I Международная научно-практическая конференция

ЯДЕРНЫЕ ЗНАНИЯ В XXI ВЕКЕ

Сборник научных трудов

26 ноября 2025 года
Минск, Беларусь



Департамент по ядерной и радиационной безопасности
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь (Госатомнадзор)
Белорусский государственный университет
Институт ядерных проблем БГУ

I Международная
научно-практическая конференция

ЯДЕРНЫЕ ЗНАНИЯ В XXI ВЕКЕ

Сборник научных трудов

26 ноября 2025 года

Минск, Беларусь

Минск

НИИ ЯП БГУ

2025

УДК 539.1+621.039+004.4:004.9

Редактор

С. Н. Сытова

Ядерные знания в XXI веке: сб. научн. трудов I Междунар. научно-практ. конф., 26 ноября 2025 г., Минск, Беларусь. – 2025. – 128 с.

Конференция посвящена обсуждению актуальных вопросов менеджмента ядерных знаний, а также обзору новейших достижений во всех областях управления ядерными знаниями, в том числе цифровых инструментов и технологий для широкого использования в ядерной отрасли, а также радиационных технологий.

Конференция, благодаря своему междисциплинарному подходу, способствует интеграции передовых разработок в сфере управления ядерными знаниями с результатами фундаментальных и прикладных исследований по различным направлениям ядерной науки, а также в области ядерной и радиационной безопасности.

УДК 539.1+621.039+004.4:004.9

ВВЕДЕНИЕ

I Международная научно-практическая конференция «Ядерные знания в XXI веке» (26 ноября 2025 г., Минск, Беларусь) посвящена обсуждению актуальных вопросов менеджмента ядерных знаний, а также обзору новейших достижений во всех областях управления ядерными знаниями, в том числе цифровых инструментов и технологий для широкого использования в ядерной отрасли, а также радиационных технологий.

Во время работы конференции были созданы условия для плодотворного обмена опытом и знаниями среди профессионалов, занимающихся управлением ядерными знаниями. Одновременно, она предоставила специалистам в области ядерной физики, ядерных и радиационных технологий возможность осмыслить и найти свое место в контексте управления этими знаниями.

Тематические направления научной программы:

– Стратегии и политика управления ядерными знаниями
– Цифровые платформы в управлении ядерными знаниями
– Управление знаниями в области радиационных технологий и их применения в медицине, промышленности, сельском хозяйстве
– Образовательные программы и подготовка кадров для ядерной отрасли

В программе конференции представлены доклады, охватывающие широкий спектр ядерных и радиационных технологий с анализом возможных материалов, готовых для размещения на Национальном портале ядерных знаний Республики Беларусь.

Организаторы конференции:

Департамент по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (Госатомнадзор);
Белорусский государственный университет;
Институт ядерных проблем БГУ.

Программный комитет:

Луговская О.М., начальник Госатомнадзора, к.ф.-м.н.
Максименко С.А., директор НИИ ЯП БГУ, д.ф.-м.н., профессор
Тимощенко А.И., заведующий кафедрой ядерной физики БГУ, к.ф.-м.н., доцент
Савицкая Т.А., зам. декана по научной работе химического факультета БГУ, д.х.н., профессор
Лобко А.С., зам. директора по научной работе НИИ ЯП БГУ, д.ф.-м.н., доцент
Сытова С.Н., зав. лаб. НИИ ЯП БГУ, д.ф.-м.н., доцент.

ПРОГРАММА

9-00:10-00 **Регистрация участников**

10-00:10-15 **Открытие конференции (Госатомнадзор, НИИ ЯП БГУ)**

10-15:12-00 ***Пленарное заседание 1. Ядерные знания в Республике Беларусь. Становление***

10-15:10-30 **Сытова Светлана Николаевна,** *А.Р.Барткевич, А.П.Дунец, А.Н.Коваленко, Е.И.Коваленко, З.И.Трафимчик, А.Л.Холмецкий, С.В.Черепица. НИИ ЯП БГУ.* Система управления ядерными знаниями в Республике Беларусь: подходы к ее формированию

10-30:10-40 **Гурнович Наталья Константиновна.** *Госатомнадзор.* Управление явными ядерными знаниями: основа для эффективного регулирования в области ядерной и радиационной безопасности

10-40:10-50 **Лесяк Полина Игоревна.** *Госатомнадзор.* Формирование национальной системы ядерных знаний: интеграция опыта регулирующего органа и инструменты практической реализации

10-50:11-05 **Савицкая Татьяна Александровна,** *И.М.Кимленко, А.В.Зураев. БГУ.* Формирование системы управления ядерными знаниями на химическом факультете Белорусского государственного университета

11-05:11-20 **Тимощенко Андрей Игоревич.** *БГУ.* О структуре и наполнении Портала ядерных знаний

11-20:11-30 **Босенко Татьяна Адольфовна.** *Госатомнадзор.* Инвестиции в знания – вклад в безопасность: современная парадигма обучения и развития кадрового потенциала Департамента по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь

11-30:11-45 **Приходько Александр Владимирович.** *ГПО «Белэнерго».* Подготовка кадров для Белорусской АЭС

11-45:12-00 **Любочко Олег Николаевич,** *А.О.Буторин. НТЦ ЯРБ.* Проблематика классификации ядерных знаний в системе их менеджмента

12-00:12-15 **Кофе-пауза**

12-15:13-30 ***Пленарное заседание 2. Международный опыт менеджмента ядерных знаний***

12-15:12-45* **Косилов Андрей Николаевич.** ***НИЯУ МИФИ, региональная сеть ядерного образования STAR-NET.*** Принципы управления знаниями (УЗ) и опыт реализации систем УЗ в ядерных организациях

12-45:13-00* **Смольский Владислав Александрович.** *Филиал АО АСЭ в Венгрии.* Построение новых компетенций для новых АЭС: управление знаниями от сооружения до эксплуатации

13-00:13-20* **Зарубин Павел Игоревич.** *ОИЯИ.* Ядерная фотография: из века XIX в XXI-й

13-20:13-35* **Зайцев Андрей Александрович.** *ОИЯИ.* Ядерные фотоэмульсии и трековые детекторы как источник больших данных

13-35:14-30 **Перерыв на обед/кофе-пауза**

14-30:17-30 ***Пленарное заседание 3. Явные ядерные знания. Практика применения***

14-30:14-40 **Аронов Геннадий Аркадьевич**, *С.Г.Котов. Центр геофизического мониторинга НАН Б.* Экспериментальные работы по учету объемной активности радона при сейсмических событиях на Старобинском месторождении калийных солей

14-40:15-10 **Кожемякин Валерий Александрович.** *АТОМТЕХ.* Состояние и перспективы в области разработки и производства ядерно-физической аппаратуры

15-10:15-20 **Загороднюк Алексей Александрович,** *И. А. Алексейчук, М.А. Богдан, С. В. Лазаренко, А. Ю. Тараев. АТОМТЕХ.* Основные характеристики полей фотонного излучения медицинских линейных ускорителей электронов, применяемые для проверки работоспособности дозиметрического оборудования

15-20:15-30 **Комар Дамиан Ингваррович,** *В. Д. Гузов, С. В. Лазаренко. АТОМТЕХ.* Исследование дозиметрических характеристик поля высокоэнергетического захватного гамма-излучения, сформированного на установке поверочной нейтронного излучения УПН-АТ140

15-30:15-40 **Лопин Андрей Николаевич,** *В. А. Николаев, П. Н. Васильев, А. М. Бирило. АТОМТЕХ.* Новая система радиационного контроля СРК-АТ2330

15-40:15-50 **Ничипорчук Андрей Олегович**, *А. Ч. Буйвидович, Д. И. Оболонский, В. В. Семерикова. АТОМТЕХ.* Инструментальная, программно-техническая и методическая база предприятия «АТОМТЕХ» для решения задач радиационного контроля объектов окружающей среды, строительных материалов и сырья, продуктов питания и внутреннего облучения человека

15-50:16-00 **Примакова Ангелина Николаевна.** *АТОМТЕХ.* Корректировка энергетической зависимости чувствительности двухсекционных счетчиков Гейгера-Мюллера в дозиметрических блоках детектирования гамма- и рентгеновского излучения

16-00:16-10 **Прямосудова Наталья Александровна,** *Ю.П. Сивцевич, А.Н. Толкачев. АТОМТЕХ.* О необходимости развития нормативно-технической базы в области портальных установок радиационного контроля на территории Республики Беларусь

16-10:16-20* **Mambwe Musupila Mathias.** *Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева.* Fundamentals of thermal-hydraulic calculations of heat exchange apparatuses of nuclear reactors

16-20:16-30* **Цапко Сергей Геннадьевич,** *Н.В. Алексеев, А.С. Гоголев, М.Ю. Серпокрылов, А.О. Павлюк, Н.А. Филатов. Томский политехнический университет.* Средства контроля процессов переработки отработанного ядерного топлива

16-30:16-40* **Шовиков Артур Валерьевич,** *Е.А. Евтушенко, М.В. Кащеев, В.А. Левченко, Р.Н. Савинов. Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Ленинградская атомная станция».* Медленное расхолаживание энергоблока в период останова для ремонта как фактор повышения культуры безопасности на Ленинградской АЭС-2

16-40:16-50 **Сперанский Филипп Александрович,** *С.А.Кутень, В.О.Кавун. НИИ ЯП БГУ.* Практико-ориентированные задачи НИР, подлежащие разрешению при реализации регулирующих функций Госатомнадзором на среднесрочную перспективу в 2026 – 2030 годах и далее

16-50:17-00 **Сперанский Филипп Александрович,** *Ю.С.Скульбедов, В.О.Кавун, С.А.Кутень, Н.К.Ульянов. НИИ ЯП БГУ.* Моделирование характеристик топливных загрузок энергоблока № 1 Белорусской АЭС с помощью ПК РАДУГА-ЭУ

17-00:17-10 **Серенкова Инна Александровна,** *О.М.Дерюжкова. ГГТУ им. Сухого, ГГУ им. Скорины.* Ядерно-физические данные для системы управления ядерными знаниями Республики Беларусь

17-10:17-20 **Орлова Алина Владимировна.** НТЦ ЯРБ. Информационный справочник показателей безопасной эксплуатации АЭС

17-20:18-00 ***Круглый стол, закрытие конференции***

**** Доклады по видеосвязи***

УДК 621.039.59

Н. В. Алексеев, А. С. Гоголев, М. Ю. Серпокрылов,
А. О. Павлюк, С. Г. Цапко, Н. А. Филатов
г. Томск, Россия, Томский политехнический университет

СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Введение

Средства и способы переработки отработанного ядерного топлива и замыкания ядерного топливного цикла предполагают не только разработку технологических схем разделения и кондиционирования материалов, но и обеспечение инструментальной базы для их надежной, безопасной и верифицируемой эксплуатации [1]. Современное развитие атомной энергетики неразрывно связано с решением задачи замыкания ядерного топливного цикла. Переход к замкнутому циклу позволяет решить несколько фундаментальных проблем: повторно использовать ценные делящиеся материалы, такие как уран и плутоний, сократить объем высокоактивных отходов, подлежащих захоронению, и дополнительно получить до 25-30% энергии, которая теряется при разомкнутом цикле. Однако промышленная реализация замкнутого ядерного топливного цикла сопряжена с серьезными технологическими вызовами, среди которых ключевым является отсутствие надежных и точных средств оперативного контроля критически важных технологических параметров [2].

Традиционные лабораторные методы радиохимического анализа обладают высокой точностью, но они принципиально не могут обеспечить оперативный контроль над процессами в реальном времени из-за своей длительности, необходимости ручного отбора проб и последующей сложной подготовки образцов. Без метрологически обеспеченных непрерывных измерений методами неразрушающего контроля интервалы между радиохимическими анализами остаются слишком большими, увеличивается неопределённость балансов, риск непреднамеренных потерь и транзакционных ошибок при передаче материалов между производственными стадиями [3]. Как следствие, снижается общая эффективность и безопасность всего процесса переработки.

Таким образом, создание средств неразрушающего контроля, способных предоставлять точную и метрологически обоснованную информацию в режиме онлайн, становится не просто желательным улучшением, а обязательным условием для практической реализации концепции замкнутого ядерного топливного цикла в промышленных масштабах.

Основная часть

Авторами статьи предложено использовать гибридное средство измерений, которое сочетает в себе два независимых физических метода: рентгенофлуоресцентный анализ и денситометрию. Такой комбинированный подход позволяет преодолеть ограничения, присущие каждому из методов в отдельности.

Рентгенофлуоресцентный анализ обеспечивает количественное спектральное определение элементного состава раствора, в то время как денситометрия, измеряя плотность, предоставляет дополнительные данные, позволяющие компенсировать матричные эффекты и эффекты самоэкранирования, существенно повышая итоговую точность и достоверность измерений. Гибридный принцип работы устройства позволяет с высокой точностью определять концентрации не только урана и плутония, но и минорных актинидов в сложных многокомпонентных технологических потоках без необходимости какого-либо отбора проб (рис. 1).

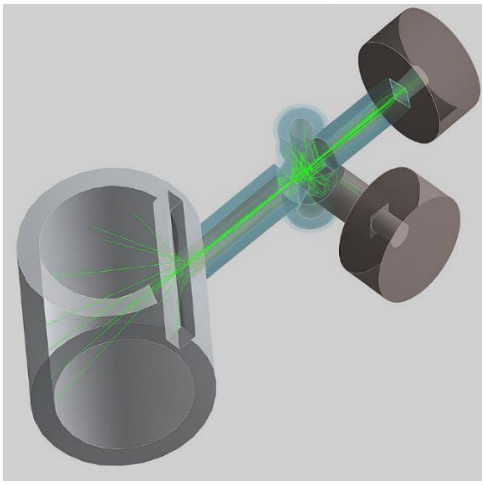


Рисунок 1. Схематичное представление гибридного устройства

Предлагаемый подход позволяет обеспечить радиационную безопасность персонала и непрерывность технологического процесса.

Новизна предлагаемого решения заключается не только в самом гибридном подходе, но и в комплексной интеграции этих методов в единое устройство, оснащенное специализированной измерительной ячейкой, изготовленной из радиационно-стойкого полимера – полиэфирэфиркетона. Конструкция ячейки включает систему самоцентрирования, что обеспечивает стабильность и воспроизводимость измерений в условиях интенсивного химического и радиационного воздействия, характерных для реальных производственных условий на радиохимических предприятиях (рис. 2).



Рисунок 2. 3-Д модель кюветы

Дистанционное управление прибором, с помощью разработанного специализированного программного обеспечения, позволяет проводить измерения и настраивать прибор вне воздействия ионизирующего излучения. Архитектурно программное обеспечение разделенного на два ключевых модуля: модуль управления аппаратной частью прибора и модуль анализа и визуализации данных.

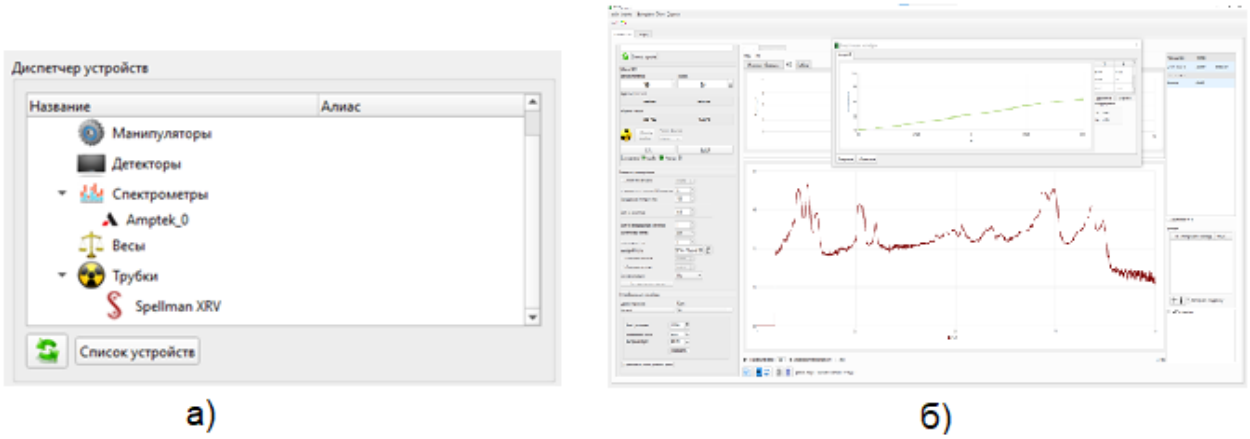


Рисунок 3. Специализированное программное обеспечение

Модуль управления отвечает за калибровку прибору, управления датчиками и рентгеновским излучателем. Модуль анализа и визуализации данных обеспечивает расчёт сложных математических алгоритмов декомпозиции сложных спектров и компонентного состава анализируемых растворов.

Работы над созданием прибора выполнялись в тесной кооперации Томского политехнического университета с АО «Сибирский химический комбинат», что обеспечило прямую связь научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ с реальными производственными задачами и требованиями. Такое партнерство позволило на ранних стадиях верифицировать разрабатываемые решения. Авторами работы проведены модельные исследования в программной среде Geant4 (рис. 4), которые доказали принципиальную возможность детектирования устройством минимальных концентраций урана и соответствие его исходным требованиям производственных задач.

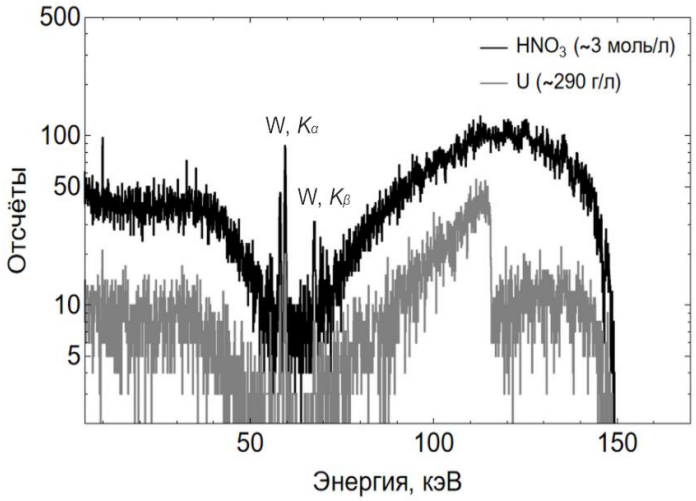


Рисунок 4. Результаты модельных исследований

На данный момент разработана полная рабочая конструкторская документация на гибридный денситометр-концентратомер и на измерительную ячейку, изготовлены два экспериментальных образца ячейки, собран экспериментальный образец устройства и проведены его стендовые испытания.

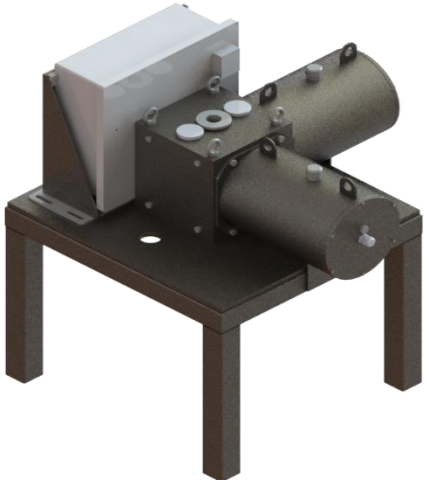


Рисунок 5. Экспериментальный образец гибридного устройства

На текущий момент разработан экспериментальный образец измерительного устройства (рис. 5), который проходит испытания на площадке ТПУ. В дальнейшем, по результатам испытаний, будут внесены доработки в конструкцию измерительного устройства, реализована проточная измерительная ячейка, что позволит сделать данный прибор ключевым элементом для построения систем автоматизированного управления технологическими режимами, точного учета ядерных материалов и проведения инспекционной верификации. Оно является востребованным продуктом для ведущих предприятий госкорпорации «Росатом», в первую очередь для АО «СХК», ФГУП «Горно-химический комбинат», АО «Чепецкий механический завод» и ФГУП «Маяк». Планируется, что для каждого из этих предприятий устройство будет решать конкретные производственные задачи: от оперативного контроля концентраций на входе и выходе радиохимических стадий до валидации качества регенерированного сырья для последующего производства топлива. В перспективе планируете организация научно-производственного для серийного выпуска до 7 устройств в год с поэтапным увеличением степени локализации производства, которая в будущем должна достигнуть 90% после налаживания выпуска детекторов в России.

Ожидаемые экономические эффекты от внедрения устройства весьма значительны и оцениваются в диапазоне от 75 миллионов до нескольких миллиардов рублей в год на одну установку. Основными источниками экономии являются резкое сокращение количества дорогостоящих лабораторных анализов (до 20-25%), уменьшение операционных потерь ценных делящихся материалов, снижение внеплановых остановок оборудования и повышение общей эффективности технологической цепочки. При капитальных затратах на систему порядка 50 миллионов рублей ее окупаемость в большинстве реальных сценариев составляет менее одного года. Помимо экономических эффектов, проект имеет ярко выраженные социальные и стратегические эффекты. К социальным относится повышение радиационной безопасности персонала за счет исключения

контакта с пробами и снижения дозовых нагрузок на 30-40%. Стратегические эффекты включают импортозамещение критически важных технологий неразрушающего контроля, усиление технологического суверенитета России и повышение конкурентоспособности отечественных решений на международном рынке, в том числе через поставки в страны с атомной энергетикой российского оборудования в сотрудничестве с МАГАТЭ.

Заключение

Разработка гибридного рентгеновского денситометра-концентратомера представляет собой значительный и своевременный шаг в развитии инструментальной базы, необходимой для практического замыкания ядерного топливного цикла. Устройство должно не просто заполнить существующий технологический пробел в области оперативного аналитического контроля, но и стать необходимым звеном технологического процесса при построения цифровых и автоматизированных систем управления будущего в атомной отрасли.

Проведенные натурных на имитаторах технологических растворах позволили не только верифицировать работоспособность и надежность экспериментального образца в реальных условиях, но и собрать большой набор данные для окончательной доводки и оптимизации устройства измерения. Полученные результаты станут основой для разработки полного пакета технической и нормативной документации, необходимой для сертификации устройства и его внесения в Государственный реестр средств измерений. Дальнейшие планы, включающие коммерциализацию, серийный выпуск и адаптацию устройства под нужды других предприятий Росатома и международных заказчиков, свидетельствуют о высоком потенциале масштабируемости и востребованности данной разработки.

Успешная реализация разработки серийного образца откроет новые возможности для безопасного, экономически эффективного и экологически ответственного замыкания ядерного топливного цикла. Это в полной мере соответствует долгосрочным целям развития атомной отрасли России, способствуя укреплению ее энергетической независимости, технологического лидерства и выполнения строгих международных стандартов в области ядерной и радиационной безопасности. Таким образом, представленная разработка является не просто новым измерительным прибором, а ключевой технологией, которая закладывает основу для устойчивого развития атомной энергетики будущего.

Работа выполнена в рамках реализации госпрограммы «Приоритет 2030».

Литература

1. Мясоедов Б.Ф., Калмыков С.Н., Шадрин А.Ю. Химические технологии замыкания ядерного топливного цикла // Вестник Российской академии наук. 2021. Т. 91. № 5. С. 459–469.

2. Dixon B. et al. Reassessing methods to close the nuclear fuel cycle // Annals of Nuclear Energy. 2020. Vol. 147. 107652.

3. Lumetta G.J. et al. Closing the Nuclear Fuel Cycle with a Simplified Minor Actinide Lanthanide Separation Process (ALSEP) and Additive Manufacturing // Scientific Reports. 2019. Vol. 9. 12842.

УДК 004.6; 005; 621.039

А. Р. Барткевич, А. П. Дунец, А. Н. Коваленко, Е. И. Коваленко, С. Н. Сытова, З. И. Трафимчик, А. Л. Холмецкий, С. В. Черепица

г. Минск, Республика Беларусь, Институт ядерных проблем Белгосуниверситета

ФОРМИРОВАНИЕ КОНТЕНТА ПОРТАЛА ЯДЕРНЫХ ЗНАНИЙ: КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ

Обеспечение качественного информационного сопровождения ядерного сектора является главным приоритетом функционирования и развития Национального портала ядерных знаний Республики Беларусь. Материал посвящен особенностям работы с новостной лентой портала, важности публикации в открытом доступе отчетов о НИР, а также политике в области соблюдения авторских прав.

Систематизация и публикация на Национальном портале ядерных знаний новостной информации, подборок статей, презентаций, отчетов о научно-исследовательских работах (НИР) и других профильных материалов способствует улучшению свободного доступа к информации, стимулированию научных исследований в широком диапазоне ядерных знаний и обеспечению высокого качества образовательного процесса в этой сфере. Реализация подобного проекта требует существенных инвестиций и должна быть основана на четком понимании потребностей целевой аудитории и наличии уникального контентного предложения. Чтобы обеспечить эффективность использования имеющихся ресурсов, необходимо также учитывать потенциальные риски и ограничения.

1. Новостная политика портала

В условиях прогнозируемого стремительного мирового роста атомной энергетики и ядерных технологий, вопрос общественного одобрения и общественной приемлемости этой области приобретает особую важность. Такое одобрение, доверие либо неприятие и фобии населения в значительной мере зависят от объема и качества информационного обеспечения. Объективные, всесторонние и правдивые сведения всегда были и остаются надежной основой любого просветительского инструмента. Информационная прозрачность – неотъемлемая составляющая успешного достижения экономических и социальных целей. Хорошо известно, что фобии в отношении атомных проектов формируются именно из-за отсутствия такой прозрачности.

Очевидно, что знание основ ядерных знаний в сочетании с мониторингом корректно формируемой новостной картины в отечественной и мировой ядерной отрасли, а также международных ядерно-физических исследований, предоставляет общую картину перспективных направлений исследовательской и инженерной деятельности как на предприятиях и организациях нашей страны, так и в научно-исследовательском и образовательном секторе (для студентов и выпускников профильных специальностей).

Обеспечение качественного информационного сопровождения ядерного сектора является главным приоритетом функционирования и развития Национального электронного портала ядерных знаний Республики Беларусь.

Особенности работы с новостной лентой включают в себя ежедневный мониторинг и отбор наиболее важных, по мнению редакции портала, статей из авторитетных новостных источников.

Основное внимание следует обращать на освещение новостной повестки, связанной с атомной отраслью нашей страны – работой Белорусской АЭС, вопросами строительства новой АЭС или новых блоков БелАЭС, исследовательского реактора, пункта захоронения радиоактивных отходов, решением актуальных вопросов обеспечения ядерной и радиационной безопасности, безопасной работой с источниками ионизирующего излучения, прорывными достижениями в научных исследованиях, в целом – широким спектром вопросов в области ядерных знаний в Республике Беларусь.

Актуальная информация разбросана по нескольким источникам. Это официальные сайт и телеграм-канал БелАЭС (https://www.belaes.by/ru/, https://t.me/belaes_oficial), официальные сайт и телеграм-канал Министерства энергетики Республики Беларусь (https://minenergo.gov.by/ и https://t.me/Minenergo_by), https://gosatomnadzor.mchs.gov.by/novosti/ − сайт Госатомнадзора, сайт БЕЛТА – Новости Беларуси https://belta.by/ – это список источников, где можно найти актуальную информацию о ядерном секторе страны.

В русскоязычном информационном пространстве существует два крупных информационных проекта, посвященных главным образом ядерной энергетике Российской Федерации и мира. Это независимое электронное информационно-аналитическое издание AtomInfo.Ru и научно-деловой портал «Атомная энергия 2.0» – независимое профессиональное СМИ атомной отрасли (автонаполняемый сайт), а также информационное электронное издание российской Госкорпорации «Росатом» – Atommedia.online.

Кроме того, крайне важно знание текущего состояния и перспектив различных отечественных и международных инновационных проектов в ядерной и смежных областях, включая отслеживание значительных инвестиций в эти проекты, а также понимание процессов их коммерциализации с последующим формированием развитого рынка технологий как на национальном, так и на мировом уровне.

В англоязычном сегменте официальный сайт МАГАТЭ является флагманским средством массовой информации ядерной отрасли, освещающим масштабную многогранную деятельность МАГАТЭ. Также одним из наиболее крупных и авторитетных электронных изданий, беспристрастно и без каких-либо акцентов предоставляющим актуальное и всестороннее освещение главных событий мировой ядерной энергетики, передовых ядерных и термоядерных исследований, является World Nuclear News (WNN). Поддерживаемое Всемирной ядерной ассоциацией (World Nuclear Association –WNA) с опорой на ее глобальную сеть контактов в промышленности, научных кругах, исследовательских институтах и межправительственных учреждениях, WNN производит

сбор информации только из первоисточников. Статьи издания составляются опытными журналистами в тесном тандеме с экспертами.

Поскольку в Беларуси в настоящее время нет новостного сайта, где можно было бы ежедневно узнать все белорусские и главные международные новости по атомной тематике, то следует стремиться к регулярному наполнению новостной ленты портала.

Сначала это может быть еженедельное наполнение, а потом постепенно с развитием навыков редакторов – обязательное ежедневное наполнение сначала одной, а потом – несколькими новостями. Регулярное размещение тематических новостей на портале является необходимым условием для повышения общественной приемлемости и общественного одобрения и существенного понижения уровня страха перед атомной энергетикой.

Таким образом может быть реализована амбициозная цель – сделать Национальный портал лидером в белорусском новостном ландшафте в части атомной тематики, чтобы тысячи читателей из Беларуси и всего мира каждый день стремились узнать свежие новости, размещенные именно на этом портале.

Какая может быть политика (алгоритм действий) по наполнению Национального портала новостями по тематике ядерных знаний?

Политика наполнения портала новостями должна учитывать цели и аудиторию ресурса, чтобы поддерживать интерес пользователей и обеспечивать актуальность представленной информации. Вот примерный алгоритм действий.

1. Определение целевой аудитории

В случае с Национальным порталом ядерных знаний это специалисты в области ядерной и радиационной безопасности, сотрудники предприятий и организаций, специалисты министерств и ведомств, включая Госатомнадзор, исследователи, студенты, преподаватели, широкая публика.

2. Формирование критериев отбора новостей

Здесь важны актуальность − информация должна быть свежей и соответствовать текущим тенденциям в широком диапазоне ядерных знаний, и релевантность: новости должны касаться тематики портала и быть полезными для его аудитории.

Предпочтение отдается проверенным источникам, таким как научные журналы, официальные сайты министерств и ведомств, предприятий и организаций, организаций технической поддержки, вузов, исследовательских центров, международных организаций. Список порталов и сайтов регулярного мониторинга новостей и информации должен быть сформирован в начале деятельности и регулярно обновляться и пополняться.

3. Источники новостей

Приведем основные каналы информации:

1) мониторинг новостей, информации и пресс-релизов, размещенных на порталах и сайтах из разработанного списка,

2) отслеживание новых статей в ведущих научных журналах,

3) мероприятия: анонсы конференций, семинаров, вебинаров и других событий (из приходящей на портал рассылки).

4) новости и изменения в законодательстве.

5) как результат рассылок с запросами о регулярной передаче на портал важных интересных новостей для размещения.

4. Процесс публикации

Ежедневное или еженедельное отслеживание источников и отбор наиболее значимых новостей; проверка фактов, адаптация текста под стиль портала, добавление иллюстраций и ссылок на источники.

5. Обратная связь и аналитика

Обратная связь от пользователей осуществляется путем сбора комментариев и предложений для улучшения качества новостей. Также необходимо ведение аналитики посещаемости портала.

6. Продвижение новостей

Этот процесс включает распространение новостей через аккаунты портала в социальных сетях (при принятии специального решения о ведении соцсетей), а также партнерство и сотрудничество с другими родственными порталами для взаимного продвижения новостей.

2. Аргументы за размещение отчетов о НИР на Национальном портале ядерных знаний

Научно-исследовательские работы (НИР), выполняемые в рамках различных государственных, региональных и международных программ научных исследований являются базисом развития ядерных знаний, как фундаментальных, так и прикладных, прогресса атомной отрасли и обеспечения ядерной и радиационной безопасности. Все аргументы за размещение отчетов о НИР на Национальном портале ядерных знаний являются сугубо положительными. Единственными отрицательными факторами могут быть названы нерасторопность исполнителей и рассуждения о нарушении авторских прав без знания требований законодательства. Если с первым контраргументом все ясно, то второй рассматривается в разделе 3 статьи.

Рассмотрим аргументы «за».

С целью обеспечения прозрачности и доступности научных результатов размещение отчетов позволит сделать результаты научных исследований более открытыми и доступными для широкого круга специалистов. Это особенно важно в сфере ядерной энергетики, где инновационные разработки имеют стратегическое значение для безопасности и устойчивого развития.

Для повышения эффективности научных исследований свободный доступ к результатам прошлых исследований поможет новым исследователям избегать дублирования и сосредоточиться на актуальных нерешенных проблемах, что ускоряет темпы научных разработок и снижает затраты на их проведение.

Открытый доступ к отчетам стимулирует международное сотрудничество и обмен опытом между учеными из разных стран. Совместные проекты становятся более вероятными, когда есть возможность легко ознакомиться с предыдущими работами коллег.

Сбор всех ключевых отчетов на одном ресурсе создает централизованную базу данных, которую можно эффективно использовать для анализа тенденций, прогнозирования будущих направлений развития и оценки текущего состояния отрасли, формируя таким образом единую информационную базу.

Публикация отчетов ведет к популяризации ядерной науки, а открытость результатов привлекает внимание молодых специалистов и студентов к этой важной области знаний. Чем больше людей вовлечено в обсуждение и развитие ядерных технологий, тем быстрее мы можем двигаться вперед.

Отчеты о НИР также могут использоваться как учебные материалы для студентов и аспирантов, изучающих ядерную физику, инженерию и смежные дисциплины, что потенциально может улучшить качество подготовки кадров и способствовать росту профессиональных компетенций, навыков и умений.

Прозрачные данные о проведенных исследованиях могут заинтересовать потенциальных инвесторов и промышленных партнеров, которые ищут возможность для внедрения инновационных разработок в свою деятельность.

Один из основных аргументов «за» – это снижение рисков дублирования затрат. Описания выполненных проектов помогут государственным органам и частным компаниям принимать более взвешенные решения о финансировании новых инициатив, исключив финансирование тех идей, которые уже были реализованы ранее.

Кроме этого, систематизированные отчеты о НИР помогают предотвратить утечку конфиденциальной информации. Вместо разрозненных источников, пользователи смогут получать проверенную информацию из одного надежного источника.

И последнее – в ряде случаев законодательство обязывает организации размещать отчеты о выполнении государственных заказов и грантов в открытом доступе. Соблюдение этих требований может повысить доверие к научным учреждениям.

Все вышесказанное, естественно, должно выполняться в строгом соответствии с законодательством Республики Беларусь об охране интеллектуальной собственности. Рассмотрим главные принципы формирования контента портала в этой области.

3. Основные принципы в области соблюдения авторских прав

1) **Уважение авторских прав.** Все размещаемые материалы подлежат проверке на предмет нарушения авторских прав. Создатели контента и члены редакционной коллегии портала обязаны убедиться, что публикация контента осуществляется с согласия правообладателя либо соответствует законодательству об исключительных правах.
2) **Лицензионные соглашения**. При публикации материалов важно иметь письменное согласие автора или правообладателя. Это позволяет избежать возможных судебных разбирательств и обеспечивает юридическую защиту сторон.

3) **Сообщение о нарушении авторских прав.** Пользователи имеют возможность сообщать администрации Портала о случаях возможного нарушения авторских прав. Для этого предусмотрен контактный адрес электронной почты.
4) **Устранение нарушений.** Администрация портала обязана оперативно реагировать на жалобы и уведомления о нарушениях авторских прав. Если нарушение подтверждено, контент подлежит немедленному удалению или редактированию.

Статья 36 Закона Республики Беларусь от 17 мая 2011 г. № 262-З «Об авторском праве и смежных правах» (с изменениями и дополнениями) содержит следующие положения.

«Статья 36. Свободное использование произведений в образовательных и исследовательских целях

1. Правомерно обнародованные произведения могут быть использованы с обязательным указанием автора произведения и источника заимствования в качестве иллюстраций в изданиях, радио- и телепередачах, звуко- и видеозаписях образовательного характера в объеме, оправданном образовательной целью.

2. Статьи и иные малообъемные произведения, правомерно опубликованные в сборниках, а также газетах, журналах и других печатных средствах массовой информации, отрывки из правомерно опубликованных литературных и иных произведений могут быть воспроизведены посредством репродуцирования и иного воспроизведения в образовательных и исследовательских целях.

3. Допускаются воспроизведение и распространение в составе учебных изданий, предназначенных для использования в образовательном процессе, малообъемных произведений, а также частей правомерно обнародованных произведений в объеме, оправданном образовательной целью, с обязательным указанием их авторов и источников заимствования».

В систему управления ядерными знаниями Республики Беларусь входят организации технической поддержки (ОТП) – ведущие научные организации и ведущие высшие учебные заведения Республики Беларусь, работающие в области использования атомной энергии, ядерной и радиационной безопасности, основными видами деятельности которых является научные исследования и образовательная деятельность, закрепленные в следующих НПА:

1. Закон Республики Беларусь 21 октября 1996 г. № 708-XIII «О научной деятельности» (с изменениями и дополнениями);

2. Кодекс Республики Беларусь об образовании от 13 января 2011 г. № 243-З (с изменениями и дополнениями).

Департамент по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (Госатомнадзор) и ранее Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь являлись и являются государственными заказчиками многих государственных программ по выполнению научных исследований в области преодоления последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС, развития атомной энергетики страны, обеспечения ядерной и радиационной безопасности.

То есть такая деятельность ОТП является реализацией исследовательских целей. Поэтому размещение на портале материалов, полученных по результатам выполнения таких работ, а также работ по тематике портала, выполненных в организациях ОТП в рамках других программ научных исследований, является необходимым условием для обеспечения доступности и открытости научной информации, повышения уровня осведомленности общественности; улучшения качества подготовки кадров; ускорения внедрения инноваций.

Именно поэтому размещение на портале материалов в соответствии со статьей 36 «Свободное использование произведений в образовательных и исследовательских целях» Закона Республики Беларусь от 17 мая 2011 г. № 262-З «Об авторском праве и смежных правах» ***полностью соответствует законодательству*** Республики Беларусь в области соблюдения авторских прав.

Работы выполняются в рамках мероприятия 13 «Выполнение работ по оказанию научно-технической поддержки Министерству по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности» подпрограммы 3 «Научное обеспечение эффективной и безопасной работы Белорусской атомной электростанции и перспективных направлений развития атомной энергетики» Государственной программы «Наукоемкие технологии и техника» на 2021–2025 годы.

УДК 621.039
Т. А. Босенко
г. Минск, Республика Беларусь, Департамент по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (Госатомнадзор)

ИНВЕСТИЦИИ В ЗНАНИЯ – ВКЛАД В БЕЗОПАСНОСТЬ: СОВРЕМЕННАЯ ПАРАДИГМА ОБУЧЕНИЯ И РАЗВИТИЯ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА ДЕПАРТАМЕНТА ПО ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МИНИСТЕРСТВА ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

С учётом принятого в 2008 году на высшем государственном уровне решения о строительстве в стране первой АЭС, Республика Беларусь, являясь с участницей ряда конвенций МАГАТЭ (*Конвенция о ядерной безопасности, Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами),* обеспечивает выполнение взятых на себя обязательств и демонстрирует твердую приверженность принципам обеспечения ядерной и радиационной безопасности. Эта приверженность, основанная на международном проверенном опыте эксплуатации ядерных и радиационных технологий, закреплена Конституцией Республики Беларусь.

Неотъемлемой составляющей национальной политики является обеспечение качественного кадрового потенциала, повышение профессионализма и компетентности работников для безопасного, надежного и эффективного функционирования системы обеспечения ядерной и радиационной безопасности, радиационной защиты населения и окружающей среды с учетом долговременных целей государства, что отражено в Концепции государственной кадровой политики Республики Беларусь, утвержденной Указом Президента Республики Беларусь от 03.01.2024 № 1, а также Основных направлениях проведения единой государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности, утвержденных постановлением Правительства от 15.08.2023 № 535.

Важнейшим элементом созданной страной ядерно-энергетической инфраструктуры является независимый и компетентный регулирующий орган, имеющий достаточно ресурсов и возможностей как для разработки и установления регулирующих требований, так и для контроля за их исполнением.

В 2007 году с целью выполнения регулирующих функций в области ядерной и радиационной безопасности в системе МЧС был образован Департамент по ядерной и радиационной безопасности (Госатомнадзор). За годы работы он прошел значительный путь становления. Структура Госатомнадзора изменялась с учетом развития ядерно-энергетической программы, возникновения новых задач и вызовов. Так, если в 2007 году его штатная численность составляла 39 единиц, то на сегодняшний день она выросла до 99 единиц, в том числе в структуре создано территориальное подразделение непосредственно на пло-

щадке строительства Белоруской АЭС. Для обеспечения Госатомнадзора достаточной численностью компетентных и квалифицированных работников, выполняющих регулирование связанных с ядерной и радиационной безопасностью видов деятельности, проводится работа по комплектованию департамента высококвалифицированными специалистами. Вместе с тем, интенсивный рост, включая активный найм выпускников профильных вузов, в условиях развивающейся регулирующей инфраструктуры сам по себе стал значимым вызовом для системы управления персоналом.

Параллельно с внутренними вызовами роста, одним из ключевых внешних факторов, определяющих подходы к управлению кадрами Госатомнадзора, являются международные стандарты. Компетентность работников, сохранение и передача знаний – это не только внутренняя необходимость, но и предмет требований МАГАТЭ к регулирующему органу. Согласно Серии норм безопасности МАГАТЭ № SF1 «Основополагающие принципы безопасности» в течение всего жизненного цикла ядерной установки необходимо обеспечить регулирующий орган достаточным количеством квалифицированных кадров, обладающих соответствующим уровнем образования, подготовки и переподготовки. Эта норма усилена и дополнена в общих требованиях безопасности МАГАТЭ № GSR Part 1 (Rev. 1) «Государственная, правовая и регулирующая основа обеспечения безопасности» и № GSR Part 3 «Радиационная защита и безопасность источников ионизирующего излучения: Международные основные нормы безопасности», требованиях безопасности МАГАТЭ GSG-12 «Организация, менеджмент и укомплектование персоналом регулирующего органа в интересах обеспечения безопасности». В соответствии с указанными документами работники регулятора должны иметь достаточный опыт работы в соответствующей области; знания о регулируемых установках и деятельности в сфере ядерной и радиационной безопасности, а также как элемент управления знаниями должна быть установлена процедура развития и поддержания необходимой компетентности персонала.

В соответствии требованиями национального законодательства и международной практикой в Госатомнадзоре выстроена целостная система профессионального обучения работников, использующая все доступные источники финансирования, включая государственные программы и проекты международной технической помощи. Выполняется комплекс плановых обучающих мероприятий, направленных на приобретение и непрерывное совершенствование работниками знаний и навыков, а также систематическое повышение их квалификации для эффективного выполнения задач, возложенных на Госатомнадзор. Развитие этой системы характеризуется структурностью и комплексностью подхода. Так, были определены области профессиональной компетентности по четырем квадрантам с учетом предложенной МАГАТЭ методологии; разработаны профили должностей, связанных с вопросами безопасности; внедрена практика ежегодной разработки индивидуальных планов профессиональной подготовки с учетом предыдущего обучения и перспективных задач. Особое внимание в этой системе уделяется новым сотрудникам, для которых организованы первоначальная подготовка и внутренние стажировки в подразделениях. При этом при-

оритет в обучении отдается работникам, чья сфера деятельности включает критически важные функции: проведение анализа и оценки безопасности, осуществление государственного надзора и лицензирования в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности.

Центральное место в учебном процессе занимает практическая подготовка, позволяющая работникам приобрести навыки, необходимые для непосредственного осуществления регулирующей деятельности. Организуются стажировки в регулирующих органах зарубежных стран, в том числе страны-поставщика ядерных технологий, на строящихся и эксплуатируемых ядерных объектах.

Результативность выстроенной системы управления развитием кадров и их профессиональным обучением получила многократное подтверждение и признание на международном уровне. Меры, принимаемые Госатомнадзором, были отмечены как «хорошая практика» по результатам миссий МАГАТЭ по комплексной оценке национальной регулирующей инфраструктуры (миссия IRRS, 2016) и оценке развития национальной ядерной энергетической инфраструктуры Республики Беларусь (ИНИР Фаза 3, 2020, ИНИР 3), а также как «направление успешной работы» на 7-ом Совещании Договаривающихся сторон Конвенции о ядерной безопасности в 2017 году.

Дальнейшее развитие кадрового потенциала Госатомнадзора будет происходить в условиях новых стратегических вызовов, связанных с реализацией первой в стране ядерно-энергетической программы, сменой поколений и сохранением накопленных знаний, а также возможного расширения ядерно-энергетических и неэнергетических проектов (в частности, планируемое сооружение пункта захоронения радиоактивных отходов, возможное строительство дополнительных энергоблоков АЭС). Их преодоление требует от Госатомнадзора не только приверженности лучшим международным практикам, но и постоянной адаптацией своих кадровых стратегий. **В этих условиях особую актуальность приобретает комплексный подход к развитию человеческого капитала**.

Одним из элементов этого подхода стало интенсифицированное взаимодействие с профильными вузами. Организуются встречи с участием представителей Госатомнадзора, преподавателей и студентов для достижения общего понимания вопросов обеспечения ядерной и радиационной безопасности, ознакомления с деятельностью регулирующего органа и перспективами развития ядерной отрасли страны.

Особое внимание направлено на организацию прохождения студентами практики в Госатомнадзоре, в ходе которой они привлекаются к решению реальных практических задач. Так, если в 2012 году на базе Госатомнадзора прошли практику 4 студента профильных вузов, то на сегодняшний день эта цифра значительно выросла. Например, в 2024 году практику прошел 31 студент, из них 18 человек – студенты профильных вузов, осуществляющих подготовку кадров в сфере ядерной и радиационной безопасности. Это позволяет не только передавать им знания, но и сразу вовлекать молодежь в контекст практических вызовов, стимулируя интерес к отрасли. В дальнейшем при приеме на

работу приоритет отдается выпускникам, успешно прошедшим практику на базе Госатомнадзора.

В перспективе видится полезным внедрить в практику введение в учебные программы профильных специальностей спецкурс по регулированию безопасности, в ходе которого ведущими специалистами не только Госатомнадзора, но и иных заинтересованных государственных органов и организаций, представляется актуальная информация по вопросам развития созданной инфраструктуры, вопросы правового регулирования и правоприменительной практики в сфере обеспечения ядерной и радиационной безопасности.

Важное значение приобретает не только привлечение молодых специалистов, но и создание условий для их закрепления и профессионального развития новых талантов, построение и поддержание здоровой организационной культуры и непрерывное совершенствование. Для молодых специалистов организуются специальные адаптационные мероприятия, направленные на развитие профессиональных знаний и навыков, деловых и личностных качеств, помощь в интеграции в коллектив и ознакомление с организационной культурой Госатомнадзора.

Одним из наиболее эффективных методов передачи знаний является наставничество. В Госатомнадзоре система наставничества формализована и постоянно совершенствуется. За каждым молодым специалистом закрепляется наставник, способный обеспечить передачу знаний и развитие профессиональных и личностных качеств нового работника на требуемом качественном уровне. **При этом к наставникам предъявляются высокие требования: они должны быть не только профессионалами, готовыми делиться опытом и знаниями, но и обладать системным представлением о регулирующей инфраструктуре, деятельности Госатомнадзора** и его структурных подразделений**, знать организационную культуру и уметь доходчиво объяснять информацию. Существенной особенностью этого подхода является не просто закрепление наставника, а структурирование всего процесса, включая постановку целей передачи знаний, проведение регулярных встреч, фиксацию результатов и признание вклада наставников** в нематериальной и материальной форме.

Дополняет эту систему индивидуальный и гибкий подход к развитию молодых специалистов, учитывающий особенности их характера, квалификации и стоящих перед ними задач. Формирование персонализированных траекторий обучения, основанных на наиболее оптимальных способах получения компетенций, значительно повышает эффективность освоения новых знаний и способствует ускоренному вхождению в профессию.

Внедряются новые современные формы обучения. Все чаще молодые специалисты участвуют в тематических школах, организованных МАГАТЭ или при его участии. Проводится работа по интеграции дистанционного обучения с классическими формами обучения для повышения их эффективности (*в том числе с использованием внутреннего портала Битрикс24 и компьютерной обучающей системы, позволяющей в ходе первоначальной подготовки проходить обучение с использованием мультимедийных обучающих модулей, а затем оце-*

нивать знания работников путем тестирования, отслеживать ход обучения и анализировать его результаты). **При этом для каждого работника определяется оптимальная форма получения знаний и умений – будь то очное или заочное** прохождение дополнительного профессионального образования на базе соответствующих учебных заведениях либо в рамках иных обучающих мероприятий (внутреннее обучение, стажировки, написание аналитических материалов, статей, др.). Для молодых специалистов создаются условия для профессионального признания и обмена опытом через участие в семинарах и конференциях, круглых столах, др. Молодые специалисты:

включаются в рабочие группы для подготовки решений по отдельным направлениям деятельности Госатомнадзора наравне с высококвалифицированными специалистами;

привлекаются к выполнению сложных задач и общественно значимых проектов с публичным подведением итогов после завершения их выполнения;

вовлекаются в подготовку управленческих решений для расширения их полномочий и ответственности.

Перспективные работники, в том числе из числа молодых специалистов, включаются в кадровый резерв Госатомнадзора, с ними проводится соответствующая работа по развитию компетенций.

Организуются мероприятия для получения обратной связи от руководства (в ответ на высказанные проблемные вопросы, предложения по совершенствованию деятельности в ходе личных приемов, информационных часов с начальником Госатомнадзора, встреч с руководством и др.).

Параллельно с внутренней интеграцией, для молодых специалистов значимой обязанностью и возможностью является активное участие в профессиональных сообществах как в стране, так и на международном уровне. Например, участие в мероприятиях МАГАТЭ, Форума сотрудничества регуляторов (RCF), Форум сотрудничества регуляторов стран, эксплуатирующих АЭС с реакторами типа ВВЭР (форум ВВЭР), а также стажировках в регуляторах других стран. Участие в международных мероприятиях в рамках двустороннего и многостороннего сотрудничества служит не только формой повышения компетенций, но и источником новых знаний и профессиональных контактов.

Все перечисленные меры в совокупности ускоряют адаптацию молодых специалистов, формируя их профессиональную идентичность на принципах открытости и непрерывного обучения, расширяют профессиональный кругозор и открывают дополнительные карьерные перспективы.

Эффективность профессионального развития напрямую зависит от внутренней мотивации молодых специалистов и оценки приобретаемых ими компетенций. Создание условий для самостоятельного профессионального роста и система стимулирования, основанная на результативности и эффективности деятельности, позволяют согласовать индивидуальные цели работников с общими целями и эффективностью деятельности Госатомнадзора.

Следует отметить, что развитие среды, способствующей непрерывному обучению, и формирование культуры обмена знаниями представляет

собой сложную управленческую задачу, требующую последовательного преодоления ряда вызовов, в частности:

специфика деятельности регулирующего органа, обусловленная безусловным выполнением требований законодательства при осуществлении государственно-властных полномочий и специальных функций (исполнительных, надзорных, регулирующих и др.) в сфере обеспечения ядерной и радиационной безопасности. С одной стороны, строгость в деятельности регулятора является преимуществом, обеспечивая стабильность и надежность регулирования, с другой – может создать естественное сопротивление изменениям и внедрению новых практик обмена знаниями;

наличие «неявных знаний» у опытных специалистов крайне сложно поддается формализации и передаче. Эти знания, включающие профессиональную интуицию, опыт принятия решений в нестандартных ситуациях часто остаются невыраженными и уходят вместе с носителями;

дефицит времени и ресурсов у ключевых экспертов для систематической работы по передаче опыта. Основная нагрузка по регулированию ложится на них, что оставляет минимальные возможности для наставнической деятельности и передачи лучших практик;

поколенческий разрыв в восприятии ценности знаний и способах их коммуникации. Если старшее поколение ориентировано на личные контакты и неформальное общение, то молодые специалисты часто предпочитают цифровые и структурированные форматы.

Развитие организационной культуры и системы управления знаниями требует от Госатомнадзора последовательного решения ключевых задач и применения подходов, сочетающих технологические решения с развитием профессиональных и личностных качеств работников и их мотивации.

Особое значение имеет эффективное использование потенциала опытных специалистов. В этих целях определены эксперты по ключевым направлениям регулирования, объединяющие ведущих специалистов разных поколений, для решения сложных задач, разработки методик и, что особенно важно, формализации лучших практик. Это позволяет превратить индивидуальный опыт в коллективное достояние. Предстоит разработать и внедрить комплексную систему признания и вознаграждения вклада опытных работников в передачу знаний, превращая их из простых носителей уникального опыта в ключевые фигуры организационного развития.

В деятельность Госатомнадзора внедряются формализованные процедуры документирования (в том числе с использованием информационных систем), обсуждения (например, в ходе круглых столов, совещаний, в том числе с поднадзорными организациями) и интеграции выводов обсуждения в рабочие процессы. Данные меры **позволяют не только избежать повторения ошибок, но и существенно ускорить обучение новых работников. Особенностью такого подхода является ориентация на создание «базы знаний» - не просто архива документов, а живой, постоянно обновляемой системы.** Интеграция с системами искусственного интеллекта для семантического поиска информации может кардинально повысить ее **практическую полезность.**

Культура обмена знаниями является стратегическим активом регулятора, напрямую влияющим на качество регулирования ядерной и радиационной безопасности. Ее формирование – это не разовый проект, а непрерывный процесс, требующий постоянного внимания. Культура обмена знаниями – неотъемлемая часть культуры безопасности Госатомнадзора, принципы которой закреплены в утвержденном приказом Госатомнадзора Положении об интегрированной системе управления. Безопасность обеспечивается не только соблюдением законодательства, но и способностью регулятора к коллективному обучению, открытому обсуждению проблем и эффективной передаче критически важного опыта между поколениями.

Актуальность вопросов кадрового обеспечения и привлечения молодого поколения, управления знаниями и создания среды открытого общения сегодня как никогда высока. Успех в этой деятельности определит не только сегодняшнюю, но и завтрашнюю способность регулятора надежно выполнять свои функции в условиях динамичного развития ядерной отрасли страны, **обеспечивая устойчивую ядерную и радиационную безопасность для будущих поколений.**

Литература

1. Постановление Совета Безопасности Республики Беларусь от 31 января 2008 г. №1 «О развитии атомной энергетики в Республике Беларусь».

2. Указ Президента Республики Беларусь от 12 ноября 2007 г. № 565 «О некоторых мерах по строительству атомной электростанции».

3. Конвенция Международного агентства по атомной энергии «О ядерной безопасности» (Заключена в г.Вене 17.06.1994).

4. Объединенная конвенция Международного агентства по атомной энергии «О безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами» (Заключена в г.Вене 05.09.1997).

5. Указ Президента Республики Беларусь от 14 ноября 2022 г. № 405 (ред. от 18.08.2025) «О Министерстве по чрезвычайным ситуациям» (вместе с Положением о Департаменте по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь).

6. Основные направления проведения единой государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности, утвержденные постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 15 августа 2023 г. № 535.

7. Концепция государственной кадровой политики Республики Беларусь, утвержденная Указом Президента Республики Беларусь от 3 января 2024 г. № 1.

8. Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SF1 «Основополагающие принципы безопасности», Международное агентство по атомной энергии, Вена, 2007.

9. Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 1 (Rev. 1) «Государственная, правовая и регулирующая основа обеспечения безопасности. Общие требования безопасности», Международное агентство по атомной энергии, Вена, 2016.

10. Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 3 «Радиационная защита и безопасность источников ионизирующего излучения: Международные основные нормы безопасности», Международное агентство по атомной энергии, Вена, 2015.

11. Серия норм безопасности МАГАТЭ, GSG-12 «Организация, менеджмент и укомплектование персоналом регулирующего органа в интересах обеспечения безопасности» Международное агентство по атомной энергии, Вена, 2023.

УДК. 349.7, 351/354

А. О. Буторин, О. Н. Любочко

г. Минск, Республика Беларусь, Государственное научное техническое учреждение «Центр по ядерной и радиационной безопасности»

ПРОБЛЕМАТИКА КЛАССИФИКАЦИИ ЯДЕРНЫХ ЗНАНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Наверное, каждый в той или иной интерпретации слышал фразу: «Кто владеет информацией – владеет миром!». Несмотря на то, что она касалась обогащения во времена Наполеоновских войн в Европе 1815 года, и была произнесена Натаном Ротшильдом, основателем английской ветви династии известных финансистов и миллиардеров, данная фраза подчеркивает важность осведомленности и знаний в сегодняшнем мире [1].

Владение знаниями и информацией стало особенно актуально в условиях так называемого «информационного взрыва», которым советский ученый, академик Аркадий Дмитриевич Урсул характеризовал современные реалии в вопросах объемов, потоков и скорости формируемых и обрабатываемых данных [2]. И не случайно сегодня технологии «big data» прочно укоренились в нашей жизни. А профессии дата-аналитиков и дата-инженеров находятся в топе IT-сферы, наряду со специалистами в сфере искусственного интеллекта.

Появление таких профессий обусловлено развитием теории информационного менеджмента, когда с начала 1970-х годов основы управления знаниями начинают формулироваться в трудах ученых, и прорывом на рубеже восьмидесятых-девяностых годов прошлого века, когда обнародуются три кардинально отличающихся друг от друга подхода к концепции «менеджмента знаний». И с начала 1990-х годов в зарубежных ВУЗах впервые становится возможной специализация по менеджменту знаний [3].

Одновременно данная проблематика попадает в область интересов правительств и международных общественных организаций. Управление знаниями становится мощной международной и государственной стратегией для решения важных, и в некоторых случаях критических, проблем потери знаний в результате ухода и смены поколений. Появляются международные и государственные стандарты, такие как «ISO 30401:2018: Системы управления знаниями. Требования» [4]. В России – «ГОСТ Р 53894-2016 Менеджмент знаний. Термины и определения», «ГОСТ Р 54877-2016 Менеджмент знаний. Руководство для персонала при работе со знаниями. Измерение знаний» и другие [5].

Данные процессы объективно повлияли и на корректировку подходов МАГАТЭ по поддержке в достижении целей ООН по устойчивому развитию мирового сообщества. На соответствующей странице сайта МАГАТЭ прямо указано: «*…Пробелы в знаниях или утрата знаний могут повлиять на способность организаций, эксплуатирующих или использующих ядерные технологии, принимать безопасные решения и меры. Для создания ядерных знаний, навыков, информации и записей, рабочих процессов, интерпретации данных, а также*

методов анализа и проверки и управления ими необходимы надлежащие методы управления знаниями и вспомогательные технологии…» [6].

Исходя из этого, признавая важность управления ядерными знаниями, МАГАТЭ разрабатывает методологии и руководящие документы для планирования, проектирования и осуществления программ управления ядерными знаниями и оказывает содействие ядерному образованию, обеспечивая поддержку, возможности сетевого взаимодействия и обмен опытом.

Касаемо деятельности МАГАТЭ в области разработки методологий управления ядерными знаниями, следует отметить, что модель управления знаниями может отличаться в зависимости от целей и задач управления знаниями, субъектов, объектов и условий. Однако, вне зависимости от этого, менеджмент знаний должен обеспечивать контроль за осуществлением следующих процессов [3]:

1. структуризация, кодификация и идентификация знаний;
2. создание новых знаний;
3. использование имеющихся знаний при принятии решений;
4. воплощение знаний в продуктах и услугах;
5. передача существующих знаний;
6. поддержание целостности знаний, защита знаний;
7. обеспечение доступа к необходимым знаниям, процессам, системам и людям.

В этих процессах, обусловливающих существование так называемой «спирали знаний» (одно из ключевых понятий менеджмента знаний), структуризация, кодификация и идентификация играют ведущую роль. Не случайно важной категорией менеджмента знаний является понятие «карта знаний». Составление «карты знаний» (а по сути, категоризация знаний) – призвана стать основой для формализации управленческой деятельности государственных органов, повышения эффективности принимаемых решений.

И здесь **возникает проблема классификации знаний**, включая ядерные знания.

Суть проблемы состоит в том, что **существующие «классические» системы категоризации по типу знаний** (явные, неявные, потенциально явные), **либо по компонентам системы менеджмента** (человеческие, технологические, организационные) **весьма далеки от практики и слабо коррелируются с процессами государственного управления**. Включая управление атомной отраслью.

Достаточно проанализировать действующие в Республике Беларусь нормативные правовые акты и государственные стандарты.

Наиболее яркие примеры – это *Единый правовой классификатор*, утвержденный Указом Президента Республики Беларусь от 4.01.1999 № 1 [7], и Общегосударственный классификатор Республики Беларусь ОКРБ 005-2011 «*Виды экономической деятельности*» [8].

Несмотря на то, что *Единый правовой классификатор*, который формировался в 1999 году, имеет в своем содержании отдельный подраздел 11.10 «Законодательство о ядерной и радиационной безопасности» (что по определению относится к ядерным знаниям), использовать его при разработке в 2024-2025

годах специализированного *Классификатора технических правовых актов в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности* было весьма затруднительно.

А если говорить об Общегосударственном классификаторе ОКРБ 005-2011 «*Виды экономической деятельности»,* то он вообще не содержит раздела, непосредственно связанного с обеспечением ядерной и радиационной безопасности. С учетом норм действующего законодательства о государственном прогнозировании и государственном планировании, это практически исключает из системы государственного управления атомную отрасль в качестве самостоятельного субъекта. И курирующие государственное планирование министерства фактически принуждают Госатомнадзор представлять интересы отрасли только на уровне отдельных проектов, реализуемых в рамках госпрограмм других ведомств. Справедливость этого утверждения подтверждает ход разработки проекта государственной программы «Ядерная и радиационная безопасность».

Как вывод из вышесказанного – в системе управления ядерными знаниями Республики Беларусь **функция их структуризации в области ядерной и радиационной безопасности требует дальнейшего развития**.

Проблема **несоответствия теоретических подходов к категоризации ядерных знаний,** находящих отражение в классификаторах видов деятельности государства, **функциям государственных органов**, которые эту деятельность реализуют, **обусловливает поиск путей ее разрешения**. Причем не только в Республике Беларусь, но и на международной арене.

Не случайно на различных общественных и научных форумах МАГАТЭ, а также государств-участников, обнародуются и апробируются **новые подходы к категоризации ядерных знаний по различным основаниям**.

Например, заслуживает внимания подход к классификации ядерных знаний *по предметно-объектному основанию*, обнародованный в 2008 году Андреем Косиловым (на тот момент – сотрудника Департамента ядерной энергии МАГАТЭ) [9]. Он предложил категоризировать ядерные знания по четырем большим направлениям, включая: общие положения по управлению, кадрам, экономике и т.д.; знания в области атомной энергетики; знания в области обращения с ядерным топливом; и знания по управлению радиоактивными отходами и выводу из эксплуатации объектов использования ядерной энергии.

В попытках классификации ядерных знаний по объектно-предметному основанию большую работу проделали и сотрудники Института ядерных проблем Белорусского государственного университета. На основе предложенной ими классификации ядерных знаний первоначально строилась таксономия Национального электронного портала ядерных знаний Республики Беларусь, разрабатываемого в настоящее время.

Что касается Национального портала ядерных знаний и работы по его приемочным испытаниям – будет интересным проанализировать факт, когда в рамках рабочих совещаний должностными лицами Госатомнадзора было предложено категоризировать представленные на портале ядерные знания *по дескрипторному основанию* [10]. Об этом говорят часто звучавшие в ходе рабо-

чих совещаний фразы, такие как «*поиск по ключевым словам»* и *«облако тэгов».*

Следует отметить, что в научных изданиях можно встретить публикации, касаемо категоризации знаний *по иерархическому основанию* [10]. Его суть состоит в последовательном делении заданного множества понятий на подчиненные подмножества, постепенно конкретизируя объект классификации. Но данный метод не имеет необходимой гибкости, так как при изменении состава понятий, либо при уточнении их характеристик (определений) зачастую требуется коренной пересмотр классификационной схемы или, проще говоря, «дерева иерархий».

Сложен в реализации и, так называемый, *фасетный метод* классификации знаний, когда множество понятий разделяется на независимые классификационные группы по соответствующим классификационным признакам, называемым «фасетами» (от фр. *facette* – грань) [10]. Как правило этот метод применим для классификации информации с быстро меняющимся набором признаков. Для ядерных знаний это нехарактерно.

Есть еще методы классификации знаний *по степени формализации* на формализованные и неформализованные знания. Можно классифицировать знания *по признаковому основанию*: по ясности, доступности, по уровню абстракции, по пропозициональности (способности донести смысл вне зависимости от построения фразы) и другим основаниям [10].

Таким образом, можно констатировать, что множество методов классификации и структуризации знаний, включая ядерные, порождает еще одну проблему – **проблему выбора метода классификации**.

Так и в выборе методов классификации ядерных знаний главный вопрос – **рациональность применения того или иного метода классификации для эффективной реализации остальных функций системы управления ядерными знаниями** в Республике Беларусь, начиная от генерации новых знаний, заканчивая их сохранением и передачей (обучением).

Необходимо акцентировать внимание на том, что **создание новых знаний, поиск путей их использования в практической деятельности, их апробация и распространение – это** ни что иное как **функции науки и образования**.

Центр по ядерной и радиационной безопасности, выполняя задачу Госатомнадзора по разработке проекта Инструкции о порядке организации и ведения научной деятельности в сфере ядерной и радиационной безопасности, тоже столкнулся с проблемой классификации ядерных знаний как продукта научной деятельности.

В процессе работы над документом перед разработчиками обозначилась задача корреляции (согласования) получаемых в результате научных исследований новых знаний о законах, закономерностях, методологии, методах, способах и приемах в сфере безопасного использования атомной энергии с перспективными направлениями научных исследований в данной сфере. Такая корреляция была необходима для четкого разделения ответственности заказчиков и субъектов научной деятельности за развитие того или иного перспективного

направления научных исследований, связанных с развитием той или иной научной теории.

Итогом такой работы стала классификация ядерных знаний *по проблемно-ориентированному основанию*, имея ввиду в какую научную проблематику и в какой объект исследований попадают те или иные составляющие ядерных знаний.

В обобщенном виде авторами предложен **вариант системы ядерных знаний в Республике Беларусь,** представленный в таблице 1.

Таблица 1

Вариант системы ядерных знаний в Республике Беларусь

Составляющие ядерных знаний	Содержание составляющих ядерных знаний
1. Теории фундаментальных наук атомной индустрии	
1.1. общая теория (общие основы) отраслевых наук	Логико-методические и общетеоретические проблемы отраслевых наук: объект, предмет, структура, задачи и методы; роль и место в общей системе теоретических знаний; законы, закономерности и принципы
1.2. теория ядерной физики	Строение и свойства атомных ядер, а также их столкновения (ядерные реакции), состав ядер, состоящих из нуклонов (протонов и нейтронов), а также такие явления, как радиоактивный распад
1.3. теория физики элементарных частиц	Структура и свойства элементарных частиц и их взаимодействия
1.4. теория квантовой механики	Поведение материи и энергии на атомном и субатомном уровне
1.5. теория ядерной химии	Связь строения веществ с их ядерными свойствами, ядерные реакции и сопутствующие физико-химические процессы, синтез новых элементов реакторным методом, новые виды радиоактивного распада
2. Теории прикладных наук атомной индустрии	
2.1. теория ядерного реактора (ядерные технологии)	Разработка и эксплуатация ядерных реакторов, их конструкция и основы процессов функционирования; управление процессами в активной зоне; обеспечение безопасности объектов использования атомной энергии; технология создания, использования и переработки ядерного топлива
2.2. теория учета и контроль ядерных материалов и ИИИ	Методы и технологии для безопасного обращения, хранения и утилизации радиоактивных отходов и отработанного ядерного топлива.
2.3. теория радиационного контроля	Разработка и применение методов детектирования, спектрометрии и радиометрии ионизирующего излучения
3. Проблематика сопредельных отраслей:	
3.1. Проблематика общественных наук:	

Составляющие ядерных знаний	Содержание составляющих ядерных знаний
3.1.1. теория права	Правоприменение законодательства в области создания, эксплуатации, вывода из эксплуатации объектов использования атомной энергии и источников ионизирующего излучения, совершенствование законодательства. Организация правовой работы в атомной отрасли. Нормативная правовая база в области использования атомной энергии и ИИИ
3.1.2. социология	Социальные институты, специфические отношения и процессы, характерные для атомной отрасли
3.1.3. психология	Психологические особенности работы в условиях повышенной ответственности и радиационной опасности, включая вопросы стрессоустойчивости, внимания, групповой динамики и профессионального отбора специалистов (инженеров-ядерщиков, операторов реакторов, специалистов по радиационной безопасности)
3.1.4. педагогика	Действие педагогических принципов, законов, закономерностей, методологии, методов и приемов применительно к подготовке специалистов в атомной индустрии
3.1.5. теория государственного управления	Проблематика создания и функционирования в государстве атомной индустрии; республиканские органы государственного управления
3.1.6. теория международных отношений	Вопросы взаимодействия государств и международных структур по вопросам использования атомной энергии, обращения с объектами ядерного наследия и преодоления последствий аварий (катастроф); роль международных организаций в сфере использования атомной энергии
3.1.7. история	Изучение в исторической перспективе опыта развития ядерных технологий, вынесенные уроки из аварий и катастроф, исторический опыт преодоления их последствий
3.2. Проблематика естественных наук:	
3.2.1. география	Природные условия и их влияние на функционирование атомной отрасли
3.2.2. эргономика	Возможности и особенности человека в системах отраслевого назначения с учетом антропометрических (биологических), биохимических (двигательных) и медицинских (гигиенических) показателей
3.2.3. медицина	Использование радиоактивных веществ для диагностики и лечения заболеваний, здравоохранение и медицинское обеспечение атомной отрасли
3.2.4. экология	Направления и последствия влияния ионизирующего излучения и радиоактивных веществ на окружающую среду

Составляющие ядерных знаний	Содержание составляющих ядерных знаний
3.2.5. история	Изучение ядерного наследия в исторической перспективе, анализ опыта ядерных и радиационных аварий и катастроф
3.3. Проблематика технических наук:	
3.3.1. материаловедение (теория сопротивления материалов)	Надежность конструкций объектов использования атомной энергии
3.3.2. радиоэлектроника	Разработка и эксплуатация специальной техники и приборов, поддержание их в готовности к применению, техническое обеспечение эффективного использования
3.3.3. автоматизация управления	Разработка комплексов средств автоматизации, компьютерных кодов и программных комплексов для управления и анализа данных
3.3.4. теплофизика (тепломассообмен)	Теплопроводность (передача тепла через материалы), конвекция (перенос тепла потоками теплоносителя) и теплообмен при фазовых превращениях (испарение воды в парогенераторе)
3.3.5. гидродинамика	Движение теплоносителя, моделирование потоков и т.д.
3.3.6. инженерные науки	Устройство инженерных конструкций и т.п.
3.3.7. метрология и другие	Создание информационно-измерительных систем для мониторинга и управления
3.3.1. материаловедение (теория сопротивления материалов)	Надежность конструкций объектов использования атомной энергии
другие теории науки сопредельных отраслей	

Как следует из таблицы 1, ядерные знания предлагается классифицировать:

Во-первых – на знания в рамках теорий **фундаментальных наук** атомной индустрии. Они включают в себя общую теорию отраслевой науки, теорию ядерной физики, теорию физики элементарных частиц, теорию квантовой механики и теорию ядерной физики.

Во-вторых – на знания в рамках теорий **прикладных наук** атомной индустрии. А именно – теории разработки и эксплуатации ядерных реакторов (ядерные технологии), теории учета и контроля ядерных материалов и источников ионизирующего излучения, теория радиационного контроля.

В-третьих – на знания в рамках проблематики **сопредельных отраслей науки**, включая общественные, естественные и инженерно-технические науки, объект исследования которых применим в атомной индустрии.

Как видно из таблицы 1, например, теория права содержит и формирует знания по правоприменению законодательства в области создания, эксплуатации, вывода из эксплуатации объектов использования атомной энергии, организации правовой и нормотворческой работы в атомной отрасли. Педагогика ге-

нерирует знания о действии педагогических принципов, методов и приемов применительно к подготовке специалистов в атомной индустрии. История изучает в исторической перспективе опыт развития ядерных технологий, вынесенные уроки из ядерных и радиационных аварий и катастроф. Материаловедение занимается вопросами надежности конструкций объектов использования атомной энергии. Теплофизика – знаниями о тепломассообмене и т.д.

Предлагаемый вариант классификации системы ядерных знаний в Республике Беларусь вобрал в себя достоинства предметно-объектной и дескрипторной классификации.

Но главное – **классификация по основанию проблематики теорий науки**, на взгляд авторов, **самая практико-ориентированная.** Она позволяет упорядочить фундаментальные и практические знания, четко разграничить пределы полномочий государственных органов и организаций по развитию теорий науки атомной индустрии и связанных с ней, определять их функции и задачи по генерации новых ядерных знаний, их сохранению и распространению.

Литература

1. Лотман Г. Ротшильды – короли банкиров. / пер. с англ. А.Н. Гордиенко. – Минск: Интердайджест, 1997. – 352 с.
2. Шрайберг Я.Л. Время перемен: глобальные информационные тренды и перспективы / Ежегодный доклад Второго Международного профессионального форума «Крым-2016». [электронный ресурс]: Государственная публичная научно-техническая библиотека России. – URL: http://www.gpntb.ru/ntb/ntb/2016/9/NTB9_2016_A5_1.pdf (дата обращения 11.11.2025)
3. Менеджмент знаний [электронный ресурс]: Википедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Менеджмент_знаний (дата обращения 11.11.2025)
4. ISO 30401:2018. Knowledge management systems – Requirements [электронный ресурс]: International Organization for Standardization. – URL: https://www.iso.org/standard/68683.html (дата обращения 11.11.2025)
5. Каталог национальных стандартов [электронный ресурс]: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии Российской Федерации (Росстандарт). – URL: https://www.rst.gov.ru/portal/gost//home/standarts/catalognational (дата обращения 11.11.2025)
6. Управление ядерными знаниями [электронный ресурс]: International Atomic Energy Agency. – URL: https://www.iaea.org/ru/temy/upravlenie-yadernymi-znaniyami (дата обращения 11.11.2025)
7. Об утверждении Единого правового классификатора Республики Беларусь: Указ Президента Респ. Беларусь от 4 янв. 1999 г. № 1 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 1999. – № 2-3, 1/2
8. Виды экономической деятельности: Общегосударственный классификатор Республики Беларусь ОКРБ 005-2011; введ. 5.12.2011. – Минск: Госстандарт, 2011
9. Kosilov A. IAEA Methodology and Guidance on Nuclear Knowledge – Vienna: IAEA, INIS & Knowledge Management Section, 2008. – 40 c.
10. Классификатор [электронный ресурс]: Википедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Классификатор (дата обращения 11.11.2025)

УДК 621.039

Н. К. Гурнович

г. Минск, Департамент по ядерной и радиационной безопасности МЧС Республики Беларусь

УПРАВЛЕНИЕ ЯВНЫМИ ЯДЕРНЫМИ ЗНАНИЯМИ: ОСНОВА ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Введение

Белорусская атомная станция – это современный объект атомной энергетики, сооруженный по самым современным стандартам безопасности, опирающийся не только на передовые технологии, но и на глубокие знания и опыт высококвалифицированных специалистов. В условиях, когда опытные кадры уходят на заслуженный отдых, а новое поколение только набирает опыт, вопрос сохранения и эффективной передачи знаний становится критически важным для обеспечения устойчивого регулирования в сфере ядерной и радиационной безопасности.

Для Департамента по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (Госатомнадзор), сохранение знаний уходящих специалистов является стратегической задачей. Уникальный накопленный опыт бесценен и не может быть получен заново по таким вопросам, как регулирование сооружения атомных электростанций. Осознавая это, и учитывая развитие атомной энергетики в стране, включая решение по сооружению 3-го энергоблока Белорусской АЭС, сохранение и передача знаний становится критически важной не только для самого регулирующего органа, но и для страны в целом. Эффективная передача знаний, обучение молодых специалистов на рабочих местах является одним из действенных инструментов, позволяющих регулирующему органу и дальше выполнять свои функции на высочайшем уровне в сферах обеспечения ядерной и радиационной безопасности и преодоления последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС.

Управление явными ядерными знаниями

В управлении знаниями Госатомнадзор использует процессно-ориентированный подход, суть которого заключается в том, что знания собираются и фиксируются по мере их возникновения в ходе выполнения рабочих задач, что позволяет избежать потери ценной информации и сделать ее доступной для всех, кому она может понадобиться.

Процесс управления знаниями представляет собой структурированный цикл, направленный на постоянную актуализацию всех знаний организации и совершенствование механизмов их распространения. Особое внимание уделяется явным знаниям – тем, которые уже задокументированы, систематизированы и доступны для использования.

Процесс управления знаниями в Госатомнадзоре включает в себя следующие элементы: определение потребности в знаниях; приобретение и (или) создание новых знаний; сохранение, накопление знаний; передача знаний и распространение информации; применение знаний; анализ имеющихся знаний; архивирование или освобождение от устаревших знаний.

Рассмотрим каждый элемент более подробно.

Определение потребности в знаниях.

Прежде чем выполнять поставленные задачи необходимо четко понимать, какие именно знания нужны для эффективного выполнения регулирующих функций в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности.

Потребность в новых знаниях может возникнуть по самым разным причинам. Это может быть связано с расширением полномочий регулирующего органа, изменениями в законодательстве, появлением новых объектов, подлежащих надзору, изменения в структуре организации, перевод сотрудника на новую должность, изменение его обязанностей, прием на работу новых сотрудников или возвращение сотрудника после длительного отсутствия. Все эти ситуации требуют своевременного восполнения пробелов в знаниях.

На этом этапе важно не только определить недостающие компетенции, но и зафиксировать, какие знания уже есть в распоряжении организации. Планирование включает в себя приоритезацию необходимых знаний, а именно определение какие знания критически важны прямо сейчас, какие могут подождать. Для этого разрабатываются программы приобретения новых знаний, это могут быть курсы повышения квалификации, стажировки, участие в конференциях, опыт других стран, консультации с экспертами.

Приобретение и (или) создание новых знаний.

Госатомнадзор выступает одновременно и потребителем, и генератором знаний. Это означает, что информация непрерывно циркулирует внутри организации и поступает извне.

Приобретение новых знаний осуществляется путем регулярного повышения квалификации сотрудников Госатомнадзора, участвуя в образовательных программах как в Беларуси, так и за рубежом. Особое внимание уделяется сотрудничеству с Российской Федерацией, являющейся страной-поставщиком ядерных технологий. Сотрудники проходят стажировки на ведущих атомных электростанциях, где получают практический опыт надзорной деятельности и участвуют в качестве наблюдателей в комплексных инспекциях. Не менее важна и международная кооперация: участие в семинарах и курсах, организуемых МАГАТЭ, а также мероприятиях, поддерживаемых государством.

Одним из источников приобретения ядерных знаний специалистами Госатомнадзора являются информационные ресурсы, такие как научные журналы (АНРИ, Ядерная и радиационная безопасность, Радиоактивные отходы, Атомная энергия), периодические издания по атомной энергетике (AtomInfo.ru), специализированные базы данных, системы ядерной информации, предоставляющие доступ к публикациям и информации о ядерной науке и технологий (INIS), научно-деловые и отраслевые порталы в атомной отрасли (Атомная энергия 2.0,

сайт МАГАТЭ), информационные агентства (БелТА), онлайн-службы новостей, предоставляющие актуальную информацию о событиях в мировой ядерной энергетике (World nuclear news (WNN)) и др.

Кроме того, основой для создания новых знаний, развития компетенций и экспертного потенциала становятся результаты научно-технической поддержки регулирующей деятельности в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности, включающие отчеты о результатах научно-исследовательских работ, базы данных, инструментарий для экспертизы безопасности Белорусской АЭС, методики и проекты технических нормативных правовых актов. Регулирующий орган выступает заказчиком значительного числа научно-исследовательских работ, выполняемых в рамках государственных программ «Наукоемкие технологии и техника» и Государственная программа по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС, способствуя тем самым генерации новых знаний.

Еще одним внутренним источником обмена опытом и приобретения новых знаний является активный диалог с белорусскими органами государственного управления, регулирующими органами других стран-партнеров, лицензиатами и представителями поднадзорных организаций, а также организациями научно-технической поддержки. Кроме того, привлечение внешних экспертов и консультантов является эффективным инструментом для решения сложных задач и получения специализированных знаний.

Помимо внешних источников, Госатомнадзор активно использует и внутренние ресурсы для получения знаний. Локальные нормативные акты, внутренние процессы управления, корпоративные информационные системы (портал Битрикс, SMBusiness и др.) обеспечивают доступ к накопленным знаниям и опыту внутри организации, способствуя их эффективному распространению и применению. Также внутренние обучающие мероприятия, такие как наставничество и обучение на рабочем месте, самообучение, а также участие в рабочих группах и совещаниях способствуют обмену мнениями и передаче знаний и опыта от более опытных сотрудников к новым.

Сохранение и накопление знаний.

В Госатомнадзоре явные знания аккумулируются и сохраняются таким образом, чтобы они были доступны в нужный момент.

Одним важным элементом на этапе сохранения и накопления знаний является независимая оценка экспертов, не участвующих в создании знаний, для обеспечения проверки. В Госатомнадзоре новые знания, полученные в результате научно-исследовательских работ, проходят одобрение на заседаниях научно-технического экспертного совета в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности МЧС, который включает 22 высококвалифицированных специалистов, среди которых 6 докторов наук (из них 3 академика) и 11 кандидатов наук. Это позволяет убедиться в их достоверности и корректности. Окончательное подтверждение ценности новых знаний происходит со временем, в процессе их практического применения.

Сохранение явных знаний осуществляется на различных носителях, включая бумажные и электронные документы, размещенные в структурных подразделениях Госатомнадзора, а также в системе электронного документооборота. В перспективе, приобретаемые явные знания (аннотации к результатам научно-исследовательских работ, научные и новостные публикации, юридическая и техническая информация) будут размещаться в том числе и на Национальном портале ядерных знаний Республики Беларусь [1], что позволит обеспечить централизованный доступ к ним.

При хранении любой информации в Госатомнадзоре, приоритетом является обеспечение ее целостности и защиты от несанкционированного доступа, изменений, повреждений или потери, данных в соответствии с законодательством Республики Беларусь.

Передача знаний и распространение информации.

Передача знаний и распространения информации – это многогранный процесс, который осуществляется через открытый диалог и обмен информацией между сотрудниками и структурными подразделениями, проведения совещаний, планерок, коллегий, на которых обсуждаются актуальные вопросы и принимаются решения. Важную роль в передаче и распространении знаний в Госатомнадзоре играют проведение технических учеб, в том числе по итогам обучающих мероприятий, зарубежных командировок, специальные программы для молодых специалистов, включающие стажировки, встречи с руководством и наставничество. Также способствует эффективной передаче знаний активное использование национальных и международных информационных порталов.

Применение знаний.

Финальным, но не менее важным шагом в процессе управления ядерными знаниями, который позволяет извлекать максимальную пользу из полученного опыта является применение ядерных знаний. Именно на данном этапе накопленные знания трансформируются в конкретные действия, направленные обеспечение ядерной и радиационной безопасности.

Примером того, как знания обретают практическое значение, является многолетний опыт и результаты деятельности Республики Беларусь по радиационной защите населения и реабилитации территорий, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС. Результаты многолетней работы, которые будут представлены в издании Госатомнадзора и Международного государственного экологического института им. А. Д. Сахарова в 2025 году, станут не просто информационно-аналитическим обзором, а будут являться ценным источником информации о белорусском опыте, который может быть полезен другим странам, а также содействовать повышению уровня радиационной безопасности в мире.

Другой важный аспект применения знаний связан с опытом, накопленным в ходе сооружения, ввода в эксплуатацию, эксплуатации ядерных объектов, а также результатами научных исследований, которые служат основой для формирования нормативной правовой и технической документации, регулирующей ядерную и радиационную безопасность.

Еще одним примером применения ядерных знаний является формирование в Госатомнадзоре системы программ надзора за различными аспектами деятельности эксплуатирующей организации в ходе эксплуатации Белорусской АЭС. Данная система включает в себя задокументированные процедуры, периодичность и детальные вопросы проведения проверок и иных надзорных мероприятий. Программы надзора разработаны на основе накопленного сотрудниками Госатомнадзора опыта и являются примером его передачи молодым инспекторам.

Таким образом, ценность накопленных знаний проявляется в самых разных формах, но все они сводятся к одному – обеспечению высокого уровня ядерной и радиационной безопасности.

Анализ имеющихся знаний.

Госатомнадзор ежегодно проводит анализ функционирования всего процесса управления ядерными знаниями, в том числе мониторинг организаций научно-технической поддержки на наличие экспертов, их профессиональное развитие (повышение квалификации) и адаптацию к изменяющимся задачам.

Это позволяет не только соответствовать текущим требованиям, но и заблаговременно готовиться к изменяющимся условиям и новым вызовам в области ядерной и радиационной безопасности.

Архивирование или освобождение от устаревших знаний.

Архивирование или освобождение от устаревших знаний проводится специальной комиссией Госатомнадзора, которая оценивает значимость документов с точки зрения их исторической, научной и практической ценности, определяет сроки их хранения и принимает решения об их дальнейшей судьбе.

Документы, признанные актуальными, остаются в активном использовании, утратившие актуальность, но представляющие ценность, передаются в Национальный архив для дальнейшей экспертизы и возможного хранения. Документы устаревшие и не представляющие ценности подлежат уничтожению в соответствии с установленными процедурами. Документы, прошедшие экспертизу в Национальном архиве и признанные ценными, передаются на постоянное хранение в архив Госатомнадзора.

Заключение

В Госатомнадзоре заложены основы для эффективного управления ядерными знаниями, что отражено в рамках процесса ИСУ «Управление знаниями».

Однако, для достижения высокого уровня регулирования в области ядерной и радиационной безопасности, необходимо выйти за рамки текущих наработок. Ключевым шагом является формирование комплексной системы управления ядерными знаниями на уровне системы научно-технической поддержки. Именно система научно-технической поддержки, являющаяся основным генератором ядерных знаний, должна оказывать регулирующему органу необходимую экспертную поддержку. Параллельно с этим, важно разрабатывать и внедрять современные инструменты для эффективной передачи информации, такие как, например, Национальный портал ядерных знаний Республики Беларусь,

который позволит сделать накопленные данные доступными и удобными для использования.

В конечном итоге, процесс управления знаниями в Госатомнадзоре должен представлять собой динамичную, непрерывно развивающуюся систему. Это требует постоянного мониторинга, глубокого анализа и гибкой адаптации. Только такой подход позволит гарантировать, что накопленные знания всегда остаются актуальными и служат главной, первостепенной цели – обеспечению ядерной и радиационной безопасности.

Литература

1. Гурнович Н.К., Луговская О.М., Сытова С.Н. Становление Национального электронного портала ядерных знаний в Республике Беларусь для использования в практической деятельности / Сборник тезисов XII Международной научной конференции «Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях», 29–31 октября 2025 г., Москва/ Под общ. ред. акад. РАН Л. А. Большова; Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук. — М. : ИБРАЭ РАН, 2025. — 230 с.

2. Процесс ИСУ «Управление компетенциями», утвержденный приказом Госатомнадзора от 7 октября 2016 г. № 50.

УДК 004.6; 005; 621.039

А. П. Дунец, А. Р. Барткевич, А. Н. Коваленко, Е. И. Коваленко,
С. Н. Сытова, З. И. Трафимчик, А. Л. Холмецкий, С. В. Черепица
г. Минск, Республика Беларусь, Институт ядерных проблем Белгосуниверситета

ПОЛНОТЕКСТОВЫЙ ПОИСК НА НАЦИОНАЛЬНОМ ПОРТАЛЕ ЯДЕРНЫХ ЗНАНИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Статья посвящена краткому обзору реализации полнотекстового поиска на Национальном портале ядерных знаний Республики Беларусь.

Рассмотрим ведущие мировые порталы в области ядерных знаний – “Атомная энергия 2.0” и портал МАГАТЭ. На российском портале в области ядерных знаний, работающем под эгидой Росатома, “Атомная энергия 2.0” https://www.atomic-energy.ru/, который позиционирует себя как «семантическое научное СМИ» (https://www.atomic-energy.ru/video/119454), семантические технологии реализуются вручную: «Научный портал “Атомная энергия 2.0” с момента создания в 2008 году развивается как открытая семантическая информационная система по управлению ядерными знаниями и взаимодействию с широкой общественностью. Сегодня на портале накоплено уже более 120 000 публикаций, каждая из которых вручную “семантически” отсортирована по общей тематике (1 000+ терминов), ключевым словам (1 500+ терминов), географии (1 000+ терминов), организациям (2 000+ наименований), персоналиям (1 500+ наименований) и событиям (1 000+ наименований)».

Портал “Атомная энергия 2.0” написан на системе управления контентом (Content Management System – CMS) Drupal, в которой используемый встроенный поиск не способен искать по части слова (только по полному совпадению слов), а также по присоединенным документам и т.д. Разработчики, использующие CMS Drupal, вынуждены использовать встроенный поиск Google или Яндекс.

На портале МАГАТЭ https://www.iaea.org/ используется встроенный поиск Google.

На Национальном портале ядерных знаний Республики Беларусь реализован собственный полнотекстовый поиск, в том числе по части слов (леммам), по всему содержимому записи – заголовку, авторам, выходным данным, резюме, самому материалу, а также по присоединенным файлам, включая сканированные документы и изображения.

Ни на одном из известных общепризнанных порталов ядерных знаний (“Атомная энергия 2.0”, МАГАТЭ и др.) нет опции полнотекстового поиска по сканированным документам и изображениям.

Приведем обоснование необходимости собственной встроенной системы полнотекстового поиска на Национальном портале.

1. Собственный поиск в системе работает при отсутствии подключения к интернет и не требует доступа к внешним серверам. Россия активно строит локальный сегмент глобальной сети, в результате чего периодически становятся недоступны сервера Яндекса и другие сервисы. Google и Microsoft Bing явля-

ются компаниями из недружественных стран и в любой момент их услуги могут стать недоступны.

2. Информация, размещенная на Национальном портале, не передается на сторонние серверы. Таким образом можно лучше контролировать доступ к данным.

3. Возможность локально хранить языковую модель и использовать ее для развития системы необходима, например, для построения классификатора документов.

4. Ликвидация эффекта «отравления данных» поисковых систем важна, поскольку корпорации могут ранжировать результаты в соответствии со своими различными бизнес-интересами (заказы рекламодателей, действующие судебные решения или предъявленные иски, политические предпочтения владельцев бизнеса и т.п.). Сейчас ядерные технологии вернули себе позицию в топе глобальной повестки, поэтому независимость в подаче данных очень важна.

5. Возможность поддерживать при необходимости сторонние источники данных может быть реализована именно через собственный поиск, который можно оснастить средствами для обработки сторонних сайтов, если будет принято и организационно обеспечено соответствующее решение.

Реализованный полнотекстовый поиск на Национальном портале является семантическим, основанным на извлечении текста из файлов посредством Apache Tika, получению лемм по алгоритму Snowball для контекстного понимания содержания, модели Okapi BM25 – функции ранжирования, используемой для упорядочивания документов по их релевантности данному поисковому запросу. Полнотекстовый поиск в настоящий момент ведется по всем записям на портале и присоединенным документам – то есть по всему контенту портала.

Итак, информация на портале размещается, как правило, в виде текстов и этой информации много. Возникает задача поиска текстов с учетом морфологии (полнотекстовый поиск) как для авторов, так и для посетителей сайта. Собственная подсистема полнотекстового поиска портала обладает следующими ключевыми возможностями:

– поиск с учетом морфологии естественного языка;
– ранжирование тестов по релевантности;
– поддержка большого числа форматов документов, включая возможность извлечения текста из отсканированных PDF-документов и изображений (обеспечивается программным пакетом Apache Tika в комплексе с ПО Tessract).
– тезаурус (система глоссариев) для организации структуры публикуемых текстов.
– подсистема полуавтоматического поиска и расстановки ключевых слов для документов.

Работа поисковой системы организована следующим образом. Проводится декомпозиция стадий обработки и выделение в фоновые задачи тех из них, которые невозможно выполнить при прямом взаимодействии пользователя с системой. Кроме этого, обработка отсканированных PDF, может быть выполнена только в фоновом режиме. Обычно страница текста на типичном хостинге распознается в течение одной-двух минут, а документ может содержать несколько десятков страниц. Т. е. оптимальной является работа в фоновом режиме.

Так же фоновый режим удобен для решения следующих задач:

– анализ морфологии текста с использованием словарей и эвристических алгоритмов;

– выделение ключевых слов и словосочетаний;

– автоматическое формирование индексов (структур, оптимизирующих поиск).

В итоге большинство стадий анализа текста – это фоновая обработка отдельным фоновым сервисом (демоном). Данный процесс запускается автоматически при старте системы.

Пользовательский интерфейс позволяет загрузить данные и отображает промежуточные результаты в те моменты, когда нужна реакция пользователя, и, конечно, показывает итоговые результаты.

Процесс взаимодействия с фоновой обработкой осуществляется путем построения взаимодействия через базу данных (БД). Современные системы управления базами данных (СУБД) обладают всеми необходимыми для этого возможностями и позволяют решить множество проблем своими штатными средствами, начиная от совместного доступа к данным до контроля целостности с применением транзакций. СУБД Firebird, используемая в системе управления контентом портала, позволила оптимизировать взаимодействие и избежать периодического опроса БД фоновым процессом, что снизило нагрузку на процессор. Это достигается путем применения специального инструмента, доступного в СУБД Firebird, такого как события (Firebird Events).

Событие срабатывает, когда пользователь размещает в системе новый файл или редактирует/удаляет старый. Информация об этом практически мгновенно передается в фоновый процесс и активирует обработку, что позволяет избежать задержек, характерных для редкого опроса и неоправданного расхода ресурсов процессора при частом опросе. Фоновая обработка может занять очень разное время от 2–3 секунд до десятков минут. При этом возможна комфортная работа пользователей над другими задачами.

Результаты обработки хранятся в БД системы в виде двух наборов данных:

– результаты извлечения чистого текста из документов для морфологического анализа;

– расчет частоты вхождения слов в текст с учетом морфологии текста на русском и английском языках.

Полученные данные записываются в БД, а когда возникает необходимость, они извлекаются из БД и применяются в расчетах.

Так же необходимо отметить, что современные семантические алгоритмы очень требовательны к ресурсам компьютера, поэтому становится актуальной задача оптимизировать их выполнение. Отметим следующие способы автоматизации, которые применены при реализации системы.

Частоты вхождения слов в текст – это самый часто применяемый набор данных в системе, который используется каждым ее модулем. Для ускорения обработки запросов они записываются в двух форматах:

– обычные нормализованные таблицы, которые предоставляют возможность удобного вычисления статистики, используя SQL;

– поле в одной из таблиц с денормализованными данными, что позволяет полу-

чить вектор частот слов всего текста одним запросом в БД без формирования выборки.

В системе реализовано кэширование редко изменяющихся наборов данных. Так же неочевидной, но полезной особенностью оказалось хранение чистого текста документа в БД, реализованное в виде полезной функции предпросмотра текста документов.

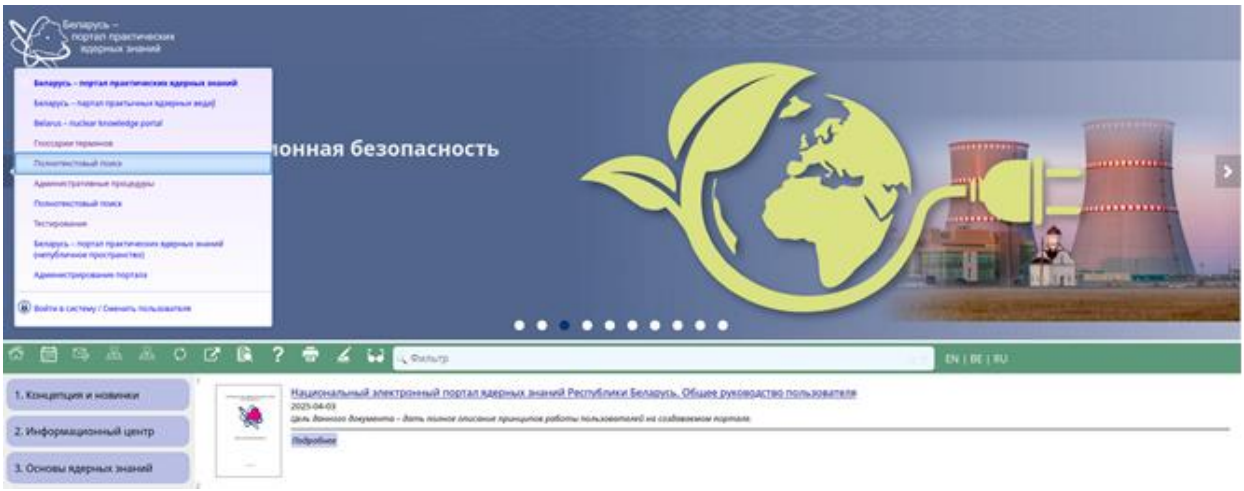


Рисунок 1. Меню для перехода в режим полнотекстового поиска

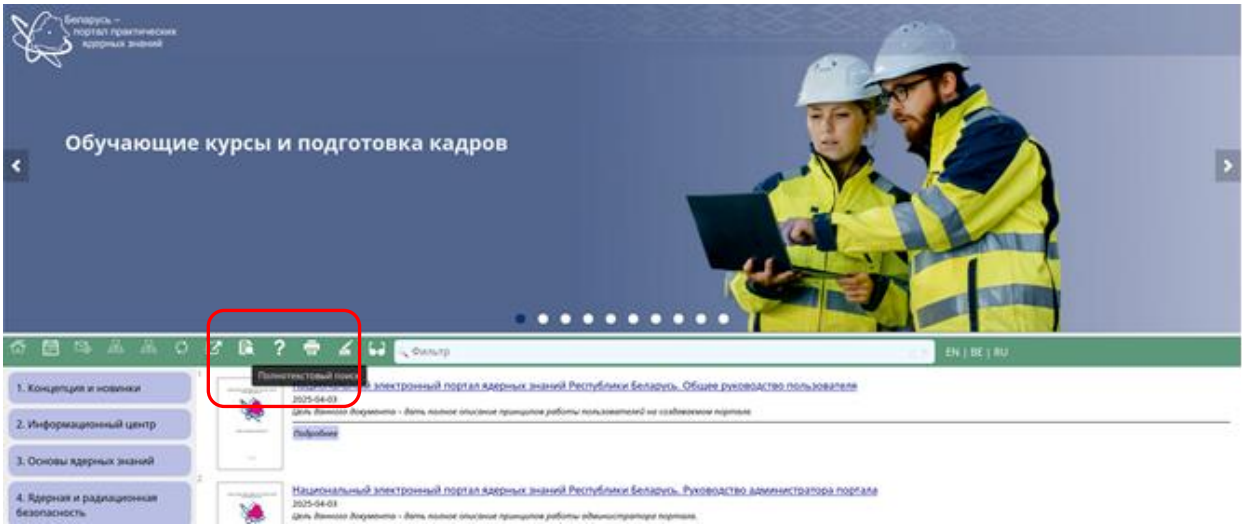


Рисунок 2. Меню для перехода в режим полнотекстового поиска

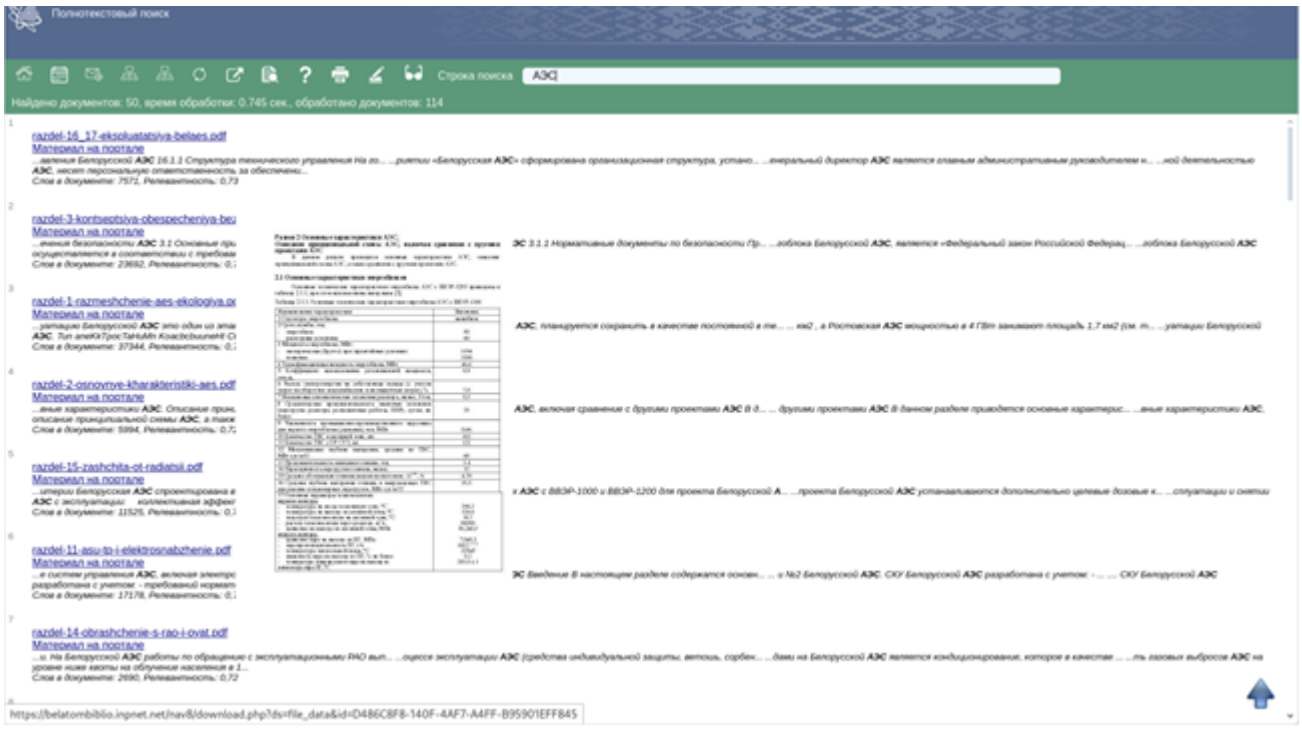


Рисунок 3. Интерфейс пользователя в режиме полнотекстового поиска

Рассмотрим, как в системе (https://belatombiblio.inpnet.net/) реализован полнотекстовый поиск по текстовым документам (включая картинки и сканированные документы), которые загружены в систему. Для перехода в режим полнотекстового поиска необходимо выбрать строку «Полнотекстовый поиск» в меню в левом верхнем углу экрана модуля представления (рис.1) либо на панели навигации (рис. 2).

После перехода системы на экран полнотекстового поиска (рис. 3) необходимо набрать текстовый запрос в строке поиска в левой верхней части экрана. В данном случае набрана поисковая строка «АЭС».

Результат выполнения поиска высвечивается на странице в виде имени документа (документов) либо материалов (записей) портала, где найдена поисковая строка. Здесь выделены несколько слов текста из поисковой строки. В системе доступен предпросмотр страницы текста документа и открытие в новом окне самого документа (рис. 5).

Также в верхней части экрана выводится количество документов, в которых обнаружена строка ввода. Найденные документы и материалы высвечиваются на странице в порядке релевантности (от наибольшего значения – числа вхождений поисковой строки в документ, до наименьшего).

Предпросмотр страницы текста документа, присоединенного к записи или рисунка доступен также при работе с материалами (вложенными файлами) на панели «Подробности» (рис. 32) при наведении курсора мыши на название файла.

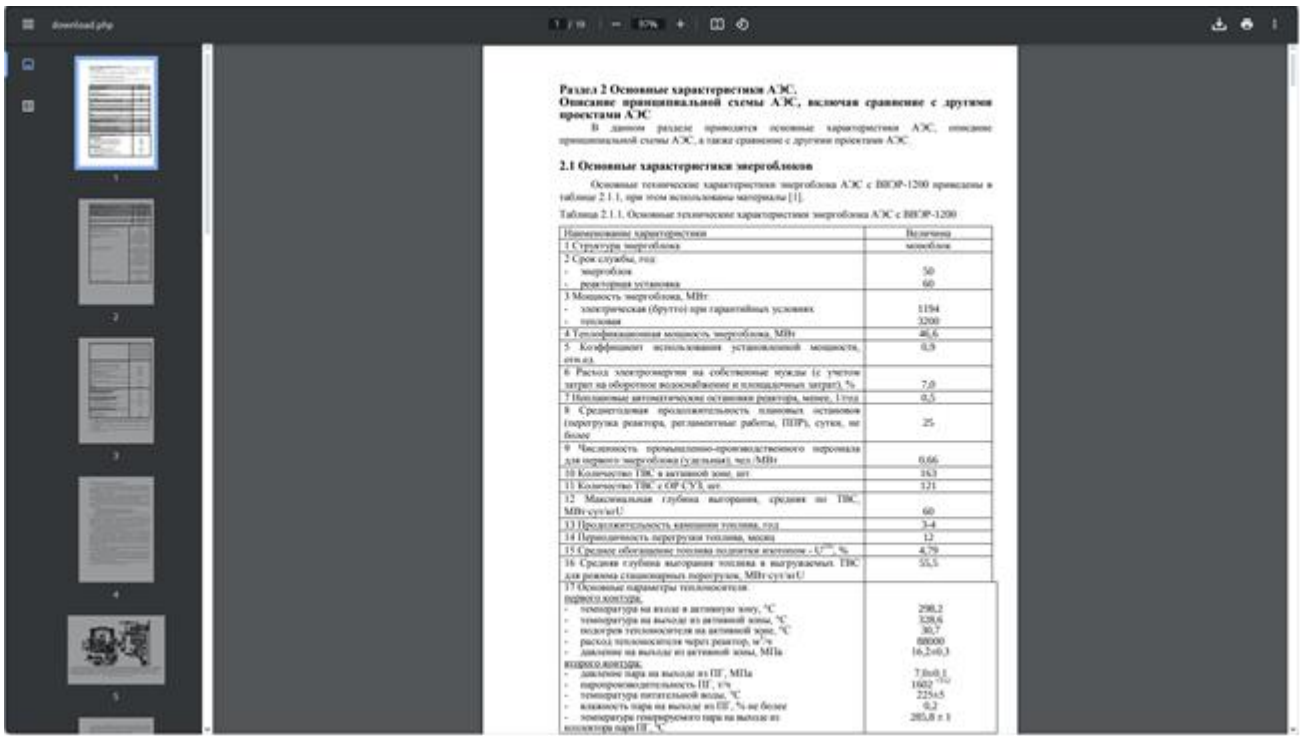


Рисунок 4. Интерфейс пользователя в режиме полнотекстового поиска. Просмотр найденного документа

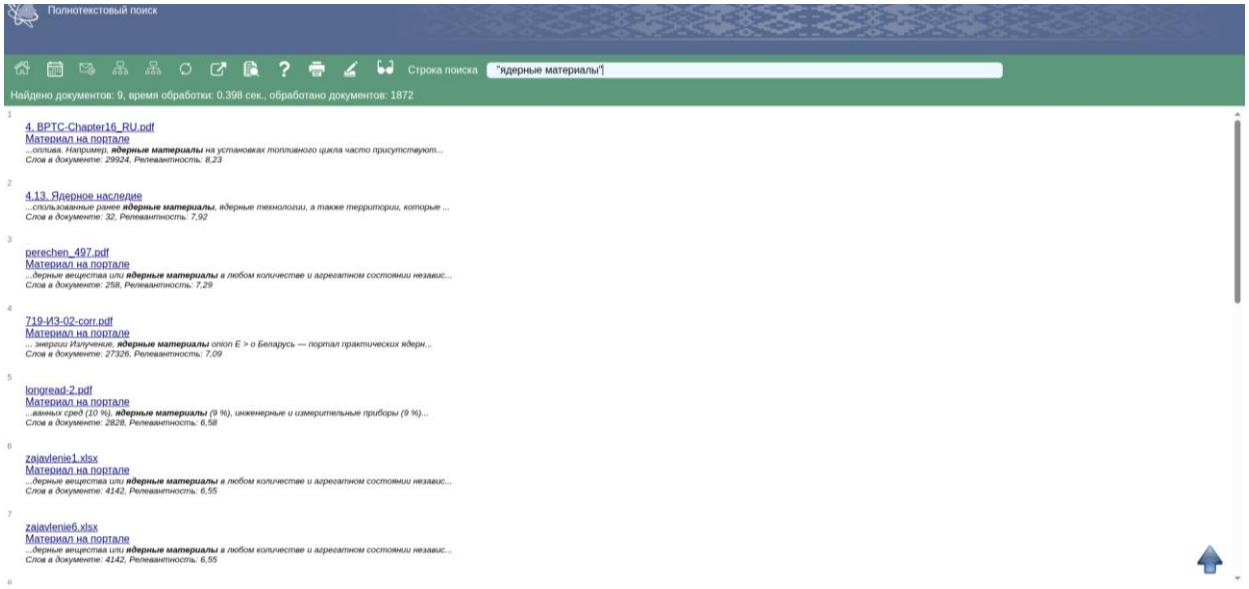


Рисунок 5. Интерфейс пользователя в режиме полнотекстового поиска. Полное совпадение фразы

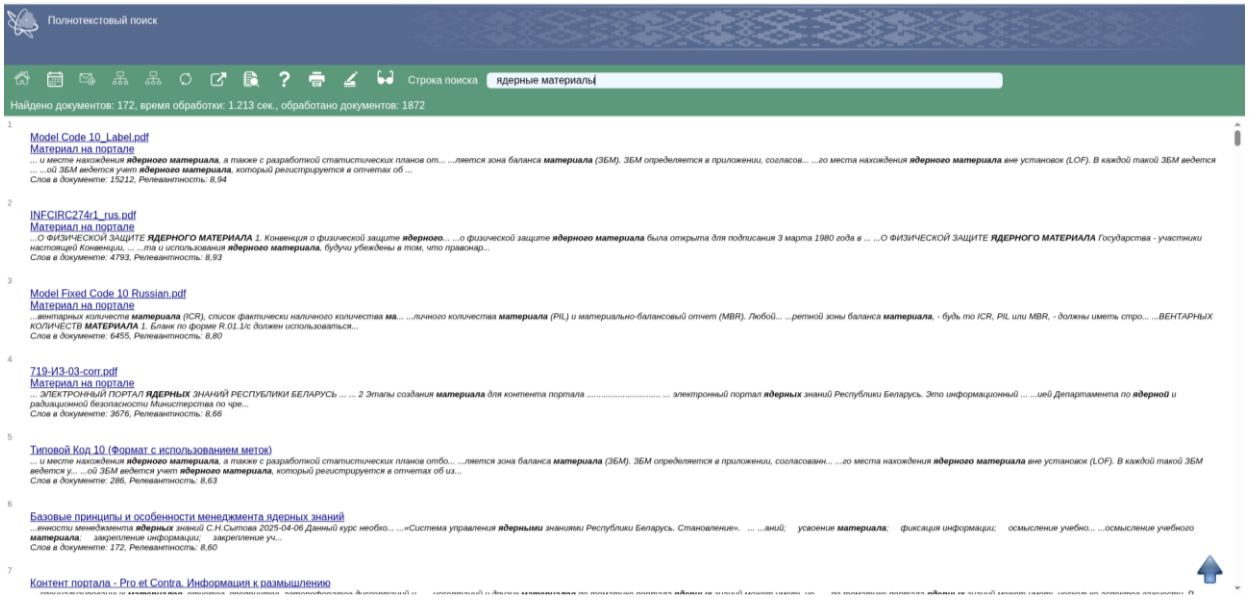


Рисунок 6. Интерфейс пользователя в режиме полнотекстового поиска. Функция «и» для всех словоформ

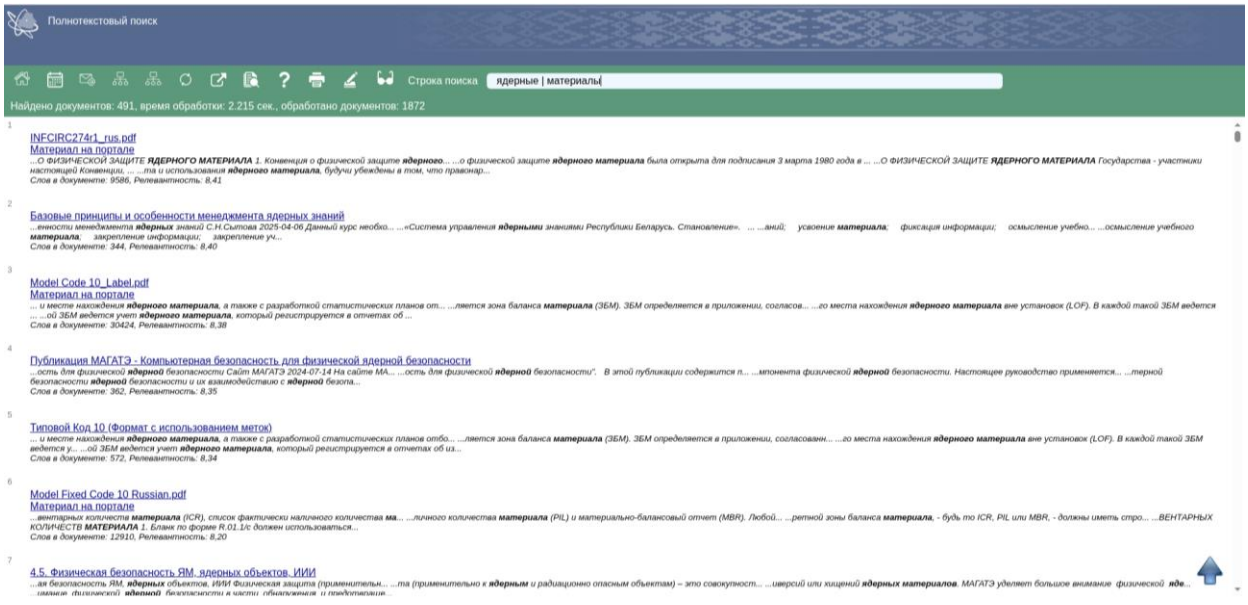


Рисунок 7. – Полнотекстовый поиск. Функция «или» для всех словоформ

Для поиска фразы целиком (по полному совпадению) фраза должна заключаться в кавычки: ***“ядерные материалы”*** (рис. 5).

Фраза без кавычек ***ядерные материалы*** реализует поиск по вхождению всех возможных словоформ всех слов фразы, возможно, в произвольном порядке (функция «и») (рис. 6).

Справочно: словоформы слова «материалы» – материал, материала, материалу, материалом, материале, материалов и т.д.

Фраза ***ядерные | материалы*** реализует поиск всех словоформ входящих во фразу слов, одного или нескольких (функция «или») (рис. 7).

Функция «или» реализована через знак | с целью возможности использовать слово «или» в поиске наравне с другими. Так же может быть использовано || .

В системе доступно распознавание не только офисных документов и документов типа pdf, но и сканированных документов, а также картинок в форматах jpg, tiff и др.

Отметим, что в процессе встроенного распознавания исходный документ не изменяется и не осуществляется ручное исправление ошибок. Пользователь, при желании, может скопировать документ и распознать его дополнительно с помощью сторонней опции. Достаточное разрешение для гарантированного распознавания документа – 300 dpi. Если в сканированном документе крупный шрифт (14 pt и больше), то можно использовать разрешение от 100 dpi.

Работы выполняются в рамках мероприятия 13 «Выполнение работ по оказанию научно-технической поддержки Министерству по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности» подпрограммы 3 «Научное обеспечение эффективной и безопасной работы Белорусской атомной электростанции и перспективных направлений развития атомной энергетики» Государственной программы «Наукоемкие технологии и техника» на 2021–2025 годы.

УДК 621.039.534

Е. А. Евтушенко[1], М. В. Кащеев[2], В. А. Левченко[2],
Р. Н. Савинов[1], А. В. Шовиков[1]

[1] – г. Сосновый Бор, Россия, Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Ленинградская атомная станция»;

[2] – г. Обнинск, Россия, ООО ЭНИМЦ «Моделирующие системы»

МЕДЛЕННОЕ РАСХОЛАЖИВАНИЕ ЭНЕРГОБЛОКА В ПЕРИОД ОСТАНОВА ДЛЯ РЕМОНТА КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ НА ЛЕНИНГРАДСКОЙ АЭС-2

Одним из важнейших принципов работы атомных электростанций является приоритет безопасности. Культура безопасности формируется и поддерживается путем понимания каждым работником АЭС влияния его деятельности на безопасность атомной станции, недопустимости сокрытия ошибок в своей деятельности, необходимости постоянного самосовершенствования, изучения и внедрения передового опыта [3]. На Ленинградской АЭС-2 культура безопасности рассматривается как фундамент всех производственных решений, включая технические решения по выбору оптимальных режимов останова реакторной установки.

Для улучшения радиационной обстановки в помещениях реакторного отделения в период планово-предупредительного ремонта (ППР) второго энергоблока ЛАЭС-2 внедрено в практику работы техническое решение, связанное с медленным расхолаживанием энергоблока во время останова для проведения ремонта. Медленный режим расхолаживания позволяет снизить концентрацию активированных продуктов коррозии в теплоносителе и, как следствие, уменьшить дозовые нагрузки на персонал.

Общая продолжительность медленного расхолаживания составила 48 часов. Очистка теплоносителя с применением двух фильтров смешанного действия системы 20КВЕ в ходе медленного расхолаживания показала наибольшую эффективность (коэффициент очистки ~ 20) при температуре теплоносителя 110 °С, при этом в интервале от 130 °С до 70 °С расхолаживание энергоблока осуществлялось со скоростью примерно 2,5 °С/ч.

В таблице 1 представлены значения суммарной удельной активности теплоносителя первого контура, а также коэффициента очистки, выражающего отношение суммарных удельных активностей до и после фильтров 20КВЕ.

В ходе реализации медленного расхолаживания удалось достичь снижения суммарной активности теплоносителя первого контура на порядок и уменьшить мощность дозы гамма-излучения от главного циркуляционного трубопровода примерно на 10 %. Помимо улучшения радиационной обстановки, зафиксировано снижение активности нормируемых радионуклидов в выбросах и сбросах энергоблока.

Таблица 1. Динамика суммарной активности и коэффициента очистки теплоносителя

Температура, °С	Суммарная удельная активность до фильтров, Бк/кг	Коэффициент очистки
314	6,11E+06	12,44
220	8,45E+05	1,89
129	3,16E+05	1,56
110	4,88E+05	20,80
91	2,60E+05	2,18
75	1,77E+05	4,16
50	1,56E+05	9,46

Для оценки влияния медленного расхолаживания на активность сбросов дебалансных вод из контрольных баков выбран реперный радионуклид Ag-110m.

На рис. 1 показана объемная активность Ag-110m в контрольных баках по дням ППР.

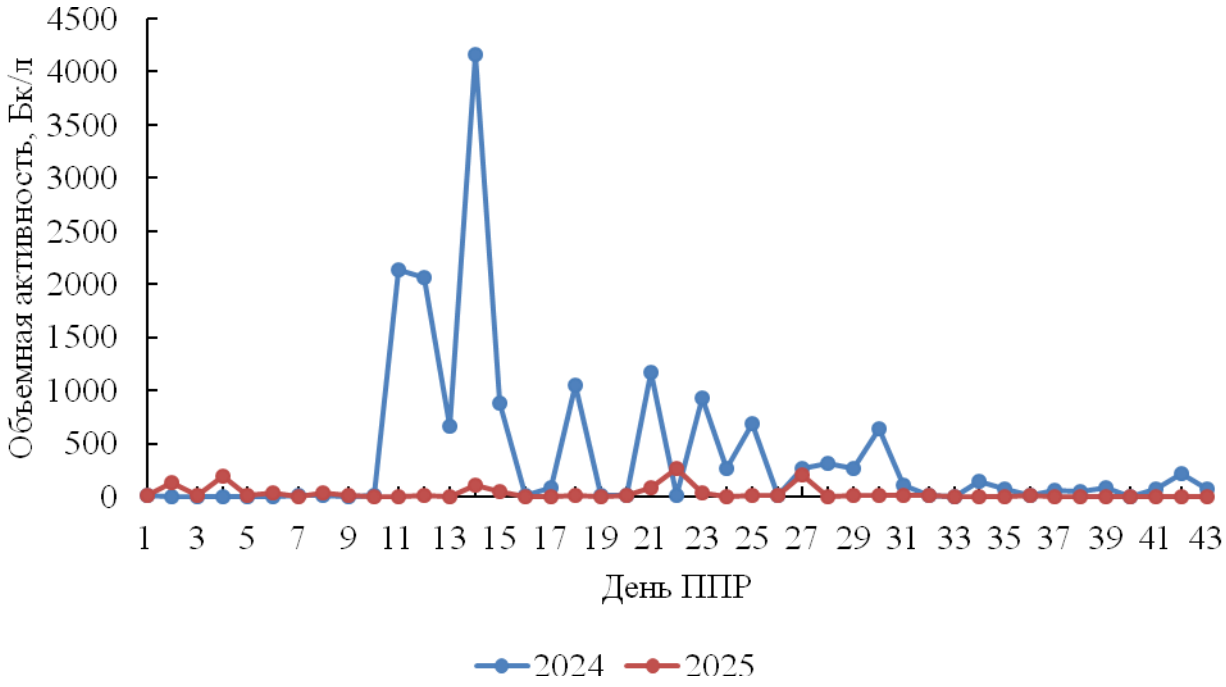


Рисунок 1. Объемная активность Ag-110m в контрольных баках

Анализ полученных данных выявил снижение объёмной активности Ag-110m в контрольных баках примерно в 10 раз. По результатам лабораторно-

го контроля в период ППР контрольные баки не требовали дополнительной очистки. Это свидетельствует о снижении концентрации продуктов коррозии в теплоносителе и на оборудовании первого контура.

Для изучения влияния выбранного режима расхолаживания на активность выбросов радиоактивных веществ в вентиляционную трубу второго энергоблока Ленинградской АЭС-2 рассмотрены результаты контроля объемной активности радионуклидов из состава инертных радиоактивных газов, йода-131, трития и углерода-14 в первые четыре дня ППР в 2024 и 2025 годах.

Результаты приведены в таблице 2 и свидетельствуют о положительной тенденции к снижению объемной активности контролируемых радионуклидов.

Таблица 2. Сравнение объемных активностей радионуклидов при ППР-2024 и ППР-2025 по дням

Нуклид	ППР-2024, объемная активность по дням, Бк/м^3				ППР-2025, объемная активность по дням, Бк/м^3			
	1	2	3	4	1	2	3	4
^{3}H	318	318	614	379	263	445	445	445
^{14}C	381	381	115	280	130	40	40	40
^{85m}Kr	326	301	0	0	0	0	0	0
^{131}I	0	0	0,2	0,27	0	0	0	0
^{133}Xe	18117	9370	6700	5669	432	400	0	0
^{135}Xe	3800	1696	0	0	457	432	0	0
^{135m}Xe	308	0	0	0	0	0	0	0

Достижение указанных результатов стало возможным благодаря системному подходу к обеспечению радиационной безопасности, включающему анализ дозовых нагрузок, мониторинг параметров теплоносителя и взаимодействие между подразделениями эксплуатационного персонала. Этот подход соответствует принципам культуры безопасности, закреплённым в документах МАГАТЭ и АО «Концерн Росэнергоатом»: приоритет безопасности, ответственность и постоянное совершенствование [1, 2].

Медленное расхолаживание энергоблока является не только технологическим решением задачи улучшения радиационной обстановки, но и проявлением зрелой культуры безопасности на Ленинградской АЭС-2. Реализация данного режима позволяет снизить радиационные риски, повысить качество ремонтных работ и демонстрирует высокий уровень ответственности персонала за безопасность эксплуатации.

Литература

1. Заявление о Политике АО «Концерн Росэнергоатом» в области культуры безопасности. // АО «Концерн Росэнергоатом» : официальный сайт. – 2023. – 2 с. – URL: https://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/5b7/5b7a52656c2ecde2b9fd7ee627cd9919.pdf (дата обращения: 30.10.2025).

2. **Международное агентство по атомной энергии.** Культура безопасности: Доклад международной консультативной группы по ядерной безопасности. – Вена : МАГАТЭ, 1991. – 51 с. – (Серия изданий по безопасности ; №. 75-INSAG-4). – ISBN 92-0-423291-9. – URL: https://pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub882r_web.pdf (дата обращения: 30.10.2025).

3. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций: (НП-001-15) : официальное издание : утверждены Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17.12.15 : введены в действие 15.02.16. – М. : НТЦ ЯРБ, 2016. – 73 с.

УДК 539.1.08:539.16.08

А. А. Загороднюк, И. А. Алексейчук, М. А. Богдан,
С. В. Лазаренко, А. Ю. Тараев
г. Минск, Республика Беларусь, Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЕЙ ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ ЛИНЕЙНЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОНОВ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ПРОВЕРКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В текущий момент в промышленности увеличивается количество оборудования, которое генерирует сопутствующее непрерывное и импульсное фотонное излучение. В связи с этим увеличивается потребность в приборах дозиметрического контроля радиационной обстановки на рабочих местах, способных работать в данных полях.

Приборы радиационного дозиметрического контроля, выпускаемые в настоящее время для работы в полях импульсного фотонного излучения, имеют ряд существенных ограничений как по частоте повторения и длительности импульса, так и по предельной мощности дозы в импульсе. Поэтому для правильной интерпретации результатов измерений необходимо точно знать характеристики полей импульсного излучения, в которых калибруется прибор.

Для корректной калибровки таких приборов необходимы устройства, способные генерировать поля импульсного фотонного излучения с заданными характеристиками. В качестве таких устройств, генерирующих высокоэнергетические поля импульсного фотонного излучения [1] было предложено использовать медицинские линейные ускорители электронов (далее – ЛУЭ). Для уменьшения интенсивности излучения ЛУЭ до значений, попадающих в диапазон измерений дозиметрического оборудования, использовался свинцовый фильтр, который существенно влияет на спектр и среднюю энергию излучения.

Однако для возможности использования ЛУЭ в качестве источника поля импульсного фотонного излучения, пригодного для калибровки дозиметрического оборудования, помимо спектра и средней энергии, необходимо также знать длительность импульса излучения, и частоту их повторения [2], [3], [4]. Эти характеристики необходимы для определения мощности дозы в импульсе (далее – МАЭД в импульсе), генерируемой ЛУЭ в заданной точке пространства (далее – точка измерения). Многие приборы выпускаемые для работы в импульсных полях имеют ограничение по этому параметру. Например, дозиметр рентгеновского и гамма излучения ДКС-АТ1123 [5], имеет ограничение по мощности дозы в импульсе, равное 1.3 Зв/с.

Целью работы являлось определение основных характеристик поля фотонного излучения ЛУЭ, а именно: средней энергии излучения, длительности импульса излучения, частоты следования импульсов, мощности дозы в импульсе,

и средней мощности дозы, генерируемой ЛУЭ в точке измерения (далее – СМАЭД) для оценки возможности использования ЛУЭ в качестве источника поля импульсного фотонного излучения при калибровке дозиметрического оборудования. Оценка возможности использования ЛУЭ в качестве источника поля импульсного излучения для калибровки дозиметрического оборудования производилась путем сравнения характеристик поля излучения в точке измерения с техническими характеристиками дозиметра ДКС-АТ1123.

В работе исследовались характеристики поля фотонного излучения ЛУЭ для следующих режимов работы: 6 МВ, 10 МВ, 15 МВ, 18 МВ. Под режимом работы ЛУЭ в настоящей статье понимается номинальное значение ускорительного напряжения первичного электронного пучка, падающего на мишень ЛУЭ. После взаимодействия такого пучка с материалом мишени на выходе ЛУЭ генерируется фотонное излучение с непрерывным спектром и граничной энергией, равной максимальной энергии электронов в первичном пучке.

Прямые измерения длительности импульса и частоты следования импульсов проводились на следующих ЛУЭ: Elekta Infinity (режимы 6 МВ, 10 МВ, 15 МВ), Varian VitalBeam (режимы 6 МВ, 10 МВ, 15 МВ), Varian Clinac iX (режим 18 МВ). Средняя энергия фотонного излучения рассчитывалась при помощи Монте-Карло моделирования в программе FLUKA версии 4.1.3 [6], [7].

Дополнительно была произведена непосредственная оценка работы дозиметра ДКС-АТ1123 (далее – дозиметр) и блока детектирования БДКГ-206 (далее – БД) в полях фотонного излучения, генерируемых ЛУЭ, основные значения характеристик которых не превышают паспортных значений приборов. Оценка работы дозиметра и БД производилась путем прямых измерений СМАЭД, генерируемой ЛУЭ в заданной точке, с последующим сопоставлением полученных результатов измерения с опорными величинами. Под опорной величиной понимается значение СМАЭД в заданной точке, измеренное при помощи высокоточного эталонного дозиметра ДКС-АТ5350 [8] в составе с ионизационной камерой компании PTW-Freiburg (Германия) TM30010 (наперстковая ИК с активным объемом 0,6 $см^3$) и TM32002 (сферическая ИК с активным объемом 1000 $см^3$).

Установлено, что средняя энергия фотонного излучения ЛУЭ в точке измерения зависит как от режима работы ускорителя, так и от толщины свинцового фильтра, который необходим для уменьшения интенсивности излучения. Показано, что с ростом толщины фильтра средняя энергия излучения вначале возрастает, после чего начинает уменьшаться, стремясь к некоторому постоянному значению. При использовании фильтра толщиной 8 см значения средней энергии фотонного излучения ЛУЭ в зависимости от режима работы лежат в интервале 2.7 МэВ – 4.1 МэВ. При использовании фильтра толщиной 15 см, значения средней энергии расположены в интервале 2.4 МэВ – 3.1 МэВ. В данных энергетических диапазонах коэффициент перевода кермы в воздухе в амбиентный эквивалент дозы согласно стандарту ISO 4037-3:2019 изменяется не более, чем на 2% и находится в интервале 1.11 Зв/Гр – 1.13 Зв/Гр.

Анализ длительности единичного импульса показал, что его значение практически не зависит от режима работы ЛУЭ, однако его величина является

различной для ускорителей различных производителей (для ускорителей одного производителя эти значения совпадают). Так, для ЛУЭ Elekta Infinity значение длительности импульса составляет 1.8 мкс, для ЛУЭ Varian VitalBeam и ЛУЭ Varian Clinac iX значение длительности импульса составляет 3.3 мкс.

Определено, что мощность дозы, выдаваемая ЛУЭ в мониторных единицах (далее – МЕ), регулируется частотой следования импульсов при фиксированной длительности импульса. В то же время МАЭД в импульсе не зависит от количества МЕ, отпускаемых ЛУЭ, и определяется исключительно режимом работы ЛУЭ, а именно ускорительным напряжением первичного электронного пучка, а также мишенью и применяемым сглаживающим фильтром излучателя.

Показано, что СМАЭД в точке измерения может регулироваться как режимом работы ЛУЭ, так и толщиной используемого свинцового фильтра, который эффективно ослабляет излучение ЛУЭ по СМАЭД до значений, попадающих в диапазон измерения дозиметра ДКС-АТ1123.

При прямых измерениях было установлено, что для минимизации отклонений показаний дозиметра и БД от опорных величин, необходимо, чтобы значение МАЭД в импульсе, генерируемое ЛУЭ в точке измерения не превышало 0.2 Зв/с. При заданных условиях измерения (установленный режим работы ЛУЭ, точка измерения расположена на расстоянии 2 м от излучателя) значение МАЭД в импульсе <0.2 Зв/с достигается путем использования свинцового фильтра толщиной 100 мм. При этом максимальное отклонение измеренных величин от опорных не превышает 10%.

На основании полученных результатов можно сделать следующий вывод: линейный ускоритель электронов может быть использован в качестве источника поля эталонного импульсного микросекундного фотонного излучения для калибровки и проверки работоспособности дозиметра ДКС-АТ1123 и блока детектирования БД-206. Также следует отметить, что дозиметр ДКС-АТ1123 и блок детектирования БДКГ-206 могут быть использованы для работы в таких полях, однако неопределенность результатов при таких измерениях в значительной степени зависит от МАЭД в импульсе.

Литература

1. Bednarz, B. Monte Carlo modelling of a 6 and 18 MV Varian Clinac medical accelerator for in-field and out-field dose calculations: development and validation / B. Bednarz, X. Xu // Phys. Med. Biol. – 2009. – №. 54. – P. 43–57.
2. IEC TS 62743:2012. Radiation protection instrumentation – Electronic counting dosemeters for pulsed fields of ionizing radiation. – 30 p.
3. U. Ankerhold et.al, Deficiencies of active electronic radiation protection dosemeters in pulsed fields, Rad.Prot.Dosimetry, Vol. 135, no. 3, 2009. – P. 149–153.
4. Мартынюк Ю.Н., Нурлыбаев К., Ревков А.А. Дозиметрия импульсного излучения // АНРИ. 2018. №1 (92) С. 2–11.
5. Дозиметры рентгеновского и гамма-излучения ДКС-АТ1121, ДКС-АТ1123. URL: https://atomtex.com/ru/dozimetry-rentgenovskogo-i-gamma-izlucheniya-dks-at1121-dks-at1123 (accessed August 20, 2023).
6. Fluka-4 Manual. URL: https://flukafiles.web.cern.ch/manual/index.html (accessed December 20, 2022).

7. B. J. Giuseppe et al.: Overview of the FLUKA code / B. J. Giuseppe, B. K. Till, C. A. Francesco, W. C. Pik, E. Q. Salvatore, F. O. Alberto, F. M. Alfredo // Annals of Nuclear Energy. – 2015. - vol. 82 № 1. P. 10–18.

8. Дозиметр ДКС-АТ5350/1. URL: https://atomtex.com/ru/oborudovanie-dlya-kalibrovki-i-poverki-dozimetry-etalonnye/dozimetr-dks-at53501 (accessed August 20, 2023).

УДК 004.4; 004.6; 004.9

А. Н. Коваленко, А. Р. Барткевич, А. П. Дунец, Е. И. Коваленко,
С. Н. Сытова, З. И. Трафимчик, А. Л. Холмецкий, С. В. Черепица
г. Минск, Республика Беларусь, Институт ядерных проблем Белгосуниверситета

СПЕЦИФИКА ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ НАЦИОНАЛЬНОГО ПОРТАЛА ЯДЕРНЫХ ЗНАНИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В конце 2025 г. завершаются работы по созданию Национального портала ядерных знаний Республики Беларусь (далее – портал или система) под эгидой Департамента по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (Госатомнадзор), который является белорусским национальным регулирующим органом в области ядерной и радиационной безопасности.

В настоящее время портал (https://belatombiblio.inpnet.net) размещен (см. рис.1) на защищенном облачном сервере Hoster.by с повышенными стандартами безопасности, владелец которого содержится в реестре уполномоченных поставщиков интернет-услуг Оперативно-аналитического центра при Президенте Республики Беларусь – поставщика интернет-услуг для государственных органов и организаций. Схема комплекса технических средств портала изображена на рис. 2.

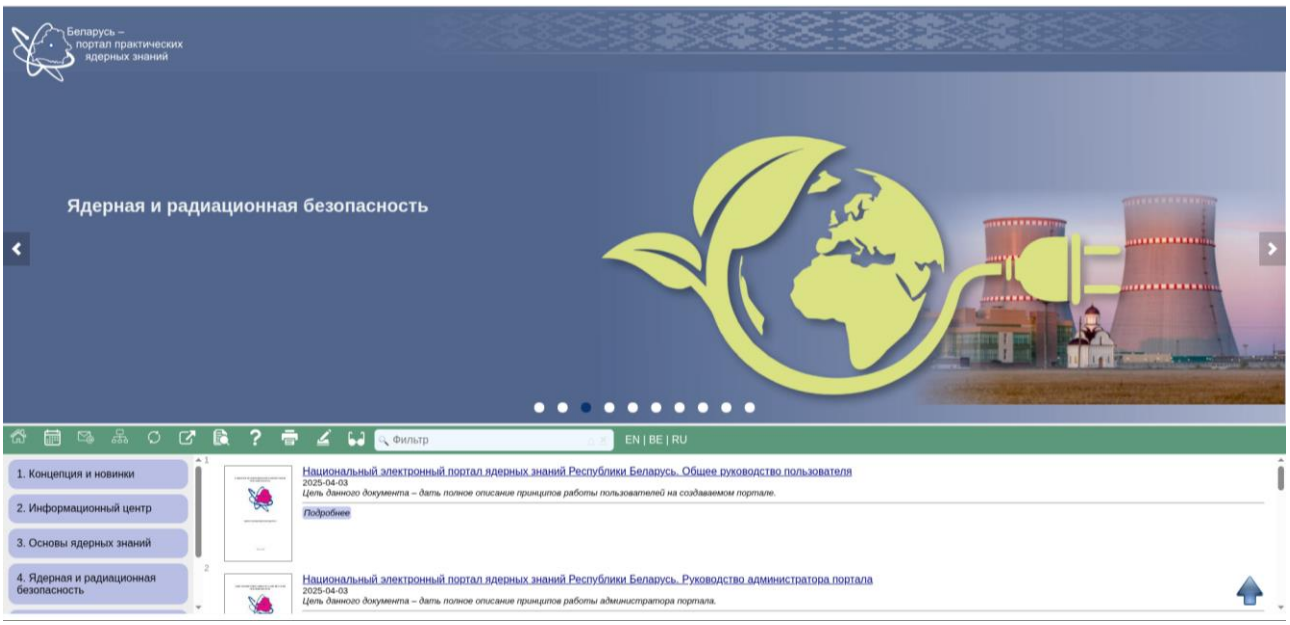


Рисунок 1. Главная страница Национального портала ядерных знаний

Очевидно, что для реализации любого научного, научно-образовательного и другого интернет-портала необходимо использовать систему управления контентом (CMS – content management system). Это «сердце» или «движок» порта-

ла – информационная система или программное приложение для создания и управления цифровым контентом портала. Для нее разработано оригинальное программное обеспечение (ПО), основанное на свободном ПО для такого «движка» в рамках фреймворка eLab.

Система (фреймворк) eLab – это система клиент-серверной архитектуры, работающая под управлением операционных систем Windows и Linux, класса ЛИС с элементами электронного документооборота на основе свободного ПО: Debian GNU/Linux, Web-server Apache, сервер баз данных (БД) Firebird, сервер приложений PHP. Работа осуществляется через веб-интерфейс в многопользовательском режиме с разделением прав доступа посредством любых браузеров: Mozilla Firefox, Google Chrome, Opera и др. Работа возможна как во внутрикорпоративной сети, так и через Интернет. В последнем случае в системе eLab реализован доступ по протоколу HTTPS (Hypertext Transfer Protocol Secure – безопасный протокол передачи гипертекста – расширение протокола HTTP, поддерживающее шифрование). Также организован удаленный доступ сотрудников к рабочему месту через VPN (Virtual Private Network – виртуальная частная сеть) по технологии, позволяющей обеспечить безопасные (с использованием средств криптографии) сетевые соединения поверх другой сети (Интернета). Система eLab размещается на виртуальной машине сервера VMWare ESX. Она может быть размещена как на физическом сервере, так и на отдельно выделенном компьютере.

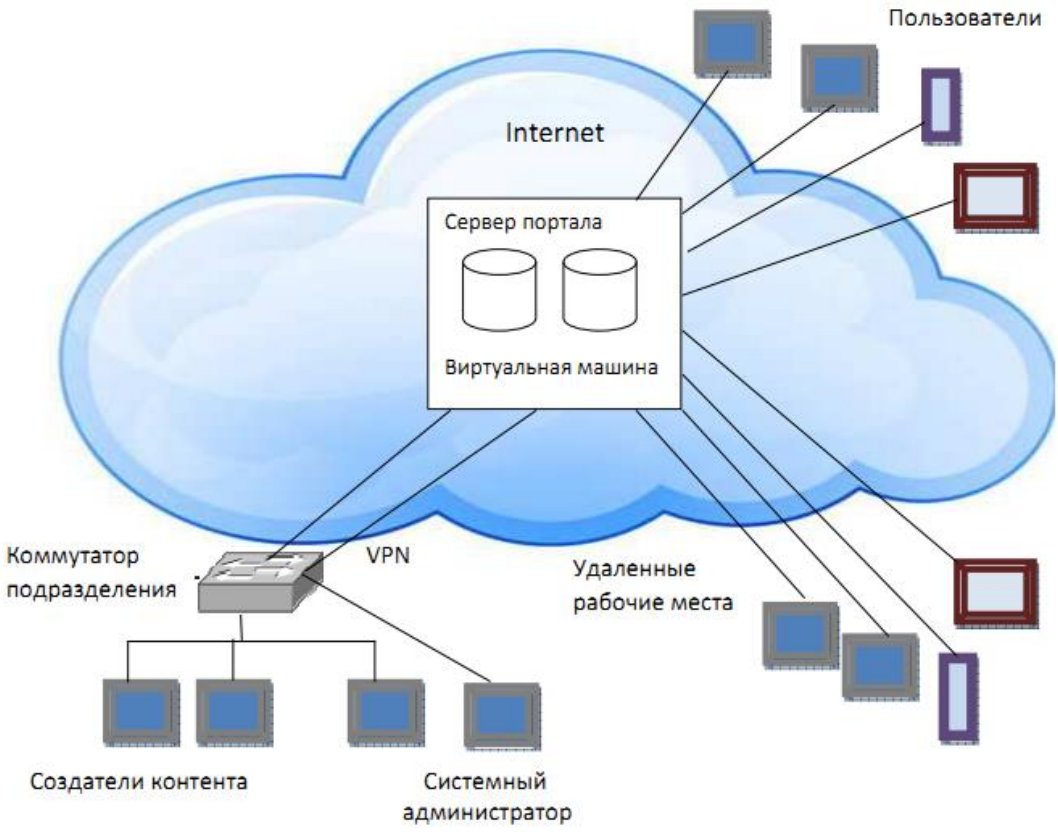


Рисунок 2. Схема комплекса технических средств национального портала ядерных знаний

В 2010 г. первая версия системы eLab была внедрена в учебный процесс ведущих вузов страны (БГУ, БГТУ, БНТУ), химико-токсикологической лаборатории Минского городского наркологического диспансера. В 2012 г. система контроля качества и управления запасами горючих и смазочных материалов eLab-ГСМ поставлена на боевое дежурство в 202 Химмотологическом центре горючего Вооруженных Сил Республики Беларусь для контроля качества ГСМ. В 2016–2020 гг. на основе фреймворка eLab создана и внедрена в Госатомнадзоре интеллектуальная информационная система для обеспечения контроля (надзора) в области ядерной и радиационной безопасности (ИИСН ГАН – система eLab-Control).

Внедрение и успешная эксплуатация вышеперечисленных программных продуктов eLab явились хорошей базой для создания в 2014–2018 гг. и дальнейшего развития на основе фреймворка eLab электронного портала ядерных знаний учреждений образования Республики Беларусь BelNET (***Bel***arusian ***N***uclear ***E***ducation and ***T***raining), доступный по адресам https://belnet.by и https://belnet.bsu.by. В рамках CMS eLab-Science, специально разработанной для портала BelNET, реализованы все необходимые функции такого портала, включая возможность удаленной правки его структуры и занесения документов, разнообразной сортировки и фильтрации, несколько уровней доступа к документам в зависимости от прав пользователей.

В настоящий момент контент портала BelNET содержит свыше 6800 оригинальных документов по таким разделам как законодательство, менеджмент ядерных знаний, фундаментальная и прикладная наука, практика, глоссарий и аналитический обзор терминов, учебные курсы, биографии ученых Беларуси, новости, объявления, полезные ссылки, форумы, ресурсы и др.

Портал ядерных знаний BelNET стал основой создаваемого Национального портала, который вводится в строй в конце 2025 г. на облачной платформе. Национальный портал ориентирован на «практические» знания, в то время как портал BelNET содержит различные научно-образовательные материалы из области «высокой» ядерной науки.

Назначение создаваемой системы управления контентом Национального портала eLab-BelNPP – обеспечить автоматизацию хранения ядерных знаний и информации с обеспечением к ней онлайн-доступа со строгим разделением прав доступа и обеспечением удобного размещения контента портала в базе данных, обеспечение преемственности в работе с ИИСН ГАН. Эта преемственность означает, что принципы и стиль работы (создание записей, поиск, сортировка и т. д.), выработанные в рамках ИИСН ГАН, к которым сотрудники Госатомнадзора привыкли, сохраняется при работе в рамках системы управления контентом портала. Это должно существенно облегчить процесс внедрения создаваемой информационной системы и ускорит процесс создания контента портала. Также это потребует уменьшения времени обучения сотрудников для работы в системе управления контентом eLab-BelNPP. Однако при сохранении внешнего вида интерфейса ИИСН ГАН в eLab-BelNPP изменению подверглись 90 % файлов его ядра по сравнению с ИИСН ГАН.

В результате проведенных работ выполнена значительная алгоритмическая оптимизация работы системы, повышена производительность, реализованы новые важные инструменты. Приведем некоторые ***численные параметры***, характеризующие ПО портала – eLab-BelNPP:

- Число строк кода ПО: 827716
- Число папок (каталогов): 912
- Число файлов ПО: 6669
- Число таблиц БД: 20
- Число предствлений (view) в БД: 20
- Число процедур БД: 32
- Число функций в БД: 4.

Список реализованных инструментов в системе:

- Полноценный текстовый редактор для редактирования материалов
- Удобное разбиение длинного журнала на насколько частей
- Создание и редактирование справочников
- Редактирование разделов и подразделов (дерево каталогов)
- Закрытые области в модуле редактирования
- Журнал событий
- Диспетчер пользователей
- Глоссарии терминов для семантических технологий
- Инструмент работы с присоединенными файлами
- Трехфакторная аутентификация
- Хранилище изображений для общего использования
- Удобная система ссылок на страницы, разделы,
- изображения и документы
- Хранение метаинформации документа (хранение ссылки на родительскую запись, тип источника данных, ссылку на запись с файлом)
- Оптимизация выборки релевантных документов
- Глоссарии и поиск по ним ключевых слов в документах
- Рекомендация в раздел по отдельному справочнику-тезаурусу
- Поддержка технологии событий (events) (документ начинает обрабатываться сразу при загрузке на сервер).

Предложенный и реализованный в eLab-BelNPP семантический алгоритм (рис. 3 и 4) позволяет автоматически определять один или несколько разделов для размещения на портале создаваемого информационного ресурса (записи), а также автоматически формировать группу дескрипторов – ключевых слов данного ресурса. Тщательное автоматическое определение ключевых слов необходимо для повышения видимости и позиций показа материалов портала в поисковой выдаче поисковых интернет-систем. Здесь создатель новой записи (нового материала для контента портала) начинает ее размещение в своем кабинете в рамках системы управления контентом портала, далее производится автоматический анализ текста и пользователю предлагается утвердить набор ключевых

слов и положение создаваемой записи в таксономии портала (один или несколько разделов и подразделов). Автор утверждает эти данные либо дополнительно предлагает свои варианты, после чего происходит окончательная систематизация ресурса на портале.

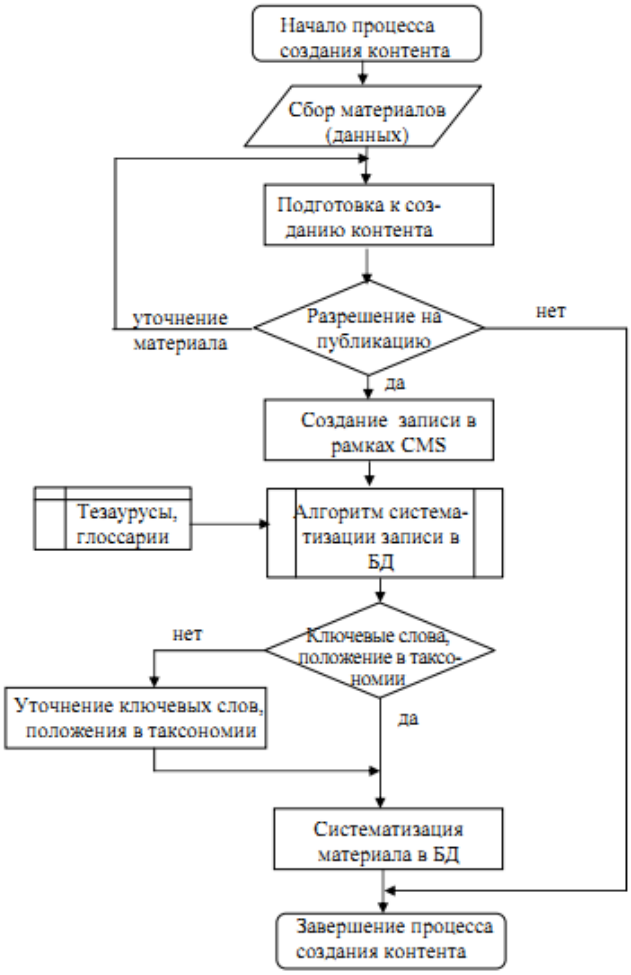


Рисунок 3. Алгоритм размещения информационного ресурса на Национальном портале ядерных знаний

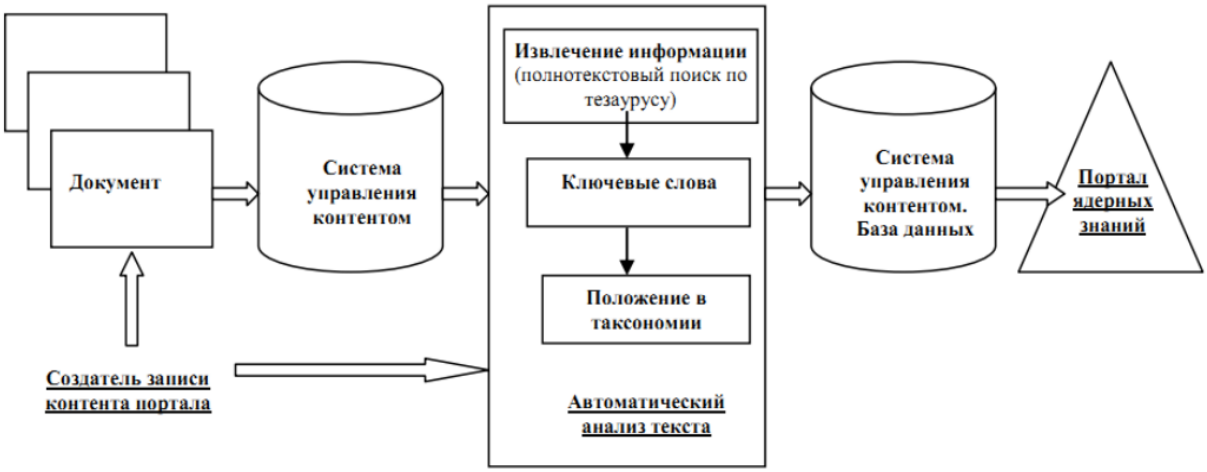


Рисунок 4. Семантический алгоритм размещения информационного ресурса на Национальном портале для автоматического формирования ключевых слов и предложения разделов портала для опубликования материала

Важным элементом внедрения портала явились проведенные испытания его производительности с использованием ПО Apache JMeter версии 5.6.3 (https://jmeter.apache.org/download_jmeter.cgi). Для этого был проведен тест имитации одновременной работы 50 пользователей на портале по адресу https://belatombiblio.inpnet.net/. Тест запускался на компьютерном оборудовании лаборатории аналитических исследований НИИ ЯП БГУ, которое, как было определено в ранее в проводимых тестах, имеет серьезные ограничения в части сетевого оборудования и некоммерческого канала связи. Результаты тестов приведены на рис. 5. Кривые на рис. 5 соответствуют разным тестам со случайной выборкой посещаемых страниц портала.

На основании этих данных можно сделать выводы:

1. Сервер в облаке справляется с нагрузкой из 50 пользователей. При этом наблюдается некоторый вполне допустимый рост задержек в обработке данных.
2. Можно обоснованно предположить, что задержки связаны с ограниченными возможностями сетевого оборудования, к которому подключен компьютер лаборатории аналитических исследований. Это было выявлено в предыдущих тестах и повторилось сейчас.
3. Ранее без учета влияния сетевого оборудования лаборатории аналитических исследований было получено комфортное среднее время ответа системы – 484 миллисекунды.
4. У системы есть значительный запас по производительности при условии использования сервера с соответствующими характеристиками.

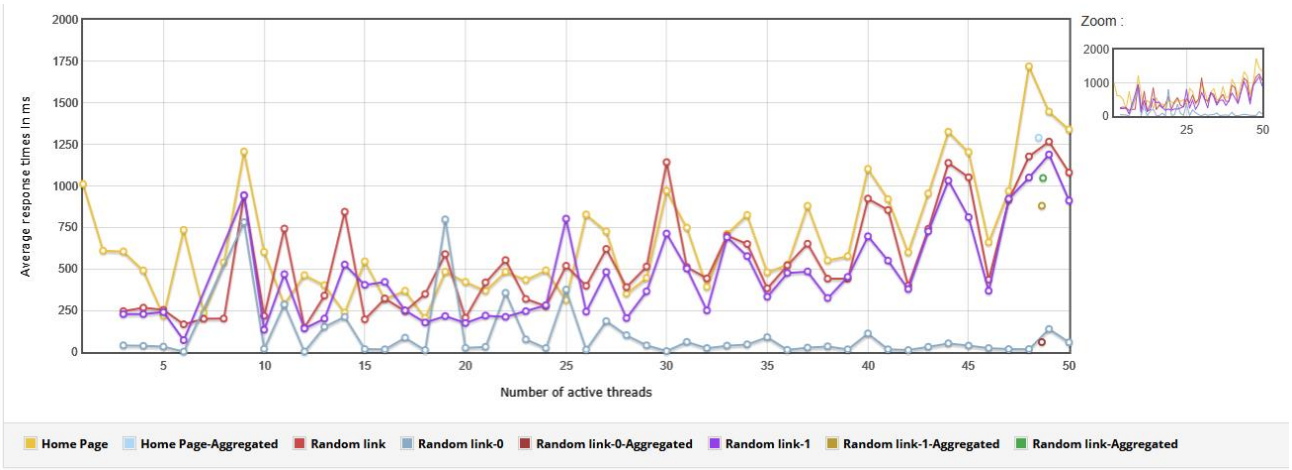


Рисунок 5. Зависимость времени ответа сервера и сети от числа пользователей для 50 виртуальных пользователей

Работы выполняются в рамках мероприятия 13 «Выполнение работ по оказанию научно-технической поддержки Министерству по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности» подпрограммы 3 «Научное обеспечение эффективной и безопасной работы Белорусской атомной электростанции и перспективных направлений развития атомной энергетики» Государственной программы «Наукоемкие технологии и техника» на 2021–2025 годы.

УДК 621.039; 53.089.62

В. А. Кожемякин

г. Минск, Республика Беларусь, Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ И ПРОИЗВОДСТВА ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

Профиль деятельности предприятия «АТОМТЕХ» – ядерное приборостроение (разработка и производство приборов и аппаратуры для ядерных измерений и радиационного контроля).

Образовано в 1995 году, 215 сотрудников, включая научно-инженерный комплекс, производственные подразделения и содействующие службы, средний возраст сотрудников – 46 лет.

Научно-техническая продукция предприятия (**190** наименований) конкурентоспособна, используется в **127** странах мира, доля экспорта в объёме поставок составляет на протяжении ряда лет 90%, доля поставок в страны СНГ – порядка 60%, дальнее зарубежье – порядка 40%. Дилерская сеть предприятия (72 партнера) охватывает 45 стран мира.

Товарный знак предприятия зарегистрирован в Республике Беларусь, Российской Федерации, США, Китае, Франции, Италии, Казахстане, Украине, Гонконге, Японии.

Разрабатываемая и выпускаемая научно-техническая продукция: дозиметры индивидуальные электронные, дозиметры портативные и переносные, дозиметры эталонные, дозиметры-радиометры, радиометры стационарные, спектрометры стационарные, спектрометры портативные (идентификаторы радионуклидов), спектральные радиационные сканеры, спектрометры излучения человека, портальные радиационные мониторы и мониторы радиационных отходов, системы радиационного контроля, автоматизированные посты радиационного контроля, аппаратура мобильной радиационной съёмки для наземных, морских и авиационных средств, эталонные автоматизированные дозиметрические поверочные установки бета-, рентгеновского, гамма- и нейтронного излучения, стенды калибровочные дозиметрические, передвижные лаборатории радиационного контроля, интеллектуальные блоки детектирования (более 50 типов) всех видов ядерного излучения, в том числе для роботизированных систем, и др.

Области применения: атомная энергетика и ядерная техника, промышленность, мониторинг окружающей среды, национальная безопасность, роботизированные системы, наука и образование, медицина, радиационная метрология, геофизика.

Предприятие признано одним из лучших в области ядерного приборостроения по странам ближнего зарубежья, высоко котируется на мировом уровне, входит в круг стабильных поставщиков ядерно-измерительной техники для нужд МАГАТЭ, СТВТО и других международных организаций, а также организаций Госкорпорации «Росатом» и «Росстандарта».

В своей научно-производственной деятельности предприятие руководствуется стандартами СТБ, ГОСТ Р, ISO, IEC, ANSI, а также техническими документами МАГАТЭ.

Предприятие располагает современным высокоточным метрологическим оборудованием, соответствующим стандартам МЭК (IEC), ИСО (ISO), основу которого составляют автоматизированные поверочные установки гамма-, рентгеновского, нейтронного излучения и бета-поглощённой дозы, а также эталонными радиоактивными мерами поверхностной и удельной активности. В составе предприятия в соответствии с ISO/IEC 17025:2017 аккредитована калибровочная лаборатория. Предприятие сертифицировано в системе менеджмента качества ИСО (ISO) 9001-2015, является членом ТК 45В МЭК «Ядерное приборостроение» от Республики Беларусь.

В течение 30 лет предприятие обеспечивает эффективное функционирование Государственной сети радиационного мониторинга Республики Беларусь, поставляя широкий спектр приборов, аппаратуры и систем радиационного контроля в различные сферы народного хозяйства (вклад предприятия в оснащение – 90 % от всего используемого парка оборудования).

В 2011 – 2014 гг. после аварии на АЭС «Фукусима–1» объем поставок оборудования радиационного контроля в Японию составил 25 % наряду с поставками из США, Германии и Франции.

Предприятие активно участвовало и продолжает участвовать в оснащении оборудованием радиационного контроля Белорусской АЭС, регулярно оказывает запрашиваемую техническую помощь, готово быть надежной и постоянной опорой в сфере приборного обеспечения и технологий радиационных измерений для нужд Белорусской АЭС.

В период с 2023 по 2025 гг. в соответствии с планом НИОКР и отдельных научно-технических проектов выполнен ряд разработок, а также освоены в производстве изделия по многим направлениям в области ядерного приборостроения. Сфера разработок и проектов охватывала следующие направления:

1. <u>В области спектрометрической и радиометрической аппаратуры</u> разработаны и освоены в производстве:

- модернизированный вариант аппаратуры радиационного сканирования – спектрометр МКС-АТ6101СЕ на основе сцинтиллятора $SrI_2(Eu)$. Используется главным образом в антитеррористических целях;

- спектрометрический комплекс радиационного сканирования высокой чувствительности МКГ-АТ6111 на основе NaI(Tl) – сцинтиллятора объёмом 2 л, предназначенного для использования в пешеходной геофизической гамма-съемке и определения концентрации радионуклидов K-40, Th-232, U-238, Cs-137;

- погружной роботизированный гамма-спектрометр МКС-АТ6104ДМ с использованием сцинтилляционного детектора NaI(Tl) размером Ø63×63 мм, предназначенного для радиационного мониторинга водных сред и донных отложений и определения их удельной и объемной активности по радионуклидам K-40, Ra-226, Th-232, I-131, Cs-137, Cs-134;

- стационарный гамма-радиометр-спектрометр РКГ-АТ1145 с модификациями блоков детектирования на основе NaI(Tl) и $SrI_2(Eu)$, предназначенный

для измерения удельной (объёмной) активности радионуклидов I-131, Cs-134, Cs-137, Co-60 и K-40 в пробах окружающей среды, пищевой и сельскохозяйственной продукции, материалах и веществах;

- радиометр РКС-АТ1329 для одновременного и раздельного измерения альфа- и бета активности проб и счетных образцов;

- радиометр РКС-АТ100 для измерения активностей эталонных альфа- и бета-источников при проведении аттестации и поверки.

2. В области дозиметрической аппаратуры выполнены:

- модернизация и внедрение в производство широкодиапазонных дозиметров ДКГ-АТ2533 и устройства детектирования гамма-излучения УДКГ-37 с верхней границей диапазона измерений непрерывного излучения 5000 Зв/ч, импульсного излучения – 1000 Зв/с в диапазонах энергий 10 кэВ – 10 МэВ;

- разработка дозиметра-радиометра МКС-АТ1117М в варианте использования с широким набором сфер Боннера и методическим обеспечением измерений мощности дозы и плотности потока нейтронов, внедрение в производство;

- разработка новой модификации эталонного дозиметра фотонного излучения ДКС-АТ5351 в части электрометра с улучшенными параметрами, с возможностью использования в составе дозиметра ионизационных камер с различной системой соединений;

- разработка портативного дозиметра-радиометра МКС-АТ6131 с функциями измерения мощности дозы гамма-излучения, плотности потока бета-частиц и обнаружения альфа-излучения;

- разработка блока детектирования БДКГ-206 для измерения дозы и мощности дозы гамма-излучения как в непрерывных, так и в импульсных полях;

- разработка индикатора альфа излучения ИР-АТ2522 (альфа-сенсор) и бета-гамма излучения (бета-гамма-сенсор) ИР-АТ2523.

3. В области портальных радиационных мониторов выполнены:

- модернизация и внедрение в производство портального быстроразвертываемого гамма-нейтронного радиационного монитора РПМ-АТ6110;

- разработка многопрофильной установки радиационного контроля гамма-нейтронного излучения УРК-АТ2329 в 6-ти вариантах исполнения (радиационные мониторы) и внедрение в производство.

4. В области автоматизированных постов радиационного мониторинга территорий выполнена:

разработка и внедрение в производство стационарных постов ПРК-АТ2341, функционально обеспечивающих дозиметрические измерения, спектрометрию и идентификацию радионуклидов (варианты с NaI(Tl) и $LaBr_3$), контроль метеопараметров и передачу данных мониторинга по беспроводной связи на верхний уровень.

5. В области оснащения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) устройствами и аппаратурой аэрогамма-съемки:

- в состав БПЛА разных видов внедрена линейка интеллектуальных блоков детектирования дозиметрического и спектрометрического назначения.

6. В области метрологического обеспечения калибровочных, градуировочных процедур и поверки дозиметрической аппаратуры выполнены:

- разработка и изготовление установки дозиметрической бета-излучения УДБ-АТ200, постановка на производство;

- разработка и изготовление автоматизированного калибровочного стенда, входящего в состав российского эталона импульсного рентгеновского излучения для ВНИИМ им. Д. И. Менделеева;

- разработка и изготовление по отдельным проектам установок УДГ-АТ130 и УДГ-АТ130К для предприятий Госкорпорации «Росатом», Белорусского государственного института метрологии;

- разработка и изготовление установок УДГ-АТ130 и УПН-АТ140 для АЭС «Аккую» (Турция);

- разработка и изготовление по отдельному проекту установки УДГ-АТ110 для оснащения предприятия в Турции.

7. НИОКР и проекты, планируемые к завершению в 2026-2028 гг.:

- снижение нижней границы диапазона измерений бета-активности альфа-бета-радиометра РКС-АТ1329 (модификация АТ1329М);

- разработка новой модели портативного гамма-спектрометра МКС-АТ6106 в вариантах с NaI (Tl) и $LaBr_3$ сцинтилляционными кристаллами;

- разработка портативного дозиметра-радиометра альфа-, бета- и гамма-излучения МКС-АТ1118 (три вида излучения в одном блоке детектирования);

- разработка индивидуального цифрового дозиметра непрерывного и импульсного рентгеновского и гамма-излучения;

- модернизация дозиметра-радиометра МКС-АТ1117М в части замены основной элементной базы;

- разработка системы радиационного контроля СРК-АТ2330 взамен СРК-АТ2327 с расширенным функционалом и вариантами исполнения;

- разработка низкофоновой установки для калибровки дозиметрической аппаратуры от 0,03 мкЗв/ч;

- изготовление и поставка градуировочных установок УДГ-АТ130, УПН-АТ140 и УДБ-АТ200 для АЭС «Руппур» (Бангладеш);

- изготовление и поставка градуировочных установок УДГ-АТ130 и УПН-АТ140 для ПО «МАЯК» (г. Озерск);

- изготовление и поставка градуировочных установок УДГ-АТ130 и УПН-АТ140 для ВНИИТФ (г. Снежинск);

- изготовление и поставка градуировочной установки УПН-АТ140 для ОИЯИ (г. Дубна);

- изготовление и поставка эталонного оборудования для воспроизведения и передачи единиц поглощенной дозы бета-излучения для нужд специальной метрологии (г. Москва).

8. Активно участвует в формировании Программы союзного государства «Кристаллы и детекторы», а также Госпрограммы Республики Беларусь «Ядерная и радиационная безопасность» (2026 – 2030 гг.).

За период с 2017 по 2025 год:

- принято участие в 63-х Международных выставках, 50-ти Международных конференциях и симпозиумах, сделано 165 докладов;

- опубликовано 55 научных статей в специализированных научных журналах;
- получено и продлено действие 20 патентов на интеллектуальную собственность.

В период с 2015 по 2025 год предприятие провело масштабную модернизацию, значительно увеличило номенклатуру высокотехнологичной инновационной конкурентоспособной научно-технической продукции и продолжает совершенствоваться. Финансово-экономическое состояние устойчивое.

УДК 53.089.62; 519.245; 539.125.52

Д. И. Комар, В. Д. Гузов, С. В. Лазаренко

г. Минск, Республика Беларусь, Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЗАХВАТНОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ, СФОРМИРОВАННОГО НА УСТАНОВКЕ ПОВЕРОЧНОЙ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ УПН-АТ140

Развитие и распространение техногенных источников высокоэнергетического гамма-излучения, таких как ускорители электронов и ядерные реакторы, приводит к появлению ряда прикладных задач радиационной защиты, в которых спектрометрические и дозиметрические измерительные приборы должны использоваться в полях фотонного излучения в диапазоне энергий от 4 до 10 МэВ.

Для метрологического обеспечения измерений необходимо знание отклика средств измерений в пределах измеряемого энергетического диапазона. Согласно рекомендациям международных стандартов IEC, энергетический диапазон приборов радиационного мониторинга окружающей среды вокруг АЭС должен быть расширен до 7 МэВ, а дозиметров и мониторов, используемых на рабочих местах и во время аварийных ситуаций - до 10 МэВ.

Получение опорных полей фотонного излучения на ускорительной технике сопряжено со многими трудностями, связанными с эксплуатацией оборудования. На ускорителях частиц сложно получить низкие загрузки по мощности дозы в воздухе для высокочувствительных дозиметров, например, на основе пластмассовых или неорганических сцинтилляторов. Для калибровки или исследования энергетической зависимости разрабатываемых и выпускаемых средств измерений необходимо обеспечить повторяемость и прослеживаемость измерений.

Существует возможность использовать гамма-излучение от захвата тепловых нейтронов на мишени из подходящего материала. В международном стандарте ISO 4037-1:2019 рекомендуется использовать мишени из титана и никеля для формирования полей с энергией до 7 МэВ и до 10 МэВ. Поток тепловых нейтронов может быть получен от радионуклидного источника быстрых нейтронов, помещенного в замедлитель. Проблема заключается в получении подобных полей излучения в стандартизованных условиях, обеспечивающих проведение измерений и калибровки.

В настоящее время в метрологическом обеспечении средств измерений нейтронного излучения в качестве эталонов применяются установки, формирующие коллимированное поле излучения от радионуклидных источников быстрых нейтронов. При экспозиции источника нейтронов формируется стационарное во времени поле высокоэнергетического гамма-излучения, которое вы-

звано ядерными реакциями взаимодействия нейтронов с материалами облучателя установки. Захватное гамма-излучение от мишени, размещенной в потоке тепловых нейтронов в облучателе, увеличивает интенсивность гамма-излучения в определенном энергетическом интервале. Установка должна иметь все необходимые для работы прикладные средства. Таким образом, тепловая геометрия поверочной нейтронной установки может быть использована для целей калибровки спектрометрических и дозиметрических средств измерений гамма-излучения, в том числе и высокочувствительных.

На предприятии «АТОМТЕХ» проводятся исследования таких полей на установке поверочной нейтронного излучения УПН-АТ140 с 238PuBe источником нейтронов ИБН-8-6 (1,91·107 нейтр./с). Контейнер-коллиматор с тепловой вставкой формирует коллимированный пучок нейтронов со значительной составляющей (более 25%) нейтронов тепловых энергий от источника 238PuBe [1]. Экспериментальные спектры были измерены спектрометрическим блоком детектирования на основе кристалла LaBr3(Ce) с нелинейной характеристикой преобразования «канал–энергия» в диапазоне до 10 МэВ [2].

Для определения дозиметрических характеристик полученных полей использовался эталонный дозиметр ДКС-АТ5350/1 с ионизационной сферической камерой ТМ32002 объемом 1 литр. Для корректных измерений в полях высокоэнергетического гамма-излучения с камерой ТМ32002 для нее была изготовлена специальная оболочка из тканеэквивалентного материала (PMMA), обеспечивающая условия электронного равновесия в рабочем объеме камеры. Размеры оболочки были определены исходя из результатов Монте-Карло моделирования.

Были проведены эксперименты на медицинских ускорителях электронов, расположенных на территории Беларуси, для различных энергетических режимов вплоть до энергии 18 МэВ, результаты которых подтвердили значительное увеличение чувствительности ионизационной камеры со специальной оболочкой в высокоэнергетических полях.

В июне 2024 года на территории лаборатории физико-технического федерального института PTB в городе Брауншвейг в Германии была проведена калибровка эталонного дозиметра ДКГ-АТ5350/1 с камерой ТМ32002 со специальной оболочкой в полях гамма-излучения с энергиями 4,4 МэВ и 6,7 МэВ. По результатам был оформлен сертификат калибровки.

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» располагает Государственным первичным эталоном ГЭТ 10-2023 ГПЭ единиц потока и плотности потока нейтронов. В составе эталона присутствует установка УЭППН для воспроизведения и передачи размера единицы плотности потока нейтронов с формирователем поля быстрых и тепловых нейтронов типа УКПН и набором радионуклидных источников нейтронов различного спектрального состава. В сентябре 2025 года были проведены межлабораторные сличительные испытания между УП «АТОМТЕХ» и ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» по методике калибровки «Стенд высокоэнергетического гамма-излучения», в ходе которых поводились измерения мощности дозы в полях гамма-излучения с энергиями 7 МэВ и 9 МэВ, оценка сличений показала удовлетворительные результаты.

Литература

1. Комар, Д. И. Исследование опорных нейтронных полей установки поверочной нейтронного излучения УПН-АТ140 / Д. И. Комар, В. Д. Гузов, С. А. Кутень // АНРИ. – 2018. – №2 (93). – С. 29–39.

2. Комар, Д. И. Источник захватного гамма-излучения с энергиями до 7 и до 10 МэВ на основе поверочной установки нейтронного излучения / Д. И. Комар, Р. В. Лукашевич, С. А. Кутень, В. Д. Гузов // Известия национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. – 2017. – №2. – С. 96-107.

УДК 551.521.2

С. Г. Котов, Г. А. Аронов

г. Минск, Республика Беларусь, государственное учреждение «Центр геофизического мониторинга Национальной академии наук Беларуси»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РАБОТЫ ПО УЧЕТУ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ РАДОНА ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЯХ НА СТАРОБИНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

Международные независимые исследования разных стран показывают на наличие связи между радоном в воздухе жилых помещений и раком легкого. Исследования радона в воздухе жилых помещений и рака легких в Европе, Северной Америке и Азии дают убедительные доказательства того, что радон вызывает значительное число случаев рака легких у населения в целом. Для оценки дозовых нагрузок влияния эмиссии радона на население проводятся измерения концентрации радона в воздухе подвальных этажей в жилых помещениях.

Выделения потока радона из горных пород и минералов происходит в зонах тектонических разломов и обеспечивают основные пути выхода радона и других газов [5].

Изменения геохимических (химический состав, содержание радона, трития и ^{14}C в подземных водах, температура воды), геофизических (напряженно-деформированное состояние среды) и гидрологических параметров (уровень воды в скважинах), предшествующие значительным землетрясениям, регистрируются с 1960-х годов. Первое доказательство корреляции между эмиссией ^{222}Rn и землетрясением получено перед Ташкентским землетрясением 26 апреля 1966 г.. Повышенная активность радона в нескольких глубоких скважинах глубиной 1200-2400 м в г. Ташкенте и его окрестностях постепенно росла, а затем упала во время сильного землетрясения до нормального уровня примерно 19 Бк/л. Возможность использования эмиссия радона как предвестника землетрясений стимулировала ученых на множество дополнительных исследований и впоследствии сыграла важную роль в успешном прогнозировании землетрясения в Хайчэне (Китай), и эвакуации населения перед одним из разрушительных землетрясений в истории. После этого большое количество исследований в этой области, в которых утверждалось о корреляции между почвенным газом, концентрацией радона в грунтовых водах и землетрясениями, привело к появлению большого количества публикаций [5].

Изучение динамики флюидопереноса в тектонических нарушениях с использованием эмационного метода, позволило выявить некоторые закономерности изменения геодеформационных полей под влиянием глобальных процессов, которые создают основу для детерменированного подхода при прогнозировании развития геодинамической обстановки практически в любом из регионов планеты [4].

На территории Беларуси распределение объемной активности радона в наиболее распространённых геологических структурах - типах четвертичных отложений, коренных пород платформенного чехла и фундамента, обобщено в работе [3]. Определение объемной активности радона проводили в процессе полевых исследований по профилям. На основе обобщенных данных, показано следующее, аномалии объемной активности радона ОАР в зонах разрывных нарушений различаются по интенсивности и линейным параметрам, что определяется особенностями геодинамических процессов и рангом разломов. Выявлена сложная структура линейных аномалий ОАР в зонах разрывных нарушений (чередование на небольшом расстоянии максимальных и близких к фоновым значениям), что соответствует строению этих зон, по плоскостям раздела которых происходит смещение горных пород [3].

При измерениях эквивалентной равновесной объемной активности радона в подвальных помещениях зданий, необходимо учитывать факт наличия или отсутствия поблизости тектонических разломов и их параметров.

В настоящей работе впервые выполнена оценка влияния объемной активности радона, зафиксированного перед сейсмическими событиями, на формирование дозы на население. Данная оценка появилась как побочный результат экспериментальных работ по непрерывным измерениям эмиссия радона, как возможного предвестника сейсмических событий на Старобинском месторождении калийных солей.

Длительная разработка Старобинского месторождения калийных солей обусловила нарушения равновесных условий, что вызвало критическое перераспределение напряжений в разрабатываемых пластах и вмещающих породах. Происходящие слабые сейсмические события являются следствием естественных деформационных процессов, несут важную информацию о пространственном расположении активно деформирующихся областей горного массива.

С 1983 г. (начало непрерывных наблюдений) по 2025 г. зарегистрировано и обработано порядка 2000 сейсмических событий (определены кинематические и динамические параметры) в районе Старобинского месторождения калийных солей и на окружающей его территории с энергетическим классом K=4,1–9,5 или в единицах локальной магнитуды M=0,1–3,1.

Современные сейсмологические наблюдения в районе Старобинского месторождения калийных солей представляют собой локальную сеть в составе 8 пунктов наблюдений. С целью проведения экспериментальных циклических работ за объемной активностью радона в осенне-летний период 2025 года пункт наблюдений локальной сети «Махновичи» дополнен прибором непрерывного измерения объемной активности радона. Пункт наблюдений «Махновичи» расположен в южной части Старобинского месторождения калийных солей в зоне Червнослободско-Малодушинском разлома, который имеет простирание с юго-востока на северо-запад и относится к региональным разломам, проникающим в чехол.

Циклические исследования объемной активности радона проводились по методике, приведенной в [2]. Определение объемной активности проводилось ежечасно с 30 июня 2025 г. до 30 июля 2025 г. и с 2 сентября 2025 г. по

25 сентября 2025 г. В объеме полученных данных отсутствуют данные с 2 июля 2025 г. до 7 июля 2025 г. по технической причине.

Для данной работы интересны результаты исследований с 7 июня до 30 июля 2025 г. когда перед сейсмическими событиями в районе Старобинского месторождения калийных солей фиксировались повышенные значения ОАР.

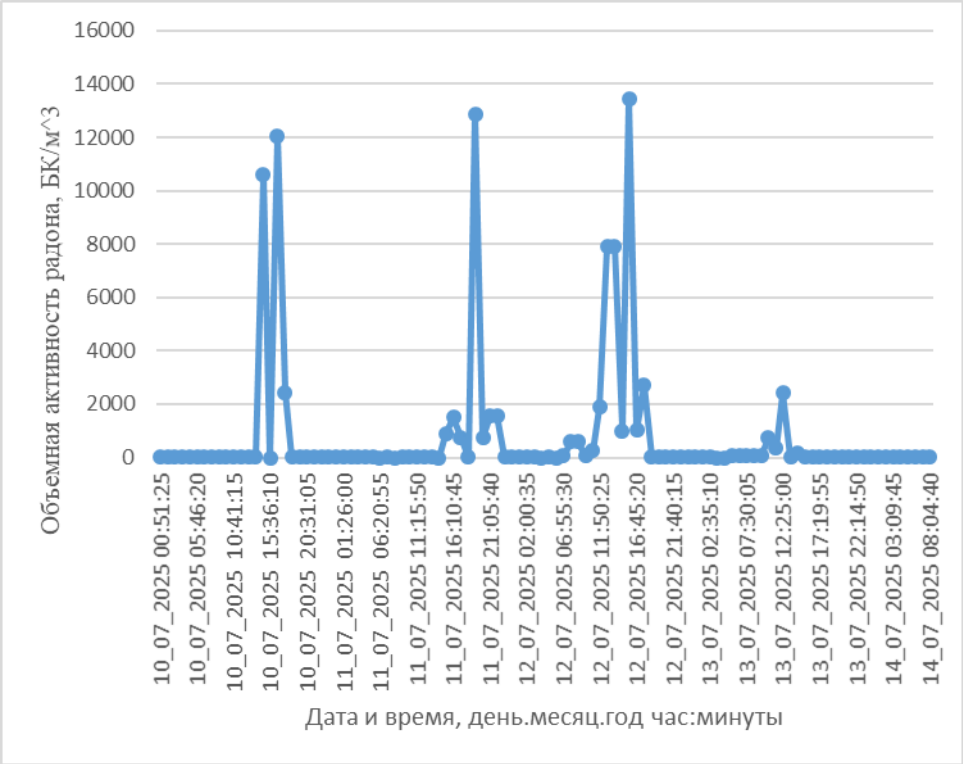


Рисунок 1. Сглаженная объемная активность радона на обсерватории «Махновичи» 7−10 июля 2025 г.

ОАР в период 7-30 июля 2025 г. не стабильна. В подавляющем большинстве случаев она не превышает 84 Бк/м^3. В ряде случаев перед сейсмическими событиями значения ОАР возрастают и достигают в максимуме 13 427 Бк/м^3 (рис. 1). В связи с этим представляло целесообразным оценить среднюю ОАР в период 7−30 июля 2025 г.

Оценку проводили двумя способами. В обоих случаях ОАР измерялась с периодичностью 1ч.0мин.59сек., что эквивалентно 3 569 сек.

При первом способе использовалась фактическая ОАР, которая считалась величиной постоянной до следующего измерения.

При втором способе учитывалась погрешность прибора. По информации изготовителя прибора «Альфарад плюс РП» предел допустимой основной относительной погрешности измерения объемной активности радона в пробах составляет - ±20 % [2]. Исходные графики объемной активности радона характеризуются множеством максимумов, которые в первую очередь обусловлены относительной погрешностью измерения объемной активности радона (рис. 2).

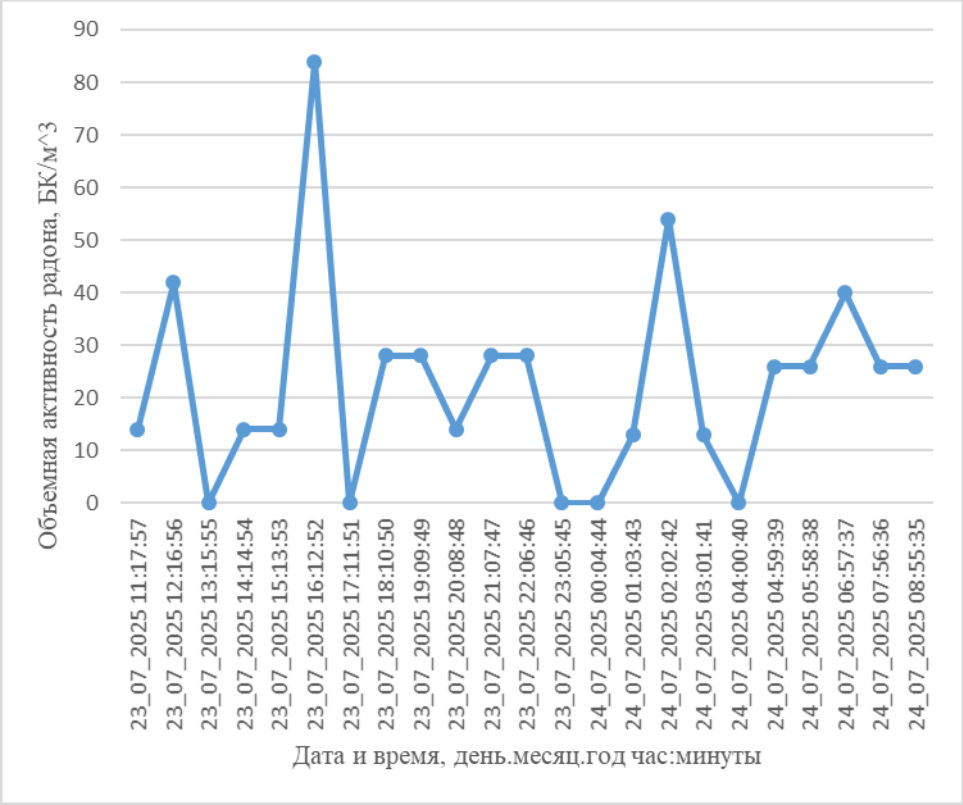


Рисунок 2. Объемная активность радона на пункте наблюдений «Махновичи» 23−24 июля 2025 г.

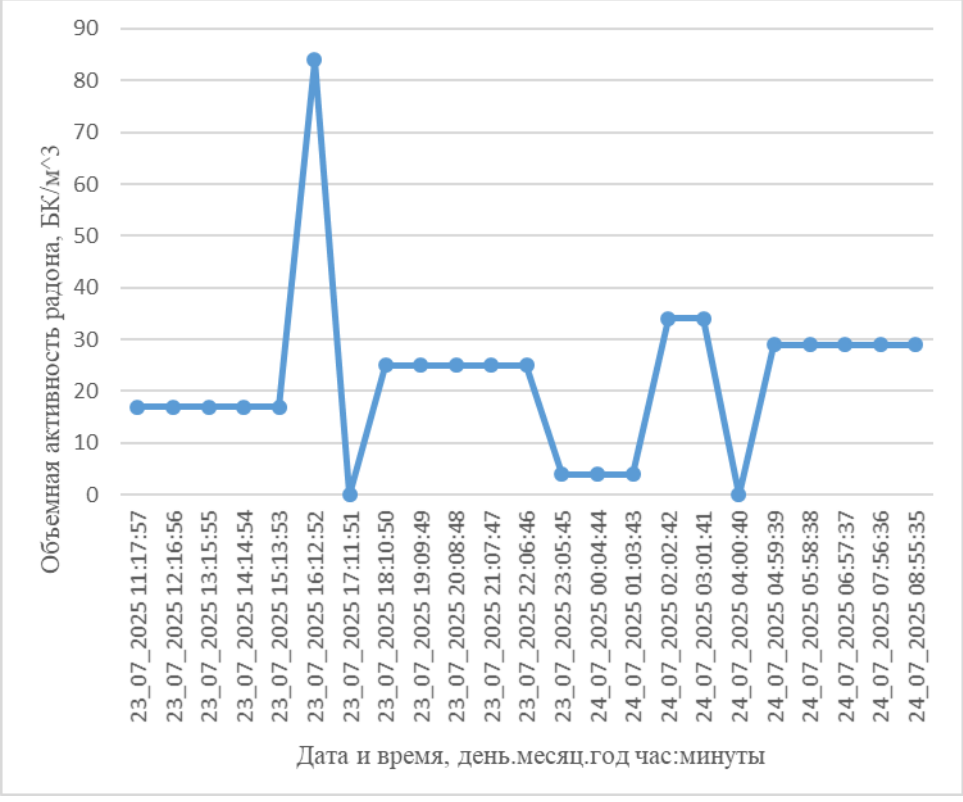


Рисунок 3. Сглаженная объемная активность радона на пункте наблюдений «Махновичи» 23−24 июля 2025 г.

Исходя из данных циклических измерений: «дата/время – объемная активность радона – абсолютная погрешность измерения объемной активности радона», разработан алгоритм сглаживания полученных данных, позволяющий исключить из рассмотрения погрешности измерений объемной активности радона. На основе алгоритма, разработана программа осреднения данных объемной активности радона AverageRadonValue.exe. Эти осредненные данные ОАР использовались в расчетах средней ОАР (рис. 3).

Результаты расчетов показали, что средняя ОАР в период 7−10 июля 2025 г. при первом способе расчета составляет 171 Бк/м^3, а при втором способе 172 Бк/м^3.

Таким образом, результаты расчета средней ОАР двумя способами совпадают, при этом средняя ОАР с учетом сейсмических событий не менее чем в два раза больше, чем подавляющее большинство регистрируемых значений ОАР.

Литература

1. Аронов, А.Г. Мониторинг индуцированной сейсмичности в районе Старобинского месторождения калийных солей в Беларуси / А.Г. Аронов, Г.А. Аронов // Вестник НИЦ РК. – 2018. – № 2. – С. 129-134.

2. Комплекс измерительный для мониторинга радона, торона и их дочерних продуктов «Альфарад+». Руководство по эксплуатации БВЕК 590000.001 РЭ. – Москва, 2021. – 81 с.

3. Матвеев, А.В. Радон в геологических комплексах Беларуси / А.В. Матвеев, А.К. Кабанов, М.И. Автушко – Минск – Беларуская навука, 2017. – 136 с.

4. Рудаков, В.И. Эманационный мониторинг геосред и процессов / В.И. Рудаков – Москва: Высшая скола, 2009. – 176 с.

5. Baskaran, M. Radon: A Tracer for Geological, Geophysical and Geochemical Studies / M. Baskaran – Springer Geochemistry. – 260 p.

УДК 621.039
П. И. Лесяк
г. Минск, Республика Беларусь, Департамент по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (Госатомнадзор)

ФОРМИРОВАНИЕ НАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЯДЕРНЫХ ЗНАНИЙ: ИНТЕГРАЦИЯ ОПЫТА РЕГУЛИРУЮЩЕГО ОРГАНА И ИНСТРУМЕНТЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

Реализация ядерной программы предполагает интенсивный рост объемов научно и научно-технической информации, быстрого обновления научных знаний, вызванных созданием и внедрением новых технологий, реализации подходов опережающих регулирование безопасности таких технологий, включая разработку новых НПА, в том числе ТНПА в области обеспечения безопасности при использовании атомной энергии возникает комплексная задача. Ключевым инструментом решения задачи сохранения, трансляции, развития и масштабирования ядерных компетенций является создание системы управления ядерными знаниями (СУЯЗ).

Введение

В соответствии с требованиями норм МАГАТЭ по безопасности GSR Part 1 «Государственная, правовая и регулирующая основа обеспечения безопасности» для развития первой белорусской ядерной энергетической программы на современном этапе необходимо организовать выполнение долгосрочных мероприятий, связанных с обеспечением устойчивости и безопасной эксплуатации атомной электростанции в течение всего ее жизненного цикла (включая вывод из эксплуатации). Планируется расширение ядерно-энергетической программы (3-й энергоблок, Белорусская АЭС-2), а также реализация ядерной неэнергетической проектов (ядерная медицина, исследовательский ядерный реактор).

Для дальнейшего развития ядерной инфраструктуры была разработана и утверждена единая государственная политика в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 15 августа 2023 г. № 535). Указанный документ по сути является документом стратегического планирования.

По опыту Беларуси ключевым элементом инфраструктуры являются подготовленные кадры для нужд регулирующего органа, эксплуатирующих организаций, пользователей ИИИ и их организаций научно-технической поддержки. Существенным условием такой подготовки является система передачи знаний.

Ключевые вызовы и их решение

Развитие атомной энергетики в Республике Беларусь, особенно на фоне исторического наследия Чернобыля поставило перед регулирующим органом сложную и многогранную задачу. Для обеспечения безопасной эксплуатации

Белорусской АЭС недостаточно лишь создать нормативно-правовую базу и контролирующие процедуры. Требовался глубокий, научно обоснованный и независимый анализ всех аспектов проекта, от выбора площадки до оценки систем безопасности. В условиях, когда страна не обладала собственным практическим опытом сооружения и эксплуатации современных АЭС, единственным решением стало целенаправленное формирование собственного экспертного сообщества на базе организаций системы научно-технической поддержки. Этот процесс был инициирован для достижения нескольких взаимосвязанных и критически важных целей.

Во-первых, ключевой задачей стало формирование сообщества независимых экспертов для обеспечения независимой и объективной экспертизы. Регулирующий орган не мог полагаться лишь на оценки и расчеты, предоставленными генеральным проектировщиком и эксплуатирующей организацией. Была необходима собственная, верифицированная экспертиза для проверки обоснования безопасности, анализа проектной документации и оценки соответствия объекта строгим международным стандартам. Формирование экспертного сообщества позволяло существенно повысить уровень обоснованности регулирующих решений при рассмотрении проектной документации.

Во-вторых, стояла проблема преемственности знаний и подготовки кадров. Атомная отрасль – это отрасль с длительным жизненным циклом, где утрата критических знаний недопустима. Формирование экспертного сообщества решало не только незамедлительные задачи надзора за строительством, но и долгосрочную цель – создание системы научно-технической поддержки.

В-третьих, экспертное сообщество было необходимо для развития и создания нормативно-методической базы. Международные стандарты МАГАТЭ нуждались в тонкой настройке применительно к национальному контексту и конкретному проекту. Для этой работы требовались специалисты, обладающие компетенцией не только в области интерпретации международных требований, но и в области их творческой трансформации и разработке собственной нормативно-технической базы, обеспечивающей научное обоснование всех принимаемых регулирующих требований.

Таким образом, экспертное сообщество формировалось не как вспомогательный инструмент, а как фундаментальный элемент всей системы регулирования, призванный обеспечить ее компетентность, независимость и долгосрочную устойчивость.

Перед регулирующим органом стояла сложная задача системного преобразования всей структуры экспертной поддержки. Для решения кадрового дефицита в подготовленных экспертах была разработана программа развития компетенций. Активно использовался подход наращивания потенциала знаний и компетенций через организацию стажировок по линии международных организаций, а также в регулирующих органах стран с развитой атомной энергетикой. Особое внимание уделялось практике взаимодействия с зарубежными коллегами (двух- и многостороннее сотрудничество между регуляторами), участие в деятельности международных профессиональных форумов и их рабочих групп

(WENRA, ВВЭР Форум, ENSREG), где специалисты перенимали практический опыт регулирующих оценок.

Для организации деятельности экспертов, была установлена система допуска экспертов к проведению экспертизы безопасности в области использования атомной энергии и источников ионизирующего излучения (ИИИ), а также законодательно закреплено формирование и ведение реестра таких экспертов (постановление МЧС Республики Беларусь от 15.11.2023 № 59). Это позволило обеспечить прозрачность сведений о квалификации и области допуска экспертов.

Ресурсные ограничения удалось смягчить за счет целевого финансирования в рамках национальных и региональных проектов международной помощи.

Комплексный подход позволил не просто преодолеть первоначальные трудности, но и заложить основу для устойчивого развития экспертного сообщества, способного эффективно решать задачи регулирования в долгосрочной перспективе.

Значительные объемы работ и сложности, выявленные в процессе формирования экспертного сообщества, обусловливают необходимость сохранения и ретрансляции сформированных уникальных компетенций данными экспертами.

Результаты формирования системы научно-технической поддержки

Реализованный регулирующим органом комплексный подход позволил достичь значимых практических результатов в создании **системы научно-технической поддержки регулирующей деятельности в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности**. Прежде всего, было успешно сформировано компетентное экспертное сообщество, включающее 58 экспертов, имеющих допуск в области использования атомной энергии и источников ионизирующего излучения. Этот пул экспертов прошел систему подготовки и регулярно подтверждает свою квалификацию в соответствии с международными требованиями.

Сформированная регулирующим органом система научно-технической поддержки представляет собой целостный механизм обеспечения безопасности на всех этапах жизненного цикла объектов использования атомной энергии. Основу системы составляет структура, интегрирующая потенциал научных организаций и экспертов, имеющих допуск, что подтверждается:

определением актуальных направлений научных исследований и успешной их реализацией в рамках научно-исследовательских работ (НИР), выполненных в рамках Государственных программ силами системы научно-технической поддержки. Об эффективности подхода свидетельствуют практические результаты: с начала реализации проекта Белорусской АЭС выполнено 24 НИР, на ближайшую пятилетнюю перспективу запланировано проведение свыше 21 новой НИР;

организация и проведение экспертизы документов, обосновывающих обеспечение ядерной и радиационной безопасности при осуществлении деятельности в области использования атомной энергии, в части эксплуатации Белорусской АЭС состоящей из более 516 тематических вопросов.

Системообразующую роль также играет созданная при Совете Министров Республики Беларусь Национальная комиссия по безопасному использованию

атомной энергии. Национальная комиссия является консультативным научно-экспертным органом по вопросам обеспечения ядерной безопасности. Национальная комиссия формируется из числа представителей республиканских органов государственного управления и иных организаций, подчиненных Правительству Республики Беларусь, научных и других государственных организаций, обладающих опытом и знаниями, навыками и компетенциями в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности, в том числе специалистов Российской Федерации как страны - поставщика ядерных технологий.

Признание компетенций регулирующего органа (Госатомнадзора) в области построения системы научно-технической поддержки регулирующей деятельности позволило Республике Беларусь получить членство в Руководящем комитете Форума организаций технической и научной поддержки (ФОТП), который был создан для предоставления консультаций ФОТП по вопросам политики и стратегий. В частности, он предлагает планы, контролирует их осуществление и оценивает результаты деятельности ФОТП, а также информирует о них ФОТП в целях неуклонного совершенствования работы.

Деятельность ФОТП сосредоточена на развитии, повышении и обеспечении устойчивого характера технического и научного потенциала, поддерживающего работу регулирующих органов и тем самым способствующего укреплению инфраструктуры ядерной и радиационной безопасности и физической безопасности.

Накопленный значительный опыт совместной работы регулирующего органа и системы научно-технической поддержки, требует систематизации и эффективного управления, а также является основанием для завершения формирования системы управления ядерными знаниями (СУЯЗ). При этом основным практическим инструментом управления СУЯЗ видится разработка и запуск **Национального портала ядерных знаний Республики Беларусь.** Национальный портал, должен стать единой цифровой платформой для целевой аудитории (общественность, студенты, преподаватели, руководители, эксперты, ученые и специалисты в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности). Портал может интегрировать нормативные документы, методические материалы, отчеты и иную информацию, обеспечив централизованный доступ к критически важной информации. Такой инструмент поможет на практике сократить время обработки экспертных запросов, а также исключить дублирование работ и повысить согласованность принимаемых решений.

Синергетический эффект от объединения экспертного сообщества и цифровой платформы проявится в качественном улучшении процессов регулирования. Национальный портал обеспечит быстрый доступ к необходимой информации, способствует к накоплению, сохранению, преумножению и использованию ядерных знаний, созданию новых ядерных знаний с учетом специфики Республики Беларусь, передаче, поддержанию, а также обмену ими, как и минимизации негативного влияния риска потери знаний и опыта в области ядерных знаний.

Важным результатом станет создание устойчивой саморазвивающейся системы, способной адаптироваться к новым вызовам. Регулярный мониторинг деятельности экспертов через портал позволит выявлять узкие места и своевременно вносить корректировки в работу системы. Механизм обратной связи и обмена лучшими практиками будет способствовать постоянному профессиональному росту членов экспертного сообщества.

Достигнутые результаты и перспективы развития

Основные достижения:

обеспечена успешная эксплуатация Белорусской АЭС;

сформирован пул экспертов в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности;

создана многоуровневая система подготовки кадров, в том числе с помощью выполнения научно-исследовательских работ;

накоплен практический опыт регулирования ядерной безопасности.

Заключение

Опыт Республики Беларусь демонстрирует эффективность системного подхода к формированию единой государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности. Успешный ввод в эксплуатацию Белорусской АЭС подтвердил правильность выбранной стратегии, основанной на принципах последовательности, преемственности и ориентации на международные стандарты.

Необходимость постоянного развития системы знаний обусловлена как технологическим прогрессом, так и накоплением практического опыта.

Опыт Беларуси представляет ценность для международного сообщества, особенно для стран, начинающих развитие национальной атомной энергетики. Продемонстрирована эффективность поэтапного подхода к созданию системы научно-технической поддержки, основанного на интеграции экспертного сообщества, организационной инфраструктуры и цифровых технологий.

Интеграция Республики Беларусь в состав международного Руководящего комитета Форума организаций технической и научной поддержки стала следствием закрепления национальной системы научно-технической поддержки регулирующей деятельности в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности, опыт которой был признан релевантным, что подтверждается членством Республики Беларусь в международном форуме, основанном на признании международным сообществом опыта страны в построении системы научно-технической поддержки. При этом оценка динамики развития СУЯЗ осуществляется через инструмент МАГАТЭ PROMIS – Программа мониторинга и наращивания потенциала в области ядерной безопасности. PROMIS является фундаментальным инструментом МАГАТЭ для создания, поддержания и укрепления эффективной глобальной системы ядерной безопасности, помогающий странам – участникам выявить сильные стороны и области для улучшения, а

также отслеживать прогресс в реализации своих национальных и международных обязательств.

Сформированная система обеспечивает не только решение текущих задач регулирования, но и создает основу для долгосрочного устойчивого развития ядерной и радиационной безопасности в стране.

Перспективные направления развития

Дальнейшее развитие системы предусматривает:

совершенствование исследовательской инфраструктуры;

расширение международного сотрудничества и экспорта знаний;

расширение возможностей Национального портала ядерных знаний;

разработка и создание тематического журнала.

УДК 621.039.4

А. Н. Лопин, В. А. Николаев, П. Н. Васильев, А. М. Бирило

г. Минск, Республика Беларусь, Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»

НОВАЯ СИСТЕМА РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ СРК-АТ2330

Современные тенденции в области радиационного мониторинга требуют создания новых систем радиационного контроля, обладающих высокой точностью, надежностью и функциональностью. В связи с этим предприятием «АТОМТЕХ» ведется опытно-конструкторская работа по созданию комплекса технических средств измерителя-сигнализатора СРК-АТ2330, предназначенного для построения стационарных систем радиационного контроля (СРК).

Цель разработки – замена морально и физически устаревшего комплекса СРК-АТ2327 аналогичного назначения, пользующейся большой популярностью, а также повышение метрологических и эксплуатационных характеристик оборудования радиационного контроля.

СРК-АТ2330 представляет собой многоканальную модульную систему радиационного контроля, состоящую из: пульта управления ПУ-АТ901, пульта управления ПУ-АТ901 в одном корпусе с блоком детектирования БДКГ-204, блока детектирования гамма-излучения БДКГ-202, блока детектирования гамма-излучения БДКГ-204, блока детектирования гамма-излучения БДКГ-206, блока детектирования гамма-излучения УДКГ-37. Помимо основных устройств к пульту управления могут подключаться датчики температуры, влажности, давления, информационные табло. Система обеспечивает измерение амбиентного эквивалента дозы и мощности дозы в широких диапазонах как непрерывного, так и импульсного фотонного излучения.

Центральный пульт управления выполняет функции конфигурирования системы, сбора и обработки данных от внешних устройств, индикации текущих параметров, архивирования измерений и выдачи сигналов тревоги при превышении пороговых уровней. Пульт обеспечивает передачу данных внешним системам и взаимодействие с персональным компьютером по интерфейсу RS-485 с протоколом Modbus-RTU, поддерживая подключение до 64 устройств.

Модульный принцип построения обеспечивает масштабируемость, удобство обслуживания и надежность. Встроенные функции самодиагностики, контроля связи и регистрации событий повышают устойчивость системы к внешним воздействиям и сбоям. Конструктивное исполнение компонентов рассчитано на эксплуатацию в широком диапазоне температур, при высокой влажности и в условиях промышленной электромагнитной среды.

На текущем этапе выполнена разработка пульта управления ПУ-АТ901 в различных исполнениях, включая серийные блоки детектирования гамма-излучения, ведется разработка устройства сигнализации и нейтронного блока детектирования, планируемых к включению в состав системы. Конструкция

компонентов предусматривает возможность дезинфекции и использования в медицинских учреждениях радиационного профиля.

Разработка СРК-АТ2330 направлена на создание унифицированной, технологичной и высоконадежной системы радиационного контроля, соответствующей современным требованиям метрологии, промышленной и радиационной безопасности. Ожидается, что система найдет широкое применение в радиологических и радиоизотопных лабораториях, исследовательских институтах, на объектах атомной энергетики, а также в медицинских учреждениях и промышленных предприятиях.

Литература

1. Защита персонала от ионизирующего излучения: Руководство по безопасности / Международное агентство по атомной энергии. – Вена: МАГАТЭ, 2018. – 96 с. – (Серия норм безопасности МАГАТЭ; № GSG-7). – ISBN 978-92-0-102818-0.

2. ГОСТ 29074–91. Аппаратура контроля радиационной обстановки. Общие требования: государственный стандарт СССР / Госстандарт СССР. — Введ. 1992–07–01. — Москва: Изд-во стандартов, 1991. – 20 с.

UDC 626

M. M. Mambwe

Nizhny Novgorod, Russia, Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev

FUNDAMENTALS OF THERMAL-HYDRAULIC CALCULATIONS OF HEAT EXCHANGE APPARATUSES OF NUCLEAR REACTORS

In this article, the fundamentals of thermal-hydraulic calculations of heat exchange apparatuses of nuclear reactors are going to be analyzed. Thermal and hydraulic calculations of heat exchangers are divided into constructive and calibration calculations. The task of constructive (design) calculations is to determine the required geometric dimensions of the surface of the heat exchanger.

The following parameters are set:

- Thermal power №, kW;
- Mass flow rates of coolants G, kg/s;
- Specific enthalpies (temperatures) of coolants at input and output, in kJ/kg (T, K);
- Coolant pressure P at the inlet and output of a heat exchanger, in Pascals, or the limit values of hydraulic resistance;
- Dependencies for thermophysical parameters of heat transfer: density ρ, enthalpy J, dynamic viscosity Pa·s, thermal conductivity W/m·K, specific heat capacity J/kg·K, saturation temperature T, heat of evaporation kJ/kg, and thermal conductivity (W/m·K) of the wall – specified in tubular form or in the form of polynomials;
- Ambient temperature and permissible temperature on the outer surface of the heat exchange body;
- Maximum overall dimensions and weight of the equipment.

The final goal of the calculation, taking into account all the requirements, is to select and calculate the optimal design of the heat exchanger. This calculation is carried out for the nominal operating mode of the unit. The tasks of the verification calculation include:

Detailed calculation of the heat transfer unit in the nominal mode for the selected geometric relationships of the heat transfer surface;

Calculation of the heat transfer unit with the selected (known) geometry of the heat transfer surface in partial modes in modes in order to determine the enthalpies (temperatures) of the coolants and thermal power;

Calculation of the dynamics of a specific heating element in unsteady modes to determine the parameters of coolants and the wall under conditions of transient processes, emergency modes, and hydraulic instability.

Analysis of the fundamental thermal-hydraulic principles and equations combines Thermodynamics, Heat Transfer, and Fluid Mechanics.

A. Conservation Laws (The Foundation). These are typically applied to a control volume of a heat exchange equipment.

1. Conservation of Mass (Continuity Equation):
    - What it does: Tracks the flow of coolant into and out of a region.
    - Simple Form (Steady State): $\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out}$ (mass flow rate in equals mass flow rate out).
2. Conservation of Energy (First Law of Thermodynamics):
    - What it does: Balances the heat added to the coolant with its change in enthalpy (internal energy + flow work).
    - Form: Q = ṁ*(h_{out}= h_{in})
        - Q = Heat transfer rate (W)
        - ṁ = Mass flow rate (kg/s)
        - h = Specific enthalpy (J/kg)
3. Conservation of Momentum:
    - What it does: Relates pressure drop to flow velocity, friction, and changes in elevation. It's crucial for determining pumping power.
    - Simplified Steady-State Form (for a pipe): $\Delta P_{total} = \Delta P_{friction} + \Delta P_{elevation} + \Delta P_{acceleration}$

B. Modes of Heat Transfer

1. Conduction: Governs heat transfer *through* the fuel pellet and cladding.
    - Fourier's Law: q" = -k*dT/dx
        - q" = Heat flux (W/m²)
        - k = Thermal conductivity (W/m·K)
        - dT/dx = Temperature gradient
2. Convection: Governs heat transfer from the cladding surface to the coolant. This is the most critical mode.
    - Newton's Law of Cooling: q" = h*($T_{surface}$- T_{bulk})
        - h = Convective heat transfer coefficient (W/m²·K) - This is the key parameter to calculate.
3. Radiation: Generally negligible in a reactor core due to high coolant flow rates, but can be significant in severe accident scenarios.

C. Critical Thermal-Hydraulic Phenomena

1. Boiling Heat Transfer:
    - Subcooled Boiling: Boiling occurs at the hot cladding surface even though the bulk coolant is below saturation temperature. This is normal in BWRs and PWRs.
    - Nucleate Boiling: Efficient heat transfer with bubbles forming. Desired regime.
    - Critical Heat Flux (CHF) / Departure from Nucleate Boiling (DNB): A crisis point where bubbles form so rapidly they blanket the surface, insulating it and causing a rapid, dangerous temperature spike. Avoiding DNB is a primary design constraint for PWRs.
2. Two-Phase Flow:
    - Void Fraction (α): The fraction of a channel's volume that is occupied by vapor. It drastically affects flow density, pressure drop, and neutron moderation.

- Flow Regimes: The pattern of liquid/vapor mixture (bubbly, slug, churn, annular, mist). Each regime has different heat transfer characteristics.
    - BWR Analysis: Centered entirely around modeling two-phase flow and void fraction.

3. Pressure Drop Components:
    - Frictional: Due to shear stress between the fluid and the channel walls. Calculated using correlations like Martinelli-Nelson (for two-phase) or Darcy-Weisbach (for single-phase).
    - Gravitational: Due to changes in elevation ($\rho * g * \Delta h$).
    - Accelerational: Due to changes in flow velocity (significant in boiling channels where fluid expands).

In conclusion, the fundamentals of thermal-hydraulic calculations of heat exchange apparatuses of nuclear reactors involves analytical workflow. The definition of the geometry of the apparatus has to always be done corresponding to the nominal intended operation of an equipment, including fuel rod diameter, pitch, and channel length.

Definition of operating conditions which include pressure, temperature, mass flow rate, and power. Applying the conservation laws to find bulk fluid temperatures and pressures. Calculating the heat transfer coefficients by using appropriate correlations for the flow regime (single-phase, subcooled boiling, nucleate boiling). Checking critical limits by analyzing the cladding and fuel temperatures data within limits. Calculating the system parameters by determining total pressure drop and the required pumping power.

This process ensures that nuclear heat exchange apparatuses can reliably and safely perform their function under all envisioned operating conditions.

References

1. Collier, D. G. Convective Boiling and Condensation / D. G. Collier, J. R. Tom. – 3rd ed. Oxford: ISBN 978-0198562962. Clarendon Press, 1994. – 536 p.

2. El-Wakil, M. M. Nuclear Heat Transport / M. M. El-Wakil. – Ann Arbor, MI: ISBN 0-89448-038-8. American Nuclear Society, 1993. -623 p.

3. Hesh, D. L. Handbook of Hydraulic Resistance / D. L. Hesh, I. E. Idelchik. – 4th ed. – Boca Raton: ISBN 978-0-8493-9903-3. CRC Press, 2007. – 394 p.

4. Hewitt, D. F. Handbook of Two-Phase Flow / D. F. Hewitt, J. J. DeLay, N. S. Hall-Taylor. – 2nd ed. – Moscow: ISBN 1-56032-454-8. MPEI Publishing House, 2003. – 470 p.

5. Kirillov, P. L. Handbook on Thermohydraulic Calculations (Nuclear Reactors, Heat Exchangers, Steam Generators) / P. L. Kirillov, Yu. – Moscow: Energoatomizdat, 1990. – 360 p.

УДК 621.039.4: 681.2.083

А. О. Ничипорчук, А. Ч. Буйвидович, Д. И. Оболонский, В. В. Семерикова

г. Минск, Республика Беларусь, Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ, ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ И МЕТОДИЧЕСКАЯ БАЗА ПРЕДПРИЯТИЯ «АТОМТЕХ» ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И СЫРЬЯ, ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ И ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Экспертный радиационный контроль материалов, продукции и объектов окружающей среды, подвергаемых исследованию, позволяет сделать вывод об их радиационной чистоте, о соответствии содержания радионуклидов в них нормативным государственным и международным требованиям. Для эффективного решения данной задачи следует применять современное и качественное оборудование. Предприятие «АТОМТЕХ» имеет многолетний опыт разработки и выпуска продукции для решения широкого перечня задач радиационного контроля. Одним из направлений деятельности предприятия является выпуск оборудования для оснащения служб радиационного контроля предприятий и ведомств соответствующими средствами измерений содержания альфа-, бета- и гамма-излучающих радионуклидов, а также оборудования для контроля внутреннего облучения человека.

Для решения задач измерения удельной (объемной) активности радионуклидов ^{137}Cs, ^{134}Cs, ^{131}I и ^{90}Sr в пробах объектов окружающей среды, измерения эффективной удельной активности естественных радионуклидов ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th в строительных материалах, а также для экспресс-анализа стандартизованных проб плавок металла на радиационную чистоту [1] применятся двухканальный гамма-бета-спектрометр МКС-АТ1315, работающий под управлением программного обеспечения «SPTR». Данный прибор оснащен аттестованными методиками выполнения измерений:

- МВИ.МН 1181-2011 «Методика выполнения измерений объемной и удельной активности ^{90}Sr, ^{137}Cs и ^{40}K на гамма-бета спектрометре МКС-АТ1315 в пищевых продуктах, питьевой воде, почве, сельскохозяйственном сырье и кормах, продукции лесного хозяйства, других объектах окружающей среды»;
- МВИ.МН 4498-2013 «Методика выполнения измерений эффективной удельной активности природных радионуклидов радия-226, тория-232, калия-40 на гамма-бета спектрометрах МКС-АТ1315»;
- МВИ.МН 6018-2018 «Удельная активность гамма-излучающих радионуклидов в пробах плавок металла. Методика выполнения измерений при

проведении радиометрического контроля металла с использованием гамма-бета-спектрометра МКС-АТ1315».

Гамма-радиометры спектрометрического типа РКГ-АТ1320С позволяют измерять объемную и удельную активность гамма-излучающих радионуклидов с автоматическим определением радионуклидного состава в воде, продуктах питания, сельскохозяйственном сырье и кормах, промышленном сырье, продукции лесного хозяйства, строительных материалах, почве, других объектах окружающей среды. Измерения проводятся в соответствии с аттестованной методикой выполнения измерений МВИ.МН 4779-2013 «Методика выполнения измерений объемной и удельной активности ^{131}I, ^{134}Cs, ^{137}Cs и эффективной удельной активности природных радионуклидов ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th на гамма-радиометрах спектрометрического типа РКГ-АТ1320».

Для решения задач одновременного или раздельного измерения суммарной альфа- и суммарной бета-активности различных образцов предназначен радиометр РКС-АТ1329. Регистрация альфа-излучения и бета-излучения осуществляется блоком детектирования альфа-бета излучения на основе сцинтилляционного «фосвич-детектора», в котором применяется сцинтилляционный пластик размерами ∅63×1 мм с нанесенным слоем ZnS(Ag). Для радиометров РКС-АТ1329 аттестованы и зарегистрированы следующие методики выполнения измерений:

- МВИ.МН 6097-2018 «Плотность потока альфа-частиц и плотность потока бета-частиц. Методика выполнения измерений при контроле радиоактивного загрязнения поверхности методом мазков с использованием радиометров типа РКС-АТ1329»;
- МВИ.МН 6098-2018 «Объемная суммарная альфа-активность и объемная суммарная бета-активность радионуклидов в питьевой воде. Методика выполнения измерений с использованием радиометров типа РКС-АТ1329»;
- МВИ.МН 6099-2018 «Объемная суммарная альфа-активность и объемная суммарная бета-активность аэрозолей в воздухе. Методика выполнения измерений с использованием радиометров типа РКС-АТ1329».

Для оценки дозы внутреннего облучения, а также для экспресс-контроля и измерения активности гамма-излучающих радионуклидов ^{137}Cs и ^{134}Cs в теле человека предназначен спектрометр излучения человека СКГ-АТ1316. При расчете активности радионуклидов во всем теле человека используется массо-ростовой показатель, равный отношению массы к росту пациента и отражающий его антропометрические характеристики, что позволяет контролировать как детей, так и взрослых людей различного телосложения. Измерения проводятся в соответствии с методикой выполнения измерений МВИ.МН 1958-2003 «Методика выполнения измерений активности гамма-излучающих радионуклидов в теле человека с помощью спектрометра излучения человека СКГ-АТ1316».

Все выпускаемое предприятием «АТОМТЕХ» оборудование разработано в соответствии с требованиями государственной системы обеспечения единства измерений, является сертифицированным на территории России, Беларуси и

Казахстана отвечает требованиям международных и отечественных стандартов [2–3]. Десятки выпущенных спектрометров и радиометров работают в составе многочисленных отечественных и зарубежных лабораторий радиационного контроля и регулярно участвуют в процедурах межлабораторных сличений.

Программное обеспечение, поставляемое в комплекте с данными приборами, имеет удобный пользовательский интерфейс, позволяет выдавать отчеты о проведенных измерениях, формировать и хранить базу данных результатов измерений.

Литература

1. Жуковский А.И. Ничипорчук А.О., Хрущинский А.А,, Кутень С.А. Имитация объёмных мер активности металлов // Приборы и методы измерений. 2016 – Т. 7, № 2. – С. 219-226.

2. ГОСТ 27451-87. Средства измерений ионизирующих излучений. Методы измерения основных параметров. М: Издательство стандартов, 2021 – 38 с.

3. ГОСТ 8.010-2013 Государственная системаобеспечения единсвта измерений. Методики выполнения измерений. Общие положения. М: Стандартинформ, 2019 – 12 с.

УДК. 621.039.5:614.876

А. В. Орлова

г. Минск, Республика Беларусь, Государственное научное техническое учреждение «Центр по ядерной и радиационной безопасности»

ИНФОРМАЦИОННЫЙ СПРАВОЧНИК ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЕЛОРУССКОЙ АЭС И МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СРЕДЫ ПО УПРАВЛЕНИЮ ИМ

Обеспечение ядерной и радиационной безопасности представляет собой одну из важнейших задач современности. Развитие атомной энергетики приносит не только значительные преимущества, но и сопряжено с серьезными рисками для окружающей среды и здоровья людей. В условиях быстрого технологического прогресса и повышения сложности ядерных систем перед надзорными органами возникает необходимость в постоянной адаптации и совершенствовании методов контроля и регулирования. В связи с этим в 2021–2024 годах Центр по ядерной и радиационной безопасности совместно с Белорусским государственным университетом информатики и радиоэлектроники провели научно-исследовательскую работу, направленную на разработку системы дополнительных мер по совершенствованию надзорной деятельности за обеспечением ядерной и радиационной безопасности Белорусской АЭС [1].

С целью автоматизации работы инспекторов Госатомнадзора при организации надзора на этапе эксплуатации Белорусской АЭС и поддержки принятия решений на основе дифференцированного подхода было разработан Информационный справочник (далее – ИС) и Многофункциональная среда по управлению им (далее – МФС).

ИС представляет собой реляционную базу данных, обеспечивающую накопление, хранение и систематизацию информации о показателях безопасной эксплуатации Белорусской АЭС. Ключевые задачи ИС – обеспечение целостности и доступности данных, многопользовательского доступа, исключение дублирования, а также защита информации от несанкционированного вмешательства.

МФС разработана в виде web-приложения, обеспечивающее управление и обработку информации, хранящейся в ИС (рис. 1). Основные функции МФС включают:

визуализацию данных в текстовой, табличной и графической формах;

автоматизированный ввод и расчет показателей;

формирование отчетной и аналитической документации;

контроль выполнения мероприятий по повышению безопасности;

выработку рекомендаций и прогнозирование тенденций.



Рисунок 1. Главный раздел ИС и МФС

Под дифференцированным подходом понимается метод организации регулирования безопасности, учитывающий особенности каждого объекта использования атомной энергии. Меры надзора в этом случае соразмерны потенциальной опасности объекта и рискам его эксплуатации. Одним из ключевых критериев дифференцированного подхода является накопленный опыт эксплуатации. Он отражается в системе показателей, характеризующих безопасную работу энергоблоков АЭС. Анализ абсолютных значений этих показателей, а также динамики их изменений, позволяет делать выводы о текущем уровне и тенденциях обеспечения безопасной эксплуатации атомной станции.

Для реализации в контрольно-надзорной деятельности принципов дифференцированного подхода в ряде зарубежных стран органы регулирования используют в своей практике системы показателей безопасности, значения которых отражаются эксплуатирующей организацией в ежегодных отчетах о состоянии ядерной и радиационной безопасности, и позволяют сжато и наглядно представить результаты оценки уровня безопасности ОИАЭ [2].

В рамках научной работы был разработан подход на уровне «статической» модели, который заключается в анализе достигнутого уровня безопасной эксплуатации Белорусской АЭС путем оценки ее показателей безопасной эксплуатации и оценки ее систем, структур и компонентов (далее – ССК) по основным критериям безопасности и определения необходимости и частоты проведения проверок, необходимости применения административных санкций.

В качестве основных показателей безопасной эксплуатации Белорусской АЭС определены:

состояния ядерной безопасности (неплановые автоматические аварийные остановы реактора в критическом состоянии (UA7); неплановые аварийные

остановы реактора в критическом состоянии (US7); показатель работоспособности систем безопасности, а именно системы аварийного впрыска высокого давления, системы аварийной питательной воды, дизель-генераторной установки; надежность ядерного топлива; показатель частоты нарушения пределов и/или условий безопасной эксплуатации; показатель целостности системы герметичных ограждений; показатель нарушений при транспортно-технологических операциях со свежим или отработавшим ядерным топливом);

состояния технической безопасности (химический показатель);

противорадиационной защиты персонала и окружающей среды (уровень облучения персонала, характеристика радиоактивного загрязнения окружающей среды, количество нарушений в работе АЭС с радиационными последствиями);

обращения с радиоактивными отходами (показатели образования и переработки жидких и твердых радиоактивных отходов);

состояния охраны труда и частоты возникновения пожаров;

состояния эксплуатационной безопасности (показатели обеспечения качества эксплуатации, показатели эффективной обратной связи по опыту эксплуатации);

показатели энерговыработки (коэффициенты готовности и неготовности энергоблока; коэффициент вынужденных потерь электроэнергии; коэффициент недовыработки электроэнергии, по причинам связанным с работой энергосистемы).

Согласно положению об оценке показателей эффективности эксплуатационной деятельности Белорусской АЭС для каждого показателя определяется четыре зоны условий эксплуатации (границы областей) [3]:

− первая зона - зона нормальной эксплуатации (80% - 100%). Эта зона характеризуется приемлемыми значениями показателей;

− вторая зона - зона повышенного внимания (60% - 80%). В этой зоне значения показателей отражают тенденцию к ухудшению условий эксплуатации;

− третья зона - зона принятия и реализации корректирующих мер (20% - 60%). При достижении значениями показателей границ этой зоны персонал АЭС разрабатывает корректирующие мероприятия, направленные на то, чтобы эксплуатационные характеристики соответствовали требованиям проекта;

− четвертая зона - зона принятия решения о возможности дальнейшей эксплуатации энергоблока (0% - 20%). При переходе значений одного или нескольких показателей в четвертую зону рассматривается вопрос о дальнейшей эксплуатации энергоблока, разрабатываются корректирующие меры.

Аналогичные зоны определены в общих программах надзора по тематическим направлениям. Граничные значения для каждой зоны определяются и устанавливаются локальными документами эксплуатирующей организации. По результатам анализа информации о показателях, предоставляемой эксплуатирующей организацией в отчетах, регулятором определяется необходимость реализации дополнительных мероприятий и корректирующих мер. Причем объем и характер дополнительных мероприятий имеет прямую зависимость от того, в какой зоне находится значение конкретного показателя или группы показателей [1].

В МФС реализована функция определения зоны, в которой находится значение конкретного показателя безопасной эксплуатации. Для удобства вос-

приятия и наглядности оценка показателей выполняется с применением цветовой шкалы, в которой используются следующие интервальные характеристики:

− зона нормальной эксплуатации (зеленая зона цветовой шкалы),

− зона повышенного внимания (белая зона цветовой шкалы),

− зона принятия и реализации корректирующих мер (желтая зона цветовой шкалы),

− зона принятия решения о возможности дальнейшей эксплуатации энергоблока (красная зона цветовой шкалы).

Для реализации предложенной методики применения дифференцированного подхода при организации надзора на Белорусской АЭС был разработан алгоритм, блок-схема которого представлена на рисунке 2 [2]. Алгоритм включает следующие шаги:

формирование перечня ССК Белорусской АЭС, важных для безопасности;

выбор критериев, необходимых для оценки текущего состояния ССК по степени их влияния на ядерную и радиационную безопасность АЭС, а также перечня возможных качественных оценок и соответствующих им числовых (балльных) оценок по каждому критерию;

выполнение оценки ССК важных для безопасности по всем критериям с использованием выбранных перечней качественных и соответствующих им балльных оценок;

определение для ССК важных для безопасности параметра, содержащего информацию о степени влияния на ядерную и радиационную безопасность АЭС, путем решения математической задачи многокритериальной оптимизации и их ранжирование по величине этого параметра;

принятие решения по организации и осуществлению надзорных мероприятий;

контроль выполнения принятых решений и оценка их эффективности.

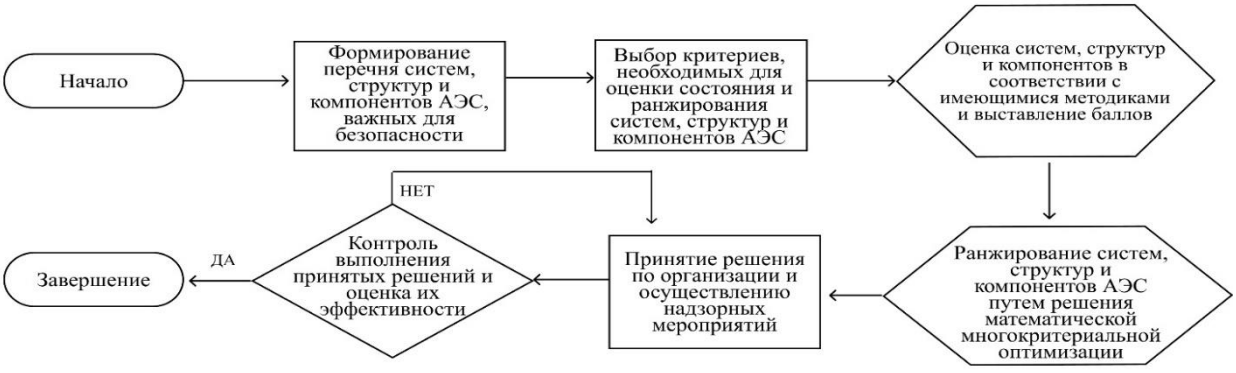


Рисунок 2. Блок-схема алгоритма методики применения дифференцированного подхода при организации надзора

Для решения задачи многокритериальной оптимизации в условиях дискретного набора альтернатив применяется метод «идеальной точки». Его суть заключается в определении расстояния в многомерном пространстве критериев между идеальной точкой, отражающей наилучшую возможную альтернативу, и

точкой, соответствующей оцениваемому варианту. Это расстояние рассчитывается по метрике n-мерного Евклидового пространства, что позволяет количественно оценить степень отклонения рассматриваемой альтернативы от идеальной согласно формуле [1]:

$$L_j = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(1 - g_j^{(i)})^2}, \quad (1)$$

где $g_j^{(i)}$ – нормированная оценка *j*-ой альтернативы по *i*-му критерию;

n – количество используемых критериев.

В выражении (1) для однообразного учета значений бальных оценок, максимальные значения которых могут отличатся, и приведения их к единой размерности используются нормированные оценки

$$g^{(i)} = g^{(i)} / g_{max}^{(i)}, \quad (2)$$

где $g^{(i)}$ – балльная оценка по i-му критерию;

$g_{max}^{(i)}$ – максимальная балльная оценка по i-му критерию.

Результаты ранжирования ССК по величине показателя «расстояние до наихудшего события» позволяют определить оборудование, требующее первоочередного внимания при инспектировании, и тем самым оптимизировать распределение ресурсов надзорных органов.

Разработанное программное средство предназначено для применения в надзорной и контрольной деятельности, связанной с обеспечением ядерной и радиационной безопасности в Республике Беларусь. Его использование позволит повысить результативность надзора за счет внедрения дифференцированного подхода при планировании и проведении контрольных мероприятий на всех этапах жизненного цикла Белорусской АЭС. Кроме того, данное решение может служить прототипом для создания новых программных продуктов, направленных на дальнейшее развитие цифровых технологий в сфере государственного регулирования использования атомной энергии. Применение ИС и МФС также способствует внедрению риск-ориентированного подхода при планировании и осуществлении контрольно-надзорных мероприятий. На основе полученных аналитических данных формируются полугодовые планы государственного надзора в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности на Белорусской АЭС.

Литература

1. Разработать систему дополнительных мер по совершенствованию надзорной деятельности за обеспечением ядерной и радиационной безопасности Белорусской АЭС: отчет о НИР / ГНТУ «Центр по ядерной и радиационной безопасности»; науч. рук. О.Н.Любочко. – Минск, 2024. – 300 с.

2. Дробот С.В., Любочко О.Н., Мазуренко М.В. «О разработке системы дополнительных мер по совершенствованию надзорной деятельности за обеспечением ядерной и радиационной безопасности белорусской АЭС». Информационный бюллетень «Ядерная и радиационная безопасность в Республике Беларусь» № 1, 2025 – 9 – 20 с.

3. Положение об оценке показателей эффективности эксплуатационной деятельности № 202 от 04.04.2023 – 41 с.

УДК 539.1.074.24
А. Н. Примакова
г. Минск, Республика Беларусь, Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»

КОРРЕКТИРОВКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДВУХСЕКЦИОННЫХ СЧЕТЧИКОВ ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА В ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ БЛОКАХ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ГАММА- И РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Предприятием «АТОМТЕХ» разработаны и выпускаются интеллектуальные блоки детектирования дозиметрического типа БДКГ-01, БДКГ-02, БДКГ-22, БДКГ-23 и БДКГ-23/1, выполненные на основе двухсекционного счетчика Гейгера-Мюллера и входящие в состав системы радиационного контроля СРК-АТ2327, а также в носимый многофункциональный дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М.

После прекращения выпуска производителем двухсекционного счетчика «СИ42» и последующей замены на аналог «Гамма-16» было выявлено несоответствие энергетической зависимости чувствительности блоков детектирования заявленным характеристикам. В частности, при измерении гамма-излучения от радионуклида ^{60}Co энергетическая зависимость чувствительности относительно радионуклида ^{137}Cs составила +49,1% при верхней границе допуска +35%, а при измерении от радионуклида ^{241}Am составила –42,5% при нижней границе, равной –25%.

Целью настоящей работы являлись выявление причин завышения показаний при воздействии гамма-излучения ^{60}Co и занижения при воздействии гамма-излучения ^{241}Am, а также восстановление энергетической зависимости чувствительности указанных дозиметрических блоков детектирования гамма- и рентгеновского излучения в составе с двухсекционным счетчиком «Гамма-16» до заявленных значений.

Счетчик «Гамма-16» представляет собой широкодиапазонный счетчик, состоящий из высокочувствительной секции с бóльшим эффективным объемом, внутри которого расположена низкочувствительная секция малого объема.

Согласно требованиям ГОСТ 27451, зависимость чувствительности от энергии регистрируемого излучения необходимо определять по трем источникам ионизирующего излучения с энергией, соответствующей минимальному, среднему и максимальному значениям энергетического диапазона [1]. Традиционно в диапазоне энергий от 60 кэВ до 3 МэВ применяются источники гамма-излучения ^{137}Cs, ^{241}Am и ^{60}Co. Однако, учитывая, что блоки детектирования предназначены для регистрации как гамма-, так и рентгеновского излучения, энергетическая зависимость чувствительности в диапазоне от 60 до 250 кэВ может быть определена более дискретно. В международных стандартах IEC 60846-1 (применяемого к переносным дозиметрам) и IEC 60532 (применяемого к стационарным) указаны методы, включающие рентгеновское излучение L или

N серии, определенные стандартами ISO 4037 [2-4]. Для проведения исследований во всем диапазоне энергий от 60 кэВ до 3 МэВ использовались эталонные поверочные дозиметрические установки рентгеновского излучения УПР-АТ300 и гамма-излучения УДГ-АТ110 производства «АТОМТЕХ».

На основе методологий, представленных в вышеперечисленных стандартах, а также результатов расчета параметров энергокомпенсирующих фильтров и изменения их конструкции, была проведена серия испытаний. Зависимость чувствительности от энергии гамма-излучения радионуклидов ^{60}Co и ^{241}Am составила +32,6% и –14,3% соответственно, а от энергии рентгеновского излучения N серии находилась в диапазоне от –24,1% до +31,4%.

Завышение и занижение показаний при воздействии гамма-излучения ^{60}Co и ^{241}Am соответственно было обусловлено конструкцией типоразмера энергокомпенсирующего фильтра, ранее применяемого для счетчика «СИ42». Разработка новых энергокомпенсирующих фильтров для двухсекционного счетчика «Гамма-16» и изменение конструкции крепежа привели к устранению выявленных несоответствий и восстановлению энергетической зависимости чувствительности в диапазоне энергий гамма- и рентгеновского излучения от 60 кэВ до 3 МэВ, как это заявлено в технической документации на выпускаемые блоки детектирования.

Литература

1. ГОСТ 27451–87. Средства измерений ионизирующих излучений. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1987. – 12 с.
2. IEC 60846-1:2025. Radiation protection instrumentation. Ambient and/or directional dose equivalent (rate) meters and/or monitors for beta, X and gamma radiation. Part 1. Requirements for portable workplace and environmental meters and monitors. Geneva: International Electrotechnical Commission, 2025. – 68 p.
3. IEC 60532:2010. Radiation protection instrumentation – Installed dose rate meters, warning assemblies and monitors – X and gamma radiation of energy between 50 keV and 7 MeV. Geneva: International Electrotechnical Commission, 2010. – 42 p.
4. ISO 4037-1:2019. X and gamma reference radiation for calibrating dosemeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy. Part 1: Radiation characteristics and production methods. Geneva: International Organization for Standardization, 2019. – 47 p.

УДК 621.311.25:621.039

А. В. Приходько

г. Минск, Республика Беларусь, Государственное производственное объединение «Белэнерго»

ПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ БЕЛОРУССКОЙ АЭС

Безопасное использование ядерных установок зависит от постоянного наличия и поддержания соответствующих знаний и опыта, включая адекватное понимание вопросов безопасности. На способность организаций, эксплуатирующих или использующих ядерные технологии, принимать продуманные решения могут влиять пробелы в знаниях или утрата знаний. Применение ядерных технологий требует стабильной и постоянно растущей базы ядерных знаний и подготовленных людских ресурсов. В последние годы управление ядерными знаниями становится все более важным элементом управления ядерным сектором. Страны, имеющие ядерные энергетические и исследовательские программы, должны обеспечить потенциал и людские ресурсы, необходимые для поддержания безопасной эксплуатации существующих установок, включая их вывод из эксплуатации, и соответствующие программы по отработавшему топливу и отходам. Замена уходящих на пенсию сотрудников и привлечение молодого поколения к карьере в ядерной сфере — ключевые задачи.

В Республике Беларусь сформирована национальная система подготовки кадров, необходимая для обеспечения ядерной энергетики высококвалифицированными специалистами, а также для дальнейшего поддержания соответствующего уровня знаний для безопасной, надежной и эффективной эксплуатации АЭС. Система подготовки кадров включает комплекс мероприятий, реализуемых, в том числе органами государственного управления, учреждениями образования высшего и среднего специального образования, учреждениями дополнительного образования, другими организациями.

В соответствии с проектом для обеспечения безопасной эксплуатации энергоблоков АЭС должна быть обеспечена в необходимом количестве квалифицированным персоналом.

Для выполнения данного условия на Белорусской АЭС осуществлен подбор и опережающая подготовка персонала в плановом порядке задолго до ввода в эксплуатацию энергоблоков.

С целью выполнения работ на начальных этапах сооружения станции, а также подготовки отечественных кадров приглашены квалифицированные иностранные специалисты, имеющие опыт работы на действующих АЭС.

Система подготовки персонала Белорусской АЭС построена с учетом принципов МАГАТЭ и ВАО АЭС, а также апробированных практик Российской Федерации.

Ввод в эксплуатацию учебно-тренировочного центра (УТЦ) с января 2016 года позволил выстроить собственную систему подготовки персонала на основе законодательства Республики Беларусь, апробированных подходов АО «Концерн Росэнергоатом» и рекомендаций международных организаций.

При подготовке персонала Белорусской АЭС используется системный подход к обучению. Системный подход к обучению – поэтапный, логически последовательный процесс организации обучения персонала АЭС, начиная с выявления и анализа потребностей в обучении персонала, планировании обучения персонала АЭС, разработки программ подготовки на должность и поддержания квалификации персонала АЭС, учебно-методических материалов и технических средств обучения, проведение обучения, и заканчивая оценкой проведения обучения.

УДК 621.039.58

Н. А. Прямосудова, Ю. П. Сивцевич, А. Н. Толкачев

г. Минск, Республика Беларусь, Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»

О НЕОБХОДИМОСТИ РАЗВИТИЯ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ В ОБЛАСТИ ПОРТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Опасность несанкционированного перемещения радиоактивных и ядерных материалов через границы государств, на полигонах твёрдых бытовых отходов, пунктах приема металлолома, пункта захоронения радиоактивных отходов и других стратегически важных объектах поставила задачу создания систем контроля таких материалов.

Эта деятельность получила международную поддержку, особенно в начале 21 века, когда при поддержке МАГАТЭ была завершена программа ITRAP [1], в рамках которой на базе австрийского ядерного центра в Зайберсдорфе проводилось тестирование различных типов оборудования, предназначенного для радиационного контроля на границах стран.

На основании результатов тестирования мировому сообществу были предложены требования к характеристикам указанного оборудования, выработаны рекомендации по его применению, а также предложения по структуре и методам радиационного контроля. Например, в серии рекомендаций МАГАТЭ NSS№1 «Технические и функциональные рекомендации для стационарного оборудования радиационного ядерного мониторинга» [2], стандарте IEC 62244 «Оборудование радиационного контроля. Радиационные портальные мониторы для контроля незаконного оборота радиоактивных и ядерных материалов» [3], стандарте ANSI №42/35-2016 для портальных мониторов, изложены конкретные требования для различных систем радиационного контроля.

Для обеспечения радиационной безопасности в Республике Беларусь на ряде объектов, таких как УП «Гомельвторчермет», УП «Брествторчермет», УП «Могилеввторчермет», «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» и др., функционируют стационарные портальные установки первичного радиационного контроля производства предприятия «АТОМТЕХ» [4]. Данные системы и установки обладают большим набором технических и метрологических характеристик: диапазон энергий регистрируемого излучения, типовая чувствительность к излучению источника, категоризация обнаруженного источника, минимально обнаруживаемое количество радиоактивных материалов, частота ложных срабатываний и ряд других показателей. При этом необходимо учитывать ширину и высоту проездов для транспортных мониторов, скорость движения транспортного средства и его габариты, необходимость систем видеоконтроля, сигнализации о превышении уровней и т.п.

Однако, в настоящее время на территории Республики Беларусь наблюдается существенный пробел в области нормативно-технического регулирования в данной теме.

Решением Коллегии Евразийской экономической комиссии от 09.11.2021 №145 утверждены «Типовые требования к обустройству и техническому оснащению таможенной инфраструктуры». Единственным ТНПА в Республике Беларусь, в определенной степени содержащим требования к аппаратуре радиационного контроля, являются Санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению радиационной безопасности при заготовке и реализации металлолома», утвержденные Постановлением Министерства здравоохранения от 11.03.2016 №42. Данный документ аналогичен СанПиН 2.6.1.993-00 «Гигиенические требования к обеспечению радиационной безопасности при заготовке и реализации металлолома», действующие в Российской Федерации. При этом в РФ разработаны МУК 2.6.1.1087-02 6.2.1 «Радиационный контроль металлолома», разъясняющие требования к применению аппаратуры радиационного контроля, а также действует ГОСТ Р 57635-2000 «Мониторы радиационные ядерных материалов. Общие технические требования» [5]. В Республике Беларусь подобного документа не существует.

Сложившаяся ситуация создает риски снижения эффективности радиационного контроля, возникновения спорных ситуаций при формулировании чётких технических требований к аппаратуре и, как следствие, ослабления барьера на пути незаконного перемещения радиоактивных материалов.

В целях укрепления системы радиационной безопасности Республики Беларусь представляется целесообразным инициировать разработку комплекса национальных стандартов и НТД в области контроля за несанкционированным перемещением ядерных материалов и источников ионизирующего излучения, опираясь на общемировую практику. Разработка четких норм и требований к обеспечит правовую и техническую определённость, повысят надёжность и доверие к эффективности использования портальных и подобных установок радиационного контроля.

Литература

1. Final Report. ITRAP – Illicit Trafficking Radiation Detection Assessment Program. Austrian Research Centers, Seibesrdorf, 2016 – 96 с.

2. IAEA Nuclear Security Series No. 1: Technical and functional specifications for border monitoring equipment – 79 с.

3. IEC 62244:2019: Radiation protection instrumentation - Installed radiation portal monitors (RPMs) for the detection of illicit trafficking of radioactive and nuclear materials – 55 с.

4. Установка радиационного контроля УРК-АТ2329 URL: https://atomtex.com/ru/ustanovka-radiacionnogo-kontrolya-urk-at2329.

5. ГОСТ Р 57635-2000: Мониторы радиационные ядерных материалов. Общие технические требования – 31 с.

УДК 004.6:539.1

***И. А. Серенкова*[1], *О. М. Дерюжкова*[2], *С. Н. Сытова*[3]**
г.Гомель, Республика Беларусь, [1]ГГТУ им. Сухого, [2]ГГУ им. Ф.Скорины,
[3]г.Минск, Республика Беларусь, НИИ ЯП БГУ

ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЯДЕРНЫМИ ЗНАНИЯМИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В широком ряду средств информационного обеспечения ядерной и радиационной безопасности особое место занимают электронные базы фактографических данных, сочетающие свойства своеобразных «складов готовой продукции» и новых оригинальных средств собственно научных исследований. Огромные массивы информации современных электронных баз данных (БД) и гибкое программное обеспечение открывают перед пользователями практически неограниченные возможности поиска конкретных данных, позволяя подойти ко всей совокупности накопленных данных с единой точки зрения и впервые сформулировать к этой совокупности данных вопросы, для которых без этих возможностей не было никаких оснований. Ответы на такие вопросы, полученные впервые, представляют собой, по существу, новые данные, новую информацию, а в конечном счете — новое знание. Зачастую даже относительно простая системная обработка известных результатов обнаруживает (точнее — «выявляет») принципиально новую физическую информацию, которая ранее отсутствовала (по крайней мере, в явном виде). Прежде всего это относится к возможностям выявления неизвестных ранее систематических погрешностей результатов разных экспериментов, установлению неизвестных ранее закономерностей в таких результатах, получения точных и надежных данных на основе взаимной оценки результатов различных экспериментов с учетом их систематических погрешностей, возможностям оценки результатов экспериментов, которые не были (или не могут быть в принципе) проведены.

На создании, развитии, уточнении и поддержании таких БД уже много лет специализируются следующие ведущие международные, в том числе российские и белорусские научные учреждения:

- Секция ядерных данных Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) https://www-nds.iaea.org/;
- The OECD Nuclear Energy Agency (NEA) https://oecd-nea.org/;
- The National Nuclear Data Center (NNDC) Брукхэвенской национальной лаборатории (США) http://www.nndc.bnl.gov/;
- China Nuclear Data Center, China Institute of Atomic Energy https://en.cnnc.com.cn/2020-06/17/c_501119.htm;
- Japanese Evaluated Nuclear Data Library https://wwwndc.jaea.go.jp/;
- Центр данных фотоядерных экспериментов (ЦДФЭ) НИИЯФ имени Д.В.Скобельцына МГУ им. М.В.Ломоносова (Россия) http://cdfe.sinp.msu.ru;

- Центр ядерно-физических данных Института ядерной и радиационной физики РФЯЦ-ВНИИЭФ (Россия) https://vniief.ru/partnership/nucleardatacenter/;
- Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского» (АО «ГНЦ РФ – ФЭИ») https://www.ippe.ru/nuclear-power/nuclear-data-services;
- Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (ИБРАЭ РАН) http://www.ibrae.ac.ru/contents/research/;
- Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» Национальной академии наук Беларуси https://sosny.bas-net.by/.

Также в интернете есть много сайтов, в том числе различных научных учреждений, которые содержат ссылки на сайты МАГАТЭ и OECD.

В настоящее время по инициативе МАГАТЭ продолжается создание актуальных и полных банков и баз оцененных данных в области атомной и ядерной физики. Под эгидой Секции ядерных данных МАГАТЭ, как ведущего мирового форума научно-технического сотрудничества в области мирного использования ядерных технологий, функционируют международные сети центров атомных и ядерных данных, которые позволяют обеспечить высокую степень согласованности деятельности основных центров данных во всем мире.

МАГАТЭ, обладая обширными базами оцененных атомных и ядерных данных, предоставляет в онлайн-режиме доступ к численной информации по свойствам атомных ядер, характеристикам ядерных реакций и радиоактивных распадов, которая эффективно применяется для решения широкого класса задач прикладных и фундаментальных исследований в энергетической и неэнергетической сферах, для разработки различных практических приложений, а также в образовательном процессе.

Укажем некоторые сайты с данными и калькуляторами, которые могут быть полезны при выполнении ядерно-физических расчетов:

- Сервис компьютерных программ – Computer Program Services (CPS) https://oecd-nea.org/dbcps/ занимается обменом и сохранением знаний в области ядерной науки и технологий, уделяя особое внимание компьютерным программам в банке данных NEA. Здесь даются ссылки на следующие программы и БД, которые доступны по специальному запросу:
- ICSBEP/DICE (criticality safety) – БД для Международного справочника по контрольным экспериментам по критичности с оценкой безопасности;
- IFPE (fuel performance) – БД экспериментам с характеристиками ядерного топлива для целей разработки и проверки кода;
- IRPHE/IDAT (reactor physics) – База данных и инструмент анализа Международного справочника по физике реакторов;

- ISOE (occupational exposure) (https://www.isoe-network.net/) – Информационная система о профессиональном воздействии;
- JANIS (nuclear data visualisation) – (программное обеспечение для ядерной информации на основе Java) представляет собой программу отображения, предназначенную для облегчения визуализации и обработки ядерных данных, предлагает максимальную гибкость для сравнения различных наборов ядерных данных;
- NDAST (nuclear data sensitivity) – программное обеспечение на основе Java, предназначенное для выполнения расчетов файлов конфиденциальности ядерных данных для контрольных случаев: оценки влияния возмущений ядерных данных на результаты вычислений и/или; вычисление неопределенности в результатах вычислений из-за оцененных данных ядерной ковариации;
- SFCOMPO (spent fuel composition) – БД измеренных изотопных концентраций отработавшего ядерного топлива с историями эксплуатации и проектными данными;
- SINBAD (radiation shielding and dosimetry) – БД экспериментов по радиационной защите и дозиметрии, предназначенная для проверки и бенчмаркинга компьютерных кодов и ядерных данных, используемых для решения проблем переноса и защиты излучения.

РОСФОНД – РОССийская библиотека Файлов Оцененных Нейтронных Данных https://www.ippe.ru/reactors/reactor-constants-datacenter/rosfond-neutron-database. Это компиляция современных оценок нейтронных сечений и законов рассеяния для более чем 680 материалов (нуклидов – отдельных изотопов и элементов) на основе их тщательного сравнительного анализа и верификации в расчетах многочисленных интегральных бенчмарк-экспериментов. Доступная версия РОСФОНД-2010 в формате zip (249 Мб.) содержит оцененные нейтронные данные для всех стабильных и радиоактивных ядер и находится в открытом доступе, в том числе на сайте МАГАТЭ.

Состав библиотеки:

- 686 файлов данных для отдельных изотопов и элементов;
- 20 файлов – законы рассеяния тепловых нейтронов;
- 100 текстовых файлов с описаниями обоснований принятых оценок.

Также важны сайты с разнообразными физическими данными. Рассмотрим сайт Particle Data Group https://pdg.lbl.gov/, где в свободном доступе на основании лицензии CC BY-NC 4.0 размещены свежие данные Обзора физики частиц 2025 г. - S. Navas et al. (Particle Data Group), Phys. Rev. D 110, 030001 (2024) and 2025 update.

Обзор Review of Particle Physics обновляется ежегодно и публикуется каждые два года в журнале. Он включает в себя компиляцию и оценку измерений свойств известных элементарных частиц и подводит итоги поисков новых гипотетических частиц. За более чем 60 лет с тех пор, как PDG начала свою деятельность с публикации первых бумажных карточек (WH Barkas and AH

Rosenfeld, UCRL-8030), Review of Particle Physics стал одной из самых цитируемых публикаций по физике элементарных частиц.

Он-лайн калькулятор Universal Decay Calculator https://www.wise-uranium.org/rcc.html позволяет рассчитать радиоактивный распад 838 нуклидов, включая врастание и распад их дочерних продуктов.

Также следует отметить страницу http://xn--80ahadac6cday6jf5b.xn--p1ai/ Ядерные данные.РФ, которая содержит справочник «Ядерные данные для расчета реакторов и защиты».

Цели международной деятельности мировых научных центров в области ядерно-физических данных кратко можно сформулировать следующим образом:

- константное обеспечение научно-технических разработок;
- компиляция экспериментальных данных и передача в международные библиотеки (EXFOR и др.);
- разработка специализированных баз данных;
- выполнение работ по оценке сечений ядерных реакций;
- совершенствование существующего программного обеспечения по обработке ядерных данных;
- участие в координации работ национальных центров ядерных данных.

Отметим наличие других важных и интересных сервисов, которые должны периодически отслеживаться и при появлении на которых новой информации на портале должны размещаться соответствующие свежие ссылки. Это, например, сайт https://x-server.gmca.aps.anl.gov/ под эгидой Аргонской национальной лаборатории США (Argonne National Laboratory), который предоставляет бесплатный онлайн-доступ к некоторым программам анализа рентгеновских данных, разработанным для исследований рентгеновской дифракции и рассеяния на материалах.

Из сделанного обзора видно, что б***о***льшая часть доступной в мире информации по ядерно-физическим данным и основным ядерным константам (фактически огромная Вселенная таких данных) размещена на английском языке. На русском языке имеется только информация российских и белорусских сайтов.

С другой стороны понятно, что наличие описаний и информации на русском языке важно с точки зрения лучшего ее понимания и читабельности, особенно для студентов профильных специальностей в рамках образовательного процесса белорусских вузов.

Помимо этого, огромное число интернет-ресурсов с общедоступными библиотеками и банками ядерно-физических данных изобилует многочисленными, часто дублирующимися и порой недействительными ссылками. Это требует отдельной работы по их систематизации и выделению единого списка актуальных ссылок.

С целью организации своеобразного навигатора по Вселенной ядерно-физических данных создан раздел «Данные и анализ» (https://belnet.by/elib/?i=124) – специальная веб-страница ядерно-физических данных и основных ядерных констант в рамках научно-образовательного пор-

тала ядерных знаний BelNET. В настоящий момент число размещенных здесь материалов составляет 250 записей. Раздел «Данные и анализ» имеет следующую структуру:

Данные и анализ

- Типы ядерно-физических данных (30 записей)
- Основные базы ядерно-физических данных и специализированные библиотеки (13 записей)
- Справочные физические данные (4 записи)
- Компьютерные коды (36 записей)
- Ведущие научные центры в области ядерно-физических данных (3 записи)
- Устройства детектирования и описание экспериментов (20 записей)
- Радиационная защита и топливный цикл (102 записи)
- Новости физических данных (25 записей)
- Научные публикации (21 запись)

Наличие надежных атомных и ядерных данных является ключевым фактором успеха для целого ряда применений, включая проектирование и эксплуатацию атомных электростанций, обращение с ядерными отходами, производство и использование радиоизотопов, медицинскую дозиметрию и диагностику, разработку и применение лазеров и ускорителей, исследования термоядерной энергии, мониторинг окружающей среды, плазменную обработку, контроль материалов и ядерные гарантии.

УДК 004.6; 005; 621.039

С. Н. Сытова, А. Р. Барткевич, А. П. Дунец, А. Н. Коваленко,
Е. И. Коваленко, З. И. Трафимчик, А. Л. Холмецкий, С. В. Черепица
г. Минск, Республика Беларусь, Институт ядерных проблем Белгосуниверситета

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОГО ПОРТАЛА ЯДЕРНЫХ ЗНАНИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Данная статья посвящена краткому обзору принципов менеджмента ядерных знаний, включая ключевые критерии отнесения информации к ядерным знаниям, для их использования при создании Национального портала ядерных знаний Республики Беларусь.

Работы выполняются в рамках мероприятия 13 «Выполнение работ по оказанию научно-технической поддержки Министерству по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности» подпрограммы 3 «Научное обеспечение эффективной и безопасной работы Белорусской атомной электростанции и перспективных направлений развития атомной энергетики» Государственной программы «Наукоемкие технологии и техника» на 2021–2025 годы.

В рамках этих работ формируется система управления ядерными знаниями (СУЯЗ) Республики Беларусь, основным инструментом которой должен стать Национальный портал ядерных знаний.

Крупные современные онлайн-платформы функционируют благодаря своим информационным системам, которые, по сути, являются системами управления контентом и собственно самим контентом портала. Контент портала – это вся информация (тексты, изображения, видео, сервисы), размещённая здесь. Цель контента – привлечь и удержать пользователя, предоставив ему удобный доступ к интересующим его данным и информации в одном месте – на Национальном портале ядерных знаний Республики Беларусь.

Поскольку публикация посвящена Национальному порталу и его контенту, рассмотрим основные принципы формирования такого контента.

1. Что такое ядерные знания и система управления ими

Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) определяет категорию ядерных знаний, исходя из ряда принципов и подходов, направленных на обеспечение эффективного сохранения, систематизации и распространения специальных сведений, касающихся ядерной науки и техники. Критерии, применяемые МАГАТЭ для классификации информации как относящейся к ядерным знаниям, связаны с характером самой информации, её значимостью для поддержания ядерной безопасности и стабильности, а также способностью обеспечить безопасность и надежность функционирования ядерных объектов.

Устойчивое развитие ядерно-энергетической программы любого государства, включающей эффективное безопасное использование ядерных установок и ядерных технологий, напрямую зависит от наличия и сохранения знаний и опыта в данной области, а также обеспечения необходимого уровня безопасности в ядерной сфере. Пробелы в знаниях персонала и их потеря могут повлиять на способность организаций, эксплуатирующих или использующих ядерные технологии, принимать необходимые адекватные правильные решения.

ООН уделяет огромное внимание менеджменту знаний, организации и развитию систем менеджмента знаний во всех областях знаний в мире, подчеркивая большие усилия крупных международных организаций в области менеджмента знаний, в том числе МАГАТЭ – в области менеджмента ядерных знаний. С развитием информационно-коммуникационных технологий создание и развитие системы управления ядерными знаниями (СУЯЗ) становится объективной реальностью и насущной необходимостью, обеспечивая полноту, достоверность и доступность данных и знаний

Ядерные знания характеризуются уникальным сочетанием факторов, которые делают управление ими особенно сложным, а именно: фрагментация, безопасность, сложность, необходимость участия правительства, высокие затраты, длительные сроки, международное сотрудничество и образование. Фундаментальные научные ядерные знания накапливаются уже около ста лет, но за последние шестьдесят лет они получили дальнейшее развитие благодаря практическому опыту их применения. Ядерные знания отличаются от знаний, разработанных и используемых в других промышленных областях. Незнание основ и принципов, конкретных фактов из области ядерных знаний зачастую вызывают большую озабоченность общественности.

Ядерные знания сложны и включают множество различных областей знаний, таких как физическое, химическое, радиологическое и биологическое взаимодействие материалов, а также социологические, экономические, политические аспекты и аспекты безопасности, которые следует рассматривать как единое целое. Как следствие, затраты на их разработку высоки, часто требуя значительной государственной поддержки. Ядерные знания должны развиваться и сохраняться в течение длительного периода времени для обслуживания действующих ядерных установок и в течение еще более длительного периода времени, чтобы обеспечить глобальный устойчивый рост.

Управление ядерными знаниями – это комплексный систематический подход, применяемый на всех этапах цикла ядерных знаний, включая их идентификацию, совместное использование, защиту, распространение, передачу и сохранение. Эта междисциплинарная задача требует разработанной методологии в сочетании с опытными специалистами в ядерной области. Его эффективное использование – важный элемент управления в ядерной отрасли, позволяющее преодолеть потерю знаний и решить проблему старения рабочей силы, обеспечить стабильно растущий объем ядерных знаний и наличие квалифицированных людских ресурсов.

Эти положения находятся в полном соответствии с подходами МАГАТЭ к менеджменту ядерных знаний [1–6].

Отметим, что в литературе не существует единого «классического» определения термина «ядерные знания». Даже на сайте МАГАТЭ, в его материалах, многочисленных глоссариях не дается в явном виде определение термина «ядерные знания», только термина «менеджмент / управление ядерными знаниями».

В [7] дано следующее определение «Ядерные знания – это задокументированные и научно доказанные знания в области ядерной энергетики, широкий слой фундаментальных и прикладных знаний, необходимых для целостного понимания этой области науки».

Если учесть, что ядерные знания включают широкий спектр научных и практических знаний в следующих областях: физика элементарных частиц, ядерная физика, атомная и молекулярная физика, физика конденсированных сред, ядерные материалы, инженерные и измерительные приборы, атомная энергетика, науки о жизни, термоядерные исследования и технологии, химия, ядерный топливный цикл и радиоактивные отходы, неядерная энергетика, науки о Земле, экономика, право, социум, изотопы, меры безопасности и др., то можно уточнить определение [7].

Ядерные знания – термин для обозначения ключевых и фундаментальных знаний в области ядерной физики и ядерной химии, ядерной энергетики, ядерной и радиационной безопасности, а также других прикладных областях, которые необходимы для глубокого понимания предмета и успешного решения задач в этой сфере.

Если внимательно изучить (см. рис. 1) контент портала МАГАТЭ и Международной системы ядерной информации ИНИС (https://www.iaea.org/newscenter/news/from-paper-to-digital-iaeas-inis-marks-50-years-of-nuclear-information-sharing (IAEA International Nuclear Information System – INIS), то становится очевидной справедливость вывода об отнесении к ядерным знаниям практически любых знаний.

2. Практические критерии отнесения материалов контента к ядерным знаниям

Единый подход к формированию перечня ключевых ядерных знаний на информационном ресурсе предполагает комплексный взгляд на структуру и содержание тематического наполнения портала ядерных знаний. Важно учитывать интересы пользователей различного профиля — от начинающих студентов до опытных профессионалов и отраслевых регуляторов. Поэтому в разрезе тематики Национального портала ядерных знаний Республики Беларусь можно предложить следующие «практические» критерии отнесения материалов контента к ядерным знаниям в соответствии с подходами МАГАТЭ.

Такие критерии помогают эффективно структурировать и классифицировать информацию таким образом, чтобы поддерживать высокий уровень компетентности и осведомленности специалистов, обеспечивая соблюдение требований ядерной безопасности и предотвращение незаконных действий.



Рисунок 1. Сфера деятельности ИНИС охватывает все области деятельности МАГАТЭ https://inis.mephi.ru/

Первый критерий – научная значимость. Информация должна иметь важное значение для понимания фундаментальных свойств материи, строения атома, физических процессов, происходящих внутри ядерных реакторов, механизмов деления и синтеза ядер, других областях науки и техники в соответствии с рис. 1.

Далее следует практическая применимость. Это могут быть актуальные данные, технологии и методы, используемые непосредственно в проектировании, строительстве, эксплуатации и обслуживании ядерных электростанций, исследовательских реакторов, радиационных источников и защитных систем и т.д.

Третий критерий – безопасность и защита, который включает информацию, связанную с системами и процедурами, обеспечивающими защиту от аварий, чрезвычайных ситуаций, незаконного доступа и террористических актов.

В части регулирования и надзора следует рассматривать нормативные правовые акты, руководящие документы и регламенты, определяющие порядок лицензирования, сертификации, оценки соответствия требованиям безопасности и стандартов качества.

Для обеспечения передачи и обмена информацией необходимо давать информацию об обмене экспертными и научными результатами между странами-членами МАГАТЭ, о международных конференциях и мероприятиях по повышению квалификации специалистов и др.

Шестой критерий – контроль и учет. Это данные о принципах и порядке учета и контроля, безопасной работы с ядерными материалами, оборудованием и компонентами, источниками ионизирующего излучения, генерирующем оборудовании, используемых в практической деятельности.

В части поддержки устойчивых решений упор делается на информацию об исследованиях и разработках экологически чистых технологий переработки отходов, утилизации отработанного топлива и уменьшения влияния на окружающую среду.

Восьмой критерий – опыт эксплуатации – содержит информационные материалы по опыту эксплуатации конкретных типов реакторных установок, описание произошедших аварий, ошибок и технических проблем, выявленные дефекты конструкций и способы их устранения.

В кадровой подготовке должны присутствовать учебные программы, методические пособия, руководства и учебные курсы, предназначенные для подготовки и переподготовки профессиональных специалистов для предприятий ядерной сферы.

При рассмотрении социально-экономического влияния упор делается на аналитику, прогнозы и экономические модели, отражающие воздействие развития ядерной энергетики на экономику страны, экологию региона, социальную сферу и национальную безопасность.

Последний критерий – экологические аспекты – охватывает материалы, освещающие проблемы окружающей среды, такие как мониторинг загрязнения территорий, утилизацию и переработку отходов, разработку эффективных способов очистки воды и почвы от радионуклидов.

В целом, поскольку ядерные знания относятся к области науки и техники, связанной с использованием ядерной энергии и радиоактивности, то они универсальны и основаны на общих физических законах, применимых во всем мире.

Основное назначение и цели Национального портала ядерных знаний – содействие распространению ядерных знаний с учетом белорусской специфики, истории и опыта, обмен научными и научно-техническими работами, повышение результативности и эффективности в области научных исследований и ядерных технологий, повышение качества коммуникации и транспарентность, повышение уровня и интенсивности информационного обмена в области ядерных знаний, обеспечение методической и технической поддержки организаций, использующих в своей деятельности ядерные технологии.

Сформулируем еще одну амбициозную цель Национального портала ядерных знаний Республики Беларусь – стать одним из глобальных информационных хабов и площадкой для международного сотрудничества, поскольку современные вызовы требуют совместных усилий. Открытость, диалог и актуальность информации делают такой ресурс ценным для всех. Это легко объясняется тем, что современные глобальные проблемы – экономические, политические и экологические – взаимосвязаны и требуют международного решения. Вопросы безопасности, технологий, климата и энергетики затрагивают всех, и только совместная работа поможет их преодолеть.

Ограничение Национального портала только внутренними вопросами подрывает доверие зарубежных партнеров. Открытый доступ к мировой информации и опыту покажет нашу готовность делиться знаниями и учиться. Чем больше открытости, тем выше авторитет портала.

Участие в международных проектах и контрактах повышает конкурентоспособность и способствует экономическому росту. Ресурсы, освещающие мировые тенденции и продвигающие отечественную продукцию, привлекают инвестиции и стимулируют экспорт.

Наука и образование процветают благодаря международному обмену. Сотрудничество с зарубежными коллегами, совместные проекты и стажировки необходимы для поддержания высоких стандартов и подготовки специалистов. Регулярное информирование о международных событиях позволяет пользователям получать актуальные знания и оставаться в курсе событий.

Чтобы Национальный портал ядерных знаний полноценно отражал международную повестку, необходимо обеспечить его англоязычной версией важных документов и новостей, создать специализированные разделы для освещения международных событий, активно сотрудничать с зарубежными платформами для совместной публикации материалов и проведения исследований, а также проводить совместные мероприятия с привлечением международных экспертов.

Литература

1. Применение системы управления для установок и деятельности / МАГАТЭ GS-G-3.1. – Вена: МАГАТЭ, 2009. – 134 с.

2. Comparative Analysis of Methods and Tools for Nuclear Knowledge Preservation / IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T-6.7. – Vienna: IAEA, 2011. – 115 p.

3. Лидерство и менеджмент для обеспечения безопасности / МАГАТЭ. Общие требования безопасности. Серия норм МАГАТЭ по безопасности, № GSR Part 2. – Вена: МАГАТЭ, 2017. – 52 с.

4. Application of Plant Information Models to Manage Design Knowledge through the Nuclear Power Plant Life Cycle / IAEA TECDOC No. 1919. – Vienna: IAEA, 2020. – 100 p.

5. Guide to Knowledge Management Strategies and Approaches in Nuclear Energy Organizations and Facilities / IAEA Nuclear Energy Series No. NG-G-6.1. – Vienna: IAEA, 2022. – 82 p.

6. Strengthening the Agency's activities related to nuclear science, technology and applications Resolution adopted on 29 September 2023 during the 11th plenary meeting / IAEA GC(67)/RES/10/ – Vienna: IAEA, 2023. – 43 p.

7. Сытова, С.Н. Система управления ядерными знаниями в Республике Беларусь / С.Н. Сытова // Журнал Белорусского государственного университета. Физика. – 2022. – № 2. – С. 87–98.

УДК 004.6; 005; 621.039

С. Н. Сытова, А. Р. Барткевич, А. П. Дунец, А. Н. Коваленко,
Е. И. Коваленко, З. И. Трафимчик, А. Л. Холмецкий, С. В. Черепица
г. Минск, Республика Беларусь, Институт ядерных проблем Белгосуниверситета

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЯДЕРНЫМИ ЗНАНИЯМИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: ПОДХОДЫ К ЕЕ ФОРМИРОВАНИЮ

Устойчивое развитие ядерно-энергетической программы любого государства, включающей эффективное безопасное использование ядерных установок и ядерных технологий, напрямую зависит от наличия и сохранения знаний и опыта в данной области, а также обеспечения необходимого уровня безопасности в ядерной сфере. Пробелы в знаниях персонала и их потеря могут повлиять на способность организаций, эксплуатирующих или использующих ядерные технологии, принимать необходимые адекватные правильные решения.

Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) в начале 2000-х годов сформулировало (https://www.iaea.org/ru/temy/upravlenie-yadernymi-znaniyami) понятия «ядерные знания» (ЯЗ) и «управление ядерными знаниями» (или менеджмент ядерных знаний), направленные на преодоление указанных выше проблем, и по сей день уделяет огромное внимание проблеме его совершенствования и широкого использования.

Управление ядерными знаниями (УЯЗ) – это комплексный систематический подход, применяемый на всех этапах цикла ядерных знаний, включая их идентификацию, совместное использование, защиту, распространение, передачу и сохранение. Эта междисциплинарная задача требует разработанной методологии в сочетании с опытными специалистами в ядерной области. Система управления ядерными знаниями (СУЯЗ) – важный элемент управления в ядерной отрасли, позволяющее преодолеть потерю знаний и решить проблему старения рабочей силы, обеспечить стабильно растущий объем ядерных знаний и наличие квалифицированных человеческих ресурсов.

УЯЗ эффективно осуществляется в том числе через разработку и активное развитие порталов ядерных знаний. Это веб-суперсайты, которые способствуют эффективному менеджменту в ядерной отрасли и широкому обмену ядерными знаниями. Такие порталы становятся средствами интеграции, средством доступа к другим (внутренним и внешним) информационным ресурсам.

Актуальность работ по созданию СУЯЗ в Республике Беларусь определяется необходимостью консолидации усилий различных министерств и ведомств Республики Беларусь, в том числе – Министерства энергетики, Министерства по чрезвычайным ситуациям, Министерства образования, Национальной академии наук Беларуси по получению и эффективному использованию ядерных знаний, созданию новых ядерных знаний с учетом специфики Республики Беларусь, сбору, передаче, поддержанию, а также обмену ими и минимизации негативного влияния риска потери знаний и опыта в области ядерных знаний – то есть по созданию в Республике Беларусь эффективно работающей системы

управления ядерными знаниями. Для этого необходима целенаправленная политика по управлению информационными ресурсами и знаниями с целью сохранения и развития их на уровне, обеспечивающем, в том числе, безопасное, устойчивое и эффективное развитие ядерной энергетики и промышленности страны. Необходимо повышать осведомленность общественности относительно преимуществ использования ядерных технологий.

Специфика Республики Беларусь состоит в исторической миссии белорусского народа по преодолению последствий Чернобыльской аварии, причинах и уроках этой аварии, строительстве первой Белорусской АЭС, большом научном потенциале страны в области ядерных знаний, накопленном с середины прошлого века.

Создание Национального портала ядерных знаний Республики Беларусь (см. рис. 1) под эгидой Департамента по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (Госатомнадзор), организация постоянного научного сопровождения и актуализации его контента позволит сохранить наработанные ядерные знания и сделать их доступными для всех заинтересованных сторон, будет способствовать дальнейшему вовлечению Республики Беларусь в общемировое единое информационное пространство в области ядерных знаний, обеспечивать интеллектуальные и технологические преимущества.

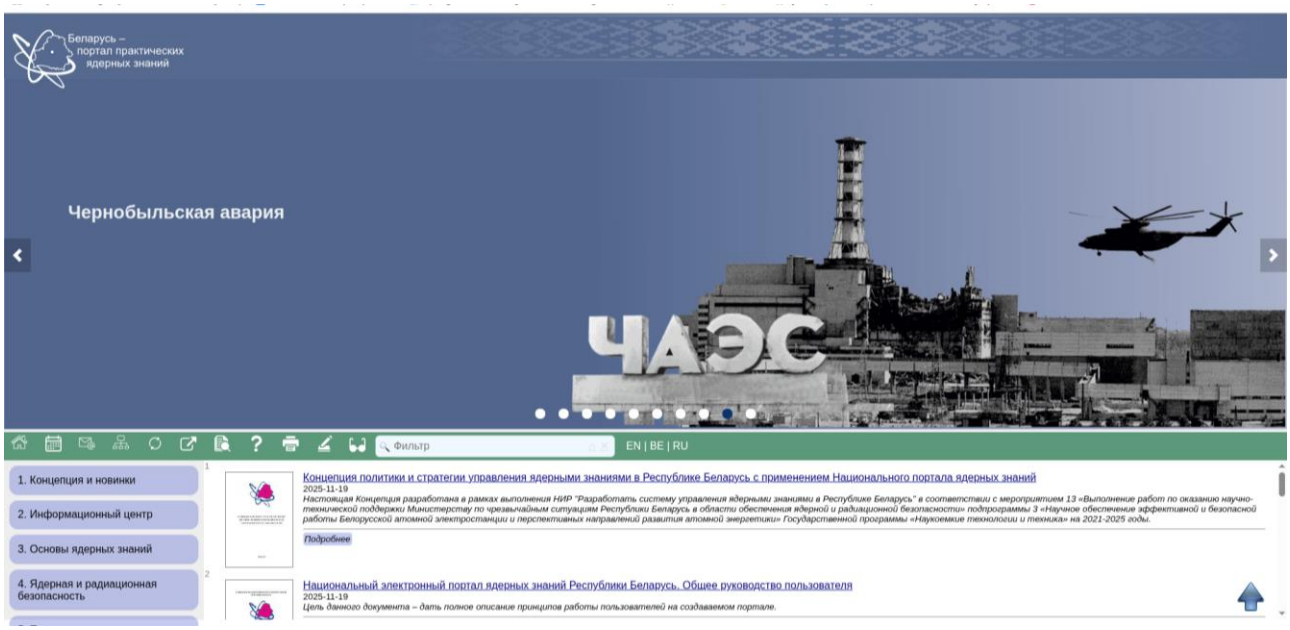


Рисунок 1. Главная страница Национального портала по тестовому адресу https://belatombiblio.inpnet.net/

Госатомнадзор выполняет функции регулирующего органа Республики Беларусь в области ядерной и радиационной безопасности. Поэтому его руководство Национальным порталом ядерных знаний поможет сконцентрировать все имеющиеся ресурсы – информационные, научные, людские для создания

качественного оригинального контента портала, учитывающего специфику Республики Беларусь в мировом пространстве ядерных знаний.

Целевая аудитория портала составляет десятки тысяч человек в Республике Беларусь, включая специалистов, экспертов, работников госучреждений, предприятий и организаций, использующих в своей деятельности ядерные и радиоактивные материалы, источники ионизирующего излучения, оборудование, генерирующее ионизирующее излучение, а также ученых, преподавателей высших учебных заведений, студентов вузов из Беларуси и стран ближнего зарубежья.

Что представляет собой система управления ядерными знаниями в Республике Беларусь?

- **Руководство** – Департамент по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (Госатомнадзор)
- **Инфраструктура** – Национальный электронный портал ядерных знаний
- **Пользователи и участники СУЯЗ** – Госатомнадзор, министерства и ведомства Республики Беларусь, предприятия и организации Республики Беларусь, осуществляющие свою деятельность с использованием источников ионизирующего излучения и ядерных материалов, специалисты и эксперты в области ядерных знаний, организации технической поддержки Госатомнадзора, научные и технические работники, студенты вузов, широкая аудитория заинтересованных пользователей.
- **Основное назначение создаваемого портала** – содействие распространению ядерных знаний с учетом белорусской специфики, истории и опыта, обмен научными и научно-техническими работами, повышение результативности и эффективности в области научных исследований и ядерных технологий, повышение качества коммуникации и транспарентность, повышение уровня и интенсивности информационного обмена в области ядерных знаний, обеспечение методической и технической поддержки организаций, использующих в своей деятельности ядерные технологии.
- **Результат** – превращение менеджмента ядерных знаний в Беларуси в установившуюся практику.

Сейчас идет этап формирования в Республике Беларусь основ платформы СУЯЗ со значительной информационно-инновационной составляющей.

Основные этапы создания СУЯЗ:

1. Организационно-управленческие мероприятия, создание координационной группы, разработка нормативных, методических и распорядительных документов, регламентирующих деятельность по управлению знаниями, формирование политики в области управления ядерными знаниями.

2. Создание необходимой инфраструктуры (технические средства, разработка программного обеспечения для информационной системы портала), организация международного сотрудничества для обмена опытом (семинары, совещания, совместные проекты); подготовка специалистов для обеспечения функционирования системы управления ядерными знаниями (администрирование информационной системы и разработка контента).

3. Инвентаризация, систематизация и описание критических знаний; разработка процедур и организация обмена знаниями, создание новых знаний; размещение всех полученных знаний в БД; мониторинг деятельности системы управления ядерными знаниями.

Интеллектуальная культура Беларуси сильно приросла за счет накопления уникальных знаний в ходе преодоления долговременных последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС, которые по праву могут считаться интеллектуальным капиталом страны. Не менее ценен и опыт Беларуси, как «страны-новичка» в создании инфраструктуры ядерной и радиационной безопасности в связи с реализацией первой ядерно-энергической программы – строительство и ввод в эксплуатацию первой Белорусской АЭС.

Обе составляющие интеллектуального капитала страны служат основой ЯЗ Беларуси, представляют собой, как интеграцию мировых ЯЗ, так и созданные ЯЗ учеными и специалистами страны, ЯЗ, которые достойны сбора, обработки, хранения и передачи будущим поколениям.

При формировании СУЯЗ в Республике Беларусь видится резонным опираться на формирование научно-практического кластера, который является формой внутри- и междисциплинарной интеграции научной деятельности, объединением коллективов ученых-теоретиков, методологов и практиков. В последние годы кластеризация является магистральным направлением развития белорусской науки и практики. Организации в кластере подбираются так, чтобы дополнять друг друга, не конкурируя, поскольку работают в смежных, но относительно самостоятельных пространствах. При этом каждая из них извлекает из этого имиджевые и экономические преимущества в рамках внешнего конкурентного рынка. Важно, что кластер как таковой не может быть ни исключительно «научным», ни чисто «производственным», ни чисто «образовательным».

Такой кластер в части накопления и развития ядерных знаний в Республике Беларусь создан в 2016 году – это система организаций научно-технической поддержки (ОТП) регулирующей деятельности в области ядерной и радиационной безопасности. Это конгломерат из 18 научно-практических и образовательных учреждений, объединяющий национальный ресурс страны для целей безопасности, обладающий уникальным опытом в области ядерной и радиационной безопасности, ядерных знаний, и который получил звучание на высоком международном уровне.

Система ОТП регулирующей деятельности в области ядерной и радиационной безопасности представляет собой мощный конгломерат, призванный обеспечить под эгидой регулирующего органа Республики Беларусь устойчивость и совершенствование СУЯЗ в интересах безопасности нынешних и будущих поколений.

Рассмотрим кратко результаты, достигнутые с начала реализации проекта:

1. Проведен обзор и систематизация основных понятий в области управления знаниями с учетом рекомендаций ООН в данной области, также – менеджмента ядерных знаний с учетом рекомендаций МАГАТЭ. Дан анализ

состояния управления ядерными знаниями в мире, в странах ЕАЭС, в Республике Беларусь.

2. Разработана Концепция интеллектуальной поддержки информационно-аналитической деятельности Госатомнадзора в области управления ядерными знаниями на принципах менеджмента ядерных знаний МАГАТЭ, современных информационных технологий.
3. Разработана Концепция политики и стратегии управления ядерными знаниями в Республике Беларусь с применением портала ядерных знаний, которая основывается на реалиях текущего этапа развития ядерно-энергетической программы Республики Беларусь и тенденций, обозначенных МАГАТЭ.
4. Разработана таксономия портала, которая фактически стала первым и уникальным продуктом в менеджменте ядерных знаний на национальном белорусском уровне. Она представляет баланс между международными, интернациональными, наднациональными знаниями и информацией, а также специфическими наработками и белорусскими опытом в области атомной энергии, ядерной и радиационной безопасностью (рис. 2).
5. Разработано Положение о Национальном портале ядерных знаний Республики Беларусь, а также приложения к нему:
   - Приложение 1 «Политика информационной безопасности на Национальном портале ядерных знаний Республики Беларусь»;
   - Приложение 2 «Политика конфиденциальности, Использования cookie и персональных данных на Национальном портале ядерных знаний Республики Беларусь»;
   - Приложение 3 «Политика в области соблюдения авторских прав Национальном портале ядерных знаний Республики Беларусь»;
   - Приложение 4 «Редакционная политика Национального портала ядерных знаний Республики Беларусь»;
   - Приложение 5 «Новостная политика Национального портала ядерных знаний Республики Беларусь»;
   - Приложение 6 «Основные принципы написания и редактирования контента Национального портала ядерных знаний Республики Беларусь».
6. Разработана оригинальная система управления контентом портала на основе свободного программного обеспечения. Национальный портал размещен на облачном сервере с повышенными требованиями безопасности.
7. На портале внедрены оригинальные алгоритмы автоматической систематизации – размещения записей контента в таксономии портала на основе семантических технологий и формирования списка ключевых. Разработан и реализован инструмента полнотекстового поиска не только по офисным документам, файлам pdf, но также и по сканированным документам. Внедрение семантических технологий ставит Национальный портал в один ряд с ведущими мировыми порталами ядерных знаний – порталом МАГАТЭ, «Атомная энергия 2.0».

8. Разработана методология менеджмента ядерных знаний с уточнением существующих определений и понятий, которая нашла отражение в специализированных курсах по менеджменту ядерных знаний, вошедших в оригинальные материалы в рамках проекта.
9. Разработаны и размещены на портале 11 оригинальных тематических глоссариев для обеспечения работы семантических алгоритмов в системе.
10. Разработан оригинальный календарь событий на каждый из 366 дней года на русском, английском и белорусском языках, с учетом белорусской специфики, общим объемом 680 тысяч символов (рис.3).
11. Проводится инвентаризация ядерных знаний в ОТП и готовятся материалы для размещения на портале.

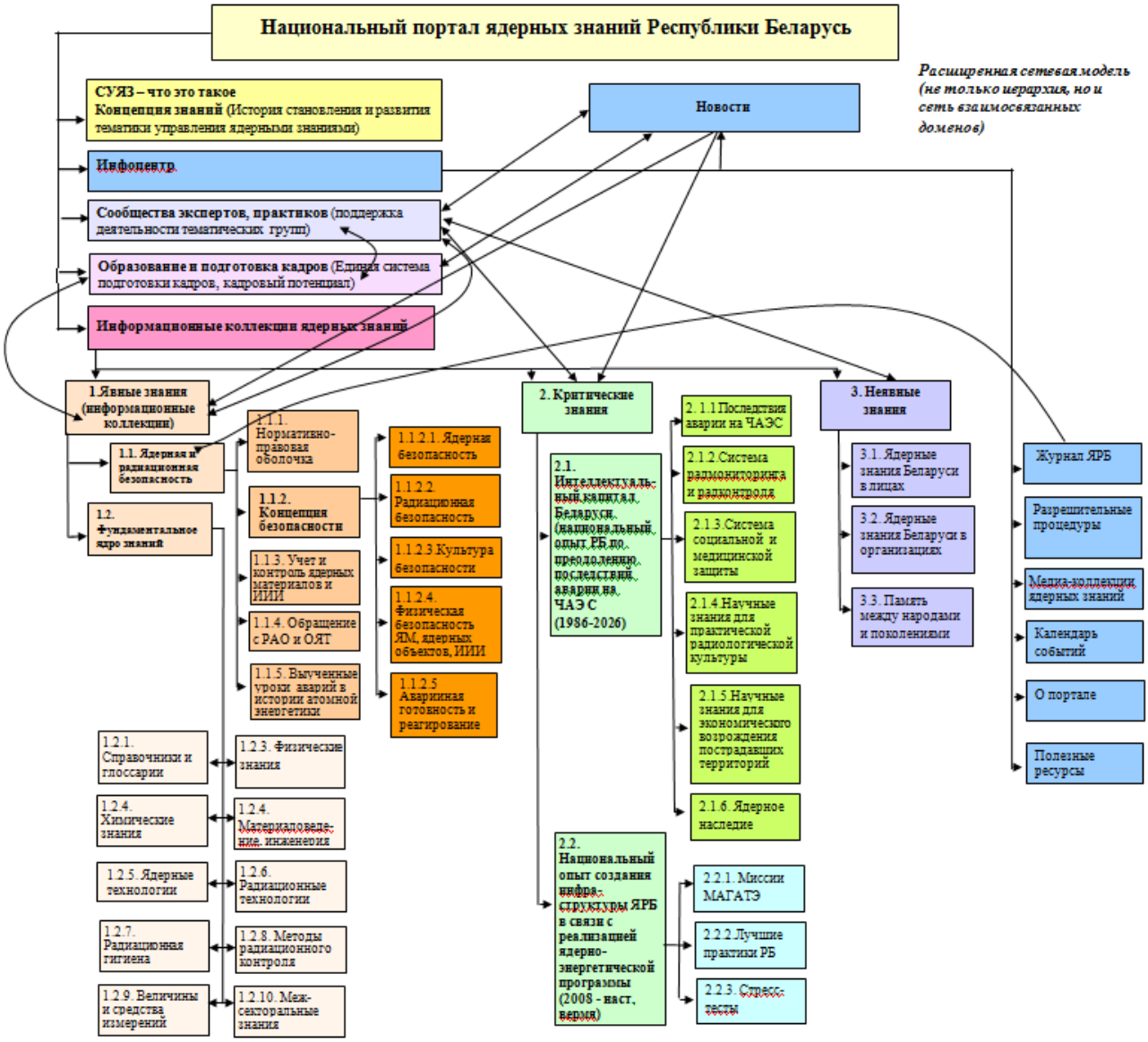


Рисунок 2. Таксономия (иерархическая структура) Национального портала ядерных знаний

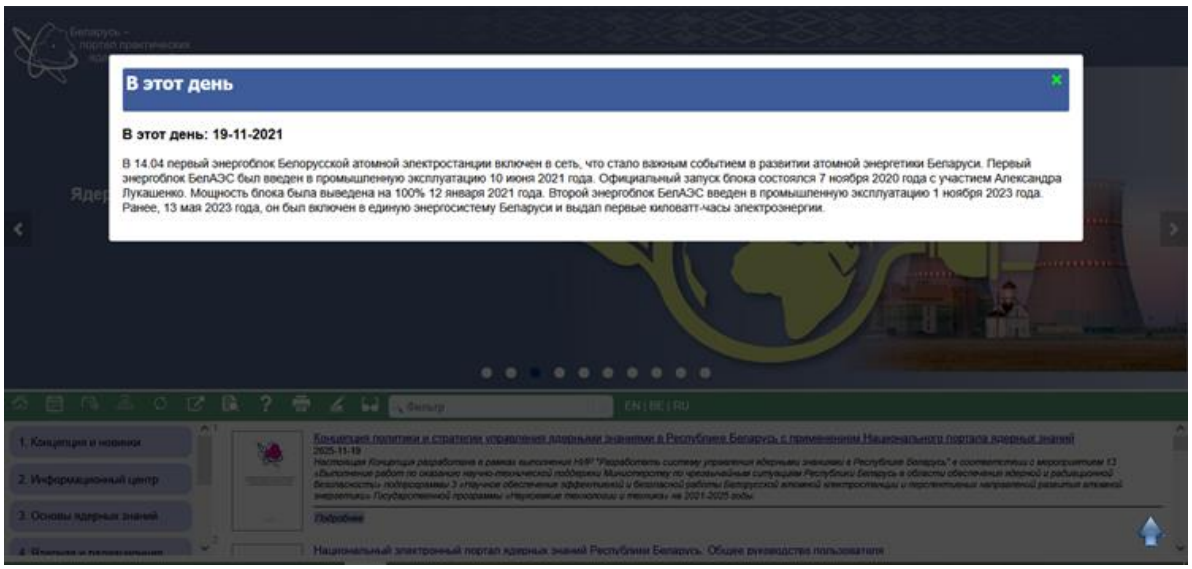


Рисунок 3. Календарь событий 19 ноября 2025 г.

Заключение

Новая современная темпоральность – невероятно быстрая смена событий современной эпохи – требует динамичных действий на направлении становления и совершенствования СУЯЗ в Республике Беларусь.

Работы выполняются в рамках мероприятия 13 «Выполнение работ по оказанию научно-технической поддержки Министерству по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности» подпрограммы 3 «Научное обеспечение эффективной и безопасной работы Белорусской атомной электростанции и перспективных направлений развития атомной энергетики» Государственной программы «Наукоемкие технологии и техника» на 2021–2025 годы.

УДК 004.6; 005; 621.039

З. И. Трафимчик, А. Р. Барткевич, А. П. Дунец, А. Н. Коваленко, Е. И. Коваленко, С. Н. Сытова, А. Л. Холмецкий, С. В. Черепица

г. Минск, Республика Беларусь, Институт ядерных проблем Белгосуниверситета

О ПОДХОДАХ К ФОРМИРОВАНИЮ УСТОЙЧИВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЯДЕРНЫМИ ЗНАНИЯМИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Введение

Республика Беларусь, начав в 2008 году реализацию своей первой ядерной энергетической программы, в ноябре 2023 году полностью ввела в промышленную эксплуатацию Белорусскую АЭС с двумя энергоблоками ВВЭР-1200 и создала соответствующую инфраструктуру ядерной и радиационной безопасности. Проектом Белорусской АЭС предусматривается 60-летний период ее работы и далее – вывод из эксплуатации. Следующий важный шаг в развитии инфраструктуры ядерной и радиационной безопасности – выбор площадки и строительство пункта захоронения отходов. Он обуславливает необходимость повышения квалификации, подготовки кадров и развития компетенций в области обращения с РАО. Актуальная повестка содержит также решение руководства Республики Беларусь о строительстве третьего блока Белорусской АЭС и продолжения параллельной проработки строительство второй АЭС.

В этой связи для Беларуси актуальным долговременным вызовом является устойчивое обеспечение ядерной отрасли высококвалифицированными кадрами с эффективной системой сбора, сохранения, использования и передачи ядерных знаний (ЯЗ) и управления ЯЗ.

Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) оказывает системную поддержку государствам-членам в области менеджмента ядерных знаний с целью предупреждения утраты критических знаний и реализации значимых инициатив по их сохранению.

Признавая знания ключевой составляющей успеха любой высокотехнологичной отрасли, включая ядерную, МАГАТЭ признает и риск их утраты или невозможности эффективного использования полученных уроков. Данный тезис о риске утраты критических знаний имеет высокую актуальность и для Республики Беларусь.

Знания – необходимый ресурс для обеспечения ядерной и радиационной безопасности

Безопасное использование ядерных установок и технологий зависит от постоянного наличия и поддержания соответствующих знаний и опыта, включая вопросы безопасности, а также отсутствие пробелов в знаниях либо их потери. Для создания и управления ЯЗ, компетенциями, информацией и записями, рабочими процессами, интерпретацией данных, а также методами анализа и проверки необходимы современные методы управления знаниями, основанные на передовых информационных технологиях. Для этого требуется стабильно

растущая база ЯЗ и подготовленные высококвалифицированные человеческие ресурсы.

Согласно подходам МАГАТЭ к структуре ЯЗ, которая нашла свое полное отражение в материалах Международной системы ядерной информации ИНИС [1], ЯЗ включают широкий спектр научных и практических знаний в следующих областях: физика элементарных частиц, ядерная физика, атомная и молекулярная физика, физика конденсированных сред, ядерные материалы, инженерные и измерительные приборы, атомная энергетика и безопасность, науки о жизни, термоядерные исследования и технологии, химия, ядерный топливный цикл и радиоактивные отходы, неядерная энергетика, науки об окружающей среде и Земле, экономика, право, социум, изотопы, меры безопасности.

Согласно концепции МАГАТЭ, система управления ядерными знаниями (СУЯЗ) представляет собой комплексный систематический подход, применяемый на всех этапах жизненного цикла ЯЗ, включая их идентификацию, совместное использование, защиту, распространение, передачу и хранение [2].

В настоящий момент МАГАТЭ делает акцент на следующих трех ключевых вопросах в области СУЯЗ:

- управление кадрами и знаниями для создания и поддержания потенциала ядерных организаций в целях развития национальных ядерных программ;
- новые подходы по управлению кадрами и знаниями для обеспечения квалифицированной рабочей силы в будущем;
- ядерное образование в интересах устойчивого развития передовых технологий.

Сохранение и передача знаний опытных специалистов последующим поколениям рассматривается сегодня как одна из главных задач атомной отрасли. Согласно последним прогнозам, вследствие выхода на пенсию значительной части работников атомной отрасли к 2050 году потребуется привлечь 5 миллионов новых специалистов. В этой связи риск потери критически важного опыта и институциональной памяти требует обратить пристальное внимание на планомерный сбор, документирование и передачу знаний, необходимых для обеспечения непрерывной и надежной работы предприятий ядерного топливного цикла в условиях высокой культуры ядерной безопасности.

В стандарте по безопасности МАГАТЭ [3] постулируется, что «знания и информация организации должны управляться как ресурс». При этом знания рассматриваются как информация, усвоенная в процессе обучения. Принимая во внимание, с какой скоростью в настоящее время устаревает информация на фоне развития информационных технологий и особенно искусственного интеллекта, в обществе возникает потребность постоянно развивать компетенции и обеспечивать не только обновление знаний, но и их сохранение, т. е. предотвращение потери знаний в результате ухода и смены поколений. Данный тезис получает свое развитие в разработке, применении и совершенствовании подходов к менеджменту ЯЗ, которые, в свою очередь позволяют совершенствовать безопасность и эффективность, применять инновации, сохранять и улучшать имеющиеся знания, создавать новые, а также извлекать уроки из накопленного

опыта путем анализа глобальных практик, связанных с управлением знаниями в области ядерной энергетики и развитием человеческих ресурсов.

К настоящему времени тематика СУЯЗ на уровне МАГАТЭ получила системное содержание и развитие [3], опираясь в ядерной отрасли на следующие восемь принципов:

1) знания организации «живут» в сотрудниках, бизнес-процессах, науке и технологиях, применяемых в организации;
2) знания, необходимые для безопасного и вызывающего доверие ядерной установкой, могут быть доступны от сторонней организации;
3) признание, что опыт промышленной эксплуатации, инновации и устаревание (моральный износ) могут потребовать непрерывных структурных улучшений ядерной установки, ее систем и компонентов, регуляторных требований и бизнес-процессов, что требует создания новых и/или улучшения существующих знаний для работы установки и управления ею;
4) важно и необходимо осознавать значимость управления ядерными знаниями в ядерной отрасли на начальном этапе реализации проекта;
5) инициативы по управлению ядерными знаниями должны соответствовать задачам организации;
6) инициативы по управлению ядерными знаниями или проектами должны быть интегрированы в бизнес-процессы организации и систему менеджмента;
7) залог успеха в управлении ядерными знаниями – это культура открытого обмена знаниями и их «приватизация» персоналом на всех уровнях;
8) применение информационных технологий является ключевым в управлении ядерными знаниями.

Эти принципы МАГАТЭ сформированы с учетом опыта и лучших практик стран-членов МАГАТЭ, в число которых входит и Республика Беларусь с 1957 года, занимая достойное место в системе обеспечения ядерной и радиационной безопасности и глобального режима безопасности. Конкретный вклад Республики Беларусь в культуру ядерной и радиационной безопасности определяется как успешными результатами многолетнего преодоления последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС, так и последовательными системными шагами по созданию инфраструктуры ядерной и радиационной безопасности, включая реализацию первой ядерно-энергетической программы с соблюдением 10 базовых принципов безопасности МАГАТЭ [4].

Предпосылки для перехода к системному управлению ядерными знаниями в Республике Беларусь

В Республике Беларусь выстроена правовая и регулирующая основа по обеспечению ядерной и радиационной безопасности, закрепленная в Единой государственной политике (далее – Госполитика) в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности [5]. В Госполитике отмечено наличие сформированной в Республике Беларусь государственной системы подготовки кадров в области обеспечения безопасности для регулирующих органов, эксплуатирующих организаций, пользователей источников ионизирующих излучений и организаций научно-технической поддержки. Впервые на законодательном

уровне закреплено направление по внедрению систем управления знаниями по вопросам безопасности в организациях, участвующих в реализации ядерно-энергетической программы (фундаментальный принцип безопасности МАГАТЭ [4]).

Госатомнадзор осуществляет системные действия по развитию СУЯЗ в Республике Беларусь. При его участии создается такая эффективно работающая система на уровне государства. Возложение данной задачи на Госатомнадзор является закономерным шагом в части реализации основных направлений Госполитики. Прежде всего, данный тезис актуален для реализации ряда основополагающих принципов Госполитики по обеспечению безопасности (пп. 5.7, 6, подпункт 2), а именно: «защита нынешнего и будущих поколений. Жизнь и здоровье нынешнего и будущего поколений, окружающую среду необходимо защищать от радиационных рисков, негативного воздействия радиоактивных отходов» посредством «эффективного развития всех необходимых элементов инфраструктуры безопасности и надлежащей координации этого развития» [5].

Госполитика (п. 10) постулирует приверженность Республики Беларусь «поддержанию эффективности созданных механизмов системы подготовки кадров, улучшению их функционирования с учетом специфики каждого из этапов жизненного цикла объектов использования атомной энергии и связанной с ними деятельности, в том числе путем развития системы управления кадрами с учетом реализации ядерно-энергической программы в текущий момент и в перспективе».

Текущий момент и перспектива требуют непрерывных усилий и действий со стороны регулирующего органа в области ядерной и радиационной безопасности по сбору, обработке, сохранению и передаче ЯЗ между поколениями специалистов ввиду длительного жизненного цикла ядерных установок (до 100 лет).

Новые вызовы ставятся и перспективой деятельностью по сооружению пункта захоронения радиоактивных отходов и безопасному управлению им, выработкой предстоящих решений высокого уровня по сооружению второй АЭС в Республике Беларусь. Остается в повестке деятельности регулирующего органа значимый блок задач по управлению ситуацией в режиме ситуации существующего облучения в связи с отдаленными последствиями катастрофы на Чернобыльской АЭС.

Законом Республики Беларусь от 10 октября 2022 г. № 208-З «О регулировании безопасности при использовании атомной энергии» (гл.3, ст.15) [6] на Госатомнадзор возложено «участие в формировании и обеспечении функционирования единой государственной системы подготовки кадров в области обеспечения безопасности при использовании атомной энергии».

Законом Республики Беларусь от 18 июня 2019 г. № 198 – З «О радиационной безопасности» (Гл.2, ст.10) [7] на Госатомнадзор возложено проведение «проверки знаний по радиационной безопасности». Названные выше полномочия конвертированы в Положение о Департаменте по ядерной и радиационной безопасности МЧС Республики Беларусь, утвержденное Указом Президента Республики Беларусь от 14 ноября 2022 г. № 405 [8], и наделяют Госатомнадзор

(п.9.8) функцией проведения «проверки (оценки) знаний по вопросам ядерной и радиационной безопасности».

Таким образом закреплена направляющая и координирующая роль Госатомнадзора в формировании СУЯЗ, так как прежде, чем что-либо оценивать и проверять, необходимо определить весь перечень явных, неявных и критических ядерных знаний для обеспечения безопасности, создав механизмы их сохранения, совершенствования и передачи через поколения.

Приоритетность тематик ЯЗ подлежит единому страновому подходу, выработка которого видится членами «республиканского института экспертов в области УЯЗ» с последующим рассмотрением и одобрением двумя ключевыми комиссиями Республики Беларусь – Национальной комиссией по безопасному использованию атомной энергии при Совете Министров Республики Беларусь [9] и Национальной Комиссией по радиационной защите при Совете Министров Республики Беларусь [10].

Составляющими такого единого странового подхода видятся ряд конкретных действий, а именно:

- формирование пула экспертов (Республиканского института экспертов по УЯЗ), согласованного регулирующим органом в области ядерной и радиационной безопасности;
- использование Национального портала ЯЗ в качестве основы для совместного использования, защиты, распространения, передачи будущим поколениям и хранения ЯЗ;
- определение критически важных знаний для страны (здесь ключевая роль – Госатомнадзор и ОТП);
- развитие молодежной политики в области СУЯЗ (внедрение учебной дисциплина «Менеджмент ядерных знаний» во всех вузах страны, уполномоченных на подготовку кадров для отрасли, в организациях, уполномоченных на проведение повышения квалификации специалистов, создание серии учебных материалов по этой учебной дисциплине);
- внедрение тематики СУЯЗ в учебную дисциплину «Английский язык» для студентов, магистрантов и аспирантов по профилю ядерной и радиационной безопасности;
- внедрение СУЯЗ во всех организациях страны, имеющих отношение к созданию и применению ЯЗ;
- инициирование создания совета по защите диссертаций по специальности 05.26.05 Ядерная и радиационная безопасность;
- инициирование разработки концепции и проекта международной технической помощи МАГАТЭ по вопросам совершенствования и развития СУЯЗ в Республике Беларусь;
- проведение на регулярной основе международной научно-практической конференции по тематике СУЯЗ;
- информирование общественности о развитии СУЯЗ в Республике Беларусь.

Приведенные выше составляющие не являются ни исчерпывающими, ни обязательными, могут уточняться и трансформироваться с учетом невероятно быстрой смены событий современной эпохи.

Работы выполняются в рамках мероприятия 13 «Выполнение работ по оказанию научно-технической поддержки Министерству по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности» подпрограммы 3 «Научное обеспечение эффективной и безопасной работы Белорусской атомной электростанции и перспективных направлений развития атомной энергетики» Государственной программы «Наукоемкие технологии и техника» на 2021–2025 годы.

Литература

1.International Nuclear Information System (INIS) [Electronic resource] / IAEA. – Mode of access: https://www.iaea.org/resources/databases/inis. – Date of access: 19.11.2025.

2. Knowledge Management for Nuclear Research and Development Organizations / IAEA TECDOC Series; No. 1675. – IAEA, Vienna, 2012. 72 p.

3.Guide to Knowledge Management Strategies and Approaches in Nuclear Energy Organizations and Facilities. IEAE Nuclear Energy Series No. NG-G-6/1. – IAEA, Vienna, 2022. – 67 p.

4. Fundamental Safety Principles. IAEA Safety Standards Series No. SF-1. – Vienna: IAEA, 2006. – 21 p.

5. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 15.08.2023 № 535 «Основные направления проведения единой государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности».

6. Закон Республики Беларусь от 10 октября 2022 г. № 208-З «О регулировании безопасности при использовании атомной энергии.

7. Закон Республики Беларусь от 18 июня 2019 г. № 198 – З «О радиационной безопасности».

8. Положение о Департаменте по ядерной и радиационной безопасности МЧС Республики Беларусь, утвержденное Указом Президента Республики Беларусь от 14 ноября 2022 г. № 405.

9. Постановление Совета Министров Республики . Беларусь от 09 октября 2023 г., № 668 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22300668. – Дата доступа: 19.11.2025.

10. Постановление Совета Министров Республики Беларусь 30 апреля 2009 г. N 561 «О Национальной комиссии Беларуси по радиационной защите при Совете Министров Республики Беларусь».

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 6

Н. В. Алексеев, А. С. Гоголев, М. Ю. Серпокрылов, А. О. Павлюк, С. Г. Цапко, Н. А. Филатов. Средства контроля процессов переработки отработанного ядерного топлива……. 7

А. Р. Барткевич, А. П. Дунец, А. Н. Коваленко, Е. И. Коваленко, С. Н. Сытова, З. И. Трафимчик, А. Л. Холмецкий, С. В. Черепица. К вопросу о формировании контента портала ядерных знаний……... 12

Т. А. Босенко. Инвестиции в знания – вклад в безопасность: современная парадигма обучения и развития кадрового потенциала Департамента по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь……. 19

А. О. Буторин, О. Н. Любочко. Проблематика классификации ядерных знаний в Республике Беларусь…… 26

Н. К. Гурнович. Управление явными ядерными знаниями: основа для эффективного регулирования в области ядерной и радиационной безопасности…….. 34

А. П. Дунец, А. Р. Барткевич, А. Н. Коваленко, Е. И. Коваленко, С. Н. Сытова, З. И. Трафимчик, А. Л. Холмецкий, С. В. Черепица. Полнотекстовый поиск на национальном портале ядерных знаний Республики Беларусь…… 40

Е. А. Евтушенко, М. В. Кащеев, В. А. Левченко, Р. Н. Савинов, А. В. Шовиков. Медленное расхолаживание энергоблока в период останова для ремонта как фактор повышения культуры безопасности на Ленинградской АЭС-2……. 48

А. А. Загороднюк, И. А. Алексейчук, М. А. Богдан, С. В. Лазаренко, А. Ю. Тараев. Основные характеристики полей фотонного излучения медицинских линейных ускорителей электронов, применяемые для проверки работоспособности дозиметрического оборудования……. 52

А. Н. Коваленко, А. Р. Барткевич, А. П. Дунец, Е. И. Коваленко, С. Н. Сытова, З. И. Трафимчик, А. Л. Холмецкий, С. В. Черепица. Специфика цифровой платформы Национального портала ядерных знаний Республики Беларусь…… 56

В. А Кожемякин. Состояние и перспективы в области разработки и производства ядерно-физической аппаратуры……... 62

Д. И. Комар, В. Д. Гузов, С. В. Лазаренко. Исследование дозиметрических характеристик поля высокоэнергетического захватного гамма-излучения, сформированного на установке поверочной нейтронного излучения УПН-АТ140…… 67

С. Г. Котов, Г. А. Аронов. Экспериментальные работы по учету объемной активности радона при сейсмических событиях на Старобинском месторождении калийных солей…….. 70

П. И. Лесяк. Формирование национальной системы ядерных знаний: интеграция опыта регулирующего органа и инструменты практической реализации……. 75

А. Н. Лопин, В. А. Николаев, П. Н. Васильев, А. М. Бирило. Новая система радиационного контроля СРК-АТ2330……. 81

M. M. Mambwe. Fundamentals of thermal-hydraulic calculations of heat exchange apparatuses of nuclear reactors…….. 83

А. О. Ничипорчук, А. Ч. Буйвидович, Д. И. Оболонский, В. В. Семерикова. Инструментальная, программно-техническая и методическая база предприятия «АТОМТЕХ» для решения задач радиационного контроля объектов окружающей среды, строительных материалов и сырья, продуктов питания и внутреннего облучения человека……. 86

А. В. Орлова. Информационный справочник показателей безопасной эксплуатации Белорусской АЭС и многофункциональной среды по управлению им……. 89

А. Н. Примакова. Корректировка энергетической зависимости чувствительности двухсекционных счетчиков Гейгера-Мюллера в дозиметрических блоках детектирования гамма- и рентгеновского излучения…….. 95

А. В. Приходько. Подготовка кадров для Белорусской АЭС…….. 97

Н. А. Прямосудова, Ю. П. Сивцевич, А. Н. Толкачев. О необходимости развития нормативно-технической базы в области портальных установок радиационного контроля на территории Республики Беларусь…….. 99

И. А. Серенкова, О. М. Дерюжкова, С. Н. Сытова. Ядерно-физические данные для системы управления ядерными знаниями Республики Беларусь……. 101

С. Н. Сытова, А. Р. Барткевич, А. П. Дунец, А. Н. Коваленко, Е. И. Коваленко, З. И. Трафимчик, А. Л. Холмецкий, С. В. Черепица. Концептуальные аспекты создания Национального портала ядерных знаний Республики Беларусь…… 106

С. Н. Сытова, А. Р. Барткевич, А. П. Дунец, А. Н. Коваленко, Е. И. Коваленко, З. И. Трафимчик, А. Л. Холмецкий, С. В. Черепица. Система управления ядерными знаниями в Республике Беларусь: подходы к ее формированию……... 112

З. И. Трафимчик, А. Р. Барткевич, А. П. Дунец, А. Н. Коваленко, Е. И. Коваленко, С. Н. Сытова, А. Л. Холмецкий, С. В. Черепица. О подходах к формированию устойчивой системы управления ядерными знаниями в Республике Беларусь……. 119

Научное издание

I Международная
научно-практическая конференция

ЯДЕРНЫЕ ЗНАНИЯ В XXI ВЕКЕ

Сборник научных трудов

26 ноября 2025 года
Минск, Беларусь

На английском и русском языках

Редактор С. Н. Сытова
Компьютерная верстка С. Н. Сытовой