

Следующим шагом является проведение исследований по выбору технологии. Во время этого процесса могут быть использованы инструменты для принятия формальных решений, а также дискуссионные семинары. Выбор предпочтительной и оптимизированной технологии переработки отходов лучше всего достигается путем оценки общих критериев и ограничений, связанных с конкретным потоком отходов или объектом.

Эта оценка может быть проведена с использованием формальных решений, учитывающих критические факторы и лучшие достигнутые показатели.

Захоронение радиоактивных отходов глубинное (в стабильных геологических формациях) – вид захоронения РАО, который использует систему инженерных и природных барьеров, размещаемую на глубине сотен метров от поверхности земли (и глубже), с целью длительной (на период времени, сравнимый со временем жизни сотен будущих человеческих поколений) изоляции РАО от попадания их в биосферу.

Для предотвращения рисков возникновения природных катаклизмов, возникающих в глубоких слоях почвы, которые могут пагубно сказаться на целостности используемых барьеров, следует провести тщательное изучение грунтовых массивов на территории предполагаемого захоронения радиоактивных отходов. Сейсмоакустические исследования способны дать четкую картину акустических характеристиках среды и геометрических параметров неоднородностей слоев. Следовательно, при помощи технологий сейсмоакустики можно в разы увеличить безопасность глубинного захоронения радиоактивных отходов.

Література:

1. Сейсмоакустические исследования при инженерно-геологических исследованиях [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: http://www.buroviki.ru/sejsmoakusticheskiy_metod.html
2. Сейсмоакустические исследования [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу:
<http://belatgeo.ru/articles/sejsmoakusticheskie-issledovaniya/>
3. Способы и порядок захоронения радиоактивных отходов [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу:
<http://vtorothodi.ru/vse-ob-otxodax/zaxoronenie-radioaktivnyx-otxodov-v-rossii>

Информация об авторах:

Шевченко И.А.- Национальный Технический Университет Украины «КПИ им. Сикорского»

e-mail: shvchenkoinna4@gmail.com

Гедзь О.О - Национальный Технический Университет Украины «КПИ им. Сикорского»

e-mail: olhadv41@gmail.com

Баран В.С.- Национальный Технический Университет Украины «КПИ им. Сикорского»

Научные руководители: Чичикало Н.И - д.т.н., проф., Розоринов Г.Н.

СКРИНИНГ ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ В ОТНОШЕНИИ ПЕРСПЕКТИВ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

*Шестопалов В. М., Шибецкий Ю. А., Почтаренко В. И.,
Шехунова С. Б., Колябина И. Л.*

1. Начиная с 1993 г, в Украине выполнялись скрининговые исследования по выбору геологических условий и соответствующих территорий, перспективных для геологического захоронения радиоактивных отходов: в кристаллических, глинистых и соленосных формациях, в древних осадочно-вулканогенных образованиях, в угольных, соляных, урановых и железорудных шахтах и некоторые другие[1]. Накоплен-

ные с тех пор данные предопределили формирование общего мнения о том, что в силу различных причин, наиболее перспективной формацией для геологического захоронения РАО являю кристаллические породы фундамента ЧЗО. Однако, до настоящего времени, какого-либо общего оформления результатов скрининга территории не было выполнено. При этом, скрининг территории Украины является, по сути, одновременно и выбором в самом общем виде концепций изоляции РАО в недрах, поскольку выбор той или иной геологической формации предопределяет соответствующую концепцию хранилища.

2. Основной целью данной работы является проведение системного скрининга территорий Украины, перспективных для геологического захоронения РАО. Скрининг регионов опирается на два вида оценок. Первый вид основан на рассмотрении и сопоставлении геологических условий регионов, второй - на сопоставлении экономических, социальных и демографических особенностей наиболее перспективных регионов, где имеются геологические предпосылки для геологического захоронения РАО. Результатом применения указанных видов оценки стало формирование соответствующих ранжированных списков, обоснование наиболее перспективного региона. Далее, на основе предварительно установленных критериев и имеющихся данных о геологическом строении наиболее перспективных регионов, был проведен скрининг наиболее перспективных площадей, для последующих работ по выбору места расположения геологического хранилища РАО. Детально результаты представлены в [1].

3. Общие требования к процессу регионального анализа и скринингу выбранного региона определены в [2]. Согласно этому документу:

- на стадии регионального изучения проводят: 1) региональный анализ для выделения районов потенциально-пригодными площадками; 2) скрининг для выбора потенциальных площадок для дальнейшей оценки (п.6.11.2);

- по результатам регионального анализа идентифицируют районы, пригодные для размещения хранилища (п.6.11.3).

- на фазе скрининга в пределах пригодных районов идентифицируют потенциальные площади, среди которых на основе установленных оператором критериев выбора выделяют несколько потенциальных площадок ... для дальнейших исследований на стадии характеристики (п.6.11.4).

4. Различия терминов «площадь» и «площадка», которые применяются как объекты все более детального рассмотрения в процессе выбора местоположения хранилища РАО, состоит в их характерном размере: для «площади» он составляет от нескольких десятков до сотен км², а для площадки – до 10 км² (детали в [1]).



Рис. 1. Расположение на территории Украины формаций, структур и объектов, перспективных для геологического захоронения РАО [3]:

- 1 — Коростенский плутон (протерозойские гранитоиды); 2 — Чернобыльская зона отчуждения (архейские и протерозойские кристаллические формации, глинистые формации); 3 — железорудная шахта «Саксагань» (архейские гранитоиды); 4 — урановые шахты (протерозойские кристаллические формации); 5 — солянокупольные структуры и глинистые формации Днепрово-Донецкой впадины; 6 — пластовые соли Донецкой складчатой области; 7 — глинистые формации Причерноморской впадины; 8 — соленосные и глинистые формации Предкарпатского прогиба

4. Для сопоставления и предварительного ранжирования применимости различных формаций в Украине используется набор общих качественных критериев. Эти критерии позволяют определить самые общие характеристики выбранных на первом этапе скрининга формаций и территорий (кандидатов), которые (с учетом достигнутого уровня знаний) могут обеспечить безопасность геологического захоронения РАО и характеризуются наименьшими рисками их реализации. Критерии сопоставления включают: анализ преимуществ сопоставляемых кандидатов; учет комплексности их оценки; анализ неблагоприятных факторов; учет риска непреднамеренного человеческого вмешательства в будущем, связанного с добычей полезных ископаемых в районе размещения геологического хранилища. Результатом применения указанных критериев (табл.1) является определение условного ранга кандидата и выделение наиболее перспективного из них.

5. Скрининг перспектив территории Украины для геологического захоронения по экономическим и социально-демографическим факторам опирается на два вида оценок: **оценку потенциального влияния (негативного и позитивного)** геологического хранилища в районе его возможного размещения и **оценку степени пригодности террито-**

рии для его размещения (наличие условий благоприятствующих строительству). Оба варианта оценок выполнены по одному и тому же перечню показателей, который включал следующие группы[4]:

- экологические условия (9 показателей);
- социальные условия (4 показателя);
- экономические условия (2 показателя);
- строительные условия (5 показателей);
- землеиспользование (2 показателя).

Оценка была выполнена для территории Чернобыльской зоны отчуждения, Коростенского плутона – в пределах Киевской, Житомирской областей; возможных участков с перспективами размещения хранилища в солях и глинистых отложениях ДДВ, центральная часть. Эти территории были выбраны исходя из их оптимального расположения к местам максимального сосредоточения РАО и геологической перспективности, поскольку по геологическим показателям в отдельных формациях глин и солей существенных преимуществ на выполненном этапе скрининга не выявлено.

Результаты оценки указанных территорий показаны в табл.2.

Таблица 1 – Ранжирование регионов в отношении перспективности для геологического захоронения РАО в Украине

Формация, регион	Преимущества	Неблагоприятные факторы	Риск вмешательства	Условный ранг
1	2	3	4	5
1: Кристаллические формации (Коростенский плутон)	Механическая стабильность, близость основных запасов РАО	Наличие полезных ископаемых, тектонические нарушения отдельных зон, социальные факторы	средний	2
2: Кристаллические формации ЧЗО	Механическая стабильность, социальная приемлемость, близость основных запасов РАО, степень изученности, прямые оценки безопасности, высокая защищенность от миграции р/н в биосферу	Сложность изучения кристаллических пород перекрытых осадками	низкий	1
3, 4: Кристаллические формации (железородные и урановые шахты)	Механическая стабильность, изученность	Техногенная нарушенность, гидрогеологические, социальные	высокий	3

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5
5, 6, 8: Соленосные формации	Теплофизические свойства, отсутствие воды	Удаленность, соци- альные и демографи- ческие факторы, по- лезные ископаемые, нестабильность диа- пиров	высокий	3
5, 7, 8: Глинистые формации вне ЧЗО	Сорбционные свой- ства, фильтрационные свойства	Удаленность от запа- сов РАО, полезные ископаемые, социальные, демогра- фические	средний	3
2: Глинистые формации ЧЗО	Сорбционные свойства, фильтрационные свойства социальная приемле- мость	Геологические (геом- етр. ограничения, неоднородность) Гидрогеологические (активная вертикаль- ная взаимосвязь гори- зонтов)	низкий	3

б. Таким образом, скрининг перспектив территории Украины в отношении геологического захоронения РАО показывает, что с учетом геологических условий регионов Украины, технических особенностей концепций геологического захоронения РАО, экономических и социально-демографических факторов, *наиболее перспективным регионом Украины следует считать Чернобыльскую зону отчуждения с прилегающими территориями, а наиболее приемлемой геологической формацией для создания хранилища РАО кристаллические породы*. В общих чертах, это определено следующими факторами: здесь имеются приемлемые геологические условия, отсутствует население (т.е. риски социальных протестов и непреднамеренного человеческого вмешательства являются минимальными), а также – находится основной объем отходов, подлежащих геологическому захоронению.

Табл. 2. – ранжирование территорий по степени их пригодности для размещения геологического хранилища и по степени его потенциального влияния

Вариант оценки	Коростенский плутон за пре- делами ЧЗО	ДДВ (соли и глины)	Кри- сталли- ческие форма- ции ЧЗО
Степень пригодности	30 (II)	21 (III)	44 (I)
Степень влияния хранилища	- 24 (II)	- 37 (III)	- 9 (I)
Общий ранг	II	III	I

Примечание: численные значения отражают субъективную экспертную оценку территорий по выше-приведенным группам условий.

Что касается других регионов, то все они как и центральная часть ДДВ характеризуются существенным преобладанием отрицательного влияния хранилища по перечисленным выше группам показателей над показателями степени пригодности.

7. Обоснование перспективности кристаллической формации ЧЗО подтверждается следующими геологическими факторами.

Чернобыльская зона и прилегающие территории находятся на северо-восточном склоне Украинского щита - древней структуры, которая сформировалась на протяжении архея-протерозоя и является стабильной на протяжении последних 1.4 млрд.лет. Этот факт говорит в пользу *стабильности условий территории*.

Характерный размер тел перспективных магматических образований коростенского, житомирского, осницкого комплексов составляет от первых до 20-30 км и более в поперечнике. Зона незначительной трещиноватости кристаллических пород расположена в интервале от 350-500 (верхняя граница) до 3500-4000 м (нижняя граница). Это обеспечивает *благоприятные геологические (и геометрические) условия* для размещения геологических хранилищ как шахтного, так и скважинного типов.

Мощность зоны трещиноватости в кристаллических породах, где может происходить интенсивная циркуляция подземных вод, составляет, как правило, 100-150 м (максимум 300) от дневной поверхности или кровли. Далее располагается зона затрудненного водообмена, а ниже 800 м – зона весьма затрудненного водообмена. Глубже 1500 м происходит существенное увеличение минерализации подземных вод, свидетельствующее о практически отсутствующем водообмене с вышележащими водоносными горизонтами. Такая ситуация обеспечивает *благоприятные гидрогеологические условия и благоприятные геометрические параметры для размещения хранилища*.

В разрезе осадочного чехла доля глин, суглинков и алевроитов, обладающих высокими сорбционными свойствами, составляет до 45 %. Пестрый литологический и гранулометрический состав осадочных пород благоприятствует вовлечению в процессы сорбции больших объемов сорбирующих минералов, увеличивая поверхность их контакта с подземными водами. Таким образом, можно говорить *о благоприятных гидрогеолого-геохимических условиях*.

Ближайший район вулканической деятельности это Черниговский выступ ДДВ. Он находится в 150 км на северо-восток. Здесь в эпоху герцинской активизации(350 млн. лет тому назад) происходило активное извержение лав базальтового и андезитового состава. Значительная отдаленность во времени этого периода подтверждает *весьма низкую вероятность проявления разрушительных природных явлений*, связанных с вулканизмом.

В пределах ЧЗО и прилегающих районах нет оснований предвидеть интенсивные тектонические движения, которые могут сопровождаться резкими смещениями блоков земной коры и дроблением горных пород, учитывая относительно стабильный платформенный режим региона. На протяжении геологической истории в течении последних 600 млн. лет (фанерозой). Периоды опускания и накопления осадочных толщ сменялись поднятиями и денудацией, размывом образований осадочного чехла и кор выветривания пород кристаллического фундамента. На эти процессы охватывали периоды в десятки и более миллионов лет и были низкоградиентными по относительным движениям отдельных блоков и территории в целом. В верхнечетвертичное время (Днепровское оледенение) произошла трансформация равнины в моренно-зандровую с накоплением мощных (до 80 м) толщ песков и суглинков. Это является свидетельством того, что при размещении хранилищ на глубинах в несколько сотен метров *разрушительное влияние эрозии будет исключено.*

8. Исходя из наличия данных, были определены критерии выбора площадей, наиболее перспективных для последующего изучения. Перспективные площади должны располагаться:

- вне разломных зон и узлов их пересечения;
- на водораздельных пространствах вне долин рек;
- на территориях распространения малоградиентных геофизических полей;
- на территориях, характеризующихся низкой плотностью линейментов.

Эти критерии являются, по сути, качественными показателями геологической пригодности, косвенным образом предопределяющие безопасность системы геологического захоронения, на стадии выбора площади.

Скрининг ЧЗО и прилегающих территорий, выполненный на основании указанных критериев, позволил выделить две площади: Новосилковскую и Жовтневую – в пределах ЧЗО и Вереснянскую площадь – вне ЧЗО, как наиболее перспективные для дальнейшего изучения (рис. 2).

9. Основные неопределенности полученных результатов отражают существующую ситуацию в уровне выполнения программы геологического захоронения РАО в Украине. В связи с систематическим невыполнением программы основные недостатки состояния дел по проблеме в настоящее время характеризуется:

- отсутствием хотя бы предварительных концепций инженерных барьеров геологического хранилища, включая тип контейнеров;

- ограниченными данными по количеству и составу отходов, а также – возможным сценариям мобилизации нуклидов;
- ограниченными данными о геологических и гидрогеологических характеристиках перспективных площадей;
- отсутствием принятых к дальнейшей разработке типов геологических хранилищ РАО.

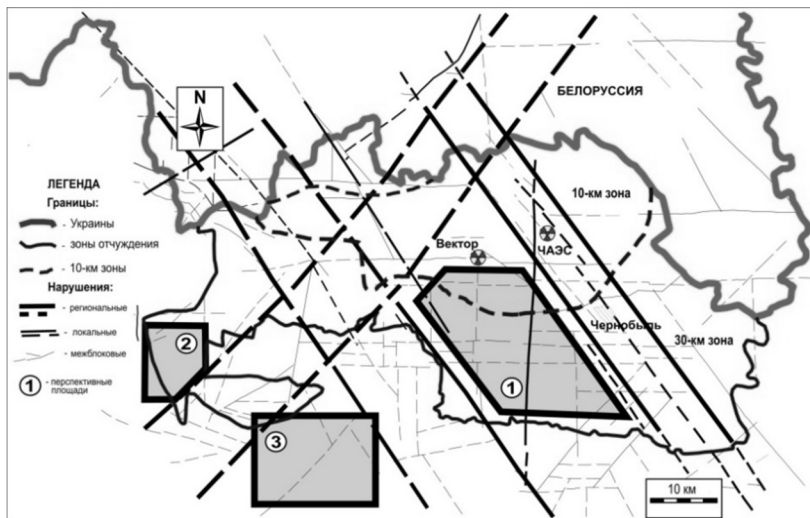


Рис. 2. Схема основных тектонических нарушений ЧЗО и прилегающих территорий, а также - расположение перспективных площадей (выделены серой заливкой) [3]:

1 – Новосилковская, 2 – Жовтневая, 3 – Вереснянская

Снижение неопределенностей и переход от рассмотрения площадей к выбору и последующему изучению площадок (завершение скрининга), требует проведения комплекса полевых исследований (с обязательным комплексом геофизических и дистанционных исследований выполнением газо-геохимического опробования бурением, проведением опытных геофизических, гидрогеологических и др. работ в скважинах и др.), а также – выполнения программы НИОКР по изучению сорбционных свойств пород, моделированию гидрогеологических систем с учетом полученных данных, разработке системы инженерных барьеров будущего хранилища.

Литература:

1. В.М. Шестопапов, Ю.А. Шибецкий, В.И. Почтаренко и др. Геологическая составляющая безопасности глубинного захоронения радиоактивных отходов. – Киев: Новый друк, 2018 – 240 с.

2. Вимоги до вибору майданчика для розміщення сховища для захоронення радіоактивних відходів. - Наказ ДКЯРУ від 14.11.2008 N 188 (Зареєстровано в Мініст України 8.12.2008 N 1166/15857).

3. В.М. Шестопапов, Ю.А. Шибецкий. Геологическое захоронение радиоактивных отходов в Украине: история, современное состояние, перспективы. - Ядерная та радіаційна безпека 2(74), 2017.

4. IAEA-TECDOC-1308: Socio-economic and other non-radiological impacts of the near surface disposal of radioactive waste. - IAEA, Vienna, 2002.

Информация об авторах:

Шибецкий Ю.А. – Государственное учреждение «Научно-инженерный центр радиогидрогеоэкологических полигонных исследований НАН Украины», Украина, 01601, Киев, ул.О.Гончара, 55б
e-mail:shybetsky@hydrosafe.kiev.ua

Шестопапов В.М., Почтаренко В.И. – Государственное учреждение «Научно-инженерный центр радиогидрогеоэкологических полигонных исследований НАН Украины», Украина, 01601, Киев, ул.О.Гончара, 55б

Шехунова С.Б., Колябина И.Л. – Институт геологических наук НАН Украины, Украина, 01601, Киев, ул.О.Гончара, 55б

Annex for papers written in Ukrainian and Russian

SCREENING OF UKRAINE IN RESPECT OF RADIOACTIVE WASTE GEOLOGICAL DISPOSAL

*V. Shestopalov, I. Shybetskyi, V. Pochtarenko, N. Shurpach,
S. Shekhunova, I. Koliabina*

Prospects of radioactive waste geological disposal are considered for different regions of Ukraine. The choice of the region for primary further study was justified based on the analysis of the geological conditions and identification of various types of potentially suitable formations, as well as economic and socio-demographic aspects. The most promising (at this stage) for the geological disposal of high level waste (and spent nuclear fuel) are the crystalline formations of the Chernobyl Exclusion Zone and adjacent territories. Geological arguments are listed for the ability of these formations to provide long-term safety of the geological disposal system for radioactive waste. Criteria and results of screening of the Chernobyl exclusion zone and adjacent territories are given.

ПОРІВНЯННЯ ВИМОГ ДО БЕЗПЕКИ АСК ТП ТА ІТ СИСТЕМ

Шулепа А. (науковий керівник - Грудзинський Ю.)

На початковому етапі створення автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСК ТП) передбачалося, що дані системи будуть ізольовані від навколишнього світу та використовуватимуть спеціалізоване обладнання, тому питання кібербезпеки АСК ТП не вважалося актуальним. Але у зв'язку з стрімким розповсюдженням

мережевих пристроїв АСК ТП почали використовувати типові ІТ-рішення для можливості підключення до корпоративних бізнес-систем та використання можливостей віддаленого доступу. У даних системах все частіше використовуються стандартні комп'ютери, операційні системи та мережеві протоколи що робить їх схожими на ІТ-системи.

Ця інтеграція підтримує нові можливості ІТ, але вона приводить до значно меншої ізоляції АСК ТП від зовнішнього світу у порівнянні з попередніми системами, що збільшує потребу в безпеці цих систем. Незважаючи на те, що рішення безпеки були розроблені для вирішення цих проблем в типових ІТ-системах, слід застосовувати спеціальні запобіжні заходи при впровадженні цих рішень для середовищ АСК ТП. Потрібно враховувати, що до ризиків останніх відносяться значні ризики для здоров'я та життя людей, ризики нанесення серйозної шкоди для навколишнього середовища, фінансові ризики, такі як втрати виробництва та негативний вплив на економіку країни.

Основною відмінністю між АСК ТП та ІТ-системами є те, що перші керують об'єктами фізичного світу, а останні – даними. Це обумовлює різні ризики та пріоритети систем. Так, для ІТ-систем конфіденційність та цілісність даних, як правило, є головною проблемою у той час, як для АСК ТП першочерговою проблемою є безпека людини та відмовостійкість, запобігання втрати життя або загрози здоров'ю та довірі населення, дотримання законодавства, втрата обладнання, втрата інтелектуальної власності або втрата чи пошкодження продукції. Будь-які заходи безпеки, які погіршують захищеність, є неприйнятними.

Також варто зазначити, що АСК ТП є системами реального часу з критерієм допустимих рівнів затримки, продиктованих індивідуальною установкою, у той час як висока продуктивність самої системи керування, зазвичай, не є необхідною для АСК ТП. Для ІТ-систем – навпаки: вимагають високої пропускнуєї спроможності, і зазвичай витримують певний рівень затримки. Для деяких АСК ТП, автоматичний час відгуку або час відповіді системи на взаємодію з людьми є дуже важливим. Деякі АСК ТП побудовані на операційних системах реального часу (ОС РЧ або RTOS), де під реальним часом розуміються вимоги щодо своєчасності.

Наступною відмінністю є вимоги до доступності. Багато процесів у АСК ТП носять неперервний характер. Неочікувані перебої у системах, які керують промисловими процесами, неприйнятні. Зупинки повинні бути заплановані та розписані на дні чи тижні наперед. Повне тестування перед розгортанням є важливим для забезпечення високої доступності (тобто надійності) для АСК ТП. Системи керування часто не можуть бути легко зупинені і запущені, без нанесення при цьому

впливу на виробництво. У деяких випадках продукти, що виробляються, або обладнання, що використовується, є важливішими, ніж інформація, що передається. Це робить неприйнятними такі типові рішення для ІТ-систем як перезавантаження окремих пристроїв при виникненні аварійної чи нестандартної ситуації.

До важливих відмінностей також варто віднести ресурсні обмеження АСК ТП та оновлення їх програмного забезпечення. АСК ТП та їх операційні системи реального часу часто є ресурсообмеженими системами, які не включають типовий сучасний потенціал захисту ІТ-систем. Спадкові системи часто не мають спільних ресурсів з сучасними ІТ-системами. Багато систем може не мати бажаних функцій, включаючи можливості шифрування, реєстрацію помилок та захист паролем. Необдумане використання методів ІТ-безпеки в АСК ТП може спричинити перебої доступності та часові перебої. Якщо говорити про оновлення програмного забезпечення, то в ІТ-системах вони виконуються вчасно на основі відповідної політики та процедур безпеки. Крім того, ці процедури часто є автоматизованими з використанням серверних інструментів. Оновлення програмного забезпечення в АСК ТП не завжди можна реалізувати своєчасно. Ці оновлення повинні бути попередньо ретельно протестовані як постачальниками промислової програми керування, так і кінцевим користувачем програми, перш ніж вони будуть впроваджені. Інша проблема полягає в тому, що багато АСК ТП використовують старіші версії операційних систем, які більше не підтримуються постачальником. Отже, доступні патчі можуть бути непридатними.

Також до важливих відмінностей варто віднести використання у АСК ТП пропріетарних операційних систем та протоколів, ресурсні обмеження АСК ТП, складність їх оновлення, великий термін експлуатації компонентів та можливу складність доступу до компонентів АСК ТП.

Тому необхідно розробляти заходи кібербезпеки, які враховують ці вищеперераховані особливості функціонування АСК ТП, при цьому не порушуючи інші вимоги до системи.

Література:

1. NIST Special Publication 800-82 rev. 2. Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security [Electronic resource] // May. 2015: Proceedings. – Mode of access: WWW.URL: <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.800-82r2>. - Last access: 2018. – Title from the screen.

Інформація про авторів:

Шулепа Андрій– магістр каф. АТЕП ТЕФ НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», Україна;

e-mail: shulepaa@gmail.com

тел. 050-0548268

Науковий керівник: Грудзинський Юліан – ст. викладач каф. АТЕП
ТЕФ НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», Україна;
e-mail: jug@sonettele.com
тел. 050-3115622

Annex for papers written in Ukrainian or Russian

**COMPARISON OF THE SAFETY REQUIREMENTS
OF ICS AND IT SYSTEMS**

Yulian Grudzynsky, Andriy Shulepa

This paper describes main differences between Industrial Control Systems (ICS) and IT systems which are critical for using common IT cybersecurity common practices for ICS. ICS have many characteristics that differ from traditional IT systems, including different risks and priorities, timeliness and performance requirements, availability requirements, system operation, resource constraints, communications, change management, component lifetime and location. It is important to remember this differences to develop high-quality cybersecurity system for ICS.

**РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЕКТУ «УКРАЇНА: КОНСУЛЬТАНТ
ЗІ ЗНЯТТЯ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗА ПРОГРАМОЮ
ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ»
У ДП «НАЕК «ЕНЕРГОАТОМ»**

Яковенко О.

Відповідно до п. 2.03 (xvi) Гарантійної угоди (Україна: Комплексна (зведена) програма підвищення рівня безпеки енергоблоків атомних електростанцій) між Україною та Європейським банком реконструкції та розвитку, ратифікованої Законом України від 15.05.2014 № 1267-VII, Україна має «співпрацювати з будь-якими Консультантами з питань виведення з експлуатації, найнятих ЄБРР для розгляду і надання рекомендацій Національному органу із зняття з експлуатації щодо питань, пов'язаних із зняттям з експлуатації енергоблоків Позичальника». Позичальником за Гарантійною угодою є ДП «НАЕК «Енергоатом».

Кінцевим користувачем послуг Консультанта є Наглядова рада із здійснення контролю за використанням та інвестуванням коштів фінансового резерву, призначеного для зняття з експлуатації діючих енергоблоків атомних електростанцій, яка утворена згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 22.01.2014 № 21 (далі – Наглядова рада).

Проект «Технічного завдання «Україна: Консультант зі зняття з експлуатації за Програмою підвищення безпеки атомних електростанцій» було розроблено ЄБРР.

За результатами тендеру на вибір Консультанта зі зняття з експлуатації, який було оголошено 07.09.2016 ЄБРР, переможцем було визнано іспанську компанію Empresarios Agrupados Internacional, S.A.

Консультантом було проаналізовано більше 40 законодавчих, нормативних та технічних документів з питань зняття з експлуатації ядерних установок, поводження з ВЯП та РАВ.

Рекомендації, які надано Консультантом, викладено в Підсумковому резюме остаточного Звіту за проектом «Україна: Консультант зі зняття з експлуатації за Програмою підвищення безпеки атомних електростанцій», основними з яких є :

1. Вирішення питання щодо призначення членів Наглядової Ради на принципах посад, які вони займають, а не персонально.

2. З метою захисту коштів фінансового резерву для зняття з експлуатації ядерних установок від інфляції рекомендується Кабінету Міністрів України:

- передати функції щодо операцій з державними цінними паперами за рахунок коштів фінансового резерву від Міненерговугілля до ДП «НАЕК «Енергоатом»;

- ініціювати виведення фінансового резерву з держбюджету, для чого вийти з законодавчою ініціативою щодо вилучення статті 9¹ розділу VI «Прикінцеві та перехідні положення» з Бюджетного Кодексу України від 08.07.2010 № 2456-VI та внесення змін до Закону України від 24.06.2004 № 1868-IV «Про впорядкування питань, пов'язаних із забезпеченням ядерної безпеки» (повернення його до редакції 2004 року або розроблення проекту нового закону на його заміну).

3. Залучення представників Наглядової ради до дискусій, при розподілі коштів Фонду поводження з РАВ в частині створення інфраструктури для захоронення РАВ.

Інформація про автора:

Яковенко Олена - ДП «НАЕК «Енергоатом», місто Київ, вул. Назарівська, 3

НОВАЯ РЕВОЛЮЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РОБОТОВ (ЭЛЕКТРОННЫЙ МОЗГ И НОВЫЙ ТИП НЕЙРОННОЙ СЕТИ)

Яценко В. А.

Аннотация. Рассматривается технологическая основа, цели и задачи, преимущество и область применения нового направления в компьютеризации. Которое на базе революционной технологии обработки различных видов информации в единой однородной многомерной активной ассоциативной структуре, дает возможность создавать новый тип человекоподобных думающих интеллектуальных роботов. Интеллектуальные роботизированные системы

применимы для обнаружения опасных ситуаций и их предотвращения на ядерных установках. В диапазон операций по техническому контролю и наблюдению за работой оборудования ядерных установок входят работы обнаружения утечек воды или пара, проверки положения клапанов, считывания показаний датчиков, измерений уровней радиации в различных узлах и различных методов взятия проб для обнаружения радиоактивного загрязнения. Для решения многих проблем ликвидации последствий аварий на атомных станциях наиболее перспективно применение антропоморфных роботов с интеллектом, приближающимся к интеллекту человека.

Введение

Роботы, о которых раньше говорилось только в научно-фантастических произведениях, в последние годы решительно завоевывают внимание общественности и представителей промышленности. Применение дистанционно управляемого и роботоподобного оборудования для защиты рабочих ядерной промышленности в зонах высокой радиации не ново. Джон Тэйлор, вице-президент ИЭИ и руководитель ядерно-энергетического отдела, делит роботов, применяемых в ядерной области, на две широкие категории: на одноцелевые устройства с ограниченной способностью выполнять различные операции и на перепрограммируемые многоцелевые роботы, обладающие в некоторой степени искусственным интеллектом благодаря применению компьютеров. „Я думаю, первая категория уже достигла разумного уровня зрелости“, — говорит Тэйлор. В настоящее время такие типы устройств используются в центре неразрушающих испытаний ИЭИ, а также производителями реакторов, подрядчиками по оказанию услуг в ядерной области и некоторыми электро-энергетическими компаниями. „Такие устройства оказались совершенно необходимыми; без них мы просто не можем выполнить некоторые виды работ“, — добавляет Тэйлор. Роботам второй категории, т.е. обладающим достаточным компьютерным интеллектом для выполнения целого ряда операций, по словам Тэйлора, „еще предстоит пройти длинный путь“ [1].

Новое направление в компьютеризации на базе революционной технологии обработки различных видов информации (видео, звук, символы, тактильная и прочие) в единой однородной многомерной активной ассоциативной структуре, даст возможность создавать новый тип человекоподобных думающих машин, что позволит значительно повысить эффективность применения интеллектуальных роботов и роботизированных систем в атомной энергетике.

Технологическая основа

Новая технология новый тип нейросети - многосвязная, многомерная, рецепторно-эффекторная нейроподобная растущая сеть, функционирующая по аналогии с мозгом человека [2-4]. От подобных техноло-

гий она отличается нетрадиционной не фон-неймановской архитектурой системы, обеспечивающей массовый параллелизм. Эта структура осуществляет одновременное восприятие, анализ, синтез, запоминание, классификацию и обобщение информации, представленной в различных измерениях (например, визуальном, звуковом, тактильном и пр.). В результате анализа информации нейроподобная структура вырабатывает управляющие сигналы на исполнительные механизмы. В результате формируются условные рефлексы и сложные адаптивные механизмы поведения системы в окружающей среде.

Преимущества технологии

Высокий интеллект, приближающийся к интеллекту человека: система решает поставленные задачи с помощью обучения или самообучения. Отсутствие программирования. Массовый параллелизм восприятия и обработки информации: сверхбыстродействие системы за счет одновременного выполнения операций по всему объему активной структуры (памяти). Относительная скорость увеличивается с увеличением объема обрабатываемой информации. Малые габариты и энергопотребление. Помехоустойчивость и надежность.

Цели и задачи

Краткосрочная цель: В течение ближайших 10-ти месяцев разработать прототип думающего компьютера (электронного мозга для человекоподобного робота).

Долгосрочная цель: На базе прототипа «Электронный мозг» в течение 2 лет организовать промышленное производство интеллектуальных думающих компьютеров, человекоподобных машин и роботов, которые могли бы понимать человека и полностью заменять его в рутинном труде и в опасных для человека местах.

Область применения:

Системы безопасности. Интеллектуальные роботизированные системы в сфере безопасности. Обнаружение опасных ситуаций и их предотвращение на ядерных установках. В диапазон операций по техническому контролю и наблюдению за работой оборудования, которые изучались в исследовании КРЯД, входят работы, начиная с обнаружения утечек воды или пара, проверки положения клапанов и считывания показаний датчиков до измерений уровней радиации в различных узлах и различных методов взятия проб для обнаружения радиоактивного загрязнения. В исследовании ИЭИ были изучены 22 операции, выполняемые ежедневно или во время перегрузки топлива, включая техническое обслуживание приводов стержней управления, ремонт труб парогенераторов, а также ремонт или замену различных насосов и клапанов. Хотя масштабы анализируемой деятельности были различными, в обоих исследованиях делаются выводы, что применение роботов на ядерных установках потенциально сулит зна-

чительную чистую экономическую выгоду. В исследовании КРЯД, которое основывалось на применении методологии анализа затрат и результатов на двух существующих станциях, сделан вывод, что имеющуюся в продаже робототехнику можно переделать для существующих станций и ее применение уменьшит радиационное облучение рабочих и снизит эксплуатационные издержки станции [5].

В работах по ликвидации последствий аварии на Фукусимской АЭС применяются сотни единиц различных телеуправляемых роботов, в основном в задачах разведки и картирования. С задачами собственно ликвидации последствий аварии имеющиеся серийные роботы справляются не очень [6].

Японские инженеры активно работают над созданием роботов для целей дистанционного исследования и дезактивации радиационно-опасных участков атомной электростанции Фукусима Даичи (Fukushima Daiichi). 15 февраля 2013 года компания Toshiba представила новый тип роботов для дезактивации поверхностей загрязненных радиоактивными веществами. Необходимость разработки и использования такого робототехнического устройства объясняется крайне затрудненным доступом персонала в отдельные помещения разрушенных энергоблоков – поверхности (стены, пол и оборудование) загрязнены радиоактивными веществами. В таких условиях высокий радиационный фон затрудняет работу персонала по изучению последствий катастрофы и изучению состояния строительных конструкций и оборудования станции. Представленный робот способен дезактивировать высоко загрязненные участки пола и стен помещений АЭС Фукусима с помощью новаторского метода очистки. Конструкторы отмечают, что вначале этот метод вакуумной очистки разрабатывался для очистки поверхностей самолетов от краски, но его высокая эффективность позволила применить его к задачам радиационной дезактивации аварийной АЭС [7].

Работа телеуправляемыми машинами идет гораздо медленнее, чем с помощью людей. Это известная проблема, и она связана с как с ушербной кинематикой и подвижностью самих роботов, так и с трудностью восприятия обстановки оператором через отдельные камеры эту проблему сегодня пытаются решать с помощью дополненной и виртуальной реальности, однако до ФАЭС такая технология пока еще не дошла.

Для решения многих проблем ликвидации последствий аварий на АС наиболее перспективна разработка и применение антропоморфного робота с возможностью автономного поведения с участием человека только на этапе постановки задач. Функции оператора должны сводиться к постановке задач роботу в рамках ситуации, в которой ему придется работать, указанию объектов, с которыми придется взаимодействовать, обучению их распознаванию и манипуляциям с ними.

Производство. Умные роботизированные заводы в различных отраслях промышленности.

Медицина. Интеллектуальные робототехнические протезы конечностей. Умные роботы для проведения высокотехнологичных операций.

Быт. Интеллектуальные роботы, предназначенные для выполнения сложных бытовых задач. Всевозможные умные поющие и танцующие животные, интерактивные игрушки, радиоуправляемые машины и вертолёты.

Космос. Роботы, предназначенные для использования в космосе, на орбите Земли или других планет, в открытом космическом пространстве, на борту космического аппарата, на поверхности различных космических тел, а также связанные с космическими исследованиями в условиях космоса, которые для человека оказались бы непосильными или крайне опасными. Интеллектуальные системы сбора информации и управления – умные космические аппараты и корабли.

Эффект от внедрения предлагаемой технологии:

Сокращение затрат (отсутствие программирования)

Колоссальная прибыль при реализации и внедрении Электронного мозга в производство роботов и других интеллектуальных систем различного назначения. Ускорение, интеллектуализация и оптимизация производственных процессов и услуг. Появление новых высокоинтеллектуальных продуктов и услуг.

Дополнительный эффект:

Технология высокоэффективна при применении для интеллектуальной обработки информации в **сверхбольших базах данных и знаний.**

Литература:

1. https://www.iaea.org/sites/default/files/27304393138_ru.pdf.
2. Yashchenko V. Artificial intelligence theory // Science and Information Conference 2014 August 27-29, 2014 | London, UK, P.473-480.
3. Yashchenko V. Neural-like Growing Networks the Artificial Intelligence Basic Structure Springer International Publishing Switzerland 2015 K. Arai et al. (eds.), Intelligent Systems in Science and Information 2014, Studies in Computational Intelligence 591, DOI 10.1007/978-3-319-14654-6_3 (Springer2015), - P. 41 – 55.
4. 电子大脑》智能运算系统和机器人/ 第三届青岛国际技术转移大会暨 2016 美国创新企业技术洽谈会 / Yashchenko V. The "electronic brain" of the development of intelligent computer systems and robots. / The 3rd Qingdao International Technology Transfer Conference & US Innovative Enterprise Technology Negotiation Meeting. – 2016. – Project Book. – P. 44.
5. https://www.iaea.org/sites/default/files/27304393138_ru.pdf.
6. <https://geektimes.ru/post/285518/>.
7. <http://chornobyl.in.ua/robot-dlya-dezaktivacii.html>.

Информация об авторе:

Яценко В.А. - Институт проблем математических машин и систем НАН Украины, г. Киев пр. Академика В. М. Глушкова, 42

Annex for papers written in Ukrainian and Russian

***Annotation.** The technological basis, goals and tasks, the advantage and scope of the new direction in computerization are considered. Based on the revolutionary technology of processing various types of information in a single homogeneous multi-dimensional active associative structure, it makes it possible to create a new type of human-like thinking intellectual robots. Intelligent robotic systems are applicable to the detection of dangerous situations and their prevention in nuclear installations. The range of operations for technical control and monitoring of the operation of equipment of nuclear installations includes the work of detecting water or vapor leakages, checking the position of valves, reading the readings of sensors, measuring radiation levels at various sites, and various methods for taking samples to detect radioactive contamination. Also, to solve many problems of eliminating the consequences of accidents at nuclear power plants, the most promising is the use of anthropomorphic robots with intelligence approaching human intelligence*

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

III Міжнародна конференція

**ПРОБЛЕМИ ЗНЯТТЯ
З ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ЯДЕРНОЇ
ЕНЕРГЕТИКИ ТА ВІДНОВЛЕННЯ
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

**Third International Conference
on Nuclear Decommissioning
and Environment Recovery
INUDEC0 18**

(25-27 квітня 2018 року, м. Славутич)

Збірник матеріалів

Комп'ютерна верстка і макетування

Т. М. Колот

Підписано до друку 26.11.2018. Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. – 23,8.
Тираж 150 пр. Замовлення № 446/18.

Редакційно-видавничий відділ Чернігівського національного технологічного університету
14035, Україна, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
серія ДК № 4802 від 01.12.2014 р.