

Министерство образования Республики Беларусь
Белорусский государственный университет
Научно-исследовательское учреждение «Институт ядерных проблем»
Белорусского государственного университета
(НИИ ЯП БГУ)

УДК 004.65:004.75:004.5:004.91
№ ГР 20162323
инв. № _____

УТВЕРЖДАЮ
Директор НИИ ЯП БГУ
доктор физ.-мат. наук
профессор

_____ С.А.Максименко

« ____ » _____ 20__ г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

**Создание специализированного электронного портала ядерных
знаний**

(заключительный)

подпрограммы 3 «Атомная энергетика и
ядерно-физические технологии»
государственной программы научных
исследований «Энергетические
системы, процессы и технологии» на
2016 – 2020 годы
Задание 3.15.1

Заведующий лабораторией аналитических
исследований НИИ ЯП БГУ

_____ С.Н.Сытова
(подпись, дата)

Научный руководитель задания
кандидат физико-математических наук

_____ С.В.Черепица
(подпись, дата)

Минск 2018

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР
ведущий научный сотрудник
канд. физ.-мат. наук

____.____._____
(подпись, дата)

С.В. Черепица
(разд. 1, разд. 2, разд. 3)

Исполнители НИР:

Зав. лаб. аналитических
исследований
канд. физ.-мат. наук

____.____._____
(подпись, дата)

С.Н. Сытова
(реферат, введение, заключение,
разд. 1, разд. 2, разд. 3)

Старший научный
сотрудник

____.____._____
(подпись, дата)

А.Л. Мазаник
(разд. 1, разд. 2)

Старший научный
сотрудник

____.____._____
(подпись, дата)

А.Н.Коваленко
(разд. 1, разд. 2)

Старший научный
сотрудник

____.____._____
(подпись, дата)

А.П.Дунец
(разд. 3)

Ведущий
инженер-программист

____.____._____
(подпись, дата)

Т.П.Сидорович
(разд. 3)

Зам. декана по научной
работе химического
факультета БГУ
канд. хим. наук, доцент

____.____._____
(подпись, дата)

Т.А.Савицкая
(реферат, заключение, разд. 4)

Вед. науч. сотр.,
канд. хим. наук, доцент

____.____._____
(подпись, дата)

И.М. Кимленко
(разд. 4)

Ст. мл.науч. сотр.

____.____._____
(подпись, дата)

Н.А. Мелеховец
(разд. 4)

Ст. мл.науч. сотр.

____.____._____
(подпись, дата)

М.Б. Новицкая
(разд. 4)

Нормоконтролер

____.____._____
(подпись, дата)

А.В. Шпаковская

РЕФЕРАТ

Отчет 162 с., 52 рис., 21 таблица, 82 источника

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА, БАЗА ДАННЫХ, ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТООБОРОТ, ИНТЕРФЕЙС, ЯДЕРНЫЕ ЗНАНИЯ, ЭЛЕКТРОННЫЙ ПОРТАЛ, ЯДЕРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ, АЭС, МЕНЕДЖМЕНТ ЗНАНИЙ, РАДИОХИМИЯ, ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ, ВОДОПОДГОТОВКА

Объектом исследования являются ядерные знания; необходимые и достаточные условия функционирования специализированного портала ядерных знаний.

Цель работы – создание на основе свободного программного обеспечения специализированного электронного портала ядерных знаний с учетом специфики и условий Республики Беларусь с целью ее вовлечения в общемировое единое информационное пространство в области ядерных знаний, развитие таксономии портала ядерных знаний, разработка оригинальных специализированных материалов на русском и английском языках в области ядерных знаний для наполнения базы данных портала и реализация строковых ресурсов (текстов наполнения) в базе данных на разных языках с целью переключения на разные языки в режиме реального времени.

Метод или методология: проведение анализа и разработка методик, разработка алгоритмов, разработка программных средств на основе свободного программного обеспечения.

Результаты работы (конечные): адаптация таксономии (иерархической структуры) специализированного электронного портала ядерных знаний с учетом актуальной специфики и особенностей формирующейся ядерной отрасли Республики Беларусь; разработка и формирование оригинальных материалов, в том числе для системы дистанционного обучения, для наполнения баз данных портала; обеспечение безопасности и расширение функциональности программного обеспечения электронного портала ядерных знаний на основе свободного программного обеспечения.

Область применения: образование, физика, химия, ядерная энергетика, информатика.

СОДЕРЖАНИЕ

Перечень условных обозначений	5
Введение.....	6
1. Развитие программного обеспечения портала BelNET.....	6
1.1. Решение проблемы повышения безопасности портала.....	10
1.2. Оригинальный механизм тестирования при выполнении лабораторных работ.....	12
2. Принципы работы в системе управления контентом портала BelNET.....	26
3. Контент специализированного портала ядерных знаний BelNET.....	58
3.1. Контент портала в разделах Наука и Практика.....	59
4. Контент портала в области радиохимии.....	60
4.1 Концепция, информационная модель, назначение и таксономия портала ядерных знаний BelNET.....	65
4.2. Существующие водоподготовительные установки на АЭС.....	66
4.3. Водоподготовка на Белорусской АЭС.....	69
4.4 ВХР первого контура.....	70
4.5 ВХР второго контура.....	75
4.6 Методы обессоливания воды.....	78
4.7 Применение ионной хроматографии в атомной энергетике.....	83
4.8 Цели и задачи контроля за состоянием окружающей среды в районах расположения АЭС.....	85
4.9 Организация системы радиационного контроля в окрестностях АЭС.....	90
4.10 Контроль за влиянием нерадиационных факторов на окружающую среду.....	97
4.11 Программа радиационного мониторинга поверхностных вод в зоне наблюдения Белорусской АЭС.....	101
4.12 Программа гидрохимического мониторинга поверхностных в зоне наблюдения Белорусской АЭС.....	107
4.13 РАО АЭС.....	112
4.14 Система обращения с РАО на Белорусской АЭС.....	117
4.15 Хранение РАО.....	121
4.16 Захоронение РАО.....	122
4.17 Моделирование процесса удаления ионов тяжелых металлов из воды методом реагентной ультрафильтрации.....	123
4.18 Сравнение методов определения ХПК.....	128
4.19 Ионохроматографический анализ.....	129
4.20 Пробоподготовка.....	130
4.21 Изготовление ионообменных колонок.....	130
4.22 Удаление из воды тяжелых металлов методом реагентной ультрафильтрации.....	131
4.23 Определение содержания фосфатов в воде.....	136
4.24 Сравнение методов определения ХПК.....	137
4.25 Определение ионного состава природной воды.....	138
4.26 Эффективность степени очистки природной воды методом ионного обмена.....	138
4.27 Медиа технологии в учебном процессе.....	141
4.28 Размещение материалов на портале ядерных знаний.....	143
Заключение.....	153
Список использованных источников.....	155

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

МАГАТЭ – Международное агентство по атомной энергии
ПО – Программное обеспечение
СПО – Свободное программное обеспечение
CMS – Система управления содержимым (контентом) (англ. Content management system)
АЭС – Атомная электростанция;
АСКРО – автоматизированная система контроля радиационной обстановки
ВПУ – водоподготовительная установка;
ВХР – водно-химический режим;
КПТ – конденсатно-питательный тракт;
МАГАТЭ – Международное Агентство по атомной энергии;
МЯЗ – менеджмент ядерных знаний
НДВ – насосная станция добавочной воды
НИЯУ МИФИ – национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
НОММ – номинально отсекаемая молекулярная масса мембраны
НСМОС – национальная система мониторинга окружающей среды
ПГ – парогенератор
РАЯНО – Российская ассоциация ядерной науки и образования
САОЗ – система аварийного охлаждения зоны
ХВО – химводоочистка
ХОВ – химически обессоленная вода
ХПК – химическое потребление кислорода
ANENT – Asian Network for Education in Nuclear Technology
INIS – The International Nuclear Information System
NSSPI – Nuclear Security Science and Policy Institute

Введение

Работа над разрабатываемым в рамках настоящей работы специализированным электронным порталом ядерных знаний началась в рамках задания 1.35 ГПНИ «Информатика и космос, научное обеспечение безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций», подпрограмма «Информатика». Основным результатом этих исследований было создание оригинальной системы управления контентом для создания учебно-научных порталов различных профилей на основе свободного программного обеспечения, на основе которой создан электронный портал ядерных знаний учреждений образования Республики Беларусь BelNET, расположенный в интернете по адресу: <http://lar.inpnet.net/el/belnet/>. Были разработаны оригинальные материалы, вошедшие в контент портала, и начато наполнение портала документами и материалами. В 2015 г. получено свидетельство Национального центра интеллектуальной собственности РБ о регистрации компьютерной программы №843 «Система управления учебно-научным порталом».

Создание национального электронного портала ядерных знаний с «нуля» является очень сложной задачей, которую целесообразно решить в несколько этапов. Первый этап – создание электронного портала ядерных знаний учреждений образования Республики Беларусь, которое не накладывает серьезных требований на безопасность. Данный этап был реализован в 2014 – 2015 гг. в рамках вышеуказанной работы.

Следующий этап – на основе первого этапа – разработка специализированного электронного портала ядерных знаний с повышением уровня безопасности и существенным развитием его функциональности. На этом этапе разработанная концепция и технология учебной части портала ядерных знаний учреждений образования Республики Беларусь должны быть углублены и дополнены научной частью, а также должна быть обеспечена безопасность и развита функциональность портала, включая его мобильную версию. Последнее с развитием интернет- и мобильных технологий становится все более актуальным. Данный этап реализуется в рамках настоящего задания 3.1.15 ГПНИ программы «Энергетические системы, процессы и технологии» подпрограммы 3 «Атомная энергетика и ядерно-физические технологии»

В дальнейшем специализированный электронный портал ядерных знаний может перерасти в национальный портал ядерных знаний, поскольку в соответствии с рекомендациями Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) каждая страна, формирующая атомную отрасль, должна иметь свой собственный национальный портал ядерных знаний, который интегрирован в мировую систему управления ядерными знаниями.

Основными задачами НИР, реализованными в ходе выполнения задания, были

- развитие таксономии (иерархической структуры) специализированного портала ядерных знаний с учетом актуальной специфики и особенностей ядерной отрасли

Республики Беларусь с целью обеспечения поиска нужной информации с максимальной эффективностью и затратой минимального времени; получения разносторонней информации, начиная от новостей в данной области науки и кончая возможными темами научно-исследовательской работы.

- разработка и формирование оригинальных материалов, в том числе для системы дистанционного обучения, для наполнения баз данных портала;
- обеспечение безопасности и расширение функциональности программного обеспечения электронного портала ядерных знаний на основе свободного программного обеспечения.

2. Развитие программного обеспечения портала BelNET

Созданный в 2014–2015 г. специализированный учебно-научный портал ядерных знаний BelNET (**B**elarusian **N**uclear **E**ducation and **T**raining) находился в интернете по адресу: <http://lar.inpnet.net/el/belnet/> (см. рисунок 1).



Рисунок 1 – Портал BelNET. Раздел «Основные принципы»

Принципы организации доступа пользователей портала BelNET:

- многопользовательский режим;
- ввод данных через заполнение веб-форм в on-line режиме;
- разделение прав доступа разных категорий пользователей к данным и пользовательскому интерфейсу;
- работа через Web-интерфейс посредством широко распространённых браузеров: Mozilla Firefox, Google Chrome, Opera и др.

Одним из первых шагов при создании портала была формулировка его целей, задач и миссии. Миссия портала BelNET – формирование благоприятной информационной, социально-культурной и образовательной среды для устойчивого развития атомной энергетики страны. Основные цели и задачи портала ядерных знаний – целенаправленно управлять информационными ресурсами, знаниями и компетенциями ядерной отрасли страны, сохранять, поддерживать и развивать эти знания на уровне, который обеспечивает безопасное, устойчивое и эффективное развитие ядерной энергетики и промышленности страны. Актуальным является также научно-популярная пропаганда ядерных знаний с целью привлечения в эту область самых способных молодых людей и повышения имиджа ядерной отрасли. Дальнейший шаг – разработка таксономии (иерархической структуры портала) и разработка собственных материалов.

Контент любого портала – это информация, размещённая на его страницах. Процесс наполнения портала информацией и заполнения базы знаний, разработка специальных материалов для системы дистанционного обучения – процесс трудоёмкий и длительный. Очевидно, что формирование контента портала является творческим процессом, который требует нетривиального подхода на каждом этапе своего осуществления.

В настоящий момент ведется работа над заполнением следующих разделов портала:

- Менеджмент ядерных знаний,
- Ядерная энергетика как фактор стабильного энергетического развития,
- Фундаментальная наука,
- Прикладная наука,
- Глоссарий,
- Аналитический обзор терминов,
- Лабораторные работы для школьников и студентов,
- Радиохимия,
- Водно-химические режимы АЭС,
- Биографии ученых Беларуси.

Контент в области ядерных знаний включает глоссарий, монографии, учебники, материалы международных научных конференций, аналитический обзор терминов «Физика ионизирующего излучения» и «Дозиметрические единицы» с учетом регламентирующих и стандартизирующих документов. Включены учебные модули «Менеджмент ядерных знаний» и «Ядерная энергетика как фактор стабильного энергетического развития». Эти модули созданы в виде подкастов. Они включают лекции в формате аудио- и видеофайлов, тестовые задания к ним и лабораторные работы.

Создан цикл из 5 лабораторных работ по изучению прохождения ионизирующего излучения через вещество, которые можно выполнить, используя общедоступные интернет-ресурсы. Эти лабораторные работы предназначены школьникам, студентам младших курсов, а также любым интернет-пользователям, интересующимся данной тематикой.

Для создания системы управления контентом портала eLab-Science, на основе которой создан портал ядерных знаний BelNET использованы следующие операционные системы, программные инструменты и методы: ОС Linux, Windows, кроссплатформная СУБД Firebird 2.5, сервер Web-приложений Apache HTTP Server 2.2, языки PHP и JavaScript, библиотека доступа к базам данных ADOdb для PHP, библиотека XAJAX для построения интерактивных пользовательских интерфейсов Web-приложений и др.

1.1. Решение проблемы повышения безопасности портала

В рамках работ была организована виртуальная машина на сервере БГУ и портал перенесен на адрес: <https://bsu.inpnet.net/belnet/>. Для обеспечения доступа по

протоколу HTTPS к Порталу ядерных знаний решена проблема сертификата веб-сервера по протоколу ACME, позволяющий безопасным образом подтвердить, что человек (организация), запрашивающая сертификат обладает контролем над сервером, и позволяет периодически обновлять сертификат или корректно его отозвать. В результате существенно повышена скорость доступа и обеспечен доступ к порталу с поддержкой шифрования в целях повышения безопасности.

Для обеспечения доступа по протоколу HTTPS к Порталу ядерных знаний потребовалось получить сертификат веб-сервера, подписанный известным (т. е. находящимся в списке доверия) удостоверяющим центром (УЦ).

В настоящий момент бесплатно выдать сертификат веб-серверу может только компания LetsEncrypt работающая под патронажем EFF (Electronic Frontier Foundation). Разработанный ими протокол ACME позволяет безопасным образом подтвердить, что человек (организация), запрашивающая сертификат

1. Обладает контролем над сервером.
2. Позволяет периодически обновлять сертификат или корректно его отозвать.

Для получения сертификата LetsEncrypt на сервер было установлено программное обеспечение, реализующее протокол ACME — certbot.

Данное программное обеспечение периодически выполняется, проверяя списки отзыва сертификатов и при приближении сертификата к окончанию срока действия, автоматически размещает запрос на создание нового.

Другим путём может быть чисто административный. Список доверенных УЦ в известных браузерах обновляется производителем автоматически. Если сертификат УЦ самоподписанный, то единственным способом указать, что вы ему доверяете — установить его вручную в список доверенных УЦ (см. рисунок 2).

Организации академического и образовательного профиля могут решить эту проблему просто перепиской с известными производителями браузеров.

В частности, БГУ в настоящий момент использует онлайн-кабинет для студентов и магистрантов при работе с которым персональные данные передаются по незащищённому сетевому соединению. Эти проблемы можно исправить, поступив аналогично греческим академическим институтам. Как мы видим — браузер поставляется со встроенными в доверенный список УЦ самоподписанными сертификатами греческих академических и исследовательских институтов (см. рисунок 3).

1. То есть проблема является чисто административной и решается двумя шагами: Создание собственного УЦ для выдачи сертификатов подразделениям, серверам и т. п.

2. Официальное обращение к производителям браузера с просьбой включить корневой сертификат УЦ в список доверенных.

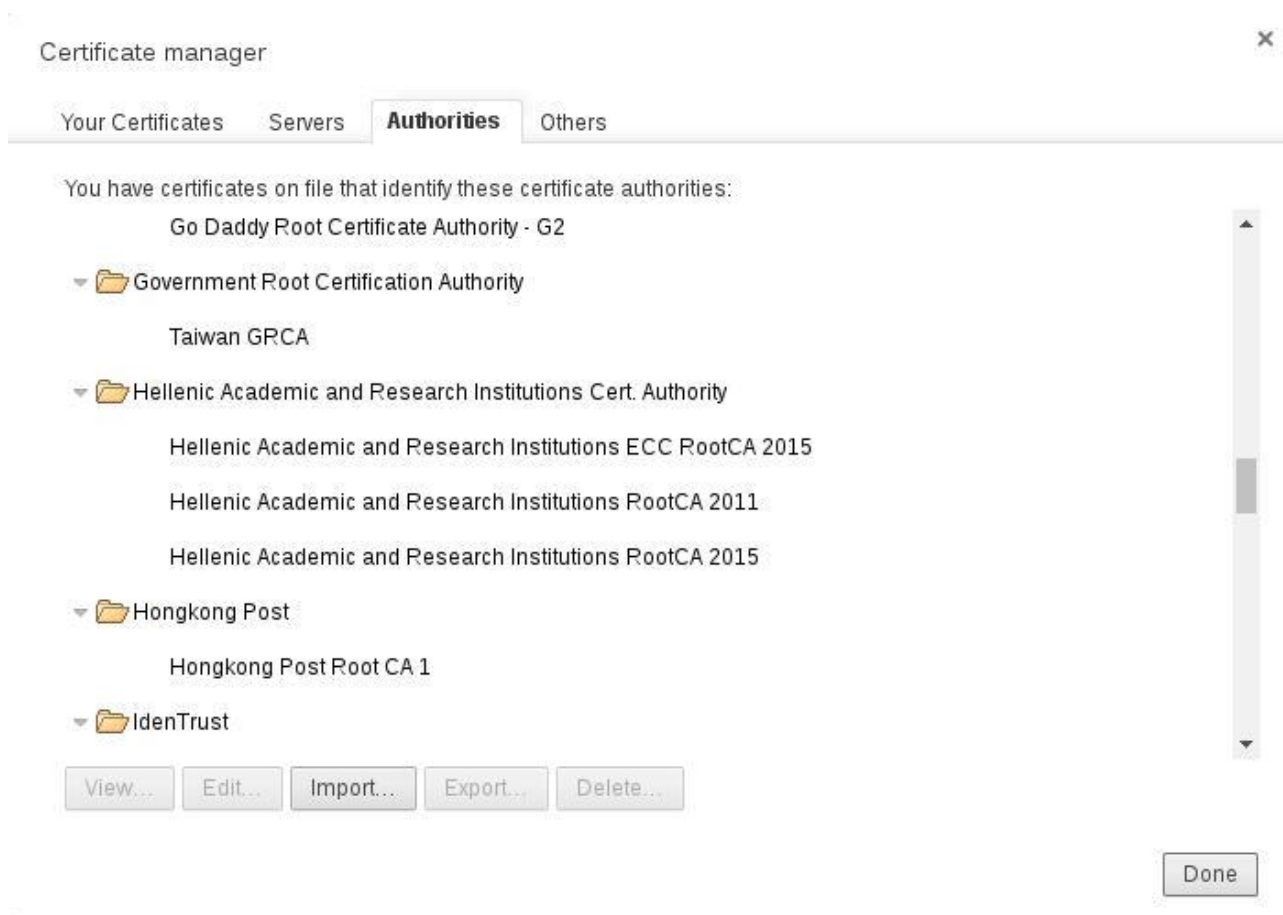


Рисунок 2 – Список доверенных УЦ браузера Google Chrome v55

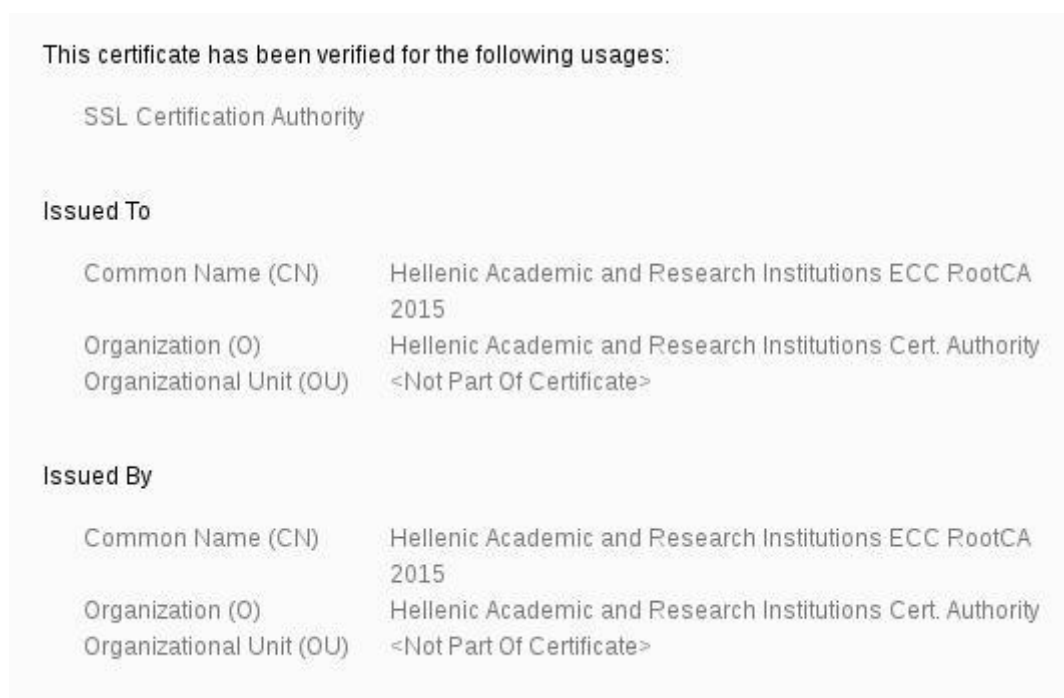


Рисунок 3 – Самоподписанный сертификат греческих академических институтов

1.2. Оригинальный механизм тестирования при выполнении лабораторных работ

В рамках выполнения НИР реализован механизм набора текста лабораторных работ в LaTeX-подобном виде и тестирования при выполнении лабораторных работ в рамках системы управления контентом портала eLab-Science, на основе которой создан портал ядерных знаний BelNET. С его помощью были обработаны и выложены на портал лабораторные работы, разработанные в 2015 г. и существовавшие на портале в виде pdf-файлов. С помощью разработанного механизма могут быть выложены любые материалы.

Концепция портала BelNET предполагает создание системы дистанционного обучения в области ядерных знаний, поэтому большое внимание было уделено разработке комплекса учебных лабораторных работ, позволяющего познакомить пользователей с особенностями проведения экспериментов и обработки результатов в области ядерной физики.

В школьной программе ядерная физика традиционно представлена лишь небольшим «теоретическим» разделом, в котором не предусматривается выполнение лабораторных работ. Это объясняется тем, что лабораторные работы по ядерной физике требуют применения источников ионизирующих излучений, что для школьников запрещено санитарными нормами.

Практические навыки, получаемые при выполнении лабораторных работ, позволяют более полно понять особенности прохождения ионизирующего излучения через вещество, а также опасность и принципы защиты, связанные с использованием радиоактивных веществ.

В современном мире это очень важно, так как масштабы использования ионизирующих излучений и радионуклидных источников в медицине, технике и других областях растут чрезвычайно быстро.

Требования к знаниям основ взаимодействия излучения с веществом и его воздействия на окружающую среду предъявляет и процесс развития атомной энергетики в Республике Беларусь.

Насколько необходим хотя бы минимальный уровень знаний в данной области для широких слоев населения, показал опыт и последствия Чернобыльской катастрофы.

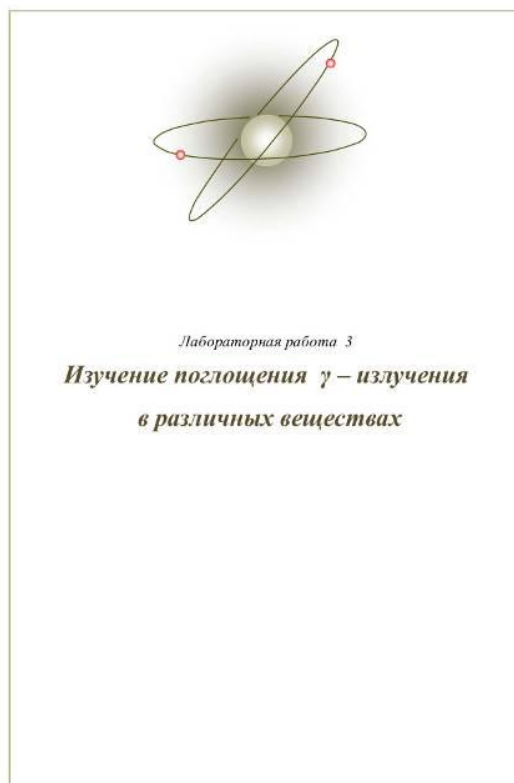


Рисунок 4 – Лабораторная работа №3

Состав цикла лабораторных работ имеет следующую структуру.

Общая часть : «Краткие сведения из ядерной физики и ядерной спектрометрии»

Практический цикл включает в себя пять лабораторных работ:

1. «Определение активности радиоактивного источника относительным методом»
2. «Поглощение электронов в веществе»
3. «Поглощение гамма-квантов в веществе»
4. «Изучение проникающей способности гамма-квантов различных энергий»
5. «Естественные радиоактивные ряды»

Экспериментальные данные - энергетические спектры определенного ионизирующего излучения. Получены с использованием спектрометров ионизирующего излучения кафедры ядерной физики БГУ и содержатся в каждой лабораторной работе в виде текстовых файлов. Это позволяет выполнять лабораторные работы, имея только компьютер со стандартным набором программ.

Тестовая программа для оценки правильности полученных результатов, а также уровня понимания пользователем изучаемых процессов и его готовности применить полученные результаты, например, для оценки параметров необходимой защиты от ионизирующего излучения.

Состав лабораторных работ:

1. Краткое описание изучаемых процессов, необходимых для понимания выполнения измерительной части работы, а также для анализа полученных в работе результатов, условия и проведение экспериментальных измерений (см. рисунок 4).

2. Видеофайл, который позволяет наблюдать на экране компьютера панель спектрометра с установкой рабочих режимов, время регистрации, сам процесс набора спектра (см. рисунок 5).
3. Методические указания по порядку обработки экспериментальных данных, расчету и анализу конечных величин (см. рисунок 6).
4. Полный набор спектров, необходимых для выполнения работы в виде текстовых файлов, которые могут быть обработаны с использованием широкого круга популярных программ, позволяющих вводить текстовые данные, делать простейшие расчеты и рисовать графики.
5. Тесты к лабораторной работе (рисунок 7).

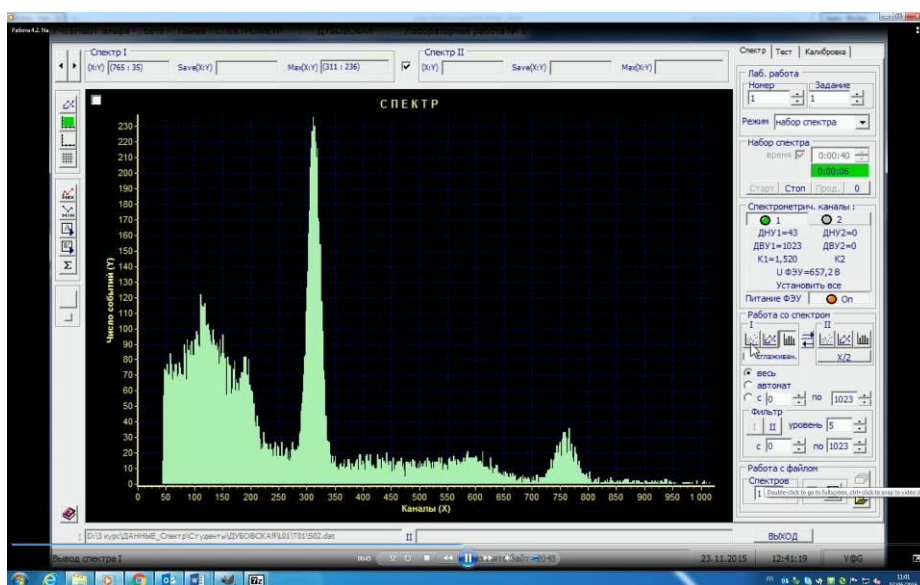


Рисунок 5 – Видео к лабораторной работе №3

Лабораторная работа №1 "Определение активности источника относительным методом"

ФГУ, физический факультет, кафедра ядерной физики, 2015-11-19

Цель работы: определить неизвестную активность источника относительным методом. Оценить погрешность измерения.

Текст задания представлен файлом **Работа 1.1. Определение активности источника.pdf**

Пример набора спектра с помощью спектрометра - **Работа 1.2. Cs.avi**

Спектр фоновых импульсов - **Работа 1.3. Фом.txt**

Спектр источника у-излучения с «эталоной активностью» - **Работа 1.4. CsВ.txt**

Спектр источника с неизвестной активностью - **Работа 1.5. CsX.txt**

Загрузить:

- Работа 1.1. определение активности источника.pdf (444кб/2015-11-25 17:18:09)
- Работа 1.1. определение активности источника.pdf (444кб/2015-11-25 17:18:09)
- Работа 1.2. Cs.avi (4521/7183кб, 3119кб, 2015-11-25 17:18:15)
- Работа 1.3. Фом.txt (441/118кб, 118кб, 2015-11-25 17:18:09)
- Работа 1.4. CsВ.txt (441/118кб, 118кб, 2015-11-25 17:18:09)
- Работа 1.5. CsX.txt (441/118кб, 118кб, 2015-11-25 17:18:09)

Определение активности источника относительным методом

Цель работы: Определить неизвестную активность источника относительным методом. Оценить погрешность измерения.

Важнейшей характеристикой источника лучевой является его активность A . Она определяется как среднее число распадов ядра в единицу времени. Единичной активностью A считается распад в секунду: $1\text{Bк} = 1\text{ распад/с}$. До сих пор используется старшая единица активности – кюри ($1\text{Ки} = 3.7 \cdot 10^{10}\text{Bк/с}$). Такая активность имеет 1r радио. Активность зависит от вероятности распада отдельного ядра λ (постоянная распада) и числа радиоактивных ядер. Величина λ не зависит от времени, от агрегатного состояния вещества, а является характеристикой данного вида ядра.

Число частиц, испускаемых источником, обязательно совпадает с числом распадов в источнике, оно может быть равно, меньше или больше. Это зависит от числа частиц, рождающихся при одном распаде. Активность источника может быть измерена, если

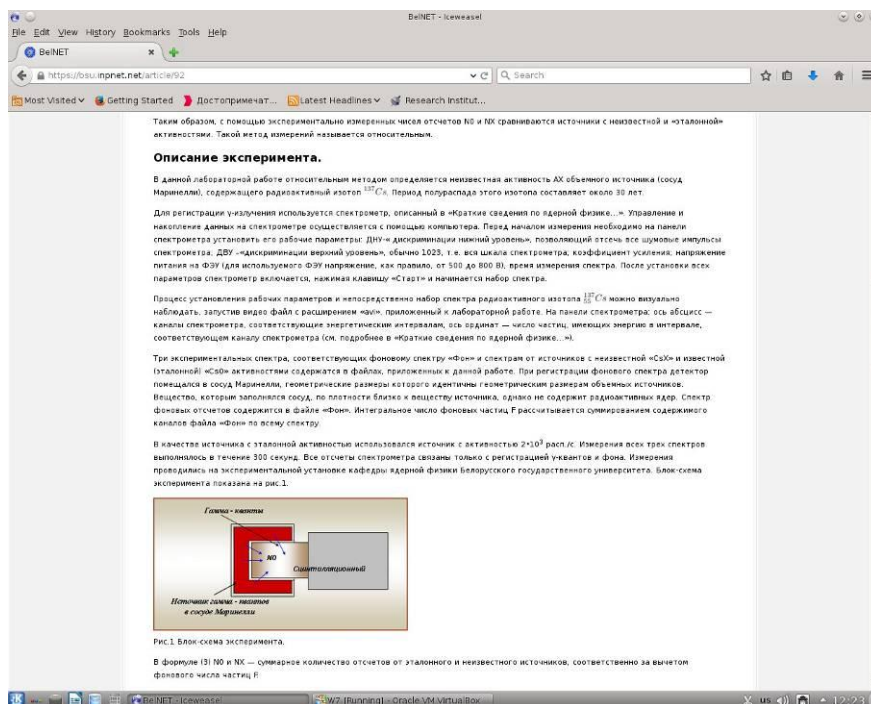


Рисунок 6 – On-line страница лабораторной работы №1

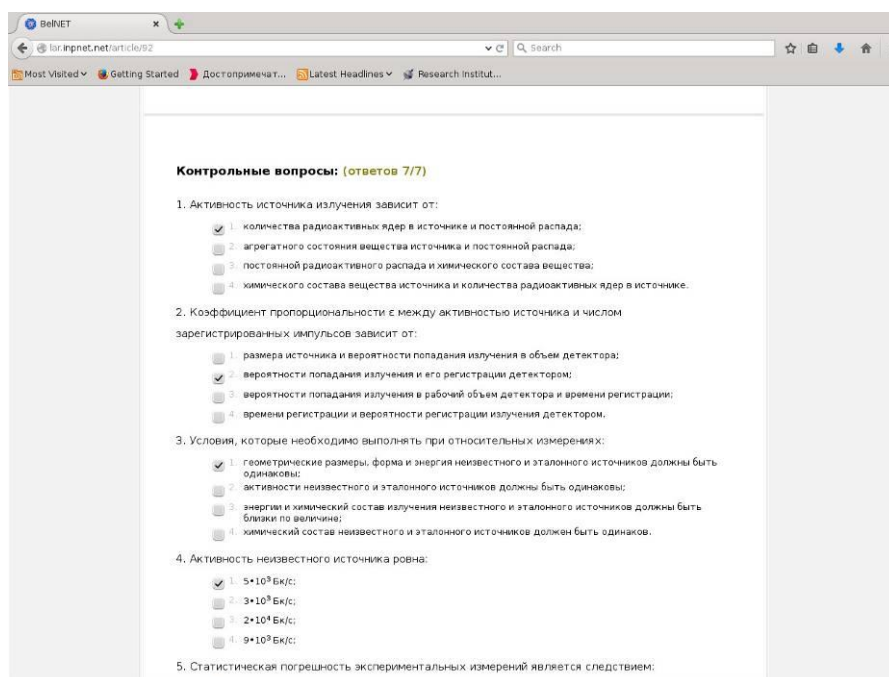


Рисунок 7 – Тесты к лабораторной работе №1

В системе eLab-Science реализован механизм редакторов содержания ресурса лабораторной работы в CMS eLab-Science (см. рисунок 8), редактора контрольных вопросов теста лабораторной работы в CMS eLab-Science (см. рисунок 9) и Редактор ответов на вопросы теста лабораторной работы в CMS eLab-Science (рисунок 10), что дало возможность выкладывать в общий доступ любые текстовые ресурсы (а не только файлы типа pdf), а также интерактивно формировать тестовые вопросы и ответы к ним, которые в дальнейшем после

регистрации на портале могут быть выполнены пользователем. При этом определены следующие роли пользователя:

Внешний пользователь портала (web-приложения eLab-Science)

учетная запись для web-приложения:

username, password

Сервер баз данных

Учетные записи пользователей сервера баз данных:

username, password

База данных портала содержит таблицу учетных записей внешних пользователей:

uid – идентификатор пользователя eLab-Science, username, password

web-приложения eLab-Science

авторизация

передача username и password в

web-приложение

1. подключение к базе данных с учетной записью username и password сервера баз данных

2. передача username и password пользователя

web-приложения в базу данных для регистрации внешнего пользователя

регистрация внешнего пользователя

создается роль внешнего пользователя в базе данных портала:

role = uid

роль внешнего пользователя становится доступной в web-приложении

подключение к базе данных с учетной записью сервера баз данных:

username, password и role

1. Каждому внешнему пользователю при его регистрации на портале ядерных знаний присваивается уникальная роль в базе данных портала

Теперь при подключении внешнего пользователя к базе данных портала через web-приложение в многопользовательском режиме нет необходимости для каждой транзакции пользователя передавать в БД идентификатор пользователя, что бы разделить действия с данными от разных пользователей. Идентификатор пользователя передается один раз при подключении пользователя к базе данных через роль пользователя.

2. Введение ролей позволило создать в базе данных портала таблицу регистрации ответов пользователей на контрольные вопросы USER_TEST, содержащую поле USER_ID – идентификатор пользователя, определенный текущей ролью пользователя.

3. Структура базы данных портала дополнена следующими объектами:

3.1. Таблица содержимого ресурсов

RESOURCE_CONTENT

RESOURCE_ID – идентификатор ресурса из таблицы RESOURCE

CONTENT – блок бинарных данных неограниченного размера для формирования содержимого ресурса на портале в on-line режиме (без обязательной загрузки файла документа из базы данных).

Рисунок 8 – Редактор содержимого ресурсов лабораторной работы в CMS eLab-Science

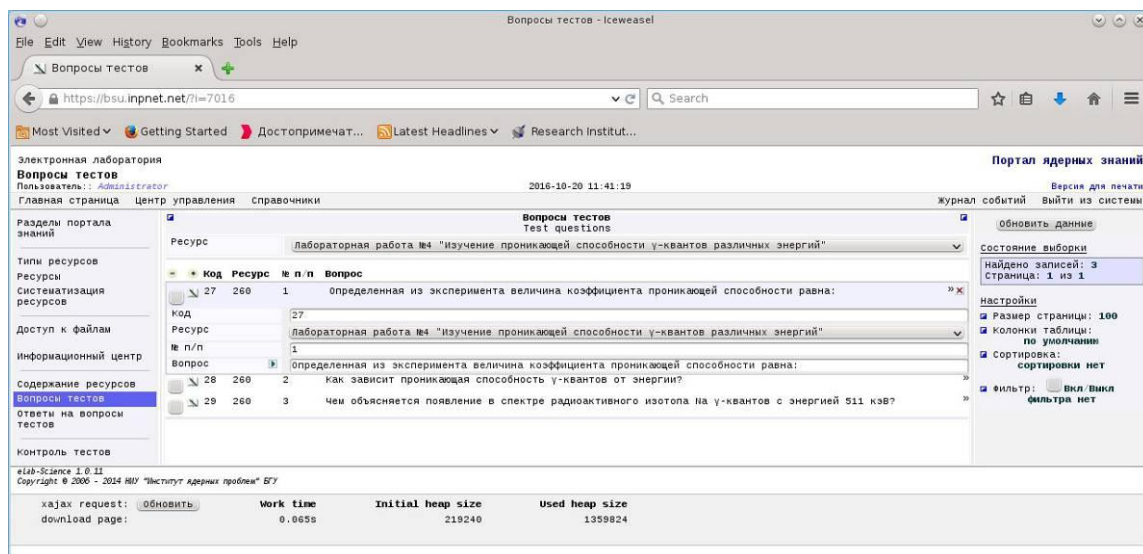


Рисунок 9 – Редактор контрольных вопросов теста лабораторной работы в CMS eLab-Science

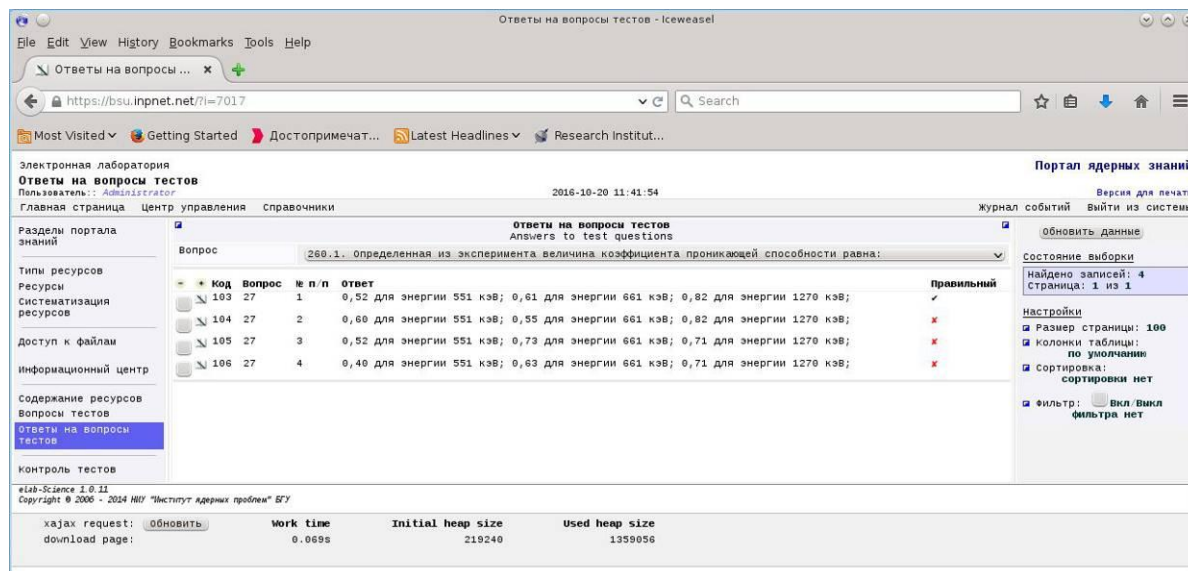


Рисунок 10 – Редактор вариантов ответов на вопросы теста лабораторной работы в CMS eLab-Science

У ресурсов, для которых установлены контрольные вопросы, на страницах портала после авторизации пользователя появляется доступ к тестам:

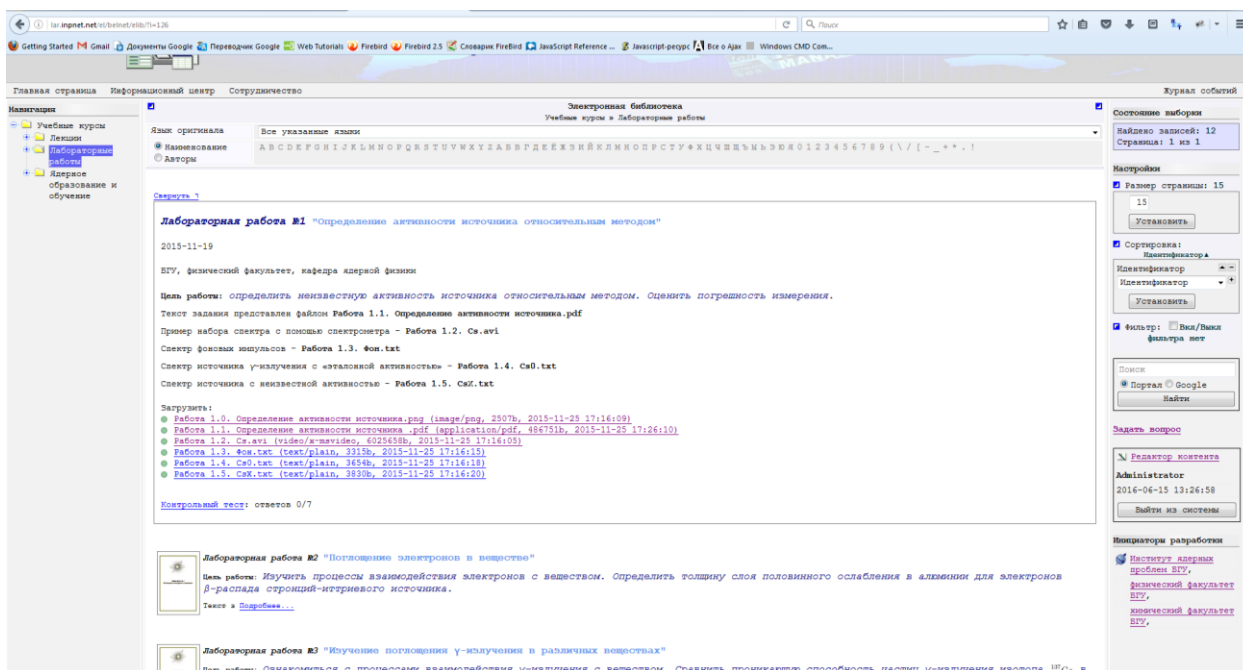


Рисунок 11 – Доступ к тестам

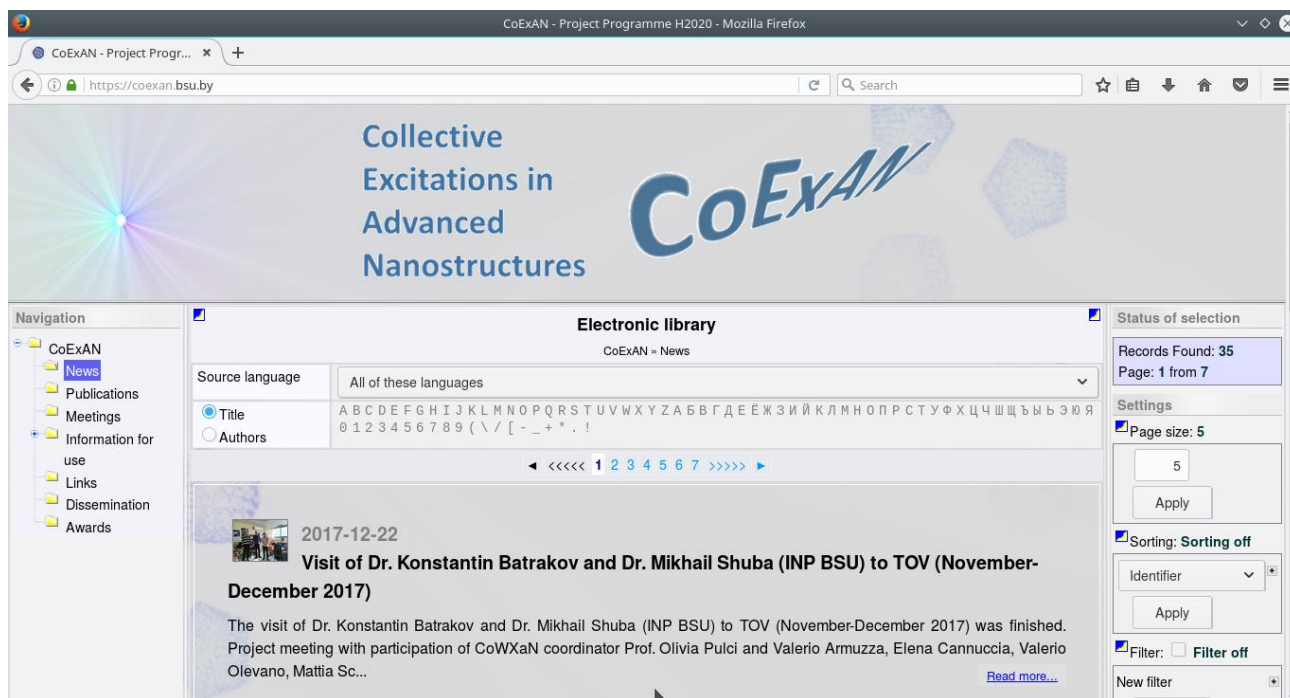


Рисунок 12 –Экранная копия портала CoExAN

В 2017 г. портал BelNET перемещен на виртуальный сервер БГУ по адресу <https://belnet.bsu.by/>

В рамках развития программного обеспечения портала показана и реализована возможность использования системы управления контентом портала eLab-Science, на основе которой создан портал ядерных знаний BelNET, для

разработки научных порталов разнообразной направленности: в области нанотехнологий CoExAN, арктический портал ArcNET [19-21].

На рисунке 12 представлена экранная копия портала CoExAN, расположенного на виртуальном сервере БГУ по адресу <https://coexan.bsu.by/>.

Получен акт внедрения портала CoExAN в Университете Tor Vergata (URTV) (Италия) (см. рисунок 13.). В настоящий момент портал содержит свыше 100 записей. Структура портала имеет вид:

CoExAN

- News
- Publications
- Meetings
- Information for use
- Links
- Dissemination
- Awards



ACT OF IMPLEMENTATION

We, the undersigned, representatives of the Project ID 644076 Call H2020-MSCA-RISE-2014 Programme H2020 "Collective Excitations in Advanced Nanostructures" (CoExAN), on the one side, and representatives of Institute for Nuclear Problems of Belarusian State University on the other side, made this act that the content management system of educational and research portal eLab-Science (CMS eLab-Science) was implemented in the Project ID 644076 Call H2020-MSCA-RISE-2014 Programme H2020 "Title Collective Excitations in Advanced nanostructures" (CoExAN) for own needs of the Project.

1. During the implementation of the project the following steps were fulfilled.

1.1. Web user interface of the portal in the field of NanoElectroMagnetics CoExAN for the Project «Collective Excitations in Advanced Nanostructures» was designed.

1.2. The portal CoExAN is hosted with a protocol for secure communication HTTPS on the Internet at address <https://coexan.bsu.by/>

1.3. The filling of the content of portal CoExAN is provided.

1.4. The proper functioning of software eLab-Science was validated. It was confirmed its suitability for use.

2. This act provides the rights free of charge to use the CMS eLab-Science for own use of the Project ID 644076 Call H2020-MSCA-RISE-2014 Programme H2020 "Collective Excitations in Advanced Nanostructures" (CoExAN).

University of Rome Tor Vergata, Italy
Coordinator of the Project ID 644076
Call H2020-MSCA-RISE-2014

Prof. Olivia Pulci

Date: 26.04.2017

Рисунок 13 – Акт внедрения системы eLab-Science и портала CoExAN в Университете Tor Vergata (URTV) (Италия)

Возможность создания учебно-научных порталов различной тематики докладывалась в . пленарном докладе С.Н.Сытовой "The Arctic Knowledge Portal

ArcNET" на Международном симпозиуме "Arctic Complex Researches", Политехнический университет им. Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия (28-30.03.2017).

Система eLab-Science содержит следующие редакторы, обеспечивающие формирование и доступ к ресурсам: редакторы разделов портала, типов ресурсов, самих ресурсов, систематизации ресурсов, доступа к файлам, структуры портала. Помимо этого реализован механизм создания лабораторных работ, реализованный в редакторе содержания ресурса (см. Рисунок 14). Отметим, что данные редакторы позволяют выкладывать в общий доступ любые текстовые ресурсы – не только лабораторные работы, но и различные научные материалы и статьи, содержащие разнообразные формулы и рисунки. Также реализованы редактор контрольных вопросов теста лабораторной работы и редактор ответов на вопросы теста.

Подчеркнем, что возможность набора формул с использованием специального языка разметки в рамках системы управления контентом предоставляют, помимо eLab-Science (см. Рисунок 14 и результат его работы на Рисунок 15), небольшое число таких систем.

Это Moodle <https://moodle.org/> – система управления курсами или виртуальная обучающая среда, разработанная на основе СПО и предназначенная для создания сайтов онлайн-обучения. Moodle лежит в основе созданной МАГАТЭ on-line платформы для сетевого обучения CLP4NET <http://clp4net.iaea.org/>.

Во-вторых, это MediaWiki <https://meta.wikimedia.org/wiki/MediaWiki> – система управления контентом для вики-проектов, также на основе СПО. Написана специально для Википедии и широко используется во многих проектах фонда «Викимедиа», а также частных и государственных организациях. Другие системы, не предназначенные для создания учебно-научных сайтов, предлагают вставлять формулы в виде готовых картинок, что не позволяет легко создать единообразный красивый научный текст.

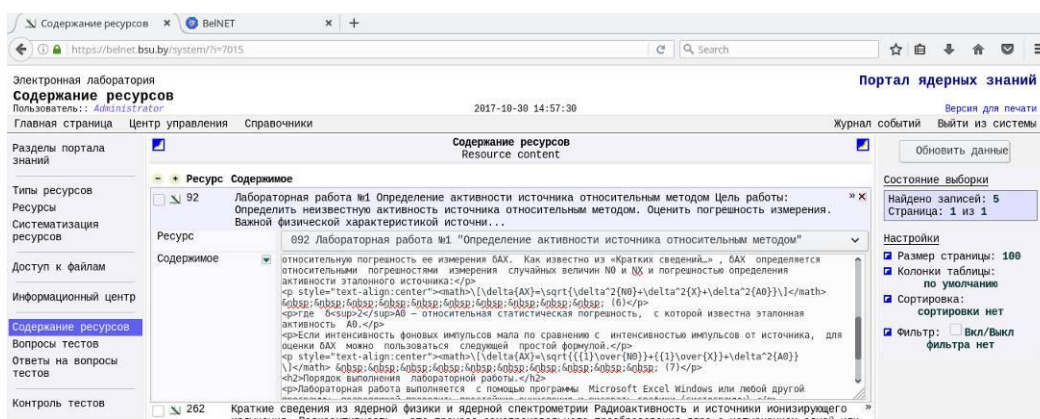


Рисунок 14 Редактор содержания ресурсов в eLab-Science

Также в реализован инструмент предпросмотра редактируемого ресурса. Результат работы приведен на рисунках 16 и 17. Также реализована мобильная версия портала, «подстраивающаяся» под размеры экрана пользователя. Экранная копия такой мобильной версии приведена на рисунке 18.

Таким образом, система управления контентом eLab-Science наряду с общепризнанными системами Moodle и MediaWiki предоставляют возможность разработки сложных научных текстов, что способствует популяризации и пропаганде науки и научных знаний.

В 2017 г. было предложено создать на основе eLab-Science Белорусский электронный научный архив. Идея создания Белорусского электронного научного архива поддержана Белорусским физическим обществом по результатам доклада на VI Конгрессе физиков Беларуси (20–23 ноября 2017 г., Минск).

Рис.2. Гамма - спектр цезия и спектр фоновых отсчетов.

Очень важно знать, насколько точно определена неизвестная активность. Для этого следует оценить относительную погрешность ее измерения δAX . Как известно из «Кратких сведений...», δAX определяется относительными погрешностями измерения случайных величин N_0 и NX и погрешностью определения активности эталонного источника:

$$\delta AX = \sqrt{\delta^2 N_0 + \delta^2 X + \delta^2 A_0} \quad (6)$$

где $\delta^2 A_0$ – относительная статистическая погрешность, с которой известна эталонная активность A_0 .

Если интенсивность фоновых импульсов мала по сравнению с интенсивностью импульсов от источника, для оценки δAX можно пользоваться следующей простой формулой.

$$\delta AX = \sqrt{\frac{1}{N_0} + \frac{1}{X} + \delta^2 A_0} \quad (7)$$

Рисунок 15 – On-line страница с формулами (6) и (7), редактируемые на Рисунке 14

Рисунок 16 – Инструмент предпросмотра на портале BelNET

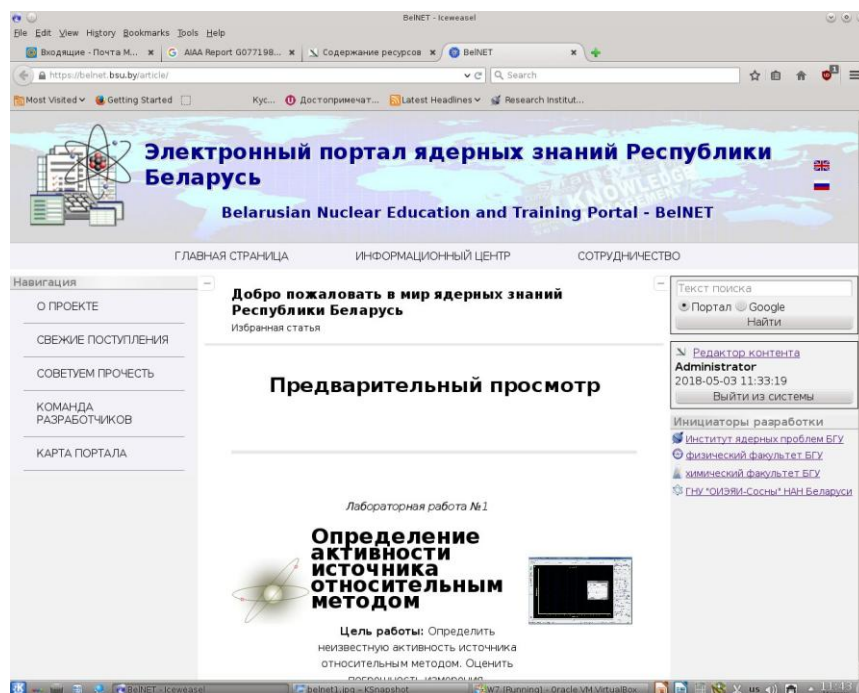


Рисунок 17 – Результат работы инструмента предпросмотра на портале BelNET

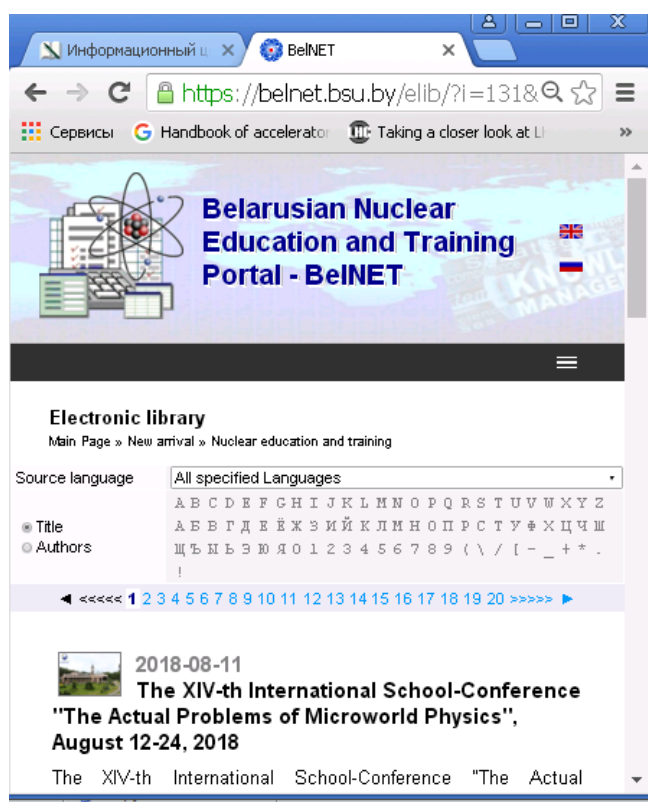


Рисунок 18 – Мобильная версия

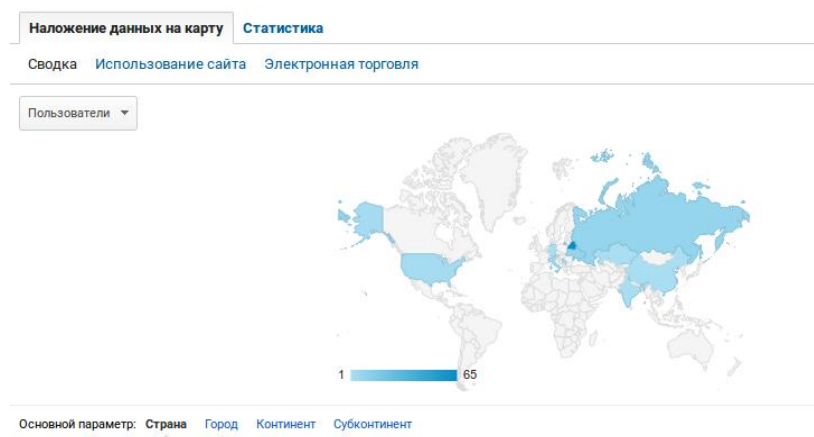


Рисунок 19 – Использование портала Analytics.Google.com

В рамках работ подключен счетчик Google Analytics и проведена регистрация в вебмастерах Google Search Console и Яндекс Вебмастер (см. рисунок 19).

3. Принципы работы в системе управления контентом портала BelNET

Приведем описание принципов работы в системе управления контентом портала BelNET в стиле «руководства пользователя портала BellNET».

1 Назначение портала

Портал предназначен для публикации в интернете оригинальных материалов и информации по ядерной тематике, а также совместной работы авторизованных пользователей в рамках зоны ограниченного доступа портала.

Миссия Портала:

формирование благоприятной информационной, социально-культурной, деловой и образовательной среды для устойчивого развития атомной энергетики страны.

Задачи Портала:

- ускорение поиска и доступа к необходимым данным и информации;
- создание новых знаний и содействие участию в научно-исследовательских, образовательных и учебных программах в области ядерной индустрии.

Адрес портала BelNET в сети: <https://belnet.bsu.by/>.

Работа портала обеспечивается в рамках системы управления контентом (Content management system, CMS) учебно-научного портала eLab-Science.

Принципы работы на мобильных устройствах и устройствах с небольшим размером экрана аналогичны описываемым в данном руководстве при работе на стандартных мониторах.

На портале различаются следующие группы пользователей:

1. Анонимный пользователь (не авторизованный на портале), имеющий возможность чтения материалов, находящихся в открытом доступе;
2. Зарегистрированный пользователь, имеющий возможность выполнения лабораторных работ на портале и чтения материалов с соответствующим уровнем доступа;
3. Авторизованный пользователь, имеющий возможность чтения материалов с уровнем доступа авторизованного пользователя и редактирования информации на портале;
4. Системный администратор портала.

Создание и редактирование информации на портале осуществляется с помощью редактора контента, доступного после авторизации пользователя на портале.

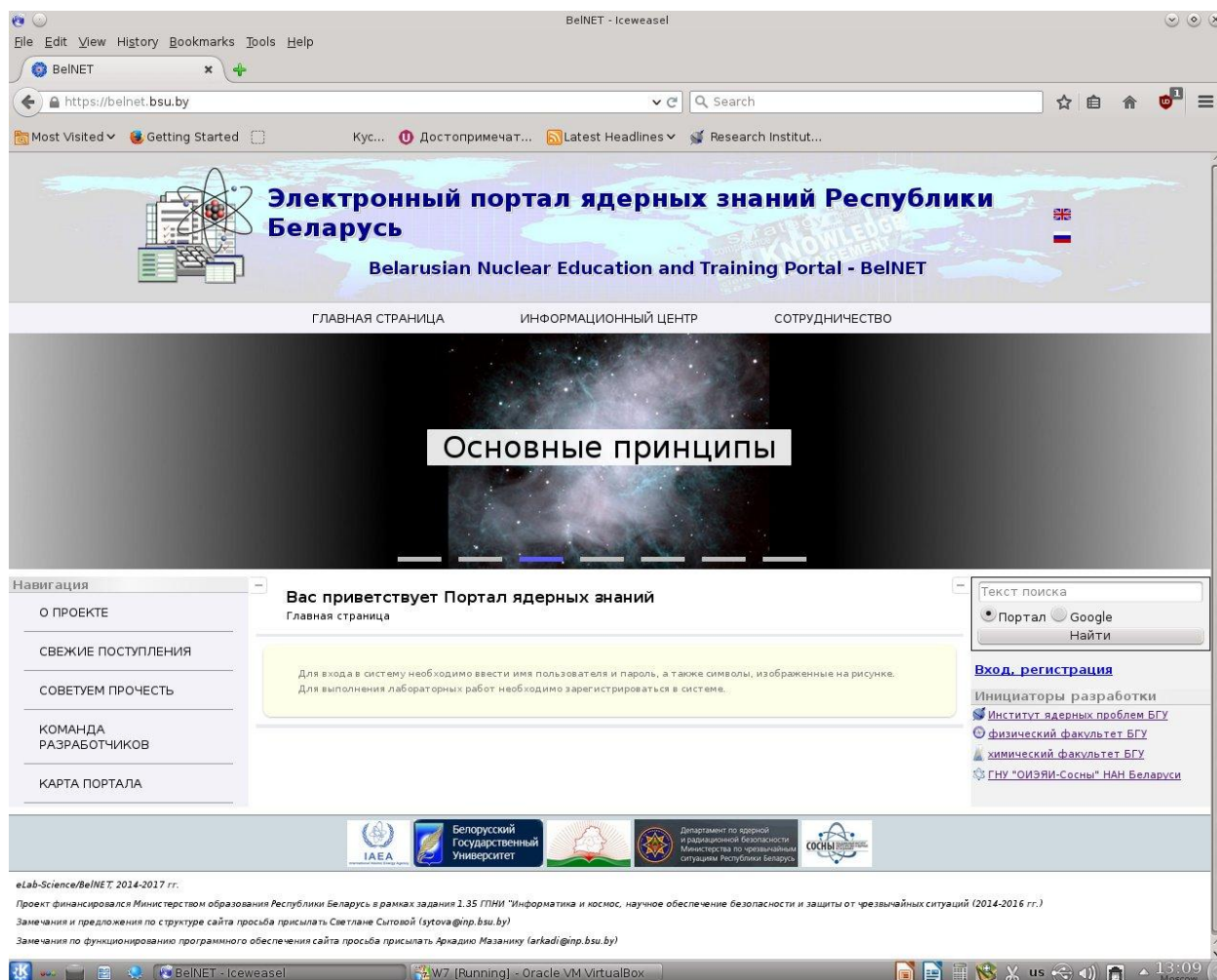
В данном документе рассмотрены функции портала, доступные пользователям первых трех групп.

2 Как устроен портал

2.1 Запуск системы

После первого входа на сайт портала BelNET по адресу <https://belnet.bsu.by/> либо просто belnet.bsu.by пользователь попадает на главную страницу.

При следующем посещении портала по умолчанию высвечивается последняя посещенная данным пользователем страница портала с сохранением его пользовательских настроек.



2.2 Структура страницы портала

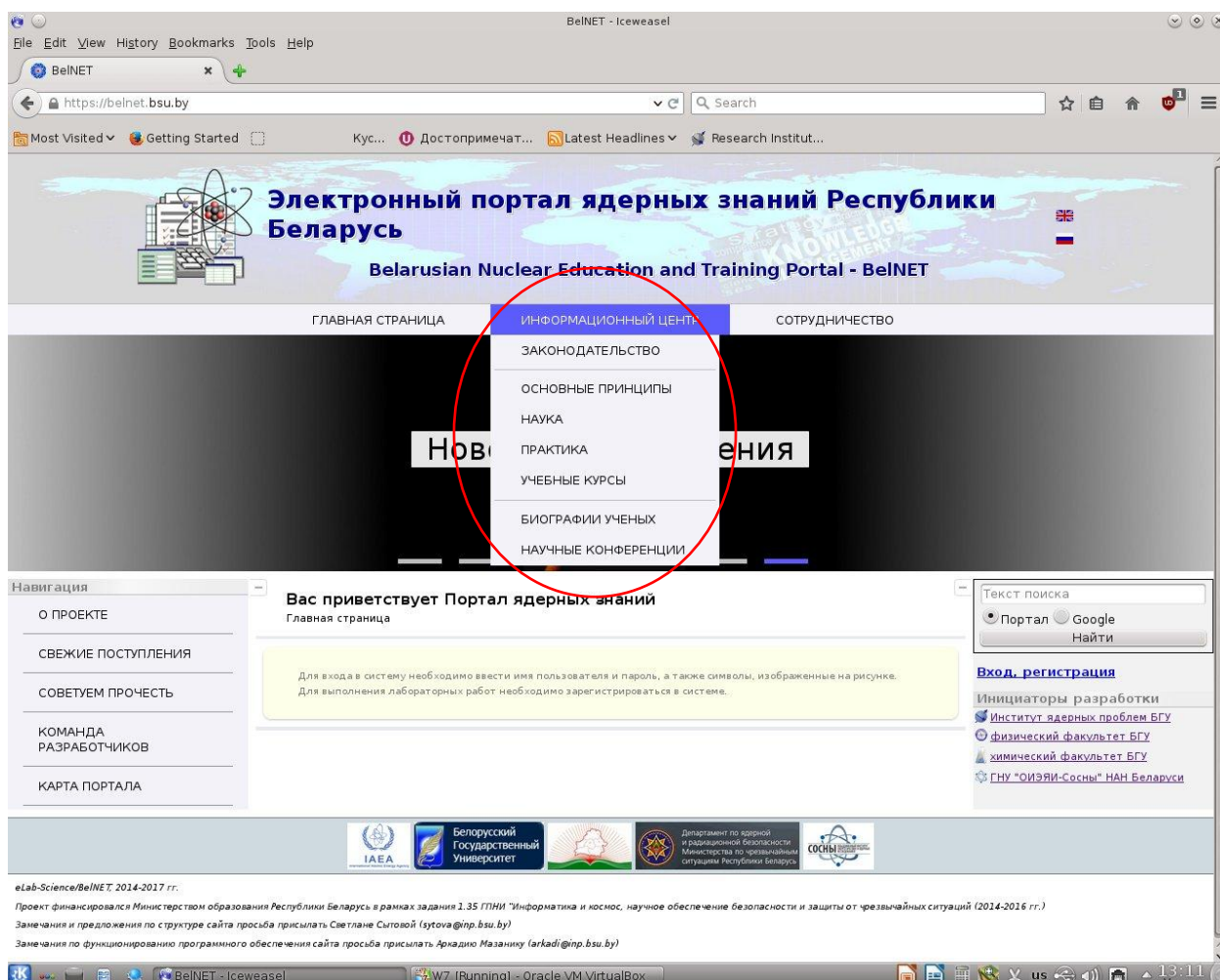
Все страницы (окна) портала визуально разделены на следующие области.

1. В верхней области экрана расположен заголовок, в котором отображается название портала.
2. В левой части экрана расположены разделы портала.
3. В правой части расположен вход в систему, система фильтрации, сортировки и поиска информации на портале.

4. В центральной части находится система фильтрации материалов по первым буквам (в названии либо первом авторе) материала и языкам материалов. Ниже высвечиваются собственно материалы разделов портала.
5. В нижней части портала расположены иконки с полезными ссылками и информация для обратной связи.



2.3 Разделы портала



В настоящий момент портал имеет следующую структуру (см. Карта портала):

Главная страница
О проекте

Свежие поступления
Советуем прочесть
Команда разработчиков
Карта портала

Информационный центр

Законодательство

- Международные регулирующие документы
 - Фундаментальные основы безопасности
 - Общие требования безопасности
 - Конкретные требования безопасности
 - Конвенции и кодексы поведения
- Региональные регулирующие документы
- Национальные регулирующие документы

Основные принципы

- Глоссарий
 - Термины и определения
 - Коллекция
- Научно-популярная литература

Наука

- Фундаментальная наука
- Прикладная наука

Практика

- Данные и анализ

Учебные курсы

- Лекции
- Лабораторные работы

Биографии ученых Беларуси

Сотрудничество

Новости и объявления

- Новости ядерной физики
- Новости БГУ
- Новости портала ядерных знаний

Полезные ссылки

Форумы

Ресурсы

Контакты

- Группы разработчиков
 - Разработчики портала ядерных знаний BelNET

С помощью редактора контента данная структура может быть изменена (см. раздел 4.3).

3 Как пользоваться порталом?

3.1 Открытие портала


Интернет-адрес: <https://belnet.bsu.by/> либо просто belnet.bsu.by .

3.2 Вход в систему

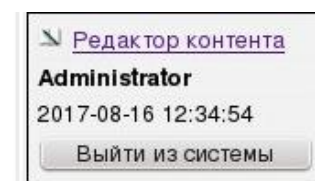
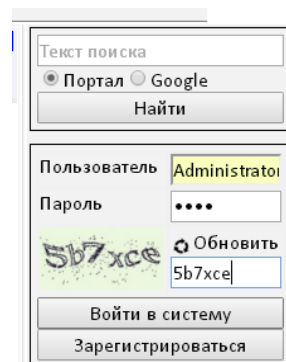
Для авторизации (получения имени и пароля) необходимо обратиться к системным администраторам портала по e-mail: sytova@inp.bsu.by либо arkadi@inp.bsu.by .

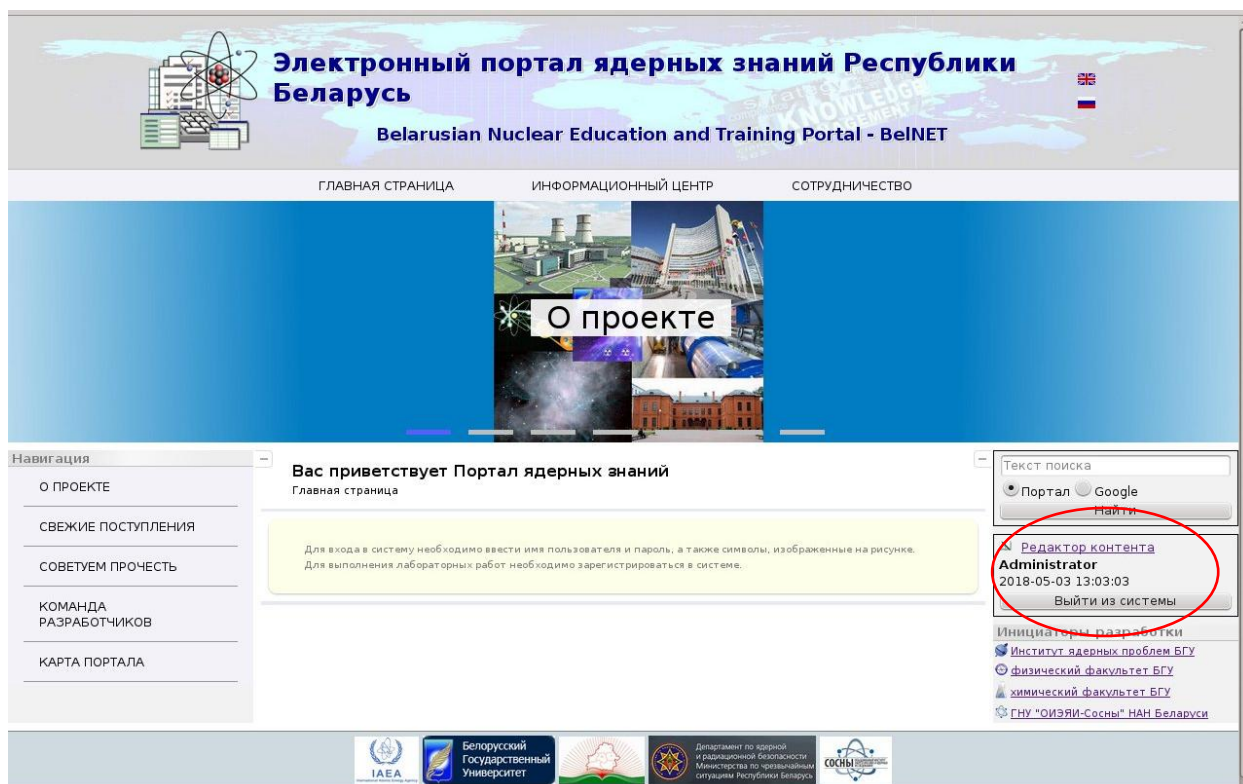
Авторизованные пользователи, обладающие собственным именем (username) и паролем (password), могут войти в область управления ресурсами портала – редактор контента:

Для этого нужно ввести имя пользователя, пароль и буквы **Captcha**, высвечиваемые под паролем, например 

В случае неверного набора букв **Captcha** или затруднениях в ее расшифровке, следует обновить **Captcha** кнопкой . После ввода имени, пароля и **Captcha**, необходимо нажать кнопку “**Войти в систему**”

В случае успешной авторизации пользователь попадает в **Редактор контента**:





После окончания работы в редакторе контента рекомендуется нажать кнопку



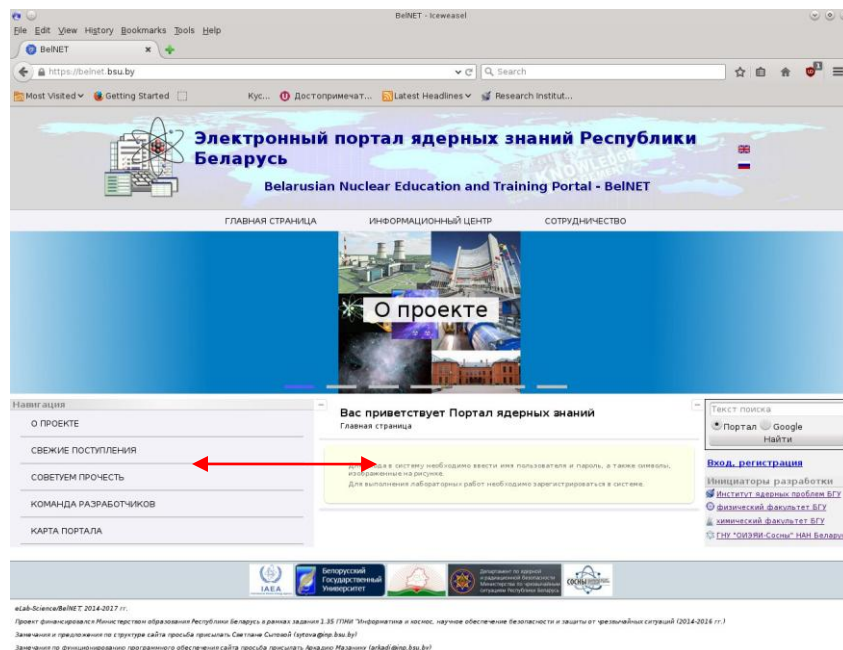
При продолжительном бездействии пользователя в редакторе контента необходимо повторить процесс авторизации в системе.

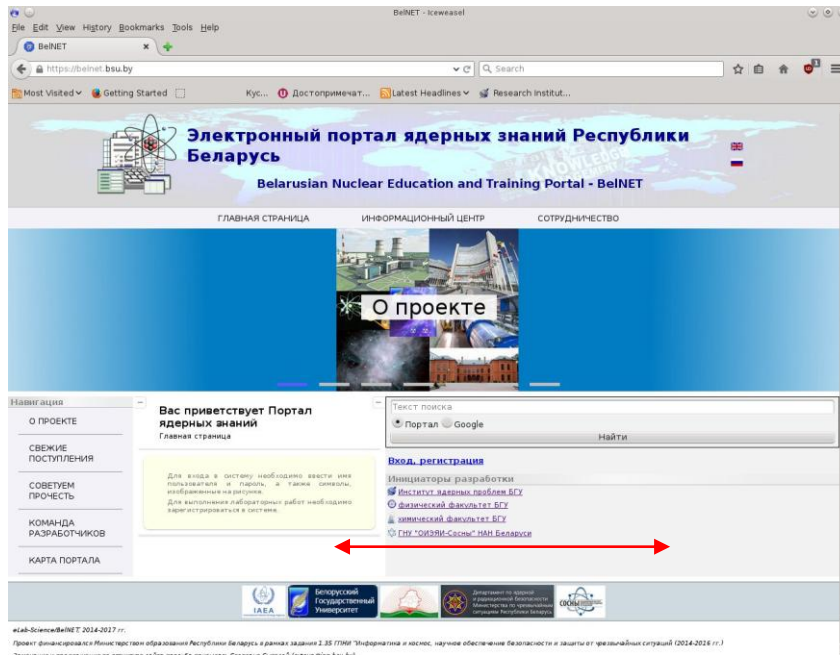
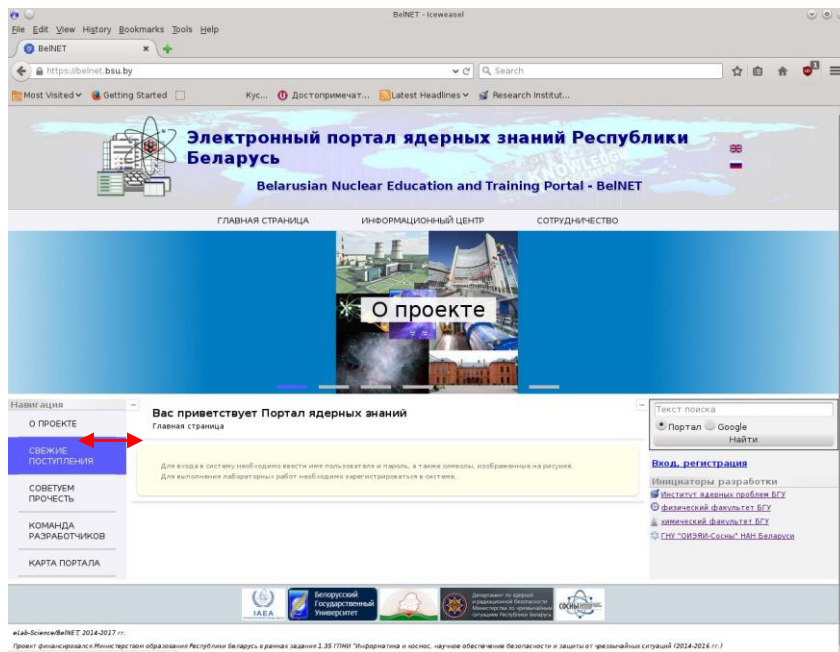
Для выполнения некоторых лабораторных работ необходимо провести регистрацию на портале: набрать произвольные имя пользователя и пароль, расшифровать тестовое слово **Captcha** и нажать кнопку “**Зарегистрироваться**”. После этого тексты и другие материалы будут доступны для работы с ними. Однако зайти в редактор контента такой пользователь не может.







3.3 Изменение областей страницы и сохранение пользовательского интерфейса

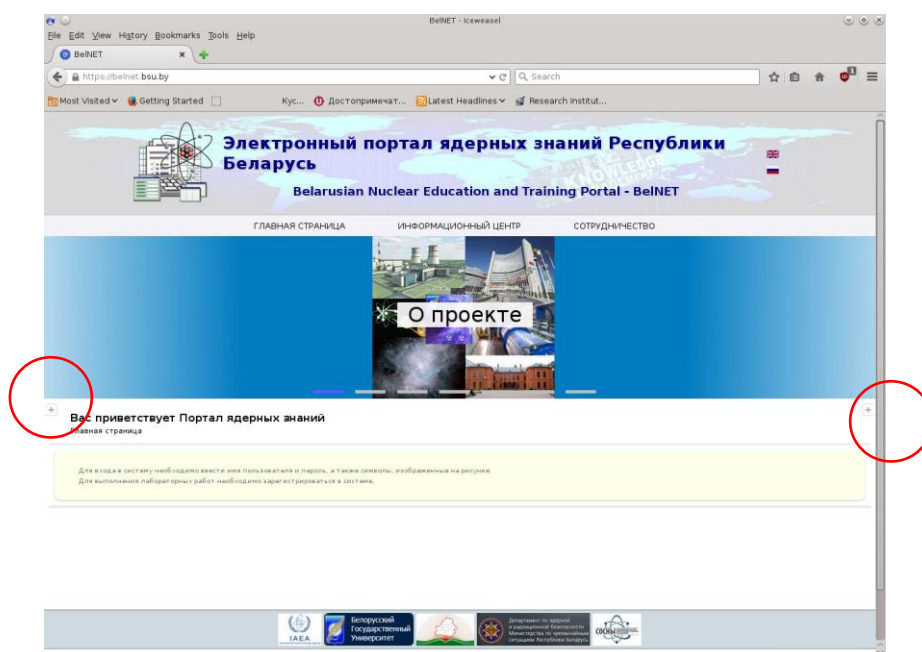
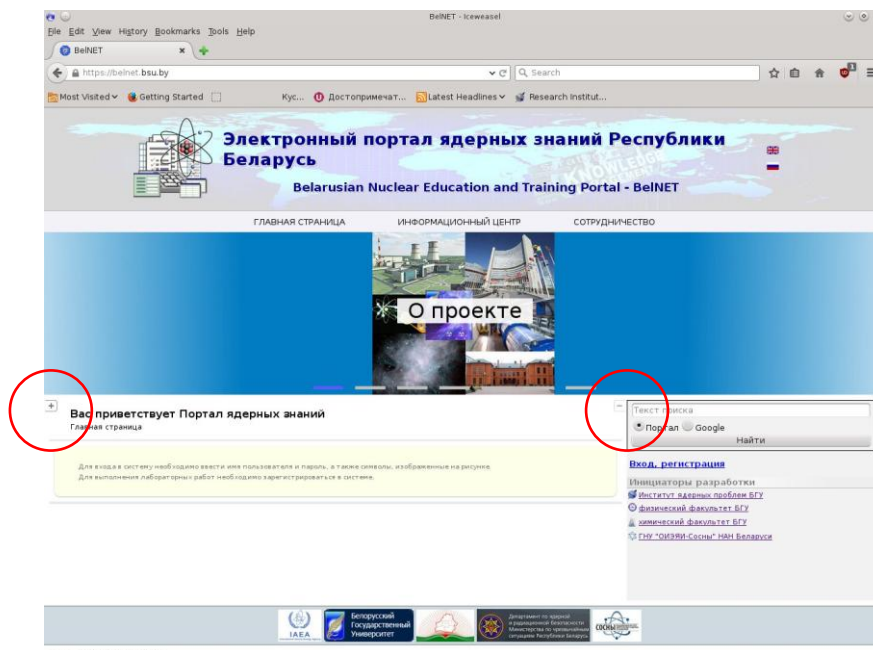
В рамках портала возможно изменение ширины левой и правой областей экрана с помощью нажатия мыши на вертикальный разделитель областей и перетягивания ее влево-вправо до достижения нужного эффекта.





На экране находятся несколько элементов управления в виде кнопок-квадратиков  и . Нажатие на кнопку  прячет (со всплывающей подсказкой **Скрыть**) необходимый элемент управления на странице, а нажатие на кнопку  высвечивает спрятанный элемент.

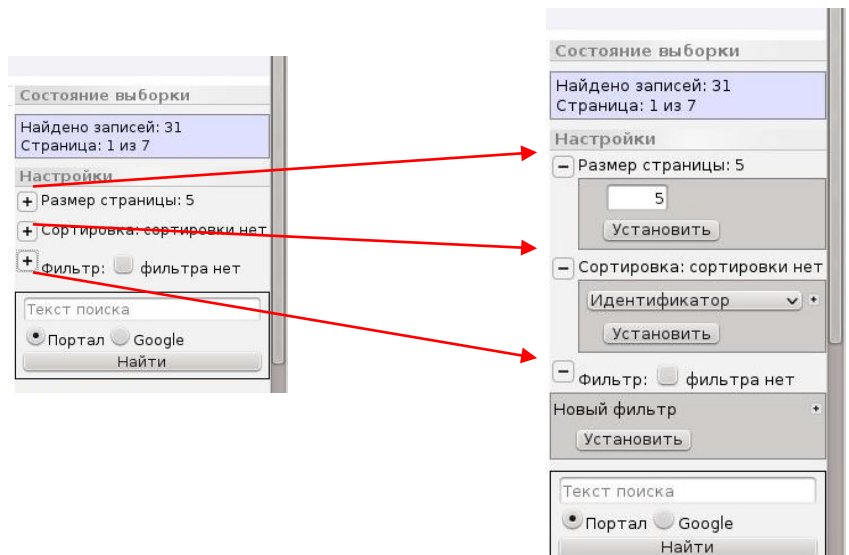
Например, таким образом можно спрятать всю левую, либо правую область экрана, либо обе вместе. Также раскрываются/скрываются списки из правой области экрана



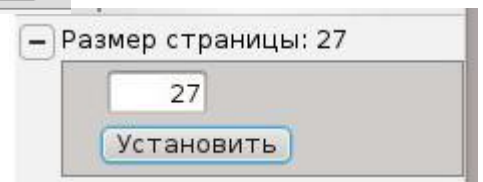
При следующем входе в систему установленные настройки пользователя сохраняются.

3.4 Пользовательские настройки

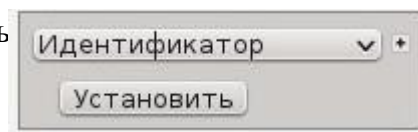
В правой области экрана расположена область пользовательских настроек с возможностью свернуть/развернуть следующие элементы: размер страницы (количество высвечиваемых на странице записей), сортировка, фильтрация, поиск на портале либо в Google.



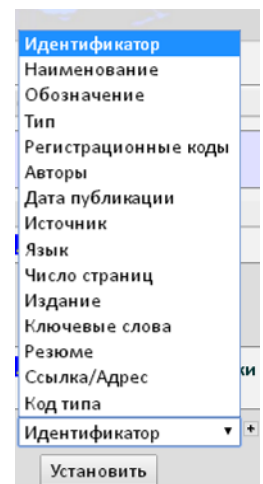
Количество высвечиваемых на одной странице материалов может быть изменено заданием нужной цифры (например, 27) с помощью кнопки **Установить**:



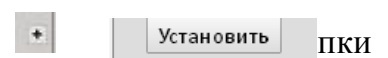
Сортировка может осуществляться



по следующим компонентам из раскрывающегося списка

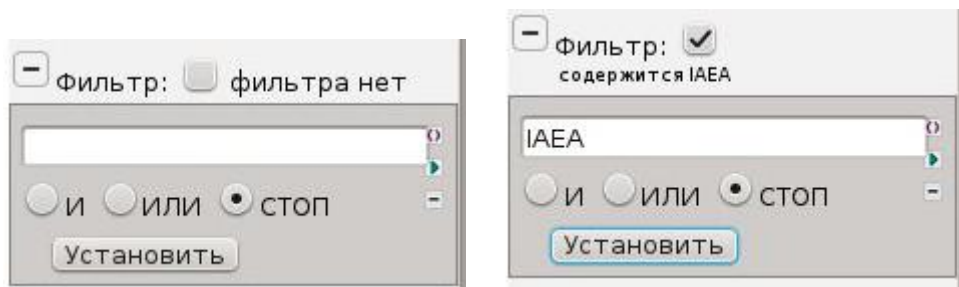


путем добавления компонента с помощью кнопки **+**

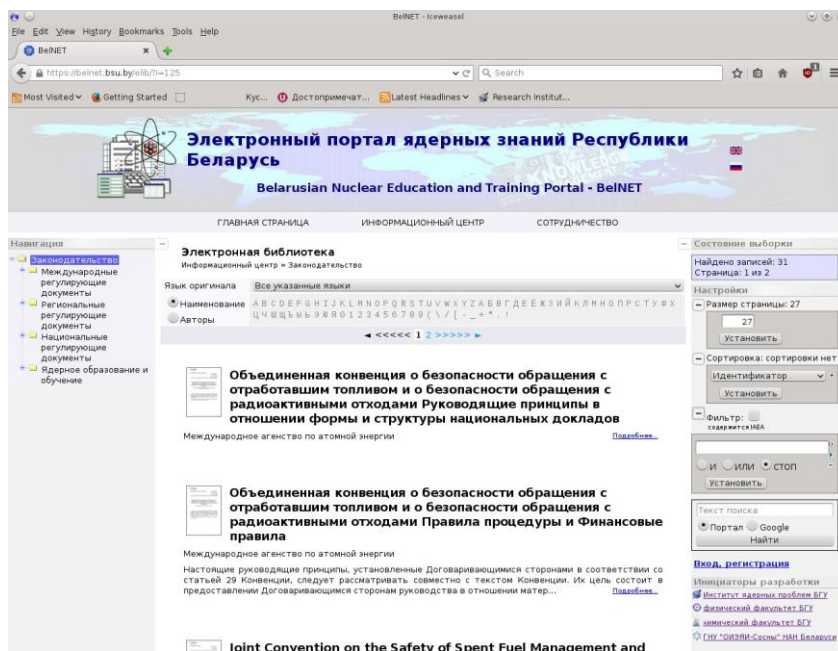


:

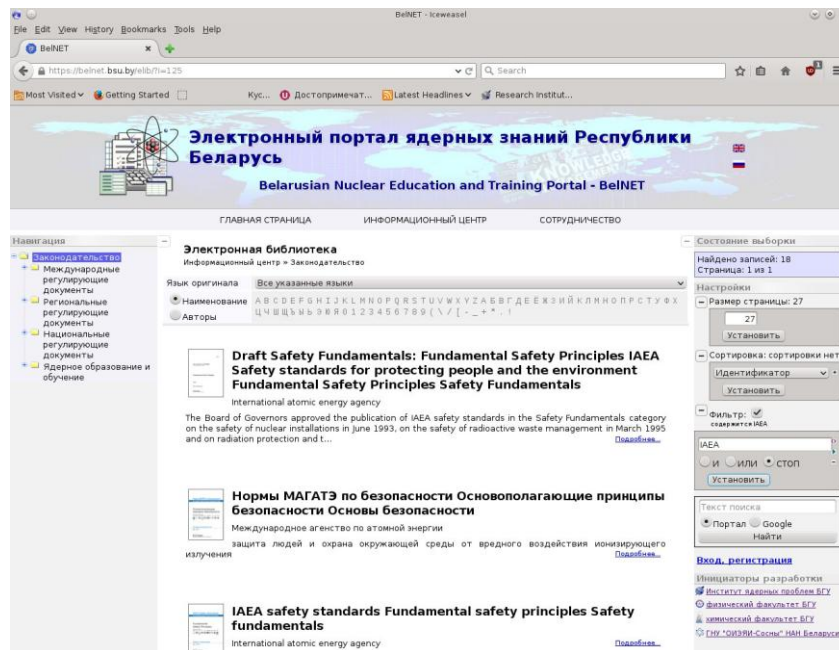
Фильтрация высвечиваемых материалов (например, по слову “IAEA”) осуществляется путем включения флага , выбора фильтра, добавления его с помощью :






В этом случае, например, вместо экрана со следующими материалами :



получается экран с высвеченными отфильтрованными материалами, содержащими “IAEA”:

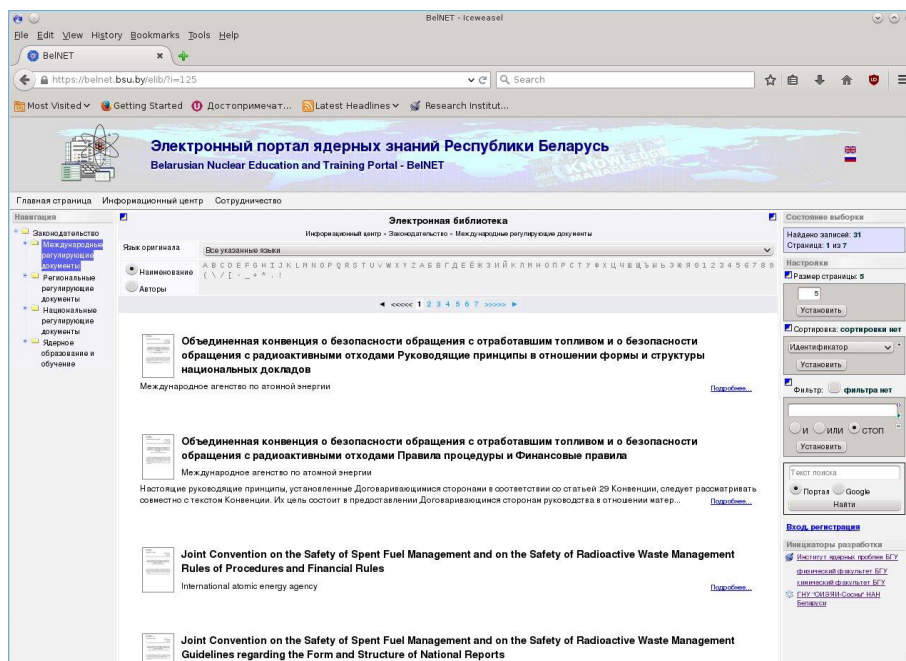


Фильтр может быть более сложным, включая процедуры объединения “И”, исключения “ИЛИ”. Кнопка  удаляет фильтры, Область редактирования фильтра при необходимости может быть изменена ее сворачиванием  или раскрытием .

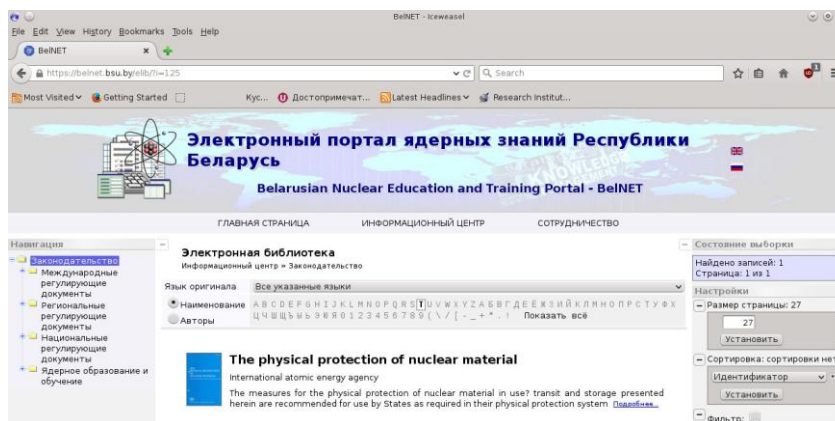
В верхней части центральной области экрана также расположена система фильтрации материалов по первым буквам (в названии либо первом авторе) материала и языкам материалов.



Например, если выбрать имя файла, начинающее с латинской буквы **T**, то получим вместо окна:



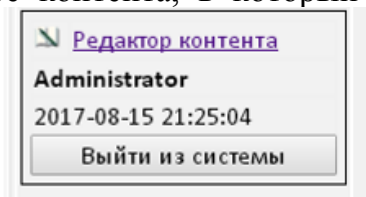
окно следующего вида с оказавшимся единственным материалом, начинающимся с латинской буквы **T**:



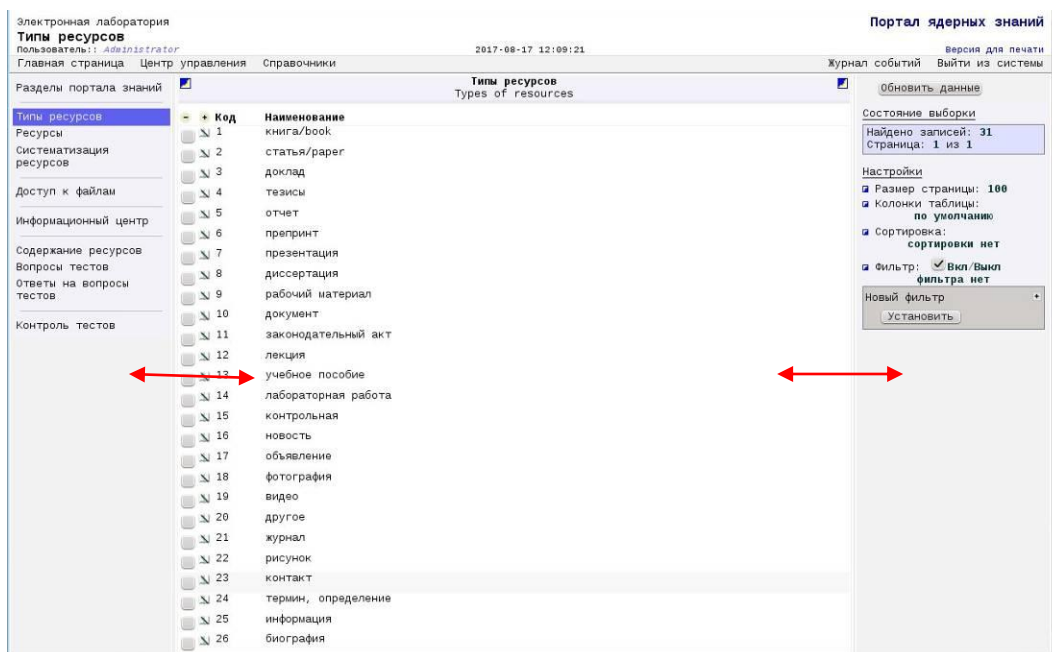
Нажатие “Показать все” возвращает вывод на экран всех документов.

4 Редактор контента

Авторизованные пользователи после успешного входа в систему имеют возможность работать в редакторе контента, в который можно попасть, нажав строку Редактор контента:







В редакторе контента также доступны опции изменения ширины левой и правой областей экрана:






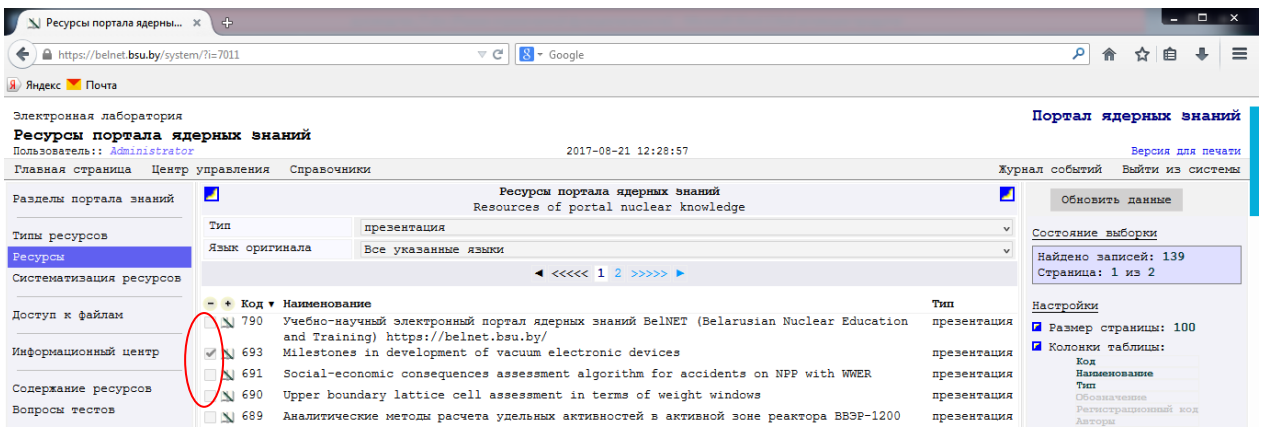
Возврат на портал происходит нажатием строки [Главная страница](#) в верхней левой части экрана редактора.

4.1 Общие принципы редактирования

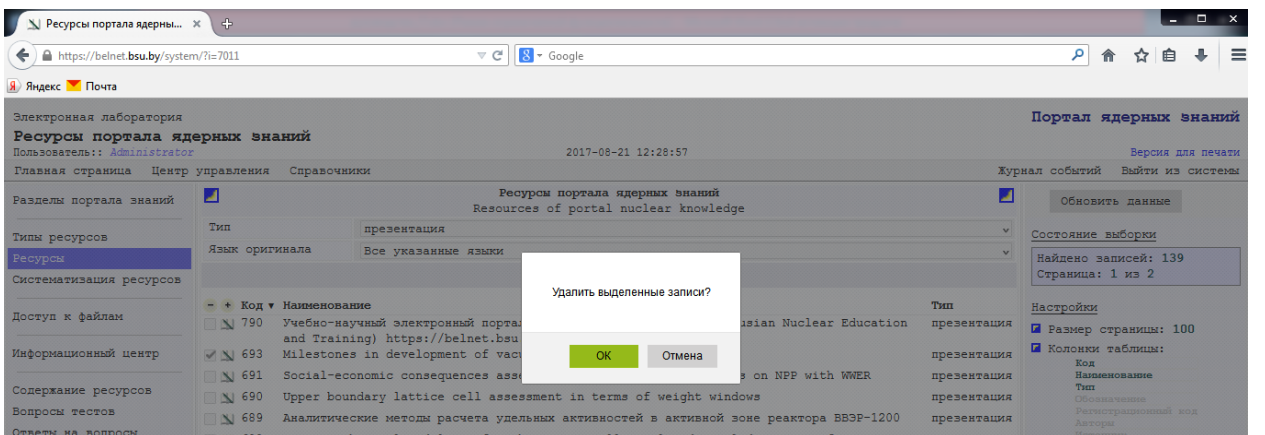
В редакторе контента поддерживаются элементы управления в виде голубых кнопок-квадратиков  и . Нажатие на такую кнопку либо прячет (со всплывающей подсказкой **Скрыть**), либо высвечивает (со всплывающей подсказкой **Показать**) необходимый элемент управления на странице. Также возможно изменение ширины левой, правой области страницы перетягиванием вертикального разделителя мышью.




Все редактирование осуществляется с помощью элемента . После окончания редактирования для сохранения изменений нужно нажать на него: .

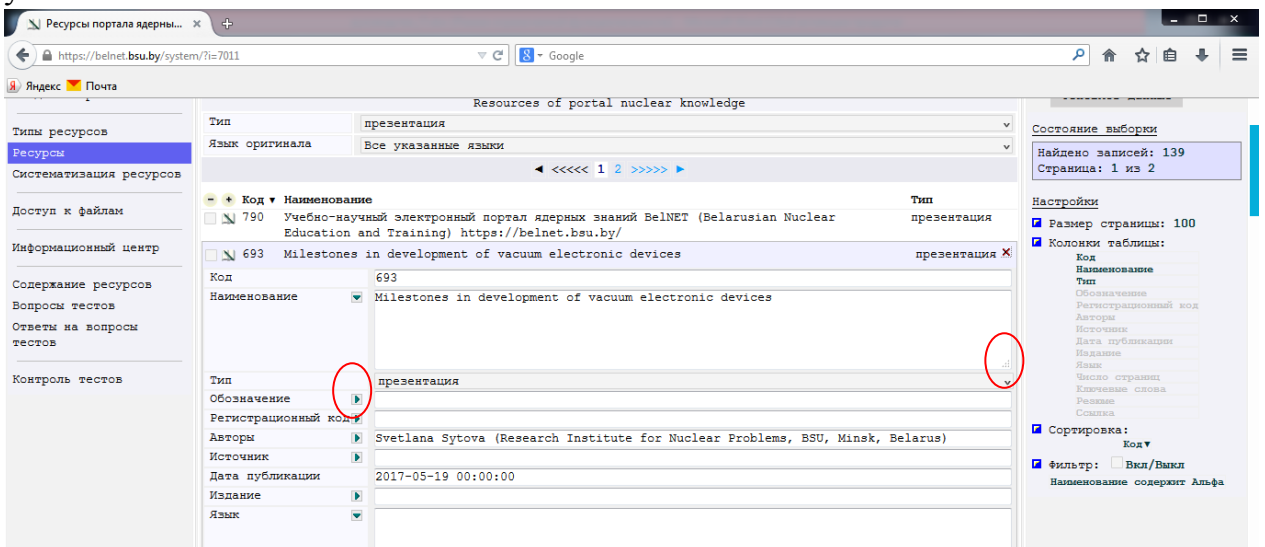
Добавление новых записей осуществляется с помощью кнопки . Помеченная с помощью кнопки  запись может быть удалена с помощью кнопки :

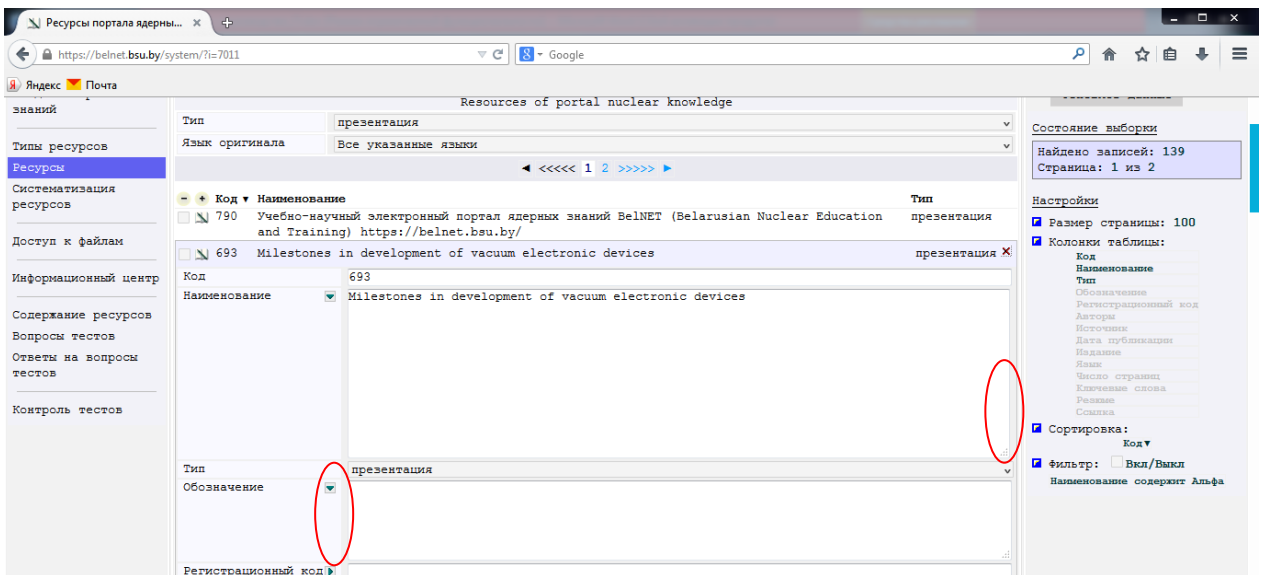



Пользователь должен будет подтвердить удаление записи:



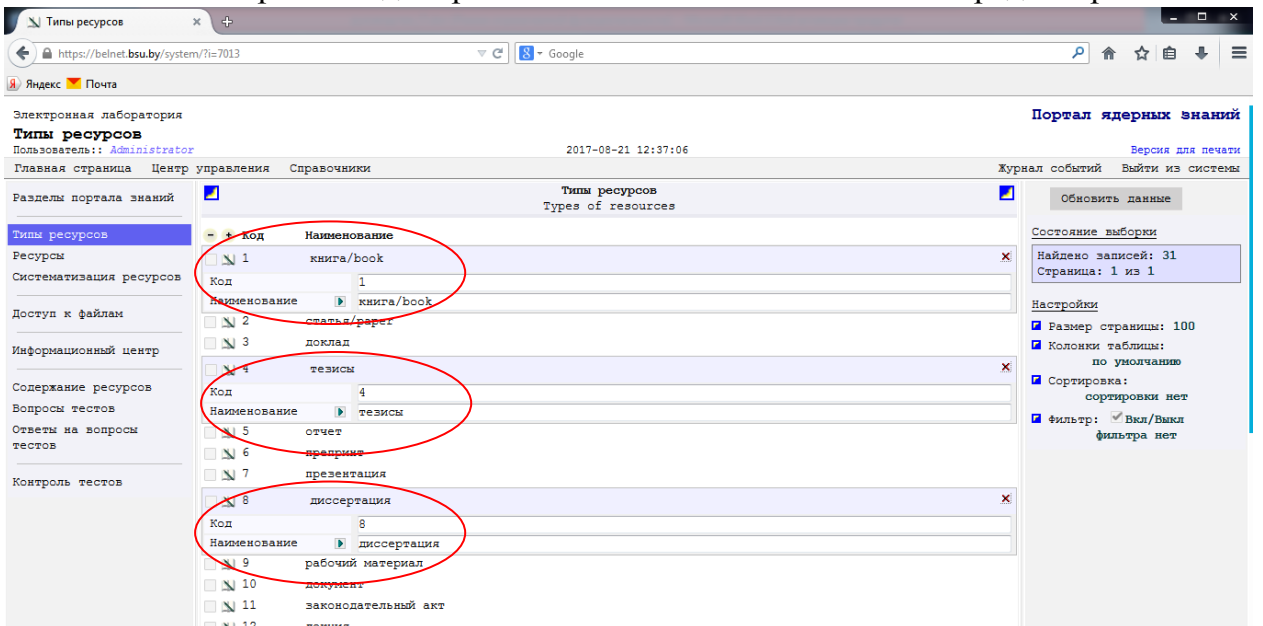
Область редактирования при необходимости может быть изменена ее сворачиванием  или раскрытием . Размер области редактирования при необходимости может быть изменен перетягиванием «мыши» за правый нижний угол этой области .





Нажатие элемента  означает выход без сохранения из области редактирования.

Возможна работа одновременно с несколькими областями редактирования:



Возможен уход пользователя на другую страницу редактора контента или на любую другую страницу, открытую на компьютере. После возвращения пользователя на текущую страницу редактора сохраняются все сделанные изменения и настройки.

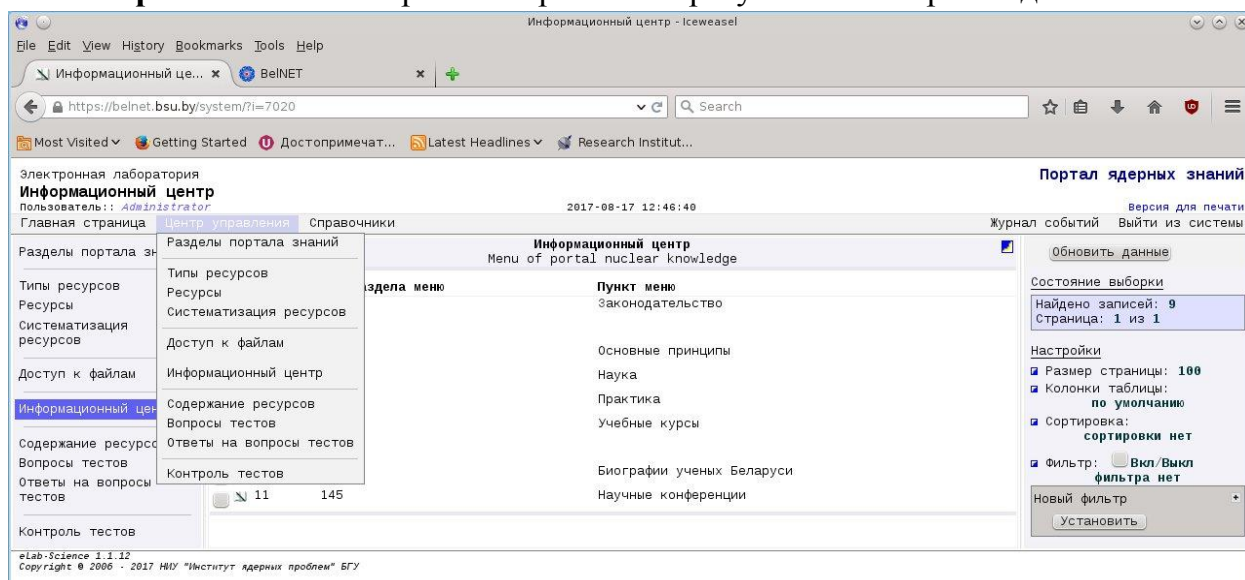
4.2 Ресурсы

Редактор ресурсов содержит следующие разделы:

- **Разделы портала знаний** – содержит список секций портала.
- **Типы ресурсов** – содержит следующие типы ресурсов (которые могут быть изменены и дополнены): книга, статья, доклад, тезисы, отчет, препринт, презентация, диссертация, рабочий материал, документ, законодательный акт, лекция, учебное пособие, лабораторная работа, контрольная, новость,

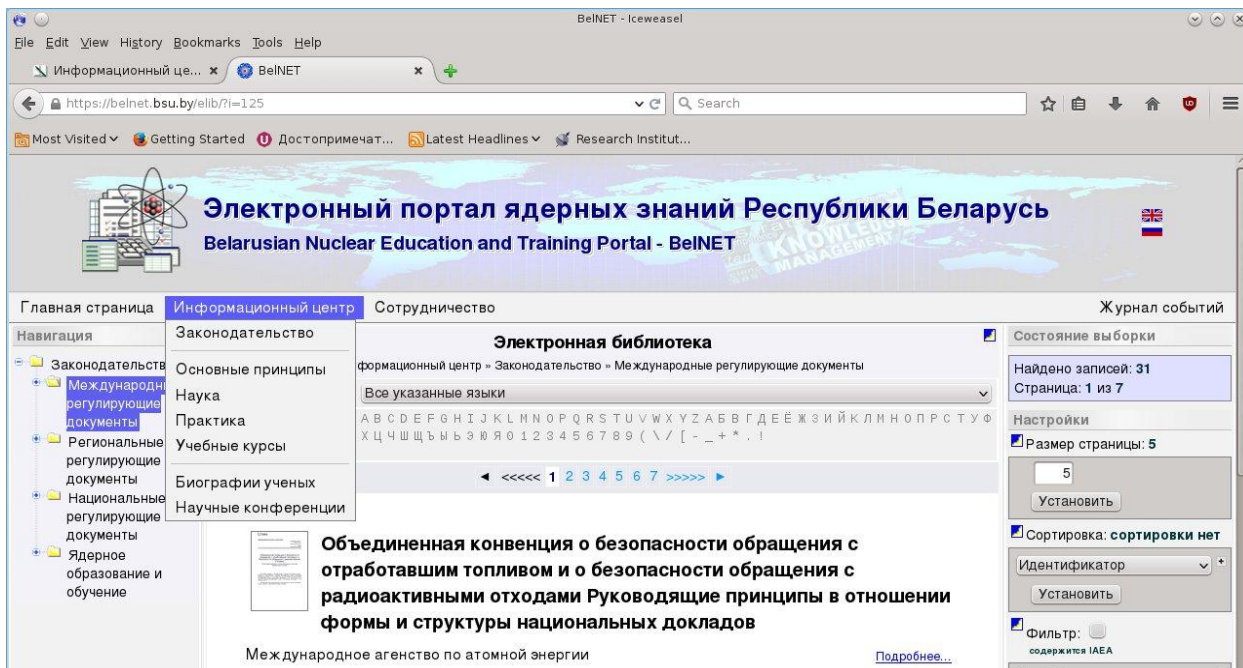
объявление, фотография, видео, другое, журнал, рисунок, контакт, термин, определение, информация, биография, ссылка на ресурс (меню "Полезные ссылки"), ссылка на известные специальные форумы (меню "Форумы"), ссылка на популярные коллекции (меню "Ресурсы"), ссылка на интересные публикации (меню "Советуем прочесть"), материалы конференции.

- **Ресурсы** – собственно ресурсы (материалы) портала.
- **Систематизация ресурсов** – отнесение ресурсов к секциям портала.
- **Доступ к файлам** – определяет порядок доступа к файлам: открытый доступ либо ограниченный доступ (только для авторизованных пользователей).
- **Информационный центр** – редактор меню портала.
- **Содержание ресурсов** – редактор содержания ресурсов.
- **Вопросы тестов** – редактор вопросов тестов.
- **Ответы на вопросы тестов** – редактор ответов на вопросы тестов.
- **Контроль тестов** – запротоколированные результаты по прохождению тестов.

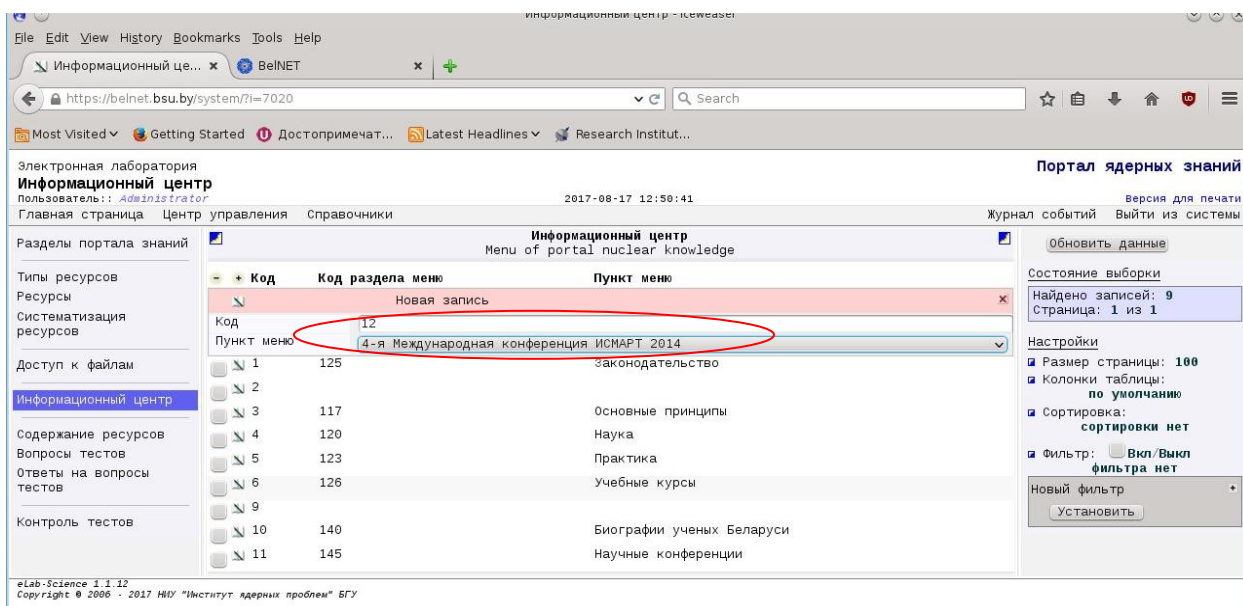


4.3. Информационный центр и разделы портала

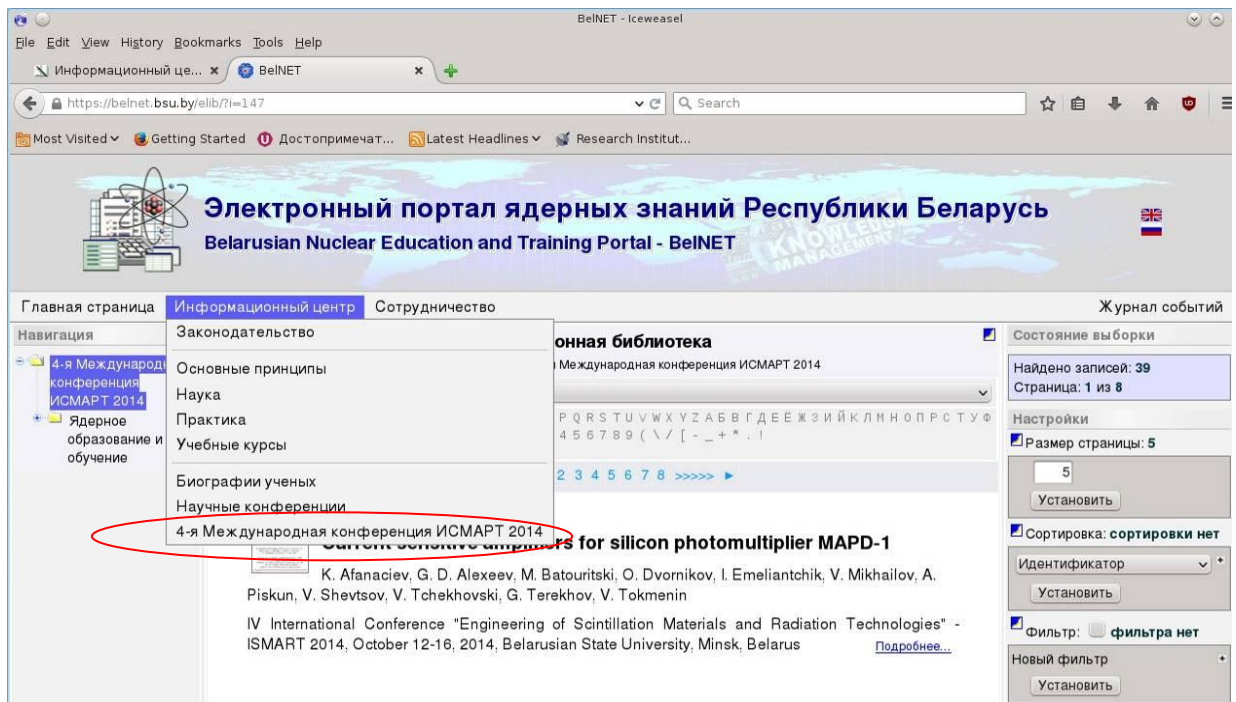
В настоящий момент существуют следующие разделы **Информационного центра** портала, которые могут быть изменены и дополнены.



Например, в редакторе меню портала может быть внесен новый пункт меню:

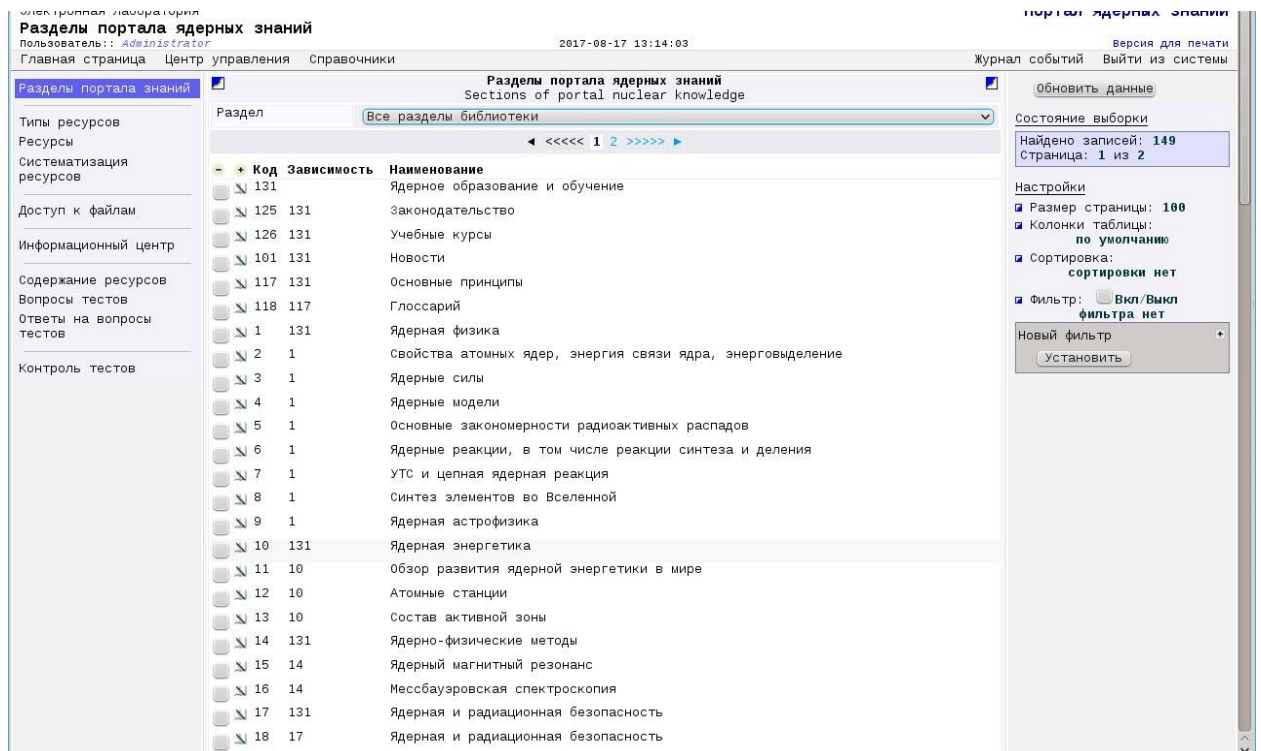



Результат после сохранения и обновления экрана браузера будет следующим:




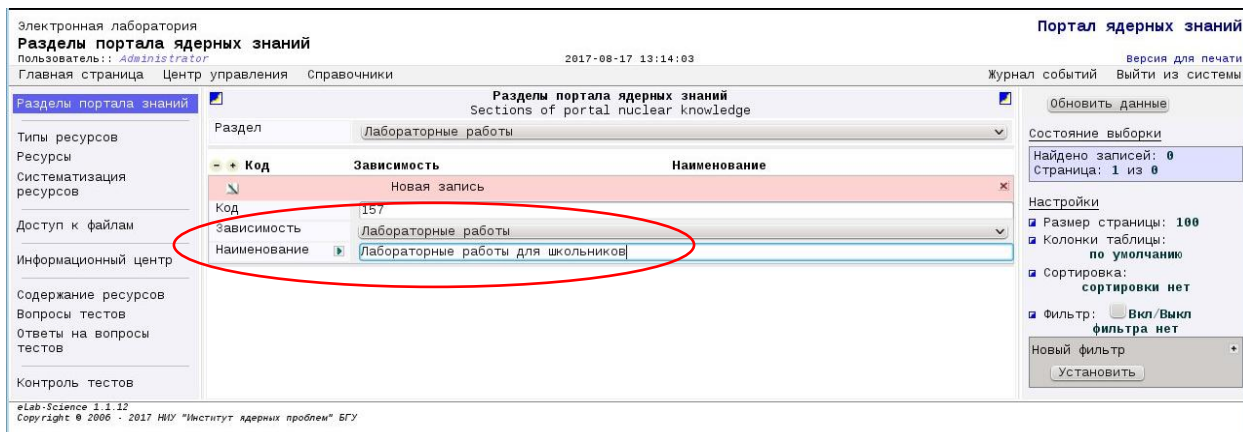
Стандартными средствами редактора данный раздел меню может быть удален.

Разделы портала могут быть добавлены с помощью редактора разделов, где возможно установление иерархии (подчиненности) разделов – подразделов и т.д.

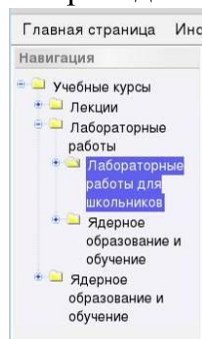


Например, внесение нового подраздела “Лабораторные работы для школьников” в раздел “Лабораторные работы” делается следующим образом: нажать кнопку «добавить» , выбрать **Зависимость** – раздел, от которого

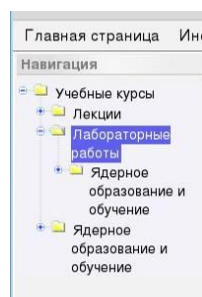
зависит создаваемый, набрать название создаваемого раздела и сохранить сделанные изменения кнопкой  :





Как результат, это приведет к возникновению пункта меню:




ВМЕСТО:



Раздел “Лабораторные работы для школьников” может быть удален стандартным образом, нажимая  для помеченной  записи.

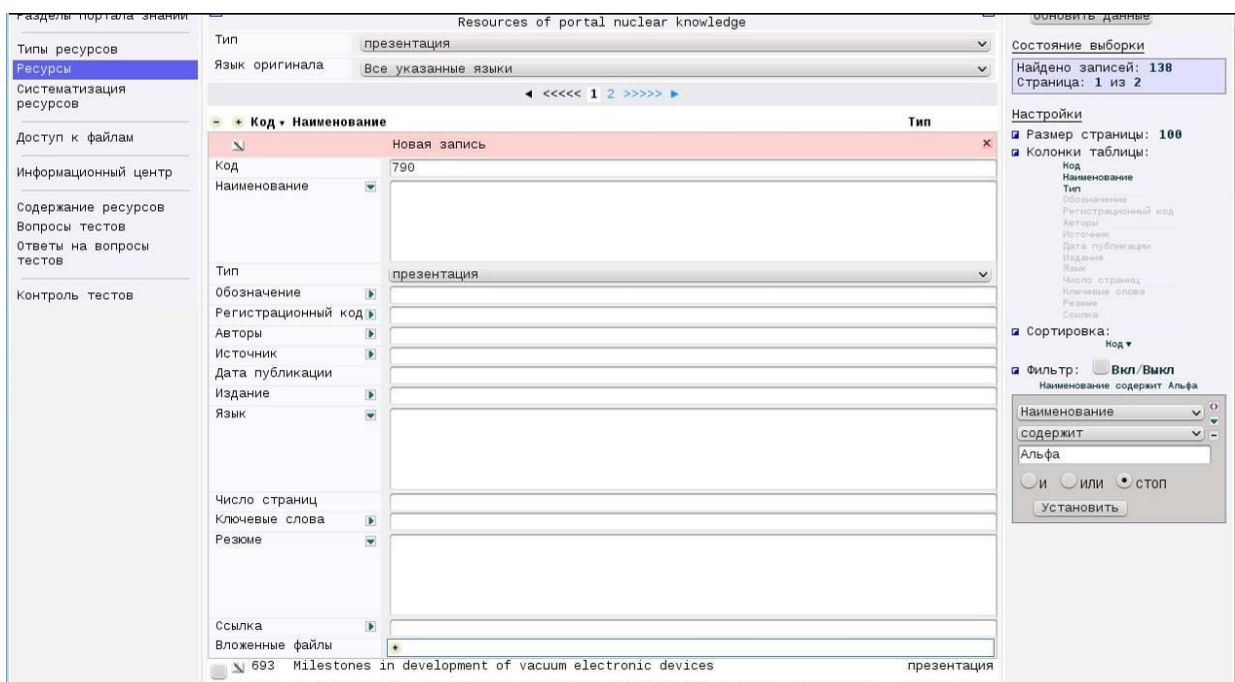
Аналогичным образом создаются/удаляются любые записи на портале.


4.4 Создание нового ресурса (материала)

Для создания нового ресурса нужно высветить раздел **Ресурсы** в левой части редактора. Затем нажать кнопку «добавить»  . На экране появится список строк для заполнения информации о материале:

Код – номер материала, автоматически генерируется системой, позволяет потом ссылаться на материал в рамках редактора.


Наименование – название материала и т.д.



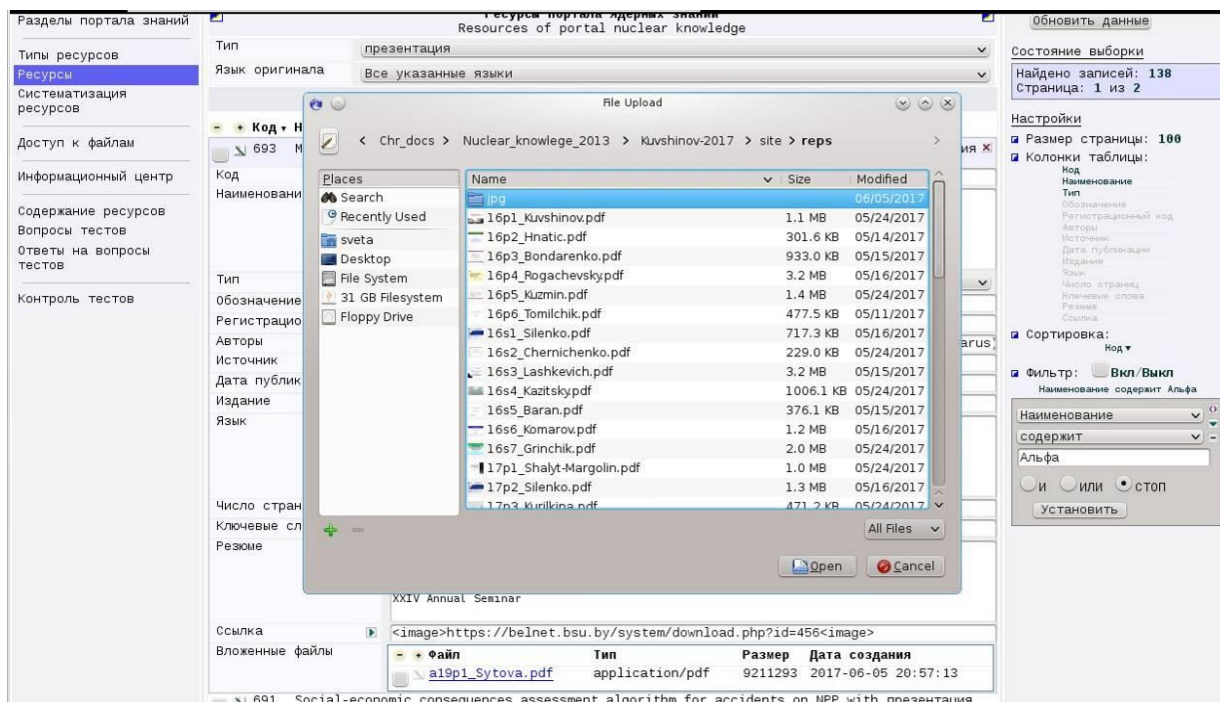
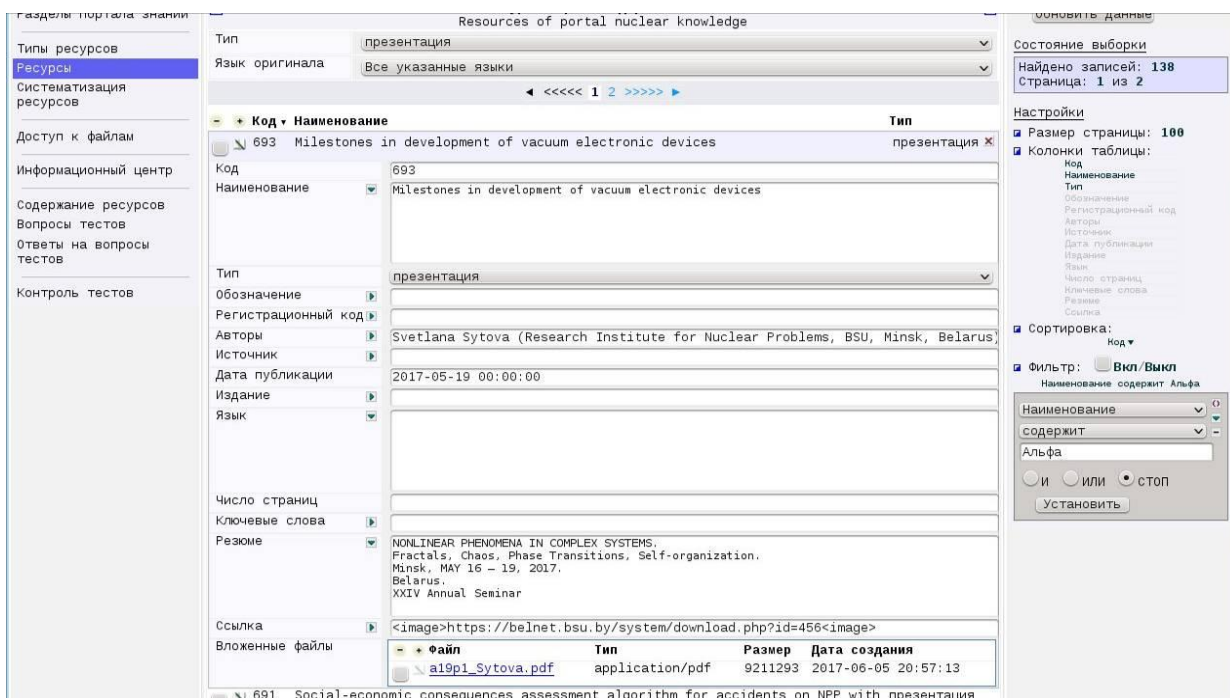
Вложенные файлы – файл(ы) материала добавляются по нажатию кнопки  и выбору соответствующего файла из меню. Объем загружаемого файла не должен превышать 16 Мб. При процессе загрузки высвечивается бегущая желто-зеленая линейка-индикатор загруженного объема файла.

Во всех строках могут быть использованы элементы языка HTML, задающие размер, цвет букв, ссылки и т.д. Описание см. ниже в разделе 5.

Процесс добавления картинок описан в разделе 6.


Пустые (незаполненные) строки не высвечиваются на портале. В конце работы необходимо сохранить  сделанное.

Существующий ресурс может быть исправлен кнопкой  обычным образом.

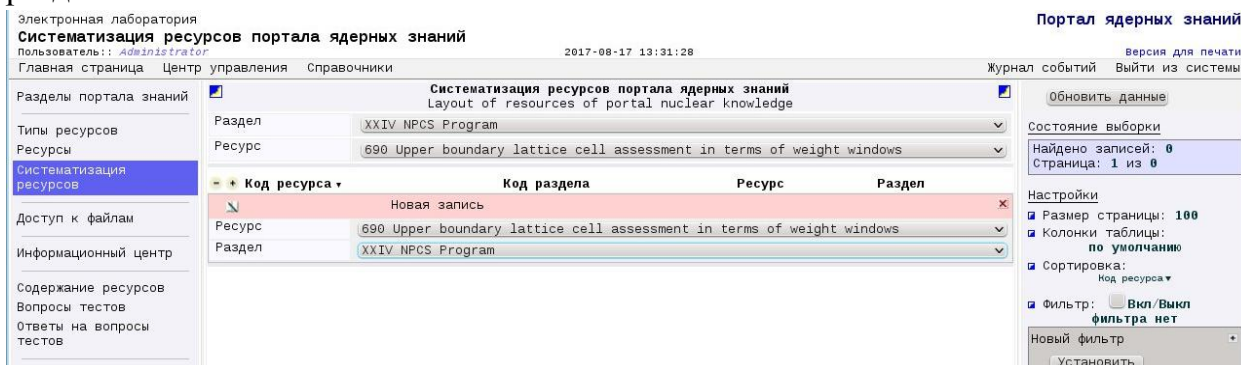


Аналогичным образом создаются текстовые **Содержание ресурсов**, **Вопросы тестов**, **Ответы на вопросы тестов** (см. раздел 7) с использованием основ форматирования текста и записью формул с помощью разметки TeX с набором расширений LaTeX (см. раздел 5).

4.5 Систематизация ресурсов

Систематизация ресурсов – это отнесение ресурсов к секциям портала. Без выполнения систематизации ресурс не может быть высвечен на портале. Производится стандартными кнопками  и выбором ресурса и


соответствующего **Раздела** из выпадающего списка, куда должен быть помещен ресурс. Один ресурс может быть помещен (проассоциирован) в несколько разделов.

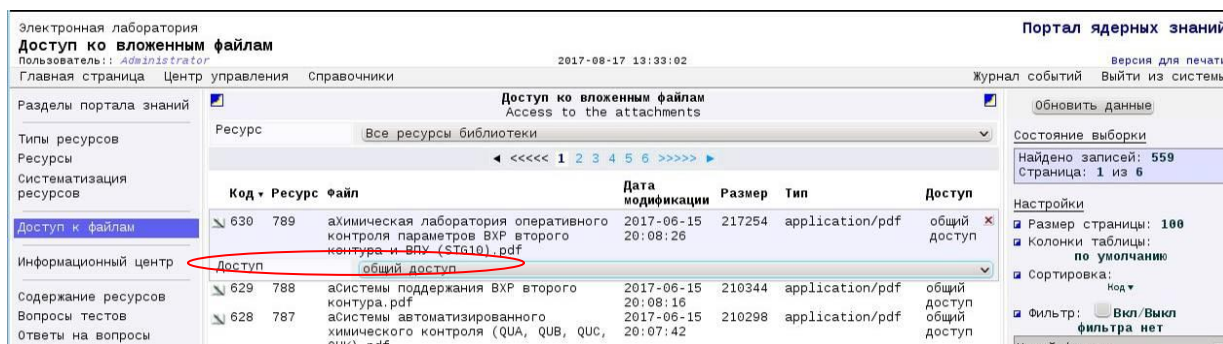


4.6 Доступ к файлам

Материалы портала имеют следующие типы доступа:

- **Общий доступ;**
- **Авторизованный пользователь** (доступен для прочтения авторизованным пользователям);
- **Администратор** (доступен для прочтения администратору портала).

По умолчанию вновь создаваемый материал имеет общий доступ. Изменение уровня доступа производится стандартными кнопками  и выбором файла и уровня **Доступа** из выпадающего списка:



Отметим, что в данном разделе высвечиваются два различных номера (идентификатора) – **Код** – идентификатор файла, и **Ресурс** – идентификатор ресурса. Они могут совпадать, но, вообще говоря, это различные номера.

Код используется для вставки файлов (в том числе картинок) в текст ресурса (см. раздел 6).

5 Основы форматирования текста, вставки ссылок и спецсимволов

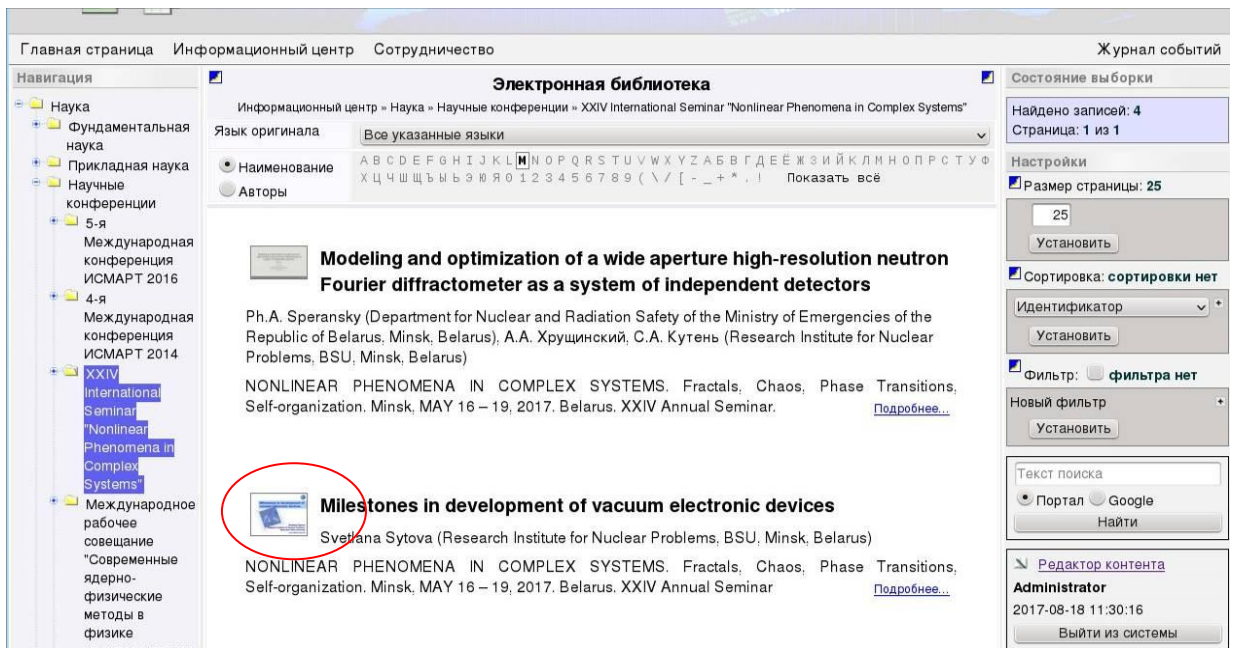
Ввод и редактирование содержимого ресурса осуществляется **по правилам HTML** (от англ. HyperText Markup Language — «язык гипертекстовой разметки»)

— стандартный язык разметки документов во Всемирной паутине <http://www.w3schools.com/tags/>.

1. Каждый новый **параграф** оборачивается тегами `<p>содержимое параграфа</p>`
2. **Выделенный текст** оборачивается тегами `выделенный (жирный) текст`
3. **Наклонный текст** оборачивается тегами `<i>наклонный текст (курсив)</i>`
4. **Верхний индекс** оборачивается тегами `^{верхний индекс (superscript)}`
5. **Нижний индекс** оборачивается тегами `_{нижний индекс (subscript)}`
6. **Красная строка** задается стилем параграфа `<p style="text-indent:Npx;">содержимое параграфа</p>`, где *N* – целое число – величина сдвига текста в пикселях
7. **Выравнивание текста** задается стилем параграфа `<p style="text-indent:Npx; text-align:Align;">содержимое параграфа</p>`, где *Align* – строка принимающая следующие значения:
 - left** – по левому краю
 - right** – по правому краю
 - center** – по центру
 - justify** – по ширине
8. **Шрифт и размер текста** задается стилем параграфа `<p style="text-indent:Npx; text-align:Align; font-family: Имя шрифта; font-size: Npx;">содержимое параграфа</p>`, где *Имя шрифта* – строка-наименование шрифта (можно посмотреть в списке шрифтов редактора Word), *N* – целое число – размер шрифта в пикселях

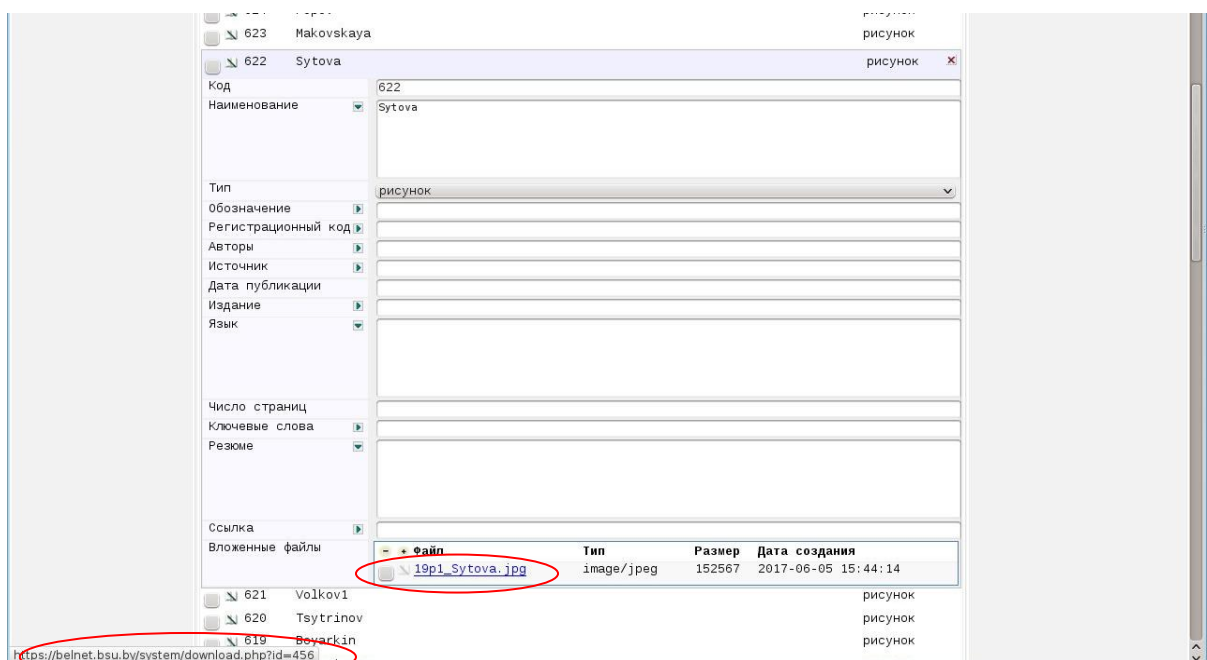
Формулы могут быть включены в текст по аналогии с Wikipedia с помощью разметки [TeX](#) с набором расширений [LaTeX](#) подобно [разметке формул в MediaWiki](#). Исходный код математической формулы записывается внутри тегов `$...$` по правилам [TeX](#) и [LaTeX](#).

6 Добавление картинок

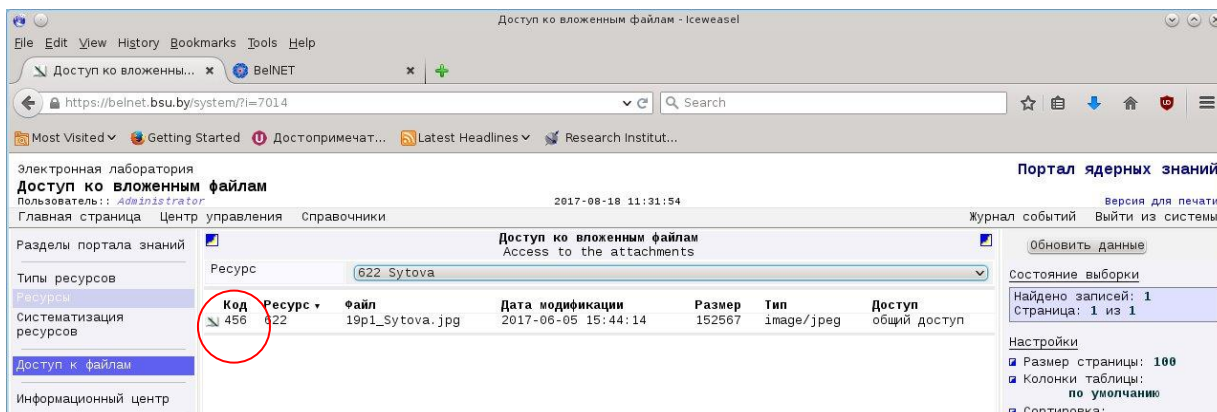


Вставка собственной картинки (файла типа pdf, jpg и др.), загружаемой по ссылке, осуществляется сначала путем стандартной загрузки картинки на портал и определения идентификатора **Код** файла картинки в разделе **Доступ к файлам**, который присвоен ей в базе данных портала. Систематизировать картинку необязательно.

Ссылка на эту картинку из базы данных портала по тексту ресурса имеет следующий вид: «[../download.php?id=ID](#)» где **ID** – целое число – идентификатор файла картинки (**Код**) в базе данных портала (см. раздел 4.6). **Код** можно получить либо в разделе **Доступ к файлам**, либо «наступив» мышью на название файла во **Вложенных файлах** – ссылка на файл с **Кодом** высвечивается в нижнем левом углу экрана.

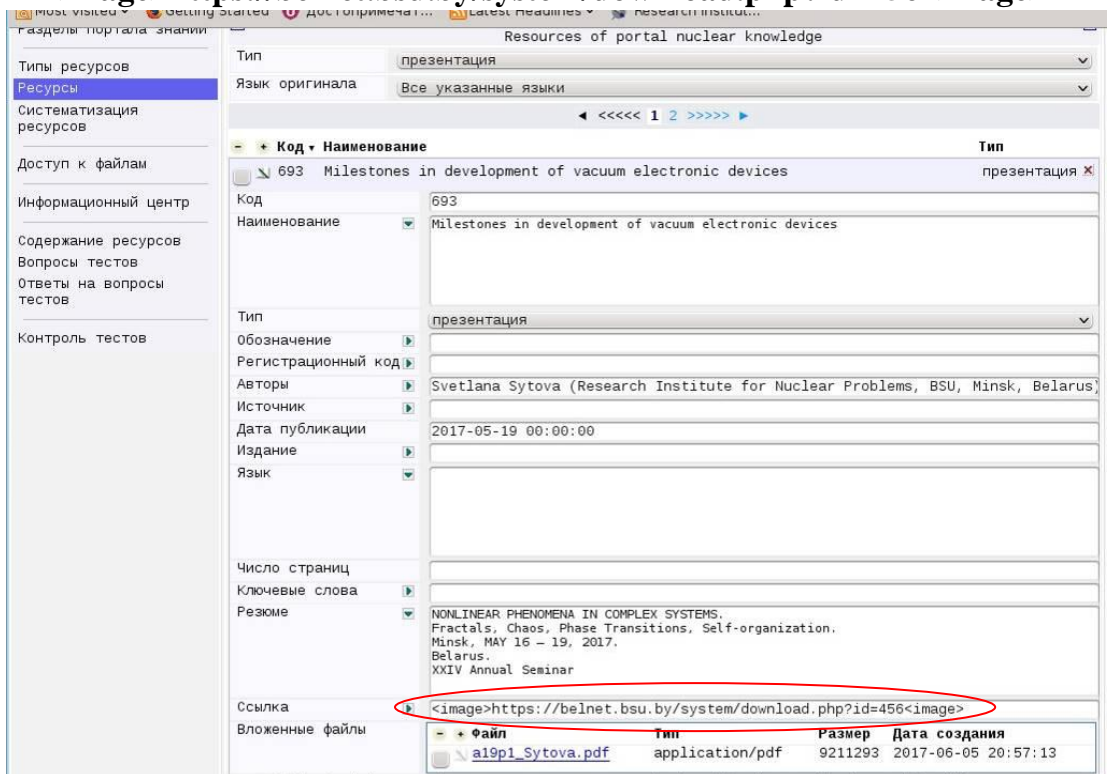


Либо:



Например, файл “19p1_Sytova.jpg” имеет **Код** = 456, **Ресурс** = 622. Поэтому при формировании ресурса с презентацией “**Milestones in development of vacuum electronic devices**”, у которой будет высвечена собственная картинка (тот самый файл “19p1_Sytova.jpg”) в поле **Ссылка** необходимо привести ссылку на файл картинки в базе данных:

<image>https://belnet.bsu.by/system/download.php?id=456<image>



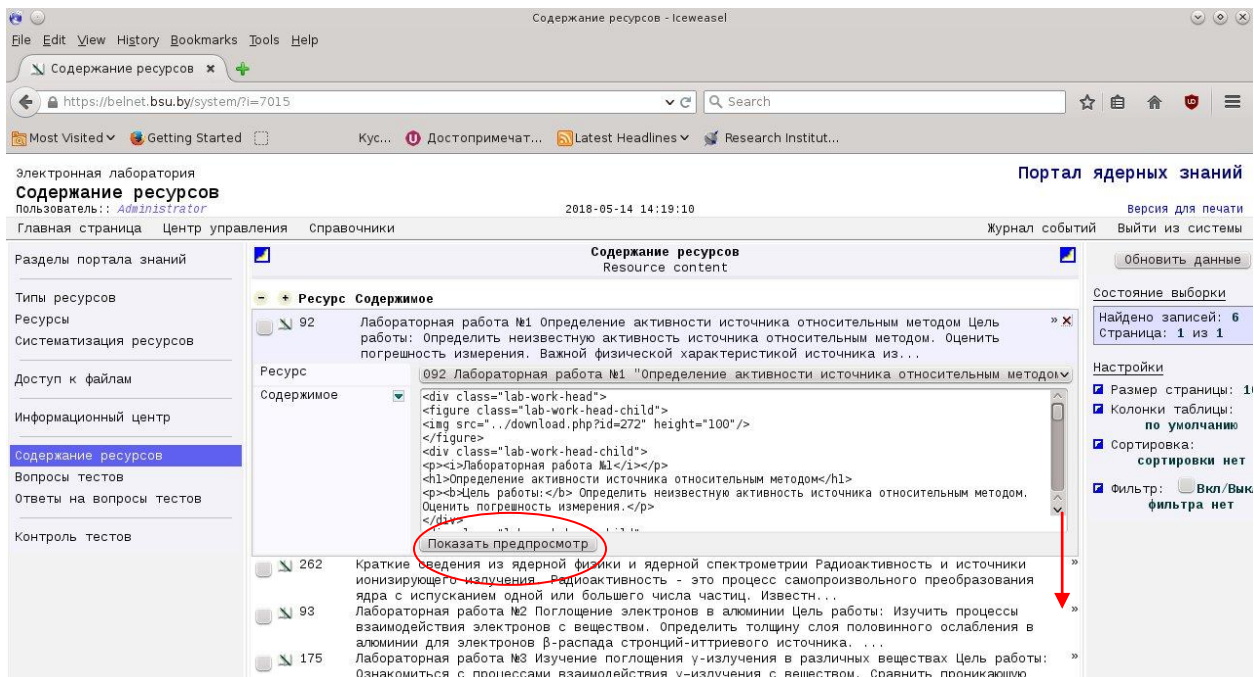
Аналогичным образом можно приводить ссылки на картинки и файлы в других полях, например, если в поле **Резюме** набрать:

“На фото слева направо...”

со ссылкой на **Код** = 466, где этот код соответствует файлу photo123.pdf, то по клику мыши на слово **фото** на портале будет высвечиваться сам файл с фотографиями.

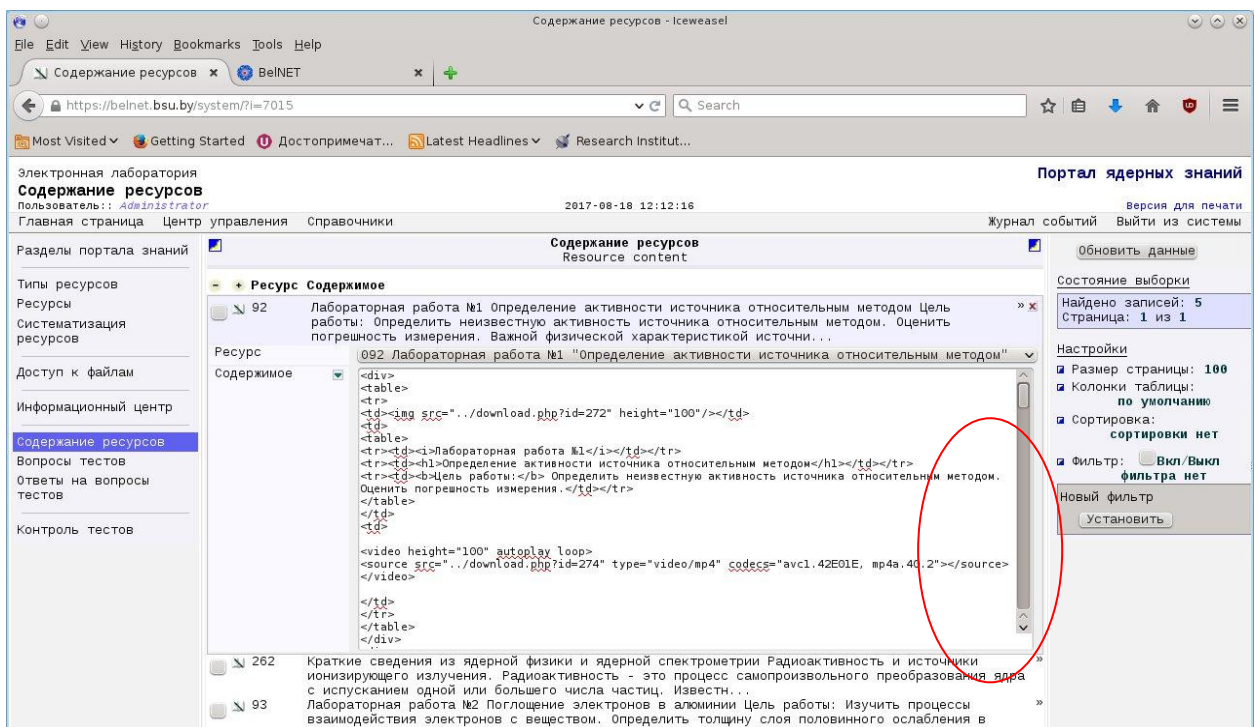
7 Редактор лабораторных работ

Здесь доступна функциональность предварительного просмотра, которая доступна по нажатию кнопки «Показать предпросмотр».



Редактор лабораторных работ состоит из разделов “Содержание ресурсов”, “Вопросы тестов”, “Ответы на вопросы тестов”.

Здесь также размер области редактирования при необходимости может быть изменен перетягиванием «мыши» за правый нижний угол этой области ☹.



Ввод и редактирование содержимого ресурса (лабораторной работы) осуществляется по правилам HTML (см. раздел 5).

Описание работы и вложенные файлы задаются в разделе Ресурсы:

Ресурсы портала ядерных знаний
Resources of portal nuclear knowledge

Тип: лабораторная работа
Язык оригинала: Все указанные языки

Код	Наименование	Тип
282	Учебная программа по курсу "Радиохимия" для специальности "Химия высоких энергий"	лабораторная работа
281	Лабораторная работа №9 "Исследование радиоактивности атмосферного воздуха"	лабораторная работа
280	Лабораторная работа №8 "Определение водопоглощающей способности материалов-носителей образцовых радионуклидных источников специального назначения"	лабораторная работа
279	Лабораторная работа №7 "Определение геометрического коэффициента счета активности"	лабораторная работа
278	Лабораторная работа №6 "Проверка стабильности радиометрической аппаратуры и определение оптимального времени измерения"	лабораторная работа
262	Краткие сведения из ядерной физики и ядерной спектрометрии	лабораторная работа
261	Лабораторная работа №5 "Естественные радиоактивные ряды"	лабораторная работа
260	Лабораторная работа №4 "Изучение проникающей способности γ -квантов различных энергий"	лабораторная работа
175	Лабораторная работа №3 "Изучение поглощения γ -излучения в различных веществах"	лабораторная работа
93	Лабораторная работа №2 "Поглощение электронов в веществе"	лабораторная работа
92	Лабораторная работа №1 "Определение активности источника относительным методом"	лабораторная работа

Лабораторная работа №1 "Определение активности источника относительным методом"

Код: 92

Наименование: <i>Лабораторная работа №1</i> Определение активности источника относительным методом

Тип: лабораторная работа

Обозначение:

Регистрационный код:

Автор:

Источник: БГУ, физический факультет, кафедра ядерной физики

Дата публикации: 2015-11-19 00:00:00

Издание:

Язык: русский

Число страниц:

Ключевые слова:

Режим: <p></p><p>Цель работы:</p> определить неизвестную активность источника относительным методом. Оценить погрешность измерения.</p><p>Текст задания предоставляется файлом Работа 1.1. Определение активности источника.pdf</p>

Ссылка: <image>../download.php?id=57</image>

файл	Тип	Размер	Дата создания
Работа 1.1. Определение активности источника.pdf	application/pdf	486751	2015-11-25 17:26:10
Работа 1.5. СсХ.txt	text/plain	3830	2015-11-25 17:16:20
Работа 1.4. Сс0.txt	text/plain	3654	2015-11-25 17:16:18
Работа 1.3. фон.txt	text/plain	3315	2015-11-25 17:16:15
Работа 1.0. Определение активности	image/png	2507	2015-11-25

В разделе **Доступ к файлам** определяется уровень доступа к материалам работы, например, для ресурса **092 Лабораторная работа №1** – это уровень зарегистрированного пользователя, то есть до авторизации либо регистрации на портале доступ к чтению файлов данного ресурса закрыт.

Электронная лаборатория
Доступ ко вложенным файлам
 Пользователь: Administrator 2017-08-21 13:07:25
 Главная страница Центр управления Справочники Журнал событий Выйти из системы

Доступ ко вложенным файлам
 Access to the attachments

Код	Ресурс	Файл	Дата модификации	Размер	Тип	Доступ
61	92	Работа 1.1. Определение активности источника .pdf	2015-11-25 17:26:10	486751	application/pdf	авторизованный пользователь
56	92	Работа 1.2. Cs.avi	2015-11-25 17:16:05	6025658	video/x-msvideo	авторизованный пользователь
58	92	Работа 1.3. Фон.txt	2015-11-25 17:16:15	3315	text/plain	авторизованный пользователь
59	92	Работа 1.4. Cs0.txt	2015-11-25 17:16:18	3654	text/plain	авторизованный пользователь
60	92	Работа 1.5. CsX.txt	2015-11-25 17:16:20	3830	text/plain	авторизованный пользователь
57	92	Работа 1.0. Определение активности источника.png	2015-11-25 17:16:09	2507	image/png	общий доступ

В результате на портале в разделе **Лабораторные работы** имеется запись:

Электронный портал ядерных знаний Республики Беларусь
 Belarusian Nuclear Education and Training Portal - BeINET

Главная страница Информационный центр Сотрудничество Журнал событий

Навигация
 Учебные курсы
 Лекции
 Лабораторные работы
 Ядерное образование и обучение

Электронная библиотека
 Информационный центр » Учебные курсы

Язык оригинала: Все указанные языки

Наименование
 Авторы

А Б В Г Д Е Ж З И К Л М Н О П Q R S T U V W X Y Z А Б В Г Д Е Ж З И Й К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Щ Ъ Ы Ь Э Ю Я 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 (\ / [_ + * . !

Лабораторная работа №1 "Определение активности источника относительным методом"

Цель работы: определить неизвестную активность источника относительным методом. Оценить погрешность измерения. Текст задания представлен файлом Работа 1.1. Определение активности источника.pdf Пример набора спектра с помощью спектрометра...

[Подробнее..](#)

Эта запись раскрывается нажатием ссылки [Подробнее..](#)

Главная страница Информационный центр Сотрудничество

Навигация
 О проекте
 Свежие поступления
 Советуем прочесть
 Команда разработчиков
 Карта портала

Материал портала ядерных знаний BeINET
 статья/документ по запросу ресурса "92"

Лабораторная работа №1 "Определение активности источника относительным методом"

2015-11-19
 БГУ, физический факультет, кафедра ядерной физики

Цель работы: определить неизвестную активность источника относительным методом. Оценить погрешность измерения.

Текст задания представлен файлом Работа 1.1. Определение активности источника.pdf

Пример набора спектра с помощью спектрометра - Работа 1.2. Cs.avi

Спектр фоновых импульсов - Работа 1.3. Фон.txt

Спектр источника γ -излучения с «эталонной активностью» - Работа 1.4. Cs0.txt


Спектр источника с неизвестной активностью - Работа 1.5. CsX.txt

Загрузить:

Работа 1.0. Определение активности источника.png	2507	image/png	2015-11-25 17:16:09
Работа 1.1. Определение активности источника .pdf	486751	application/pdf	2015-11-25 17:26:10
Работа 1.2. Cs.avi	6025658	video/x-msvideo	2015-11-25 17:16:05
Работа 1.3. Фон.txt	3315	text/plain	2015-11-25 17:16:15
Работа 1.4. Cs0.txt	3654	text/plain	2015-11-25 17:16:18
Работа 1.5. CsX.txt	3830	text/plain	2015-11-25 17:16:20

Здесь видно, что пользователь не зарегистрирован и файлы, помеченные красными кружочками, недоступны для чтения. После регистрации они помечаются зелеными кружочками и доступны для работы.

[Вернуться](#)

 **Лабораторная работа №1 "Определение активности источника относительным методом"**
2015-11-19
БГУ, физический факультет, кафедра ядерной физики

Цель работы: *определить неизвестную активность источника относительным методом. Оценить погрешность измерения.*

Текст задания представлен файлом **Работа 1.1. Определение активности источника.pdf**

Пример набора спектра с помощью спектрометра - **Работа 1.2. Cs.avi**

Спектр фоновых импульсов - **Работа 1.3. Фон.txt**

Спектр источника у-излучения с «эталонной активностью» - **Работа 1.4. Cs0.txt**

Спектр источника с неизвестной активностью - **Работа 1.5. CsX.txt**

Загрузить:

Работа 1.0. Определение активности источника.png	2507	image/png	2015-11-25 17:16:09
Работа 1.1. Определение активности источника.pdf	486751	application/pdf	2015-11-25 17:26:10
Работа 1.2. Cs.avi	6025658	video/x-msvideo	2015-11-25 17:16:05
Работа 1.3. Фон.txt	3315	text/plain	2015-11-25 17:16:15
Работа 1.4. Cs0.txt	3654	text/plain	2015-11-25 17:16:18
Работа 1.5. CsX.txt	3830	text/plain	2015-11-25 17:16:20

[Подробнее...](#)

Контрольный тест: [ответов 2/7](#)

Установить

Сортировка: сортировки нет

Идентификатор

Установить

Фильтр: фильтра нет

Новый фильтр

Установить

Текст поиска

Портал Google

Найти

[Редактор контента](#)

Administrator

2017-08-21 13:12:26

Выйти из системы

Инициаторы разработки

[Институт ядерных проблем БГУ](#)

[Физический факультет БГУ](#)

[Химический факультет БГУ](#)

[ГНУ "ОИЯИ-Сосны" НАН Беларуси](#)

Дальнейшее раскрытие записи нажатием ссылки [Подробнее..](#) приводит к высвечиванию содержания самого ресурса:

Яндекс Почта

Работа 1.3. Фон.txt	3315	text/plain	2015-11-25 17:16:15
Работа 1.4. Cs0.txt	3654	text/plain	2015-11-25 17:16:18
Работа 1.5. CsX.txt	3830	text/plain	2015-11-25 17:16:20

 **Лабораторная работа №1**

Определение активности источника относительным методом

Цель работы: Определить неизвестную активность источника относительным методом. Оценить погрешность измерения.

Важной физической характеристикой источника излучений является его активность A . Она определяется как среднее число распадов ядер в единицу времени. Единицей активности в СИ является беккерель. Он соответствует одному распаду в секунду: $1\text{Бк} = 1\text{расп/с}$. До сих пор используется старейшая единица активности – кюри ($1\text{Ки} = 3,7 \cdot 10^{10}\text{расп/с}$). Такую активность имеет 1г радия. Активность зависит от вероятности распада отдельного ядра λ (постоянная распада) и числа радиоактивных ядер. Величина λ не зависит от времени, от агрегатного состояния вещества, а является характеристикой данного вида ядер.

Число частиц, испускаемых источником, обязательно совпадает с числом распадов в источнике, оно может быть равно, меньше или больше. Это зависит от числа частиц, рождающихся при одном распаде. Активность источника может быть измерена, если вылетающие из источника частицы регистрировать детектором излучений.

Пусть за промежуток времени Δt зарегистрировано N отсчетов. Очевидно, что N будет пропорционально числу распадов за это же время $A \cdot \Delta t$. Можно ввести коэффициент пропорциональности ϵ между N и $A \cdot \Delta t$ и записать равенство

$$N = \epsilon \cdot A \cdot \Delta t$$

Коэффициент ϵ включает в себя несколько факторов, важнейшими из которых являются: вероятность частице попасть в рабочий объем детектора и последующая вероятность ее регистрации в детекторе. Обычно этот коэффициент неизвестен. Однако при наличии источника с известной (эталонной) активностью A_0 можно определить неизвестную активность без вычисления η . Для этого надо провести измерения в полностью идентичных условиях за одно и то же время для источников с известной A_0 и неизвестной A_X активностями. Необходимо также, чтобы исследуемый источник излучений и

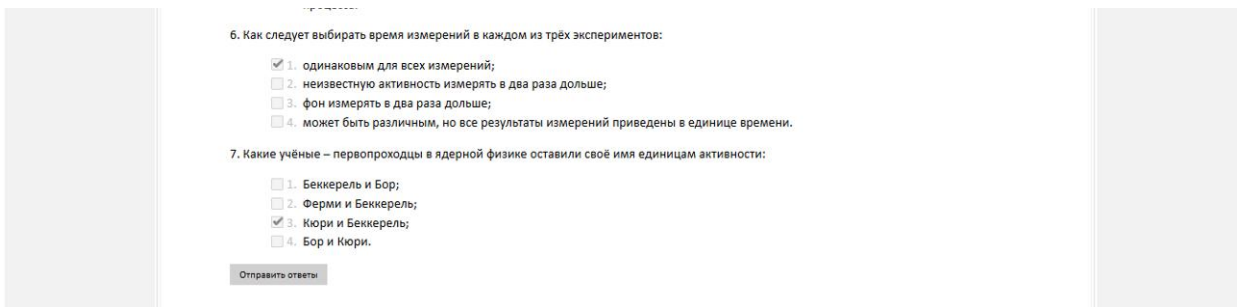
Контрольные вопросы: [\(ответов 2/7\)](#)

1. Активность источника излучения зависит от:

- 1. количества радиоактивных ядер в источнике и постоянной распада;
- 2. агрегатного состояния вещества источника и постоянной распада;
- 3. постоянной радиоактивного распада и химического состава вещества;
- 4. химического состава вещества источника и количества радиоактивных ядер в источнике.

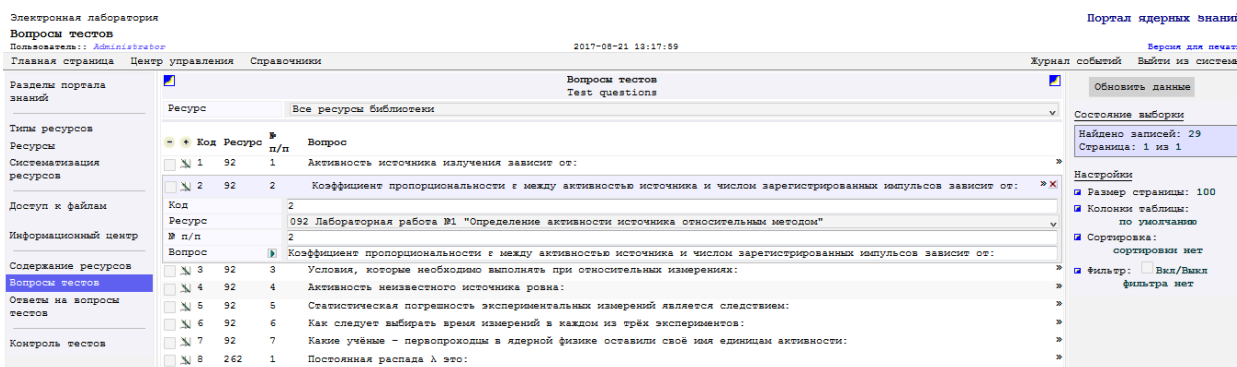
2. Коэффициент пропорциональности ϵ между активностью источника и числом зарегистрированных импульсов зависит от:

- 1. размера источника и вероятности попадания излучения в объем детектора;
- 2. вероятности попадания излучения и его регистрации детектором;
- 3. вероятности попадания излучения в рабочий объем детектора и времени регистрации;
- 4. времени регистрации и вероятности регистрации излучения детектором.

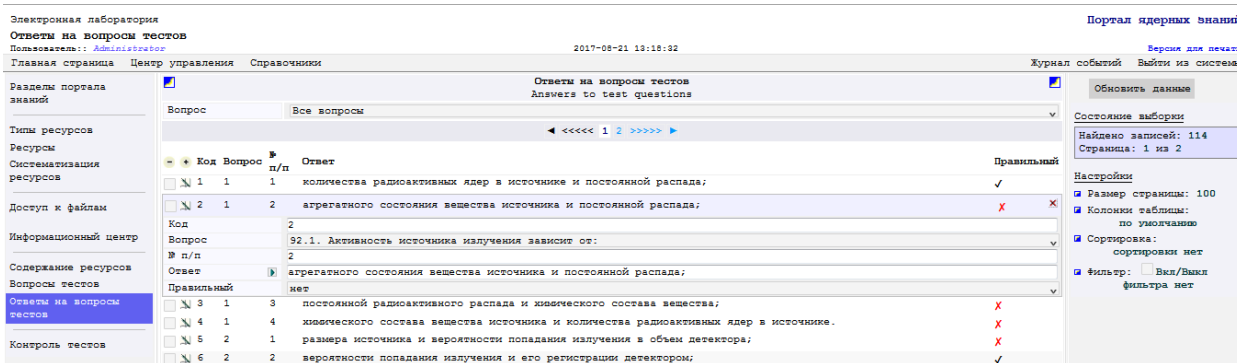


В конце работы приводятся **Контрольные вопросы** теста, для ответа на которые предлагается пометить правильный вариант ответа и нажать кнопку **Отправить ответ**.

Вопросы формируются в редакторе **Вопросы тестов**, работающем по обычным правилам **Редактора контента**.



Правильные ответы теста формируются в редакторе **Ответы на вопросы** теста по обычным правилам.



В разделе **Контроль тестов** справочно приводится информация о пользователях, отвечавших на вопросы тестов.

4. Контент специализированного портала ядерных знаний BelNET

Общее количество документов портала BelNET в настоящее время превышает 800.

Карта портала BelNET: <https://belnet.bsu.by> имеет следующую структуру:

- Главная страница
 - О проекте
 - Свежие поступления
 - Советуем прочесть
 - Команда разработчиков
 - Карта портала
- Информационный центр
 - Законодательство
 - Международные регулирующие документы
 - Фундаментальные основы безопасности
 - Общие требования безопасности
 - Конкретные требования безопасности
 - Конвенции и кодексы поведения
 - Региональные регулирующие документы
 - Национальные регулирующие документы
- Основные принципы
 - Глоссарий
 - Термины и определения
 - Коллекция
 - Научно-популярная литература
- Наука
 - Фундаментальная наука
 - Прикладная наука
- Практика
 - Данные и анализ
- Учебные курсы
 - Лекции
 - Лабораторные работы
- Биографии ученых Беларуси
- Сотрудничество
 - Новости и объявления
 - Новости ядерной физики
 - Новости БГУ
 - Новости портала ядерных знаний
- Полезные ссылки
- Форумы

Ресурсы

Контакты

Группы разработчиков

Разработчики портала ядерных знаний BelNET

3.1. Контент портала в разделах Наука и Практика

Контент портала был существенно расширен за счет наполнения разделов Наука и Практика за счет материалов нескольких международных конференций

- 5-th International Conference "Engineering of Scintillation Materials and Radiation Technologies" (ISMART 2016)
- 4-th International Conference "Engineering of Scintillation Materials and Radiation Technologies" (ISMART 2014)
- XXIV International Seminar "Nonlinear Phenomena in Complex Systems"
- Международное рабочее совещание "Современные ядерно-физические методы в физике конденсированных сред" (ЯМКС-2015)
- 64 International conference "NUCLEUS-2014" (Fundamental problems of nuclear physics, atomic power engineering and nuclear technologies) - 64 международная конференция «ЯДРО-2014»
- The XIII-th International School-Conference "The Actual Problems of Microworld Physics", 2015
- The XIV-th International School-Conference "The Actual Problems of Microworld Physics", 2018

В общей сумме выложены порядка 200 материалов – презентации представленных докладов в форме pdf.

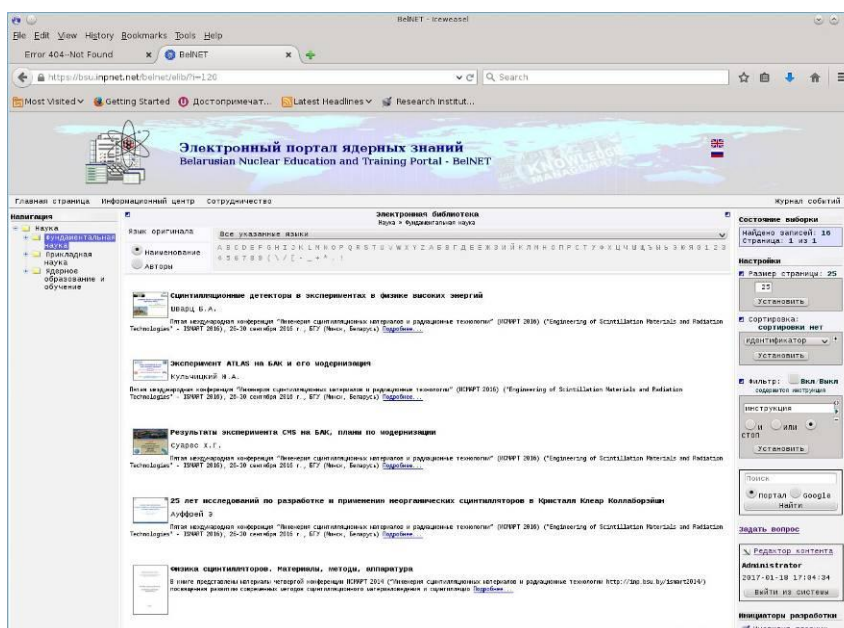


Рисунок 20 – Раздел «Фундаментальная наука»

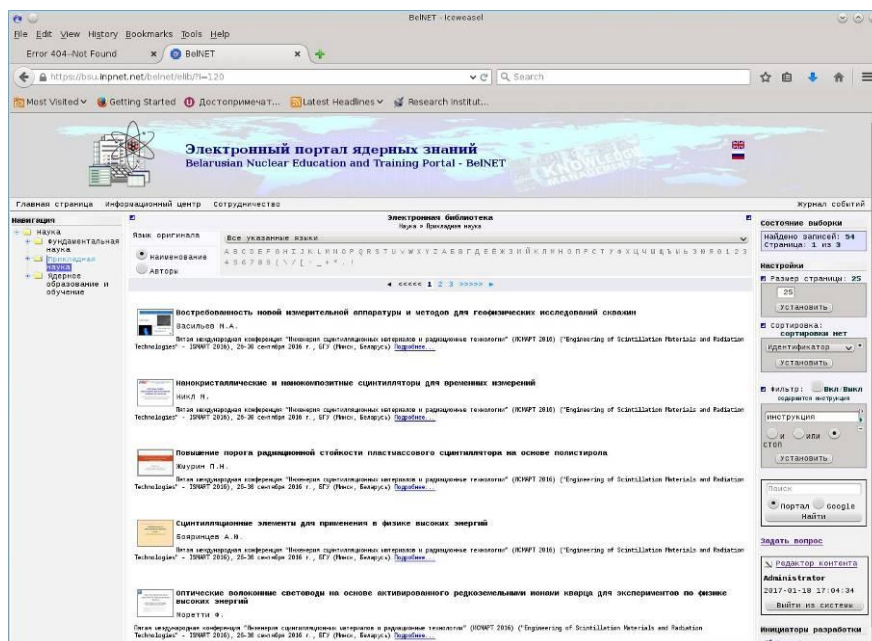


Рисунок 21 – Раздел «Прикладная наука»

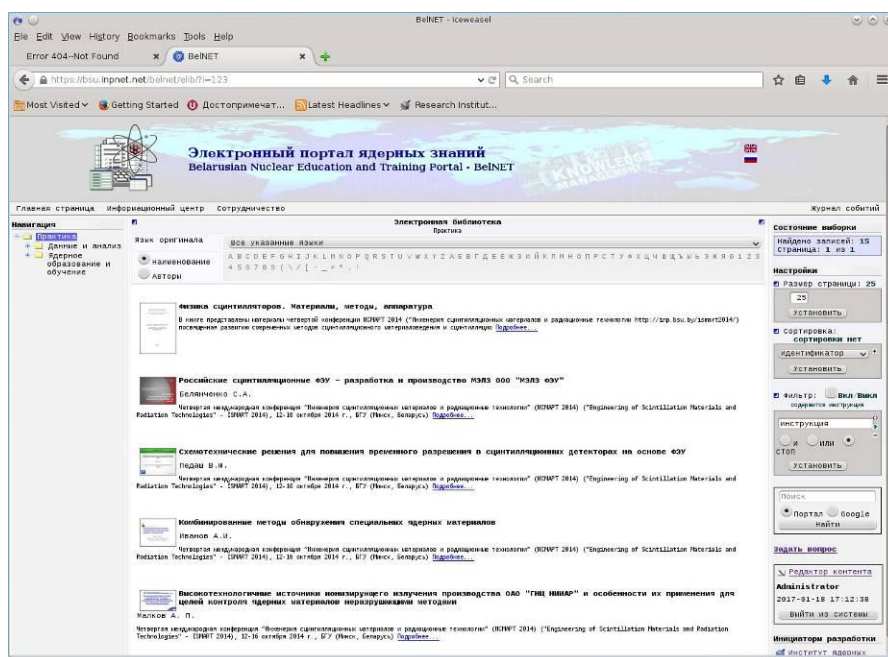


Рисунок 22 – Раздел «Практика»

Также выложены в открытый доступ материалы Универсальный лабораторный комплекс по ядерной физике, разработанного сотрудниками кафедры ядерной физики БГУ. Комплекс состоит из 11 лабораторных работ:

1. "Статистика ядерных измерений"
2. "Изучение принципа действия сцинтилляционного детектора"
3. "Взаимодействие гамма-излучения с веществом"
4. "Измерение удельной активности"
5. "Сцинтилляционный спектрометр с неорганическим сцинтиллятором"
6. "Сцинтилляционный спектрометр с органическим сцинтиллятором"

7. "Взаимодействие бета-электронов с веществом"
8. "Изучение формы бета-спектра"
9. "Взаимодействие альфа-частиц с веществом"
10. "Дозиметрия ионизирующих излучений"
11. "Изучение альфа-спектров"



Рисунок 23 – Лабораторный учебный комплекс по ядерной физике

4. Контент портала в области радиохимии

В ходе выполнения работ существенно развита таксономия портала в химическом секторе портала ядерных знаний. Разработаны оригинальные специализированные материалы на русском языке в области химических знаний, включая лекционные курсы «Водно-химический режим», «Радиохимия», «Радиометрия» для наполнения базы данных портала.

Современные экономисты и социологи по предложению Дэниела Белла [14] нынешнюю стадию развития человечества рассматривают как пост-индустриальное общество, или общество, в основе которого лежит экономика знаний [15]. В наш лексикон уже прочно вошли такие термины, как инновационный университет, с присущим ему треугольником знаний: образование, наука, инновации; и появились новые: трансфер знаний; управление знаниями и брокеринг знаний. В концепцию менеджмента знаний или управления знаниями входит положение о необходимости передачи и сохранения знаний [16]. Майкл Полани предложил удачную метафору: все знания – это айсберг, надводная часть которого – это явные знания, они в книгах, базах данных и т.п., а подводная часть – это неявные знания, т.е. те, которые имеются у специалиста с опытом и нигде не зафиксированы. Именно их нужно передавать и сохранять в первую очередь.

Среди областей знания, для которых сохранение неявных знаний в настоящее время является наиболее критичным, особое место занимают ядерные знания. Поскольку именно в ядерной отрасли во всем мире наметилась тревожная тенденция старения кадров при отсутствии притока молодых специалистов. Причем это касается не только представителей ядерных специальностей, но и профессоров, ответственных за подготовку кадров. Наша республика – новая ядерная страна. У нас еще нет проблемы старения кадров, поскольку как ядерная энергетика, так и система ядерного образования находятся в стадии развития. В таких условиях задачей номер один в республике является создание системы национального ядерного образования, а задачей номер два – привлечение лучших абитуриентов к получению образования в области ядерных наук и технологий. Это тем более важно, потому, что по данным, которые привела в своем отчете исследовательская компания Fast Future (Великобритания), в списке 20 самых востребованных профессий на период до 2030 года специалистов - ядерщиков нет [17]. В таких условиях необходима оптимизация учебного процесса и ориентация образования в целом на практическое обучение, на что конкретно указал Президент А. Лукашенко. Во внимание следует принимать также и тот факт, что нынешнее поколение молодых людей – это поколение Интернета. Большую часть сведений современный студент может и зачастую предпочитает получать из Интернета. Вместе с тем у современной молодежи отмечается нехватка культуры работы с информацией — необходимо повышать грамотность студентов, прививая им навыки обращения с информацией и умения каталогизировать.

С начала 2000-х годов Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) уделяет огромное внимание управлению ядерными знаниями, в том числе разработке специализированных порталов ядерных знаний на различных

уровнях. В результате этой работы в мире постепенно складывается единое информационное пространство в области ядерных знаний [18].

В связи со строительством атомной электростанции в Республике Беларусь возникла потребность в квалифицированных специалистах в сфере атомной энергетики. Основной целью Государственной программы на 2008–2020 гг. является организация системы комплексной подготовки кадров, обеспечивающей получение знаний и навыков, необходимых для строительства и безопасной эксплуатации атомной электростанции, обеспечения ядерной и радиационной безопасности, безопасности персонала АЭС, населения и окружающей среды [19].

Согласно Государственной программе к допуску к самостоятельной работе по управлению АЭС (управленческий и инженерный персонал), эксплуатации и ремонту оборудования допускается только подготовленный и аттестованный персонал. Для обеспечения качества подготовки кадров необходима соответствующая инфраструктура, в том числе и информационная. Одним из вариантов решения поставленной задачи явилось создание «Портала ядерных знаний Республики Беларусь» BelNET.

Следует отметить, что прототип электронного портала имеется в рамках сайта Госатомнадзора. В разделе «Знания для каждого» есть общедоступный статистический материал по атомным станциям мира, также имеется небольшая библиотека, содержащая информационные ресурсы на русском и английском языках. Но следует отметить, что материалов в этом разделе совсем немного и об актуальности такого веб-ресурса говорить не приходится.

В свою очередь, электронный портал ядерных знаний охватывает более широкий ряд тем, относящихся к различным направлениям атомной энергетики, включая менеджмент ядерных знаний и научные разработки. Основное отличие такого портала от обычного веб-сайта – наличие интерактивных сервисов (почта, новости, форумы, инструменты для совместной и индивидуальной работы пользователей и т.д.), в том числе средств дистанционного обучения. Важные подсистемы портала: интерфейс с удобным и быстрым поиском и навигацией; система электронного документооборота с соблюдением правил и стандартов разработки и сопровождения документов, средствами интеллектуального поиска, категоризации информации; системы управления проектами, учебными материалами и курсами с системой дистанционного обучения студентов и возможностью создания и совершенствования курсов; электронная библиотека; форумы по основным направлениям деятельности; каналы новостей и другие важные приложения, интегрированные в портал [18].

Сделаем обзор существующих порталов ядерных знаний

Портал российской ассоциации ядерной науки и образования

Портал российской ассоциации ядерной науки и образования (<http://www.ranse.ru/>) позиционируется как инструмент для преодоления радиофобии населения, решения задачи подготовки кадров. В тоже время он служит для накопления, сохранением и передачей ядерных знаний.

Следует отметить, что данный портал представляет собой публичный портал для людей, интересующихся ядерной тематикой. Об этом свидетельствует

содержимое панелей навигации на главной странице сайта, где представлены следующие рубрики: новости, наука и образование, фотоархив, архив информационно-аналитической лаборатории, информация о РАЯНО. Основной контент представляет собой набор знаний в виде новостей, лекций, различных публикаций, фотоархивов. Особую ценность представляет набор полезных ссылок по тематике, так или иначе связанной с ядерной физикой и ядерной безопасностью.

Структура сайта реализована следующим образом:

На каждой странице Портала имеется переход в любой из основных разделов сайта. Переходы реализуются через меню сайта, которое выполнено в едином для всех страниц оформлении.

Главная страница Портала разработана в едином с другими страницами стиле; содержит новостную информацию и блоки для представления наиболее интересной информации, содержащейся в разделах Портала.

На каждой странице Портала в блоке описания присутствует стандартный набор ключевых слов для поисковых машин.

Существенным недостатком является отсутствие поисковой системы (нет веб-навигации). Также отсутствует возможность регистрации на сайте. Отсюда следует: нет личного кабинета пользователя (созданного профиля пользователя), следовательно, нет возможности редактировать контент. Это может делать только администратор сайта [18, 20].

Образовательный портал в области ядерной безопасности (Nuclear Safeguards Education Portal) Института Науки и политики ядерной безопасности (Nuclear Security Science and Policy Institute).

Nuclear Security Science and Policy Institute представляет собой многопрофильную организацию в университете Texas A&M University. Деятельность данного института сосредоточена на организации последипломного образования, научных исследованиях и услуг, связанных с охраной ядерных материалов и сокращения ядерных угроз.

Одной из главных задач института является накопление знаний и навыков по сокращению ядерной угрозы. NSSPI имеет свой сайт, расположенный по адресу <http://nsspi.tamu.edu/>.

Указанный сайт включает в себя образовательный портал в области ядерной безопасности Nuclear Safeguards Education Portal - ряд образовательных ресурсов для студентов, интересующихся темой безопасности ядерных материалов. Материалы представлены в форме видео лекций. Также для пользователей ресурса доступны публикации по данной тематике.

Сайт также выполняет информационно-рекламную функцию. Здесь можно ознакомиться с последними новостями из мира ядерной безопасности, так и получить последнюю информацию о жизни института. Анализ содержимого сайта показал, что рекламная функция является преобладающей. Отсутствует регистрация. Нет никакой возможности формировать контент непосредственно пользователю. Плюсом является наличие поисковой системы по содержимому сайта [20].

Портал Российского атомного сообщества

Данный сервис (<http://atomic-energy.ru/>) представляет собой информационно-аналитический портал сообщества специалистов атомной индустрии. Тематика портала весьма широка – порядка 30-ти рубрик. Наибольшим образом освещены вопросы замыкания ядерного топливного цикла, инновационных и эволюционных АЭС, ядерной и радиационной безопасности, обращение с радиоактивными отходами и радиозекологии, отношения с общественностью и управления ядерными знаниями.

Портал представляет собой полноценную систему хранения и воспроизведения ядерных знаний, имеющий богатую базу данных. В тоже время, отсутствует возможность осуществления дистанционного обучения. По сути – это большая база знаний, которая динамически обновляется. Но обновление осуществляется администраторами ресурса, а не пользователями. Здесь не реализована система управления содержимым, т.е. пользователи не могут создавать собственные разделы портала, формировать структуру и наполнять необходимой информацией. Нет службы персонализации, которая бы обеспечивала защиту конфиденциальной информации за счет авторизации пользователей и разделения прав доступа, а также возможность пользователю настроить интерфейс под свои нужды. Отсутствует такая функция, как совместная работа.

Пользователи портала не могут взаимодействовать между собой, совместно использовать информационные ресурсы портала и организовывать совместную работу над общими проектами. Минусом является отсутствие карты портала, которая могла бы демонстрировать пользователю полное дерево иерархии разделов портала и позволяла бы перемещаться по ним [20].

Портал Asian Network for Education in Nuclear Technology (ANENT)

Asian Network for Education in Nuclear Technology (<http://anentweb.org/>) представляет собой азиатскую образовательную сеть в области ядерных технологий. Является региональным объединением, широко которое широко сотрудничает с МАГАТЭ. Объединяет в себе компьютерные сети научно-исследовательских институтов и других образовательных учреждений азиатского региона. Данное региональное партнерство предназначено для распространения знаний и информации о ядерных технологиях для самой широкой аудитории.

Исходя из содержимого данного ресурса, можно сделать вывод, что ANENT предназначен для:

- обеспечения эффективного механизма по развитию людских ресурсов,
- укрепления научной инфраструктуры,
- развития сети учреждений в Азиатско-Тихоокеанском регионе,
- повышения уровня образования в области ядерных знаний, профессиональной подготовки, управления знаниями, и связанных с ними научно-исследовательских работ в данном регионе.

Особое внимание на себя обращает тот факт, что данный портал интегрирован с системой дистанционного обучения, разработанной МАГАТЭ.

Структура сайта реализована следующим образом:

- На каждой странице Портала имеется переход в любой из основных разделов сайта. Переходы реализуются через меню сайта, которое выполнено в едином для всех страниц оформлении.
- Главная страница Портала разработана в едином с другими страницами стиле;
- содержит новостную информацию и блоки для представления наиболее интересной информации, содержащейся в разделах Портала.
- На каждой странице Портала в блоке описания присутствует стандартный набор ключевых слов для поисковых машин [18, 20].

Портал European Nuclear Education Network (ENEN)

Портал European Nuclear Education Network ([http:// enen.eu/](http://enen.eu/)) позиционирует себя как платформа для расширения сотрудничества в сфере ядерного образования и подготовки студентов, исследователей и специалистов в данной сфере в странах ЕС.

Целью является обеспечение высокого качества подготовки кадров в сфере ядерного образования. Стремится повысить заинтересованность у студентов, исследователей и специалистов в области ядерной физики.

Исходя из анализа содержимого портала, можно сделать вывод, что он является в первую очередь образовательным ресурсом. Очень много информации для студентов и преподавателей.

Структура сайта реализована следующим образом:

- На каждой странице портала имеется переход в любой из основных разделов сайта.
- Переходы реализуются через меню сайта, которое выполнено в едином для всех страниц оформлении.
- Главная страница Портала разработана в едином с другими страницами стиле; содержит новостную информацию и блоки для представления наиболее интересной информации, содержащейся в разделах портала.
- На каждой странице портала в блоке описания присутствует стандартный набор ключевых слов для поисковых машин [20].

Портал Международной ядерной информационной системы (International Nuclear Information System) INIS

Подраздел на сайте МАГАТЭ INIS - Международная ядерная информационная система, расположенная по адресу <http://www.iaea.org/> является одной из крупнейших в мире коллекций опубликованной информации по мирному использованию ядерной науки и техники. Этот сайт предлагает онлайн-доступ к уникальной коллекции специализированной литературы. INIS работает в сотрудничестве с более чем 150 членами. Коллекция INIS содержит 361000 полных текстов и 3738000 библиографических записей. Например обновления в 2014 году составили более чем 115000 библиографических записей и было добавлено 39000 полных текстов [18, 20].

Белорусские сайты

В Беларуси в настоящее время существует несколько сайтов, предоставляющих фрагментарную информацию по ядерной тематике, далекую от полноты.

В первую очередь это сайт РУП «Белорусская атомная электростанция» по адресу <http://www.dsae.by/>. Ее наполнение, однако, далеко от завершения, что неудивительно в связи с короткой историей этого сайта.

Среди других сайтов по ядерной тематике следует упомянуть сайты Департамента по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь - Госатомнадзора по адресу: <http://www.gosatomnadzor.gov.by/> и Министерства энергетики РБ www.minenergo.gov.by/ [21].

Таким образом, создание и развитие портала ядерных знаний Республики Беларусь является необходимым для накопления и структурирования ядерных знаний, а также для информирования населения и борьбы с радиофобией.

4.1 Концепция, информационная модель, назначение и таксономия портала ядерных знаний BelNET

Социально-экономическая значимость и необходимость создания портала ядерных знаний BelNET заключалась в обеспечении быстрого доступа к необходимой информации, накоплении, сохранении и преумножении знаний на уровне, обеспечивающем безопасное, устойчивое и эффективное развитие ядерной энергетики и промышленности страны, а также популяризации ядерных знаний с целью привлечения в эту область способных молодых людей и создания позитивного имиджа ядерной энергетики.

Портал стал системой, объединяющей информационные ресурсы (приложения, базы данных и др.) и позволяющей создателям и потребителям знаний взаимодействовать друг с другом, предоставляя им единый защищенный доступ к информации и виртуальные каналы коммуникаций для совместной работы над документами из географически разнесенных мест через единый web-интерфейс в режиме коллективной работы со строгой персонализацией (разграничением права доступа к ресурсам: данным, сервисам, приложениям, документам). Основное отличие портала от обычного веб-сайта – наличие интерактивных сервисов (почта, новости, форумы, инструменты для совместной и индивидуальной работы пользователей и т.д.) [18].

Следует подчеркнуть, что процесс наполнения портала информацией и заполнения базы знаний ядерными знаниями, разработка специализированных материалов для системы дистанционного обучения, создание которой предполагается в рамках портала - процесс очень трудоемкий и длительный. Очевидно, что он продолжился и после завершения всех этапов разработки портала.

В ходе создания портала был составлен рубрикатор и двуязычный (русский-английский) тезаурус для описания в выбранных предметных областях. Была разработана таксономия электронного портала в области менеджмента ядерных знаний. Методологический подход включает 2 основных уровня: стратегический и

операционный, которые позволяют представить менеджмент ядерных знаний как интегрированный, систематический подход к процессу идентификации, получения, преобразования, развития, распространения, использования, передачи и сохранения знаний, значимых для достижения заданных целей [20].

Таксономия раздела «Менеджмент ядерных знаний» (МЯЗ) включает базовую концепцию МЯЗ, основные понятия (данные, информация, виды знаний (явные и неявные), компетенции), цели и задачи МЯЗ, функции (управление знаниями и формирование корпоративной культуры), статус управления знаниями и способ их передачи, инструменты и модели МЯЗ.

При разработке таксономии портала создатели следовали идеологии, предлагаемой МАГАТЭ.

Основными задачами портала ядерных знаний являются, во-первых, создание новых знаний и содействие в научно-исследовательских, образовательных и учебных программах в области ядерной физики и ядерной индустрии и, во-вторых, научно-популярная пропаганда знаний с целью привлечения в эту область самых способных молодых людей и повышения имиджа ядерной отрасли. Эти цели определяют широкий диапазон и разный уровень предоставления информации, что влечет за собой разный уровень допуска к информации [18].

Структурирование портала преследует две основные цели: обеспечить поиск нужной информации с максимальной эффективностью и затратой минимального времени; возможность выбора темы и раздела для размещения нового материала или информации; получение разносторонней информации, начиная от новостей в данной области науки и кончая вакансиями работы и возможными темами научно-исследовательской работы.

Разработанный портал для ускорения и облегчения поиска нужной информации разделен на ряд разделов, в которых информация, в свою очередь, структурирована по различным темам. Внутри тем имеется ряд подразделов по более узким вопросам. Материал в разделах предполагает несколько уровней доступа: свободного доступа, доступа с регистрацией, например, интерактивные лабораторные или интерактивные тесты для студентов, видеоконференции и, наконец, уровень доступа только для специалистов. Это в первую очередь относится к некоторым нормативным документам, стандартам, электронному документообороту.

4.2. Существующие водоподготовительные установки на АЭС

Наиболее распространенным методом водоподготовки является ионитное обессоливание природной воды. Традиционная ионитная схема водоподготовительной установки представлена на Балаковской, Ростовской, Южно-Украинской [21] и Калининской АЭС. Схемы ВПУ включают в себя стадию предочистки, ионитную цепочку, состоящую из двух катионитных и двух анионитных фильтров, и стадию глубокого обессоливания на фильтрах смешанного действия.

В настоящее время, на рынке ВПУ появились принципиально новые виды водоподготовительного оборудования (мембранные установки обратного осмоса, ультрафильтрации, непрерывной электродеионизации воды), а также модернизированные ионитные технологии обработки воды (противоточные технологии). С помощью мембран, которые пропускают воду и задерживают примеси, можно наиболее просто, экологично и эффективно изменять состав и свойства воды, добиваясь выполнения требований к чистоте продукта. С помощью мембранных процессов удастся охватить практически весь диапазон возникающих задач разделения: от самых тонких (электродеионизация) – до относительно грубых (микрофильтрация). Современные мембранные процессы отличаются высокой селективностью, низкими энергозатратами, простотой аппаратного оформления, служат основой создания безотходных технологий [23].

В технологии водоподготовки реализуется принцип очистки, предусматривающий поэтапное удаление от примесей от крупных коллоидных частиц к более мелким, вплоть до молекул солей (от макрофильтрации частиц размером свыше 50 мкм, до нанофильтрации и обратного осмоса, обеспечивающего задержание растворённых солей). Это позволяет работать каждому узлу установки в оптимальном для него технологическом режиме.

Стадии ультрафильтрации обеспечивают высококачественную предварительную подготовку воды и позволяют удалить примеси с молекулярной массой, опасной для работы установок обратного осмоса. Непосредственный процесс обессоливания производится на стадии обратного осмоса, который в свою очередь, может состоять из одной или двух ступеней по фильтрату. Вода, прошедшая первую ступень обратного осмоса, характеризуется удельной электропроводностью не более 20 мкСм/см и жёсткостью не более 0,3 мг-экв/л, после второй ступени - удельная электропроводность составляет не более 2 мкСм/см, и жёсткость не более 0,05 мг-экв/л.

Обратный осмос одной или двух ступеней по фильтрату позволяет достичь степени обессоливания воды, которая соответствует требованиям для водогрейных котлов, для подпитки систем горячего водоснабжения и для подпитки оборотной системы охлаждения.

Однако, этого уровня обессоливания недостаточно, для использования воды непосредственно в парогазовых установках (турбины, котлы-утилизаторы и т.п), удельная электропроводность для которых не должна превышать 0,1 мкСм/см, и жёсткость не более 0,001 мг-экв/л. Для достижения указанного уровня обессоливания используют два варианта технологий глубокого обессоливания: электродеионизацию или ионный обмен [24].

Например, в США с 1992 года (штат Калифорния) на атомной электростанции «Diablo Canon» эксплуатируется ВПУ производительностью 160 м³/ч для подпитки 1-го и 2-го контуров АЭС, включающая двух ступенчатую обратноосмотическую установку (УОО) для обессоливания воды Тихого океана с содержанием 34 г/дм³, технологии обратного осмоса и электродеионизации успешно внедрены в США на атомных электростанциях Grand Gulf Nuclear Station (Порт Гибсон), Cooper Nuclear Station (Небраска) [23].

В Европе успешно эксплуатируются УОО для обессоливания воды на электростанциях Германии (энергосистема «STEAG», 375 м³/ч), Италии (ТЭС «EneL» (Vado), 392 м³/ч), Испании («Almaraz», 100 м³/ч), Польши («Zenap» на морской воде, 700 м³/ч) и др [25].

В ВПУ АЭС «Белене» на стадии предочистки осуществляется очистка воды с использованием коагуляции и флокуляции в осветлителях. Далее осветленная вода через самопромывные дисковые фильтры (тонкость фильтрации 200 мкм) подается на блок ультрафильтрации. Полученный пермеат поступает на установку обратного осмоса первой ступени, который затем собирается в баках частично обессоленной воды. Частично обессоленная вода очищается на обратноосмотической установке второй ступени. Финишная очистка осуществляется на установке электродеионизации [23]. На Нововоронежской АЭС перед УОО вода проходит через установку ультрафильтрации и ультрафиолетового обеззараживания. Мембранные технологии также используются на Балтийской АЭС и Ленинградской АЭС.

Обратный осмос (или нанофильтрация в комбинации с обратным осмосом) для целей деминерализации обладают рядом преимуществ перед схемой традиционного двухступенчатого параллельного ионирования:

- применение мембранных технологий не сопровождается затратами больших количеств реагентов (кислот и щелочей) на регенерацию;
- исключается образование высокоминерализованных стоков, вызванных сбросом избытков реагентов при регенерациях;
- достигается значительно более высокая, чем при ионном обмене, степень удаления (из обрабатываемой воды органических соединений (в том числе и неполярных) и коллоидной кремневки;
- отсутствует необходимость нейтрализации сбрасываемых стоков [26].

Переход от традиционных технологий водоочистки к мембранным связан прежде всего с затратами на получение обессоленной воды. Несмотря на достаточно высокую стоимость мембранного оборудования себестоимость получаемой воды при использовании мембранных технологий в разы меньше, чем при использовании ионитных технологий, что связано с сокращением затрат на эксплуатацию, регенерацию и реагентное хозяйство.

При выборе технологии «перевооружения» существующих установок очистки воды в зависимости от наличия необходимых средств и экологических требований применяются следующие подходы [27]:

- сохранение принципиальной схемы очистки воды в ионитных фильтрах с изменением вида регенеранта, реконструкцией дренажных систем фильтров и реконструкцией фильтров с переводом проточной технологии ионирования на противоточную;
- замена ионитной технологии на мембранно-ионитную при основной нагрузке по удалению солей в мембранных аппаратах (как правило, обратноосмотических) и более глубокой очистке пермеата в фильтрах смешанного действия или электроионитных модулях;

- использование испарительных технологий с установкой аппаратов мгновенного вскипания или адиабатных испарителей как включенных в систему регенерации паровых турбин, так и работающих отдельно без связи с системой регенерации.

В указанных технологиях система предочистки воды может быть как реагентной в осветлителях, тонкослойных отстойниках, так и мембранной (с использованием ультрафильтрационных аппаратов) [28].

4.3. Водоподготовка на Белорусской АЭС

На протяжении длительного периода времени в энергетике наблюдается тенденция к упорядочиванию и унификации технологических решений и представления информации о состоянии энергооборудования и протекающих в нем процессов. Существенной составляющей задачи унификации является применение четкой и однозначной системы идентификации, которая позволила бы выделять стандартные технологические узлы, связанную с ними информацию и задачи управления. С этой целью принята единая система маркировки KKS (*от нем. Kraftwerk-Kennzeichensystem*) [29].

В системе KKS для кодировки технических и электротехнических систем, технологического оборудования, монтажных единиц, средств автоматизации, зданий, точек измерения и т.д. используются буквенно-числовые идентификаторы. Так, технологические системы атомной электростанции кодируются сочетанием трех букв латинского алфавита.

Для целей водоподготовки служат система предварительной очистки исходной воды (GDB), система обессоливания предочищенной воды методом обратного осмоса (GDF), система подачи реагентов для установок мембранной очистки (GDN), система регенерации и промывки установок мембранной очистки (GDP), система глубокого обессоливания (GC).

Система предварительной очистки исходной воды (GDB) предназначена для снижения в исходной воде содержания взвешенных частиц, железа, органических соединений перед ее подачей на установку обратного осмоса системы GDF.

Система обессоливания предочищенной воды методом обратного осмоса (GDF) предназначена для приготовления обессоленной воды с целью дальнейшей очистки на ионообменных фильтрах, и частично обессоленной воды для подпитки брызгальных бассейнов и тепловой сети.

Система подачи реагентов для установок мембранной очистки (GDN) предназначена для:

- корректировки величины pH исходной воды;
- дозирования коагулянта в исходную воду;
- дозирования раствора антискаланта и биоцида перед установкой обратного осмоса первой ступени;
- корректировки pH частично обессоленной воды, подаваемой на вторую ступень обратного осмоса, брызгальные бассейны и подпитку тепловой сети.

Система регенерации и промывки установок мембранной очистки (GDP) предназначена для удаления накопившихся загрязнений с поверхности мембранных элементов установок ультрафильтрации и обратного осмоса первой и второй ступеней, а также с греющих поверхностей подогревателей исходной воды. В состав системы включены компрессорные станции для подготовки и подачи сжатого воздуха в установки ультрафильтрации для проведения тестов на целостность мембран.

Система глубокого обессоливания воды включает три системы:

- система ионообменной очистки пермеата (GCF);
- система регенерации и промывки ионообменных фильтров (GCP);
- система отвода промывочной воды и нейтрализации (GCR);

Система ионообменной очистки пермеата (GCF) предназначена для приготовления глубоко обессоленной воды для первоначального заполнения первого и второго контуров АЭС, их подпитки в процессе эксплуатации, а также для собственных нужд водоподготовительных систем [28].

Принципиальная схема водоподготовительной установки приведена на рисунке 1.1.

4.4 ВХР первого контура

ВХР первого контура обеспечивает выполнение следующих функциональных требований:

- мягкое регулирование реактивности активной зоны реактора;
- подавление образования окислительных продуктов радиолиза при работе на мощности;
- коррозионную стойкость конструкционных материалов оборудования и трубопроводов в течение проектного срока службы АЭС;
- минимизацию отложений на поверхностях тепловыделяющих элементов активной зоны реактора и теплообменной поверхности парогенераторов;
- минимизацию накопления активированных продуктов коррозии.

С целью выполнения вышеперечисленных требований регламентируются показатели качества ВХР первого контура, которые устанавливаются в соответствии с нормами МАГАТЭ по безопасности, а именно с программой МАГАТЭ по водно-химическому режиму атомных станций с водоохлаждаемыми реакторами [30].

Показатели качества теплоносителя первого контура, подразделяются на нормируемые и диагностические.

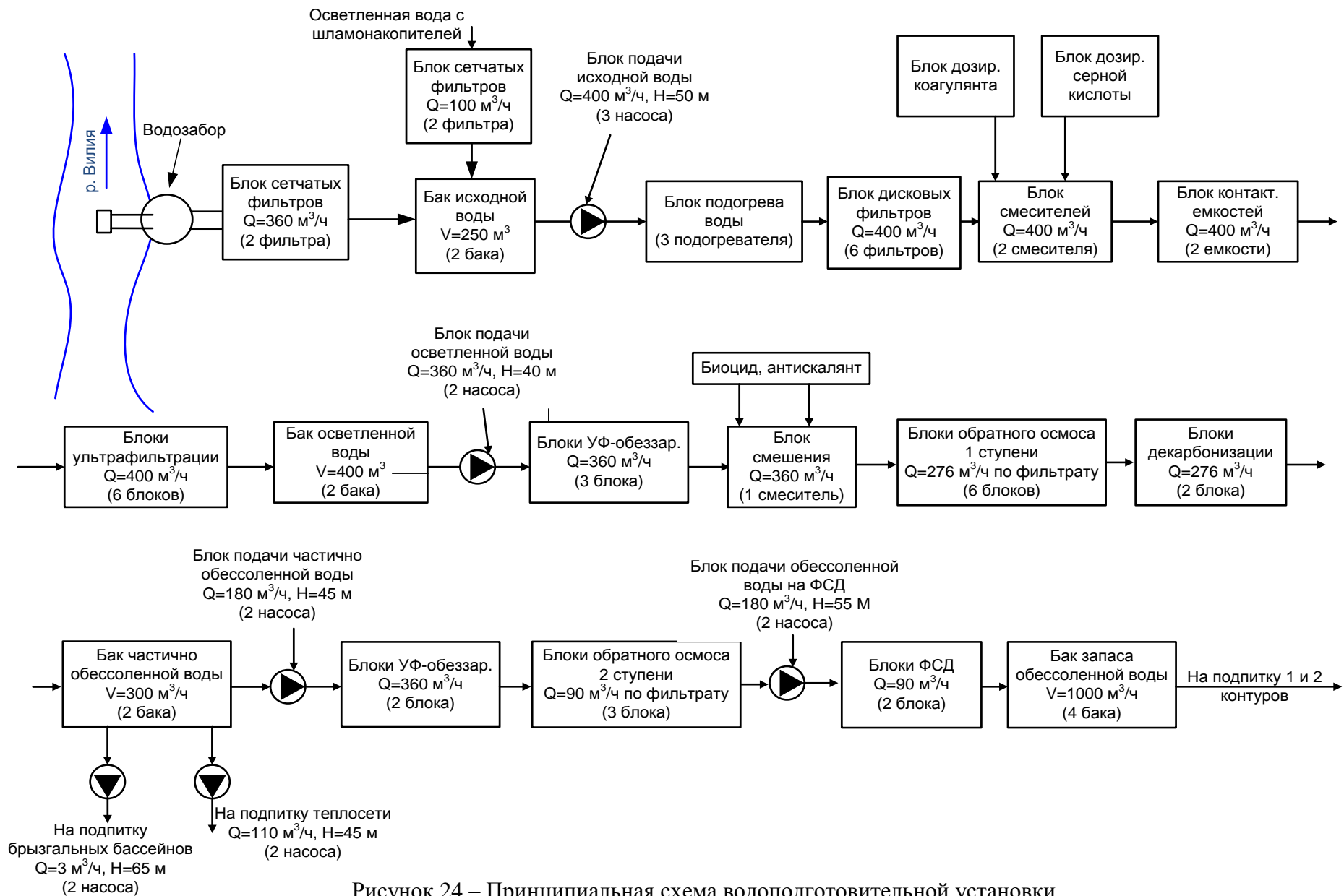


Рисунок 24 – Принципиальная схема водоподготовительной установки
(Q – производительность, V – объем, H – напор)

Нормируемые показатели – показатели качества теплоносителя, которые непосредственно влияют на безопасность реакторной установки и на коррозионные повреждения оборудования первого контура, а также на концентрацию которых можно непосредственно воздействовать средствами и методами обеспечения водно-химического режима.

Причины выбора конкретных показателей в качестве нормируемых приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Нормируемые показатели

Наименование показателя		Причины отнесения к нормируемым показателям
Cl ⁻	Концентрация хлорид-иона	увеличение концентрации выше нормируемой оказывает отрицательное коррозионное воздействие на конструкционные материалы РУ
O ₂	Концентрация растворенного кислорода	увеличение концентрации выше нормируемой указывает на опасность роста локальной и общей коррозии конструкционных материалов
H ₂	Концентрация растворенного водорода	характеризует эффективность поддержания восстановительного ВХР и сведения последствий радиолитического разложения воды к минимуму (нижний предел концентрации водорода). Верхний предел – обеспечивает безопасность эксплуатации оболочек ТВЭЛов
(K ⁺ , Li ⁺ , Na ⁺)	Суммарная молярная концентрация ионов щелочных металлов	обеспечивает поддержание «координированного» по отношению концентрации H ₃ BO ₃ к концентрации ионов щелочных металлов ВХР первого контура и стабильного значения pH

Диагностические показатели – показатели, которые информируют персонал химической службы АЭС о правильности ведения водно-химического режима и отклонения которых указывают на нарушения в работе технологических систем обеспечения водно-химического режима. Причины выбора конкретных показателей в качестве диагностических приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Диагностические показатели

Наименование показателя		Причины отнесения к диагностическим показателям
æ	Удельная электропроводимость	характеризует качество теплоносителя первого контура, содержание примесей и, соответственно, образование отложений на ТВЭЛах и накопление активности
NH ₃	Концентрация аммиака	характеризует степень соответствия ВХР требуемому восстановительному режиму. Нижний предел

		концентрации аммиака обеспечивает подавление радиолиза воды, верхний предел (не более 20 мг/дм ³) исключает саморегенерацию ФСД (загрузки анионита)
Fe	Концентрация железа	характеризует качество ВХР, повышенные значения концентрации железа свидетельствуют об интенсивности процессов коррозии, массопереноса, в результате следует ожидать ухудшения состояния ТВЭЛов и повышения радиационного загрязнения поверхностей оборудования
F ⁻	Концентрация фторид-иона	увеличение концентрации выше нормируемой оказывает отрицательное коррозионное воздействие на конструкционные материалы РУ
SO ₄ ²⁻	Концентрация сульфат-иона	увеличение концентрации выше нормируемой интенсифицирует общую коррозию конструкционных материалов, питтинговую коррозию и коррозионное растрескивание
Ca ²⁺	Концентрация кальция	измеряется с целью оценки коррозионных процессов в системе и процессов отложения кальциевых соединений на теплообменных поверхностях оборудования первого контура
H ₂ SiO ₃	Концентрация кремниевой кислоты	диоксид кремния образуется на топливе в виде соединений цеолита с магнием, кальцием и алюминием. Диоксид кремния обнаруживается в водах бассейна перегрузки вследствие разложения Boraflexa, применяемого для поглощения нейтронов в БВ отработавшего топлива при хранении большого количества ТВС. В состав Boraflexa входят элементы: В,С,О ₂ ,Н ₂ ,Si. Во время перегрузки диоксид кремния загрязняет воду при перемещении ТВС через канал для транспортировки
С	Концентрация общего органического углерода	входит в состав нефтепродуктов, ухудшает работу системы очистки теплоносителя. Продукты термолита и радиолиза загрязняют теплоноситель

Поддержание норм водно-химического режима первого контура достигается следующими способами, обеспечиваемыми системами поддержания ВХР первого контура:

- дегазация подпиточной воды;
- продувка теплоносителя первого контура с очисткой продувочной воды;
- коррекционная обработка теплоносителя первого контура;
- использование для подпитки первого контура “чистого” конденсата;
- использование для коррекционной обработки теплоносителя первого контура химических реагентов, соответствующих нормам качества по степени чистоты.

4.4.1 ВХР первого контура на Белорусской АЭС

В проекте Белорусской АЭС предусмотрено ведение слабощелочного восстановительного аммиачно-калиевого водного режима с борной кислотой с добавлением ацетата цинка [31].

ВХР первого контура является коррекционным, так как предусматривает необходимость регулирования в теплоносителе в течение кампании реактора концентрации щелочных ионов, водорода и кислорода за счет химической коррекции состава водного теплоносителя посредством ввода реагентов (H_3BO_3 , N_2H_4 , NH_3 , KOH).

Для обеспечения ВХР первого контура в проекте предусмотрены следующие системы [31]:

1. КВА – система подпитки и борного регулирования обеспечивает продувку и подпитку первого контура, осуществляет режим водообмена;
2. КВД-1 – система приготовления и подачи химреагентов для поддержания ВХР первого контура обеспечивает подачу аммиака, едкого калия и гидразин-гидрата в подпиточную воду первого контура для обеспечения показателей качества теплоносителя;
3. КВЕ – система очистки теплоносителя первого контура обеспечивает очистку теплоносителя первого контура от растворенных примесей и продуктов коррозии;
4. КВФ – система обработки теплоносителя первого контура обеспечивает переработку боросодержащих контурных вод с целью получения чистого конденсата для подпитки первого контура и борного концентрата для повторного использования в цикле АЭС;
5. КВВ – система хранения теплоносителя обеспечивает выведение избыточной щелочности из первого контура, а также выведение борной кислоты из теплоносителя в конце кампании;
6. FAL – система очистки воды топливного бассейна и воды баков хранения борированной воды обеспечивает очистку этих вод от продуктов коррозии конструкционных материалов, радионуклидов и химических примесей;
7. QCA – система приготовления раствора борной кислоты обеспечивает приготовление растворов борной кислоты для первоначального заполнения первого контура и баков САОЗ, а также для подпитки в период эксплуатации блока;
8. KUB – система автоматизированного химконтроля первого контура обеспечивает автоматический непрерывный контроль нормируемых показателей ВХР первого контура;
9. KUA – система отбора проб установок спецводоочистки и вспомогательных систем реакторной установки обеспечивает отбор проб для проведения лабораторного химического контроля качества теплоносителя, воды вспомогательных систем реакторной установки и борированных растворов систем безопасности;

10. SRG10 – радиохимическая лаборатория оперативного контроля ВХР первого контура;

11. SRG50 – химическая лаборатория здания ядерного обслуживания.

Взаимодействием вышеперечисленных систем достигается выполнение требований к качеству водных сред.

4.5 ВХР второго контура

Водно-химический режим второго контура является одним из важнейших факторов, обеспечивающих надежную и безопасную эксплуатацию АЭС с ВВЭР.

Основные источники загрязнений воды второго контура:

- коррозия конструкционных материалов оборудования второго контура;
- примеси, попадающие с присосами охлаждающей воды в конденсаторах турбин;
- примеси добавочной воды;
- примеси, поступающие с химреагентами, применяемыми для корректировки ВХР второго контура;
- продукты деструкции фильтрующих материалов систем водоочистки (система очистки продувочной воды ПГ и система очистки конденсата БОУ);
- примеси загрязненного конденсата, возвращаемого в цикл АЭС;
- примеси, поступающие в результате нарушения технологических режимов регенерации и отмывки фильтров;
- примеси, поступающие с теплоносителем первого контура при разгерметизации трубчатки парогенераторов.

Давление охлаждающей циркуляционной воды существенно больше давления в конденсаторе. Вследствие этого охлаждающая вода проникает в конденсатор через неплотности в соединениях трубок и через коррозионные повреждения трубок. Присосы охлаждающей воды в конденсаторе турбин более 0,001% расхода пара остаются основным фактором, влияющим на ухудшение качества питательной и продувочной воды парогенераторов. Они создают дополнительную нагрузку на фильтры LCQ-2 (установка очистки продувочной воды парогенераторов), что влечет за собой, в свою очередь, увеличение количества регенераций ионитных фильтров, следовательно, повышение объема израсходованных реагентов на регенерацию и объема сбросных вод (отмывочных и регенерационных растворов), которые необходимо потом перерабатывать на установке КРФ (установка переработки трапных вод).

Загрязнения, поступающие в результате присосов, состоят, в основном, из солей натрия, кальция, магния, хлоридов, кремниевой и угольной кислот, кислорода и органических соединений. Соли кальция и натрия участвуют в образовании отложений на поверхностях нагрева ПГ. Соли натрия и хлориды – коррозионно-активные компоненты. Коррозия, протекающая в присутствии угольной кислоты, приводит к загрязнению воды твердыми продуктами коррозии. Кислород резко повышает скорость коррозии медных сплавов, особенно в

присутствии аммиака. Накопление кремниевой кислоты способствует образованию силикатных накипей на поверхностях нагрева парогенераторов.

Основные загрязнения, поступающие во второй контур с добавочной водой: соли натрия, хлориды, кремниевая кислота. При нормальной эксплуатации системы ХВО примеси не оказывают влияние на качество воды второго контура. Их влияние сказывается только в период вынужденной подпитки второго контура химобессоленной водой с большим расходом ХОВ [30].

При длительной работе фильтров может иметь место разрушение ионитов с выделением продуктов механического и термического разрушения в фильтрат. Продуктом термоллиза катионитов является серная кислота, анионитов – аминоксоединения. В случае дефектов дренажной системы фильтров и ловушек сорбентов возможно попадание мелких фракций смолы в конденсатно-питательный тракт и продувочную воду парогенераторов.

Величина примесей загрязненного конденсата, возвращаемого в цикл АС зависит от поступления сбросов воды в дренажные баки турбинного отделения. В дренажные баки возможны следующие поступления вод: фильтрат КРФ, LCQ-2; конденсат греющего пара LCQ-2; дренажи трубопроводов низкого давления; сливы с уплотнений конденсатных и питательных насосов.

Примеси первого контура поступают во второй в результате появления неплотностей в трубчатке парогенератора – это активированные продукты коррозии, растворенные в теплоносителе, активированные примеси подпиточной воды, продукты деления ядерного топлива [33].

Основными требованиями к ВХР второго контура являются:

- предотвращение коррозионных и коррозионно-эрозионных повреждений конструкционных материалов ПГ, оборудования и трубопроводов второго контура;
- минимизация количества отложений на теплопередающей поверхности ПГ, в проточной части турбины и в оборудовании КПП.

Показатели качества ВХР второго контура устанавливаются в соответствии с нормами МАГАТЭ по безопасности, а именно с программой МАГАТЭ по водно-химическому режиму атомных станций с водоохлаждаемыми реакторами [31].

Основными способами поддержания норм водно-химического режима второго контура являются:

- коррекционная обработка рабочей среды;
- термическая деаэрация питательной воды парогенераторов;
- продувка парогенераторов с последующей очисткой продувочной воды;
- очистка конденсата турбин на блочной обессоливающей установке (БОУ);
- использование для подпитки второго контура ХОВ;
- использование для коррекционной обработки воды химреагентов, соответствующих нормам качества по степени чистоты;
- комплексная обработка воды парогенераторов.

4.5.1 ВХР второго контура на Белорусской АЭС

На Белорусской АЭС предлагается наиболее технологичный аммиачно-этаноламиновый водно-химический режим с дозированием во второй контур как этаноламина, так и аммиака. При этом значение рН в питательной воде ПГ поддерживается от 9,5 до 9,7, а концентрации этаноламина и аммиака составляют порядка 500 мкг/дм³ и 1500 мкг/дм³ (при поддержании рН=9,5) и 500 мкг/дм³ и 3000 мкг/дм³ (при поддержании рН=9,7), соответственно [30].

Показатели качества ВХР второго контура устанавливаются в соответствии с нормами МАГАТЭ по безопасности, а именно с программой МАГАТЭ по водно-химическому режиму атомных станций с водоохлаждаемыми реакторами [31].

Для обеспечения ВХР второго контура в проекте предусмотрены следующие системы:

1. GC – система глубокого обессоливания воды обеспечивает получение обессоленной воды для первоначального заполнения и подпитки второго контура в процессе эксплуатации;
2. MAJ – система вакуумирования конденсатора обеспечивает конденсацию пара турбины и первичную деаэрацию конденсата и подпиточной воды;
3. LDF – система обезжелезивания и обессоливания конденсата турбины;
4. LDN – система корректировки водно-химического режима второго контура обеспечивает подачу гидразина, этаноламина и аммиака для поддержания ВХР;
5. LAA – система питательной воды обеспечивает глубокую деаэрацию конденсата;
6. LCU – система подпиточной воды обеспечивает подачу обессоленной воды на подпитку второго контура;
7. LCQ-1 – система продувки парогенераторов обеспечивает вывод продувочной воды ПГ с целью поддержания показателей качества продувочной воды;
8. LCQ-2 – система очистки продувочной воды парогенераторов обеспечивает очистку продувочной воды с целью возврата во второй контур;
9. LDT – система предпусковой отмывки конденсатно-питательного тракта обеспечивает очистку КПП от продуктов коррозии и шлама.
10. LDB – система очистки общестанционных дренажных конденсатов обеспечивает очистку бака грязного конденсата с целью возврата во второй контур.
11. LFG – система химической промывки парогенераторов по второму контуру обеспечивает очистку теплопередающих поверхностей ПГ от отложений.

Контроль показателей ВХР второго контура обеспечивается системой автоматизированного химконтроля и лабораторного контроля проб. Для этого предусмотрены следующие системы:

1. QUA – система автоматизированного химконтроля систем питательной воды;
2. QUB – система автоматизированного химконтроля систем пара;
3. QUC – система автоматизированного химического контроля систем конденсата;
4. QUK – система автоматизированного химического контроля продувочной воды парогенераторов;
5. QUH – система ручного отбора проб второго контура;
6. STG10 – химическая лаборатория оперативного контроля ВХР второго контура и ВПУ.

4.6 Методы обессоливания воды

Обессоливание воды – это процесс снижения общего содержания солей до значений, рекомендованных для дистиллированной воды (ГОСТ 6709-96) и ниже, т.е. до 5 мг/л и ниже.

Методы обессоливания воды – дистилляция, кристаллизационный метод, газогидратный метод, ионный обмен, электродиализ, обратный осмос, электродеионизация.

Кристаллизационный метод. *Преимущества:* простая конструкция установки; установка не требует квалифицированного обслуживающего персонала; дешевизна применяемых материалов, при замораживании воды используется даровая отрицательная температура окружающего воздуха (или искусственные энергетические системы).

Недостатки: опреснитель обладает весьма низкой удельной производительностью, и для получения значительной мощности требуются большие капитальные затраты. Также процесс природного замораживания не управляем человеком, и он не может быть применен всюду, где ощущается нехватка воды и есть потребность в опреснении вод.

Разновидностью кристаллизационных методов можно считать:

Газогидратный метод. *Преимущества:* те же, что в кристаллизационных методах, но более высокая температура проведения процесса позволяет уменьшить энергетические затраты и потери холода в окружающую среду.

Гелиоопреснение. Метод заключается в том, что под воздействием солнечной энергии в бассейне, заполненном соленой водой, происходит ее испарение, а дистиллят, образующийся при конденсации пара на наклонных охлаждаемых воздухом поверхностях крыши, выполненной из стекла или пластмассы, собирается в желобах, расположенных в нижней части. *Недостатки:* малая производительность (до 10 дм³/м²·сут), необходимость наличия постоянного потока солнечной энергии [34].

Электродиализ. *Преимущества:* установки надежны в работе, получения деионизированной воды с удельным сопротивлением 1–10 МОм·см.

Недостатки: высокая энергоемкость (1,4–3,3 кВт·час/м³ [35]), малая интенсивность процесса, необходимость очистки мембранных батарей,

ограничение по глубине обессоливания и солесодержанию исходной воды (целесообразно для 2,5–10 г/дм³)[34].

Выше перечисленные методы в настоящее время применяются достаточно редко.

Ионный обмен. *Преимущества:* возможность получения сверхчистой воды, отработанность и надежность, способность работать при резко меняющихся параметрах питающей воды, минимальные капитальные и энергозатраты, меньший расход питающей воды, минимальный объем вторичных отходов, обеспечивающий возможность их переработки.

Недостатки: высокий расход агрессивных реагентов, эксплуатационные расходы, растущие пропорционально солесодержанию воды, большое число переходных процессов (циклов регенерации), загрязнение воды частицами ионообменного материала.

Дистилляция. *Преимущества:* простота установки, минимальные количество реагентов и сброс солей в окружающую среду, возможность получения отходов минимального объема, вплоть до сухих солей, возможность использования избыточного тепла, удаление из воды растворенных газов.

Недостатки: отложение солей жесткости, техническое обслуживание требует много времени, большой расход воды и электроэнергии.

Обратный осмос. *Преимущества:* стабильно высокое качество, минимальные количества реагентов, возможность сброса концентрата без обработки в канализацию, относительно низкие эксплуатационные затраты, отсутствие агрессивных реагентов.

Недостатки: необходимость тщательной предподготовки исходной воды, желательность непрерывной работы установки, большой расход питающей воды и объем сбросных вод, необходимость промывки мембран.

Электродеионизация. *Преимущества:* высокая деминерализация воды (до значения удельного сопротивления 16 МОм*см), установка электродеионизации работает в полностью автоматическом режиме, небольшое количество концентрата.

Недостатки: необходимость тщательной предварительной подготовки воды, необходимость периодической промывки EDI-модулей растворами химических реагентов, невысокий срок службы EDI-модулей, высокие капитальные затраты [34, 35].

Сравнение таких методов обессоливания воды, как ионный обмен, дистилляция, обратный осмос и электродеионизация по конкретным параметрам приведено в таблице 2.

Выбор метода обессоливания, прежде всего, обусловлен качеством исходной воды, требованиями к качеству обработанной воды, производительностью установки и технико-экономическими соображениями.

В настоящий момент наилучшие экономические, экологические и технологические показатели будет иметь комбинированные схемы водоподготовки, когда первая стадия обессоливания воды осуществляется обратным осмосом, а

более глубокая доочистка воды – ионным обменом или электродеионизацией (в случае использования на первой стадии двухступенчатого обратного осмоса). Такая схема позволяет сократить по сравнению с «чистым» ионным обменом расход реагентов и объем сброса вредных веществ (примерно в 10–15 раз) при достижении высокого качества очистки воды.

4.6.1 Получение обессоленной воды на АЭС

Подготовка подпиточной воды блоков АЭС ведется на станции химводоочистки (ХВО), включающей систему предварительной очистки воды в две стадии – известкование с коагуляцией в осветлителях и осветление воды на механических фильтрах, а также систему обессоливания на ионообменных фильтрах с окончательным обессоливанием на фильтрах смешанного действия (ФСД) с внутренней регенерацией. На Южно-Украинской АЭС вторая стадия происходит по схеме Н1-А1-Н2-А2, а проектная мощность ХВО составляет 315 м³/час обессоленной воды и 500–550 м³/час осветленной воды [24].

Первая ступень Н-катионирования предназначена для обмена всех катионов, содержащихся в фильтруемой воде, на катион водорода, содержащийся в Н-катионите. Первая ступень анионирования, проводимая слабоосновным анионитом, имеет целью обмен анионов сильных кислот, образовавшихся при Н-катионировании, на гидроксильные ионы, содержащиеся в анионите. Вторая ступень Н-катионирования предназначается для обмена на катион водорода катионов (главным образом натрия), случайно «проскочивших» через Н-катионитный фильтр первой ступени или попавших в фильтрат из фильтров со слабоосновным анионитом вследствие его старения или недостаточно хорошей отмывки после регенерации. Вторая ступень анионирования, проводимого сильноосновным анионитом, имеет целью обмен аниона кремниевой кислоты на гидроксильный ион, содержащийся в анионите. Одновременно с этим происходит поглощение свободной углекислоты, а также незначительного проскока анионов сильных кислот через анионитный фильтр первой ступени. Пройдя цепочку, вода направляется на третью ступень обессоливания – ФСД, которые предназначены для получения глубоко обессоленной воды путем удаления микроколичеств всех катионов и анионов в смешанном слое загрузки. После ФСД установлены ловушки зернистого материала. Для Южно-Украинской АЭС в связи с высокой минерализацией природной воды (в период паводка достигает 5790 мг/дм³) третья ступень обессоливания крайне необходима, кроме того, для того, чтоб сократить расход ионообменных материалов было предложено выдерживать их перед регенерацией в 1,5% растворе тетрабората натрия с последующей отмывкой водой. Это позволило предотвратить бактериальное отравление ионитных смол [22].

На Калининской АЭС вторая стадия идет по схеме Н1-Н2-ОН1-ОН2, которая заканчивается ФСД. Схема ХВО первой очереди представлена на рисунке 1.2. Кроме того, на Калининской АЭС существует установка ионирования второй очереди по технологии АПКОРЕ. Номинальная производительность установок: первой очереди 150 м³/ч, второй очереди 280 м³/ч [32].

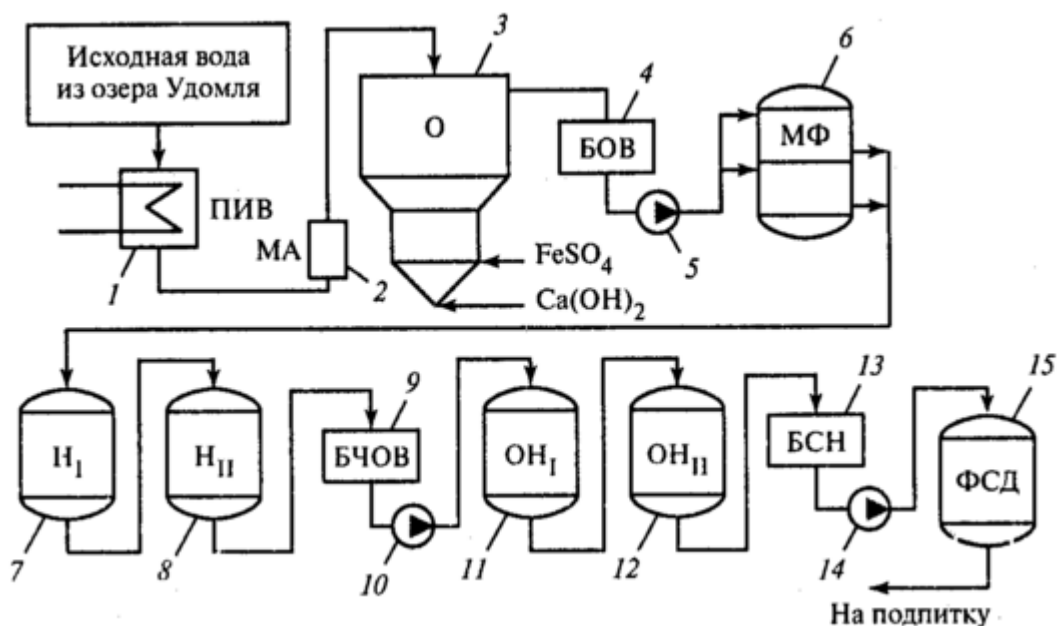


Рисунок 25 - Принципиальная схема ХВО первой очереди Калининской АЭС: 1 – подогреватель исходной воды, 2 – магнитный аппарат, 3 – осветлитель, 4 – бак осветленной воды, 5 – насос осветленной воды, 6 – механический фильтр, 7 – катионитный фильтр первой ступени, 8 – катионитный фильтр второй ступени, 9 – бак частично обессоленной воды, 10 – насос частично обессоленной воды, 11 – анионитный фильтр первой ступени, 12 – анионитный фильтр второй ступени, 13 – бак собственных нужд, 14 – насос химически обессоленной воды, 15 – фильтр смешанного действия.

Производственное водоснабжение Белорусской АЭС будет осуществляться за счет отвода воды из р. Вилия с расходом до 2,54 м³/ч. На Белорусской АЭС проектная производительность ХВО при работе двух энергоблоков составит 145 м³/ч обессоленной воды и 320 м³/ч осветленной воды [36].

4.6.2 Потребности АЭС в химически обессоленной воде и требования к ее качеству

Использование природных вод в качестве теплоносителя на АЭС с ВВЭР невозможно: в условиях высоких температур при контакте с поверхностями энергетического оборудования возможно отложение примесей, присутствующих в воде на поверхности металла, что снижает теплопередачу, а, следовательно, экономичность и разрушение металла. Образование отложений на лопатках турбины вызывает увеличение сопротивления и снижение КПД. Образование отложений на ТВЭЛах – повышение тепловой напряженности на оболочках, снижение глубины выгорания топлива.

При подготовке к пуску АЭС после планово-предупредительного ремонта на начальном этапе контуры заполняют обессоленной водой. Качество используемой воды для заполнения парогенераторов и другого оборудования перед пуском, проведения гидроиспытаний и подпитки второго контура должно соответствовать нормам, указанным в таблице 3 для бака обессоленной воды [32].

Таблица 3 - Нормы качества обессоленной воды (в баках запаса обессоленной воды), используемой перед пуском [32]

Показатель	Значение
Удельная электропроводность, мкСм/см	<1,2
Cl ⁻ , мг/дм ³	<0,05
pH при 25°C	5,5-8,0

Как видно из таблицы 4, требования предъявляемые к качеству рабочей среды первого и второго контура намного жестче, чем к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения.

Таблица 4 – Сравнение требований к качеству питьевой воды и контурных вод АЭС с ВВЭР-1000 [32]

Показатель	Питьевая вода, ПДК, мг/дм ³	Контрольные уровни	
		1 контур, мг/дм ³	2 контур, мг/дм ³
жесткость	7	-	-
Cl ⁻	350	<0,1	<0,05
NO ₃ ⁻	45	<0,2	-
F ⁻	1,5	<0,1	-
SO ₄ ⁻	500	-	-

Содержание хлоридов и фторидов в контурных водах не должно превышать контрольных значений, так как их повышенное содержание снижает защитные свойства оксидных пленок поверхностей оборудования и трубопроводов, что приводит к коррозионному растрескиванию под напряжением сталей аустенитного класса. Эти ионы способны адсорбироваться окисными пленками, вытесняя из них кислород и в точках адсорбции образуется растворимое хлористое железо, оголяя при этом металл. Основным источником поступления хлоридов в теплоноситель первого контура являются подпиточная вода и химреагенты, вводимые в контурную воду для корректировки ВХР [34]. Источником появления концентрации фторид-ионов могут служить свежезагруженные кассеты, технология изготовления которых предусматривает обработку их поверхности смесью HNO₃ и HF с последующей отмывкой.

Высокие требования к содержанию солей жесткости в контурной воде вызваны тем, что на стенках теплообменных аппаратов появляются накипеобразующие отложения солей. Это приводит: к ухудшению теплообмена, снижению сроков эксплуатации оборудования.

Суммарная концентрация ионов щелочных металлов (K^+ , Na^+ , Li^+) контролируется в зависимости от содержания в теплоносителе борной кислоты. Для нейтрализации действия борной кислоты и поддержания значения pH в щелочной области при рабочей температуре, в теплоноситель первого контура дозируется раствор гидроксида калия. Количество вводимого раствора КОН рассчитывается с учетом поступающих с подпиточной водой ионов натрия и накапливающихся в теплоносителе ионов лития, который образуется в контурной воде при облучении бора нейтронами.

Величина хлоридов после анионитных фильтров 1 ступени при работе должна быть менее 3 мг/дм^3 . Концентрация Na^+ на выходе из катионитных фильтров 2 ступени при работе должна быть менее $0,2 \text{ мг/дм}^3$. Величина удельной электропроводности после двух ступеней обессоливания должна быть менее 1 мкСм/см . Величина содержания H_2SiO_3 после анионитного фильтра второй ступени должна быть менее $0,3 \text{ мг/дм}^3$. После ФСД значение удельной электропроводности $0,3 \text{ мкСм/см}$ и содержание Na^+ не более 10 мкг/дм^3 [32].

Химически обессоленная вода из бака собственных нужд и после фильтра смешанного действия выдается потребителям: на подпитку второго контура в машзал; на подпитку первого контура в спецкорпус; в схему предочистки химводоочистки, на склад химреагентов, на спецпрачечную, в баки запаса химически обессоленной воды.

4.7 Применение ионной хроматографии в атомной энергетике

Для каждого направления водопользования регламентируются конкретные показатели качества воды. В большинстве случаев необходима очистка природной воды до достижения установленных норм. При этом выбор и разработка схем очистки воды во многом зависит от данных, полученных при проведении химико-аналитического контроля.

При определении качества воды необходимо учитывать ионный состав воды, в особенности для атомных электростанций, где требуется получение воды высокой степени очистки. Поэтому химический анализ природной воды имеет решающее значение для водоснабжения.

Разнообразие методов, используемых для оценки химического состава природных вод достаточно велико: применяется титриметрический, потенциометрический, кондуктометрический, турбидиметрический и нефелометрический методы анализа. Содержание некоторых компонентов определяется методами атомно-адсорбционной и атомно-эмиссионной спектrophотометрии. В настоящее время для химико-аналитического контроля воды используют метод ионной хроматографии, т.к. он позволяет за относительно короткий промежуток времени провести качественный и количественный анализ основных ионов, содержащихся в природной воде, включая F^- , Cl^- , Br^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} и др.

Следует отметить, что достоинством метода ИХ является возможность косвенного определения других показателей качества воды, например, общей

жесткости, обусловленной присутствием солей кальция и магния. Общая жесткость и концентрация хлоридов – ключевые характеристики для охлаждающей воды и воды для питания котлов. Вода с высоким содержанием хлоридов и сульфатов вызывают коррозию конструкционных материалов оборудования и трубопроводов электростанций. Высокая общая жесткость воды приводит к образованию окалины, а при нахождении в воде сульфатов – к образованию отложений на внутренних поверхностях парогенераторов [34].

Особенностью аналитического контроля технологических сред на АЭС является необходимость, во многих случаях, определять содержание аналитов на уровне чрезвычайно низких концентраций – единиц мкг/л, причем в высокорadioактивных водных средах. Это накладывает свой отпечаток на выбор методов и средств контроля.

Ранее использовались традиционные аналитические методики (такие как кондуктометрия, фотоколориметрия, потенциометрия), которые, как правило, позволяют определить концентрацию либо только одного компонента, либо суммы нескольких. В течение последних десятилетий был разработан и внедрён новый аналитический метод – ионная хроматография, которая позволяет получать данные сразу о нескольких компонентах раствора.

Достоинства метода ИХ:

- Определение большого числа ионов в одной пробе.
- Высокая чувствительность определения.
- Широкий диапазон определяемых концентраций (от 1 нг/мл до 10 г/л).
- Высокая селективность и экспрессность.
- Малый объем анализируемой пробы.
- Возможность полной автоматизации, работа в режиме on-line.
- Во многих случаях – полное отсутствие пробоподготовки.
- Высокая степень автоматизации.

Значительные успехи достигнуты в развитии метода ионной хроматографии с подавлением фоновой электропроводности. Современные устройства подавления, применение электрогенерации чистых растворов щелочей и кислот непосредственно в замкнутой системе обеспечило снижение пределов обнаружения ионов до уровня десятков нг/л. Другое направление, которое, по-видимому, еще находится только в начале своего развития создание гибридных методов на основе сочетания ИХ с ААС. Перспективы этого направления связаны с возможностью достижения низких пределов обнаружения и большей селективностью. Однако проблемы возникают из-за высокой стоимости оборудования и создания удобных схем сочетания методов разделения и детектирования. Также для снижения уровня определения используются online концентрирующие колонки [37].

Проблемой на пути к применению ИХ в качестве основного метода определения содержания ионов в технологических водах АЭС, ведущих ВХР с борным регулированием, является мешающее действие борной кислоты. В частности, пик хлорид-иона появляется на пике, соответствующему борной кислоте, что мешает определению концентрации хлоридов, особенно если их

содержание незначительное. Но тем не менее, подобраны элюенты на основе тетрабората натрия и гидроксида натрия, при которых содержание борной кислоты до 8 г/дм³ не влияет на результаты определения [38].

Для объектов атомной энергетики серьезную опасность могут представлять примесные хлор- и серосодержащие органические соединения. Источниками таких примесных соединений являются, прежде всего, продукты деструкции ионообменных смол, применяемых в фильтрах очистки теплоносителей. Под влиянием термических и радиационных факторов эти органические соединения разрушаются с образованием хлорид- и сульфат-ионов и становятся дополнительным источником поступления коррозионно-активных ионов в теплоноситель. Разработан метод определения таких примесей, основанный на полной деструкции примесных органических соединений в анализируемых пробах в условиях жесткого УФ-излучения в присутствии диоксида титана. Проведенные исследования позволили разработать специализированную приставку к ионному хроматографу, в которой автоматизированы процедуры УФ-пробоподготовки. Получаемые данные могут использоваться в качестве дополнительной информации при определении и прогнозировании возможных нарушений ВХР [39].

4.8 Цели и задачи контроля за состоянием окружающей среды в районах расположения АЭС

Система контроля за состоянием окружающей природной среды в районе расположения атомной электростанции создается с целью надзора за безопасностью работы АЭС. Она должна обеспечивать охрану здоровья окрестного населения и выполнение требований природоохранного законодательства в периоды строительства, эксплуатации и снятия с эксплуатации АЭС как в нормальном, так и в аварийном режимах, т. е. обеспечивать сохранение экологически допустимых уровней загрязнения, гарантирующих безопасность населения, окружающей среды [40].

Основное назначение системы контроля - достоверное и оперативное обнаружение и оценка радиационной обстановки в районе АЭС с одновременным обеспечением принятия решений по локализации этих загрязнений и полному или максимально возможному снижению последствий радиационной обстановки для населения и окружающей среды [41].

На стадии выбора строительной площадки и проектирования АЭС наблюдения за состоянием природной среды и сельскохозяйственных угодий проводятся с целью обеспечения исходными данными и информацией, необходимыми для разработки проекта, а также с целью получения «фоновых» данных о состоянии объектов природной среды и сельскохозяйственных угодий как основы для последующих оценок влияния действующей АЭС на окружающую среду [42].

На стадии эксплуатации или вывода АЭС из эксплуатации в результате выработки ресурса целью контроля является получение сведений о загрязнении природной среды всеми видами примесей, выбрасываемых в атмосферу и водоем, для анализа фактического состояния обстановки и прогноза ее изменения при

различных режимах эксплуатации АЭС. Объем данных должен быть достаточным для разработки рекомендаций по оптимизации взаимоотношений системы АЭС - окружающая среда с целью сохранить нормальные условия жизнеобитания и природную среду в районе расположения АЭС [41].

Основные задачи системы контроля за состоянием окружающей природной среды в районе расположения АЭС:

1. Непрерывные систематические наблюдения за уровнем радиоактивного загрязнения объектов природной среды, причем чувствительность приборов должна позволять уверенно регистрировать глобальный радиоактивный фон.

2. Обнаружение радиоактивного загрязнения местности и отдельных объектов наблюдения.

3. Оценка уровней и масштабов радиоактивного загрязнения объектов наблюдения, определение изотопного состава загрязнения.

4. Контроль за динамикой уровней радиоактивного загрязнения объектов наблюдения от АЭС.

5. Оценка радиационной опасности, возникшей в результате радиоактивного загрязнения, и последствий этого загрязнения. Выявление приоритетности изотопов в составе загрязнения различных объектов природной среды с точки зрения их опасности.

6. Прогноз изменений радиационной обстановки и последствий радиоактивного загрязнения.

7. Сбор, обобщение и передача заинтересованным органам и ведомствам информации о радиационной обстановке и состоянии окружающей среды в районе расположения АЭС и о прогнозе ее изменения [40].

4.8.1 Основные принципы построения системы контроля

При создании системы контроля за изменением состояния окружающей среды в результате воздействия атомной электростанции необходимо исходить из целей и задач контроля, перечисленных выше. Кроме того, необходимо учитывать не только радиационное воздействие АЭС на окружающую среду, но и многочисленные нерадиационные (химические) факторы, которые способны оказывать совокупное с радиационным влияние на окружающую среду.

Общая концепция организации контроля за состоянием природной среды в районах расположения АЭС должна исходить из принципа высокой надежности и устойчивости системы контроля, способной функционировать как при нормальной работе АЭС, так и в экстремальных ситуациях, связанных, например, с возможной аварией, включая разрушение АЭС.

Основу радиационного контроля в окрестностях АЭС должен составлять комбинированный подход: соединение результатов расчетных методов определения радиоактивного загрязнения местности по результатам измерений параметров радиоактивных выбросов в атмосферу и радиоактивных сбросов в окружающую среду с данными непосредственных измерений на местности.

Таким образом, в системе контроля должна использоваться прежде всего разветвленная сеть датчиков радиоактивного загрязнения, расположенных во всех пунктах технологической схемы АЭС, откуда возможно поступление радиоизотопов в окружающую среду. Поскольку трудно заранее предусмотреть все возможные случаи неконтролируемых протечек и газоаэрозольных выбросов радиоактивных веществ, а также их миграцию из мест захоронения отходов, упомянутая сеть точек контроля должна быть для надежности дополнена своего рода «забором» из датчиков вокруг АЭС. Иными словами, дополнительные пункты контроля должны опоясывать территорию, на которой расположены объекты технологической схемы АЭС, могущие в принципе представлять радиационную опасность при аварийных ситуациях [43].

Результаты расчетов радиационной обстановки должны сравниваться и подкрепляться данными непосредственных наблюдений в ограниченном числе пунктов местности. Наблюдения на местности за мощностью дозы гамма-излучения в ближайших окрестностях АЭС должны производиться дистанционными методами с помощью автоматической системы контроля радиационной обстановки. Наблюдения за другими параметрами радиоактивного загрязнения окружающей среды, а также на больших расстояниях от АЭС должны производиться путем регулярного отбора проб в ограниченном числе пунктов для анализа в лаборатории при нормальной работе АЭС, а по сигналу систем о нарушении нормального режима работы АЭС - по специальной инструкции, которая должна предусматривать возможность немедленного отбора проб и проведения гамма-съемки на участке местности [41, 42].

Хорошо известно, что при нормальной работе АЭС и строгом соблюдении технологической дисциплины в окружающую среду практически не должны поступать радиоактивные загрязняющие вещества. Тем не менее теоретически возможность аварийной ситуации, хоть и с малой степенью вероятности, всегда существует. Периодически наблюдаются и неконтролируемые протечки, и повышенные выбросы радиоактивных веществ в атмосферу. Поэтому система радиационного контроля должна все время поддерживаться в рабочем состоянии, а для этого она должна ежедневно функционировать, независимо от уровня радиоактивного загрязнения окружающей среды.

В общем случае радиационный контроль должен дополняться контролем за изменением экологической нагрузки на население прилегающего района и на экосистемы, а также контролем за последствиями изменений этой нагрузки. При этом должны учитываться тепловые сбросы АЭС и влияние соседних предприятий, химическое загрязнение природной среды, изменения гидрологического режима и других условий в связи со строительством и эксплуатацией АЭС, синергические эффекты, вызванные одновременным воздействием радиационных и других физико-химических факторов на население и на биоту [43].

При организации радиационного контроля следует иметь в виду, что при крупной аварии в принципе возможен вынос радиоактивных продуктов далеко за пределы окрестностей АЭС, распространение их в масштабах региона и даже трансграничный перенос на территорию соседних государств.

Система контроля должна предусматривать такую возможность. В частности, в программах расчета радиационной обстановки должны использоваться математические модели не только локального, но и регионального масштабов с использованием данных прогноза погоды на территории региона. Результаты расчетов должны опираться на данные непосредственных наблюдений за радиационной обстановкой на стационарной сети пунктов наблюдения на территории страны и за рубежом.

Возможность обмена информацией между государствами о наблюдаемой радиационной обстановке предусмотрена в международной конвенции о раннем оповещении о ядерных авариях.

Таким образом, система контроля разделяется на локальную и региональную подсистемы. Локальный контроль включает в себя сеть пунктов для контроля за мощностью источников на территории АЭС, сеть пунктов наблюдения на местности за радиационной обстановкой в окрестностях АЭС для первичной оценки радиационной обстановки в окрестностях АЭС по простой математической модели и данным местных метеонаблюдений. Региональный контроль включает в себя сеть пунктов наблюдения за радиационной обстановкой по всему региону и на всех АЭС региона, а также систему сбора метеоданных для детальных расчетов радиационной обстановки и ее прогноза в регионе и за его пределами [42].

Атомная электростанция должна осуществлять радиационный контроль на территории своей промплощадки, в санитарно-защитной зоне и в отдельных пунктах зоны наблюдения.

Для повышения надежности ведомственные системы контроля должны частично взаимно перекрываться. В частности, за пределами промплощадки АЭС радиационный контроль на местности должен осуществляться разными ведомствами с регулярным сравнением результатов наблюдений и взаимным обменом информацией. При нормальной работе АЭС обмен информацией между службами контроля разных ведомств должен происходить не реже одного раза в год. При обнаружении неконтролируемых выбросов АЭС обмен должен происходить оперативно по заранее отработанным каналам связи.

В аварийных ситуациях данных о радиационной обстановке, получаемых от стационарной сети пунктов наблюдения на местности, работающих в обычном режиме, может оказаться недостаточно. Поэтому сеть пунктов контроля при радиационной аварии должна быть переведена на работу в аварийном режиме с уменьшением промежутков времени между сроками наблюдений. Поскольку в случае аварии информации, которую может дать даже достаточно густая сеть стационарных пунктов наблюдений, будет явно не хватать для подробного освещения радиационной обстановки на местности, должна быть оперативно проведена маршрутная радиационная съемка загрязненных районов с помощью транспортных средств, оснащенных соответствующей аппаратурой. Для этого заранее должны быть организованы и оснащены оперативные группы контроля АЭС [41].

Вся система контроля за состоянием природной среды в районе расположения АЭС должна быть в своей основе пригодна для использования на

различных этапах существования АЭС: при ее нормальной работе, при ремонте, при выводе АЭС из эксплуатации в связи с реконструкцией, демонтажем или консервацией реакторов, а также при возможной радиационной аварии, включая разрушение АЭС. При этом конкретная программа должна меняться применительно к местным условиям и особенностям рассматриваемого этапа с тем, чтобы получить возможно более полную картину складывающейся радиационной обстановки и обеспечить построение прогноза ее изменения.

Система радиационного контроля окружающей среды в районе расположения АЭС разрабатывается на стадии проекта АЭС и должна начать работать за год до физического пуска первого реактора. Системы радиационного контроля других ведомств, участвующих в контроле, разрабатываются каждым ведомством самостоятельно с учетом проекта АЭС с таким расчетом, чтобы начать работать тоже за год до физического пуска первого реактора АЭС [40].

4.8.2 Средства радиометрического контроля внешней среды

Для контроля за радиоактивным загрязнением местности и отдельных объектов внешней среды в районе расположения АЭС применяются переносные гамма- и бета-радиометры, а также различные средства отбора проб аэрозолей, атмосферных выпадений, почвы, воды, донных отложений водоемов и других объектов контроля для последующего радиометрического и изотопного анализа в лаборатории.

При нормальной работе АЭС основными средствами контроля за радиоактивным загрязнением окружающей среды являются воздухофильтрующие устройства для отбора проб аэрозолей на анализ, сборники радиоактивных выпадений из атмосферы и переносные радиометры.

Как уже говорилось выше, общим требованием к средствам контроля на местности за последствиями радиоактивных выбросов АЭС является возможность обеспечить уверенную регистрацию глобального радиоактивного фона, обусловленного в основном продуктами испытаний ядерного оружия, поскольку именно на фоне естественных колебаний уровня глобальной радиоактивности необходимо обнаружить эффекты воздействия местного источника загрязнения. Наибольшую чувствительность обнаружения радиоактивных продуктов позволяет обеспечить высокопроизводительная воздухофильтрующая установка, на втором месте стоит сборник атмосферных выпадений. Чувствительность бета-радиометров на три-четыре порядка ниже, а гамма-радиометров - еще ниже [43].

Причины малой чувствительности радиометров к радиоактивным аэрозольным выбросам АЭС носят принципиальный характер и объясняются высоким радиоактивным фоном почвы, обусловленным накоплением на ее поверхности радиоактивных выпадений из атмосферы от испытаний ядерного оружия, от предшествующих инцидентов на АЭС, а также содержанием в почве естественных радиоактивных элементов.

При радиационной аварии первоочередной задачей является оперативная радиационная съемка местности. Для первичной оценки масштабов и уровней загрязнения местности используются все виды транспортных средств, оснащенных

радиометрами, и данные термолюминесцентных дозиметров, планшетов и воздухофильтрующих устройств, установленных в стационарных пунктах контроля в окрестностях АЭС. При больших масштабах загрязнения для радиометрической съемки используются авиационные средства [42].

4.9 Организация системы радиационного контроля в окрестностях АЭС

Система радиационного контроля в окрестностях АЭС входит составной частью в единую систему радиационного контроля на атомной электростанции, охватывающую контроль за технологическим режимом работы АЭС, контроль внутри помещений, на территории промплощадки и за ее пределами. Комплексное решение этих вопросов должно предусматриваться на стадии проектирования АЭС с таким расчетом, чтобы система радиационного контроля оказалась эффективной как в условиях нормальной эксплуатации АЭС, так и в случае возможной аварии. Проект АЭС должен предусматривать техническое, математическое и информационное обеспечение радиационного контроля в ее окрестностях.

При выборе строительной площадки и на стадии проектирования АЭС должен быть проведен анализ гидрогеологических и сейсмических характеристик, особенностей метеорологических и гидрологических параметров рассматриваемой территории, в частности вероятности возникновения опасных явлений погоды и метеоусловий, способствующих накоплению радиоактивных газоаэрозольных выбросов в районе АЭС. Кроме того, должны учитываться посторонние источники загрязнения атмосферы и природных вод в районе проектируемой АЭС с таким расчетом, чтобы совместное действие АЭС и этих источников не превысило допустимую нагрузку на окружающую среду [41].

4.9.1 Оценка радиационного фона в предпусковой период

На этапе проектирования АЭС и ее строительства производятся измерения радиоактивного фона в радиусе до 30 км вокруг будущей АЭС. При этом определяются средние уровни и пределы пространственных и временных изменений гамма- и бета-радиации с поверхности почвенно-растительного покрова, содержания бета-активных продуктов в воздухе, атмосферных выпадениях, природных водах, донных отложениях водоемов, почве, растительности, сельхозпродукции и продуктах питания. Выборочно определяются уровни содержания в этих объектах долгоживущих изотопов цезия-137, стронция-90, а при необходимости - и других радионуклидов с учетом возможного влияния соседних потенциальных источников радиоактивного загрязнения, если они существуют. Данные этих измерений необходимы для последующих оценок влияния АЭС на окружающую среду, когда атомная электростанция начнет эксплуатироваться [41].

Если в выбранном для строительства АЭС районе проводились многолетние наблюдения соответствующими учреждениями, то эти данные могут быть использованы в качестве исходных при проектных работах. При наличии таких данных только для соседнего района, расположенного в сходных физико-географических условиях, эти данные могут быть использованы в качестве

исходных для проектирования лишь в условиях горизонтально однородной равнинной местности, когда есть уверенность, что параметры радиоактивного фона будут одинаковы для района будущей АЭС и района, в котором проводились многолетние наблюдения. В противном случае в окрестностях стройплощадки должен быть организован двухлетний цикл наблюдений за уровнями и пределами колебаний радиоактивного фона [41].

Все эти работы проводятся с привлечением заинтересованных ведомств, обладающих соответствующими средствами контроля за радиационной обстановкой, в рамках финансовых средств, выделенных на создание данной АЭС.

При сооружении АЭС объектом первой очереди является лаборатория внешней дозиметрии, которая должна провести перед физическим пуском первого реактора АЭС не менее чем один полный годовой цикл наблюдений за радиационной обстановкой в окрестностях атомной электростанции. Наблюдения проводятся лабораторией по той же программе, что и при нормальной работе АЭС [42].

4.9.2 Контроль за состоянием окружающей среды при нормальной работе АЭС

Система радиационного контроля за состоянием окружающей среды при Нормальном режиме работы АЭС является составной частью общей системы, обеспечивающей безопасность на АЭС, и включает комплекс технических и организационных решений, обеспечивающих получение и обработку информации о параметрах работы станции как источника радиационного воздействия и о состоянии окружающей среды в районе расположения АЭС [42].

Система радиационного контроля должна быть универсальной и пригодной при работе АЭС как в нормальном режиме, так и в аварийных ситуациях различной степени тяжести, включая разрушение АЭС. При этом система контроля обеспечивает получение необходимых исходных данных для оперативной оценки радиационной обстановки, определения дозовой нагрузки и принятия решений по защите населения и окружающей среды.

На основе использования вычислительной техники в банке данных на АЭС предусматривается накопление информации о контролируемых параметрах радиационной обстановки внутри помещений станции, на промплощадке и за ее пределами за все время эксплуатации с целью выявления тенденций медленных пространственно-временных изменений, обобщения опыта эксплуатации и ее совершенствования [43].

В соответствии с изложенной в главе 1 общей концепцией радиационного контроля, предусматривающей комбинированное использование данных наблюдений за радиационной обстановкой и расчетных методов ее оценки по данным об источниках радиоактивности во внешнюю среду, система контроля на АЭС состоит из двух частей, обеспечивающих контроль за источниками и контроль за радиационной обстановкой во внешней среде.

Необходимо организовать учет содержания радионуклидов в технологических средах АЭС и контроль эффективности защитных барьеров,

препятствующих выходу радиоактивности во внешнюю среду. Кроме того, контролировать мощность радиоактивных выбросов в атмосферу и жидких сбросов, а также активность, количество и изотопный состав жидких и твердых отходов, поступающих на временное хранение.

На АЭС с реакторами типа ВВЭР защитными барьерами являются оболочки твелов, оборудование, соединения и уплотнения первого контура, корпус реактора, герметичные помещения, страховочные оболочки и т. п. Контролю подлежат: общая активность радионуклидов в реакторе (расчетная оценка), уровни радиации под герметичной оболочкой реактора, объемная активность и изотопный состав теплоносителя первого контура, объемная активность пара и продувочной воды парогенератора, общая активность и изотопный состав жидких сбросов в сбросном канале, в контрольных баках, а также концентрация радиоактивных продуктов в технической и сетевой воде, в воздухе производственных помещений, связанных с оборудованием главного циркуляционного контура и т. п. [43].

Кроме того, производится оценка общей активности радионуклидов, содержащихся в хранилищах радиоактивных отходов, бассейнах выдержки отработавших твелов и других узлах технологической цепочки, которые при разрушении могут являться источниками радиоактивного загрязнения окружающей среды.

Должна проводиться инвентаризация и строгий учет всех таких узлов.

В рамках радиационного технологического контроля измеряется концентрация радионуклидов в продувочных водах второго контура и в теплоносителях промежуточных контуров, в воздухе необслуживаемых помещений и системах вентиляции, а также общая активность и изотопный состав газоаэрозольных выбросов в атмосферу [42].

Радиационный контроль в производственных помещениях производится, в частности, с целью обнаружения нарушений герметичности основного технологического оборудования, расположенного в этих помещениях, что может привести к поступлению радиоактивных выбросов в окружающую среду.

Контроль радиоактивных выбросов в атмосферу и жидких радиоактивных сбросов в водоемы осуществляется путем непрерывных измерений количества выбрасываемых (сбрасываемых) радиоактивных веществ в единицу времени, например измерения концентраций радионуклидов и объемной скорости потоков газоаэрозольных выбросов и жидких сбросов. В случаях когда выбросы или сбросы осуществляются нерегулярно, например из накопителей, определение мощности выброса (сброса) производится путем отбора проб на анализ с оценкой общей активности радионуклидов, поступивших в окружающую среду [44].

Регулярное определение изотопного состава выбросов и сбросов осуществляется в периоды пуско-наладочных работ и выхода на проектную мощность, при планово-предупредительных и внеплановых ремонтных работах, при перегрузках топлива и других изменениях в режиме эксплуатации, в случае нарушения герметичности твелов и при других утечках радиоактивных продуктов во внешнюю среду. В установившемся режиме работы реакторной установки осуществляется непрерывный контроль только за концентрацией йода-131 в

выбросах и суммарной концентрацией коротко- и долгоживущих радионуклидов в выбросах и сбросах, а определение изотопного состава производится с заданной периодичностью, достаточной для уточнения соотношений между содержанием в них отдельных изотопов, но не реже одного раза в месяц.

При этом в воздушных выбросах контролируются концентрации инертных радиоактивных газов: аргона-41, криптона-85, 85 м, ксенона-133, -135. В воздушных выбросах и жидких сбросах контролируются концентрации гамма-излучающих изотопов: хрома-51, марганца-54, кобальта-58, -60, железа-59, цинка-65, циркония-95, ниобия-95, молибдена-99, технеция-99, рутения-103, -106, йода-131, -132, цезия-134, -137, бария-140, лантана-140, церия-141, -144; бета-излучающих изотопов: стронция-89, -90, низкоэнергетических трития, углерода-14, плутония-241; альфа-излучающих изотопов: плутония-238, -239, -240, -242 [43].

Кроме перечисленных основных радионуклидов, в зависимости от изотопного состава радиоактивных продуктов в контролируемой среде может регламентироваться наблюдение за содержанием и других изотопов.

При радиационном контроле за газоаэрозольными выбросами в атмосферу в непрерывном режиме часть воздушного потока через пробоотборную линию пропускается последовательно через аэрозольный фильтр, йодный фильтр, емкость для измерения активности инертных газов и через расходомер возвращается в основной воздуховод.

На первом фильтре оседают радиоактивные аэрозоли, их суммарная бета-активность измеряется непрерывно в процессе осаждения. Для разделения активности коротко- и долгоживущих радионуклидов измерения производятся дважды, со сдвигом по времени на сутки. После этого при необходимости фильтр поступает на изотопный анализ. Для определения изотопного состава более короткоживущих радионуклидов используется отбор проб на отдельный фильтр.

Второй фильтр является сорбционным и служит для улавливания изотопов газообразного радиойода. Активность основного изотопа из этой группы - йода-131 - в процессе улавливания его сорбентом измеряется непрерывно с помощью одноканального гамма-спектрометра.

Измерение суммарной активности инертных газов, проходящих через измерительную емкость, тоже производится непрерывно.

Для определения в выбросах содержания трития и углерода-14 производится отдельный непрерывный отбор проб на сорбенты. Активность проб измеряется по необходимости, но не реже одного раза в месяц [43].

Контроль за жидкими и твердыми радиоактивными отходами осуществляется в местах их сбора, сортировки и временного хранения; к ним относятся: емкости промежуточного сбора кубового остатка, шламов и ионообменных смол, контейнеры для сбора твердых отходов по месту образования, хранилища жидких и твердых отходов в спецкорпусе. В случае жидких отходов измеряется суммарная бета-активность и изотопный состав, содержание солей, рН и объем отходов, в случае твердых отходов - мощность дозы гамма-излучения, вид материала, масса и объем, оценивается суммарная активность материала. Контроль указанных параметров производится в течение всего периода временного хранения

отходов, результаты контроля поступают в банк данных наряду с результатами всех остальных видов радиационного контроля [43].

По периметру промплощадки АЭС производятся непрерывные измерения уровней гамма-радиации с целью обнаружения возможных неконтролируемых утечек радиоактивных продуктов в окружающую среду из первоначально неидентифицированных и непостоянных источников.

С целью получения более точных исходных данных для расчетов распространения радиоактивных масс в атмосфере при радиационной аварии рекомендуется применение дистанционных методов измерения геометрических размеров первоначального радиоактивного облака, образовавшегося при аварии, например радио- и гамма-локация, тепловидение.

Для повышения надежности контроля за источниками поступления радиоактивных продуктов в окружающую среду средства контроля многократно дублируются с таким расчетом, чтобы система контроля в целом была автономна, функционировала независимо от работы реакторов и других систем АЭС и сохранила работоспособность в случае аварии АЭС и отключения сетевого электропитания (на срок не менее часа при разрушении АЭС) [43].

Система контроля за радиоактивными источниками должна работать как в автоматическом, так и в ручном режиме и входить составной частью в общую на АЭС систему АСКРО, которая предназначена для непрерывного контроля и прогнозирования радиационной обстановки в помещениях, на территории АЭС, в санитарно-защитной зоне и по возможности в отдельных, населенных пунктах зоны наблюдения.

Данные наблюдений за мощностью источников радиоактивных выбросов АЭС в атмосферу и жидких сбросов используются для расчетных оценок радиационной обстановки за пределами промплощадки.

В обязательном порядке эти расчетные оценки подкрепляются данными непосредственных наблюдений за радиационной обстановкой на местности в окрестностях АЭС в ограниченном числе пунктов. В случае необходимости результаты расчетов полей радиации на местности корректируются с учетом данных прямых наблюдений в отдельных точках.

С этой целью производятся наблюдения за мощностью дозы гамма-излучения на местности и отбор проб объектов природной среды для последующего радиометрического и изотопного анализа в лаборатории.

Оптимальное число и расположение стационарных пунктов наблюдения за радиационной обстановкой и мест отбора проб выбирается с учетом статистических характеристик полей радиоактивного загрязнения окрестностей АЭС. При этом принимаются во внимание местные условия, в частности наличие дорог и степень доступности намеченного пункта наблюдения. Ориентировочное число стационарных пунктов контроля в радиусе до 12 км около 20-30 [42].

4.9.3 Особенности радиационного контроля при снятии АЭС с эксплуатации

Прекращение эксплуатации энергоблока АЭС может быть связано либо с радиационной аварией, сопровождавшейся такими разрушениями, при которых его восстановление экономически нецелесообразно, либо выработкой ресурса реакторной установки энергоблока.

Ориентировочный срок эксплуатации реакторной установки составляет 50-60 лет. После удаления облученного топлива и охлаждающей воды (на легководных реакторах) свыше 95 % остаточных радиоактивных продуктов приходится на корпус реактора и элементы конструкции, входящие в состав его непосредственного окружения [41].

Система радиационного контроля, существующая на действующей АЭС, может в связи с прекращением эксплуатации энергоблока подвергнуться модификации в зависимости от конкретных условий, сложившихся на АЭС, радиационной обстановки и методологии проводимых на энергоблоке работ.

Если энергоблок остановлен в связи с выработкой ресурса реакторной установки, то система радиационного контроля за состоянием окружающей среды в окрестностях АЭС продолжает функционировать в том же объеме, что и при нормальной эксплуатации атомной электростанции, даже если АЭС состоит из одного энергоблока, снимаемого с эксплуатации [41].

После остановки и расхолаживания реактора, как правило, перед началом работ по демонтажу или консервации реакторной установки производится выдержка для уменьшения активности этой зоны за счет радиоактивного распада короткоживущих изотопов. Продолжительность выдержки определяется оптимальным соотношением между уменьшающимися со временем затратами на защитные мероприятия при демонтаже или консервации реактора и растущими со временем затратами на инспекции, техобслуживание остановленного реактора, его охрану и потерь за счет вывода из пользования охраняемой территории.

В зависимости от конкретных условий и мощности реактора демонтаж может происходить в несколько этапов [42].

В качестве предварительной меры производится удаление всех легкодоступных радиоактивных материалов, а технологическое оборудование, узлы и конструкции реакторной установки оставляются нетронутыми. В этом случае персонал, осуществляющий техобслуживание и контроль реакторной установки, продолжает выполнять свои функции по-прежнему. В окружающей среде в процессе удаления радиоактивных материалов возможно появление повышенных концентраций радиоактивных продуктов, поэтому в этот период радиационный контроль проводится более тщательно.

На втором этапе оставляются и опечатываются те части реакторной установки, которые сохраняют высокие уровни радиоактивности. Менее радиоактивные части демонтируются и удаляются, обычно это активированное оборудование и облицовочные слои бетона. При этих работах возможно образование высоких концентраций радиоактивной пыли, а при пылеподавлении

орошением - активных сточных вод. В районе проведения работ радиометрический контроль при этом осуществляется непрерывно, а в окрестностях АЭС - ежедневно. После завершения работ и стабилизации радиационной обстановки радиометрический контроль восстанавливается в том же объеме и в том же режиме, что и при нормальной эксплуатации АЭС.

При окончательном демонтаже реакторной установки производится удаление всех радиоактивных материалов, содержание радиоизотопов в которых выше допустимого уровня. Большая часть реакторной установки, в частности узлы активной зоны, теплообменники, трубопроводы, из-за высокой активности демонтируются с помощью дистанционно управляемого оборудования. Чтобы уменьшить образование высокоактивной пыли и паров металлов при демонтаже оборудования реакторной установки, часть работ производится под водой в корпусе реактора [42].

При всех этих работах образуется большое количество радиоактивных отходов. Так, по приблизительным оценкам, в результате демонтажа легководного реактора мощностью 1000 МВт образуется несколько сотен кубометров радиоактивных отходов, подлежащих захоронению вместе с отходами, образующимися при нормальной работе АЭС, и такое же количество отходов, активность которых требует специальных способов захоронения, например глубоко под землей в выработанных сухих шахтах.

Кроме того, при полном демонтаже образуется примерно 50 тыс. м³ нерадиоактивных отходов, в том числе условно нерадиоактивных, активность которых не превышает установленных критериев. Непосредственной угрозы здоровью людей эти отходы не представляют, но их использование в хозяйственной деятельности за пределами АЭС и санитарно-защитной зоны недопустимо. Такое использование со временем может привести к широкомасштабному спонтанному повышению содержания радиоактивных продуктов в самых различных объектах, где эти отходы могут использоваться, что нежелательно, поскольку приводит к труднопредсказуемым последствиям. Например, использование условно нерадиоактивных отходов при планировке территорий может со временем в результате естественной миграции радионуклидов в ландшафте: привести к накоплению долгоживущих изотопов на отдельных участках, соответствующих геохимическим барьерам, до опасных уровней вследствие возможности проникновения по пищевым цепочкам в рацион населения. Использование частей металлоконструкций в качестве сырья во вторичной металлургии приведет к ухудшению фоновых характеристик и порога чувствительности детекторов ионизирующих излучений [43].

В процессе работ по полному демонтажу реакторной установки, несмотря на принимаемые предохранительные меры, образуется большое количество радиоактивной пыли, паров и газов, возможны протечки и проникновение в окружающую среду радиоактивных вод, разнос радиоактивного загрязнения движущимся транспортом и строительными механизмами, используемыми в процессе демонтажа.

Поэтому в районе работ организуется тщательный непрерывный контроль за радиационной обстановкой, зона работ в обязательном порядке огораживается, выходящий транспорт и механизмы контролируются и при необходимости дезактивируются [43].

В период демонтажа в окрестностях АЭС на стационарных пунктах контроля производятся ежедневные измерения уровней радиации и отбор суточных проб радиоактивных выпадений и аэрозолей. Периодически, не реже одного раза в неделю, проводится маршрутная радиометрическая съемка дорог, по которым может двигаться транспорт, выходящий из зоны работ, и территория гаражей и стоянок этого транспорта. С той же периодичностью контролируется содержание радиоактивных продуктов во всех видах и источниках местных стоков, в том числе в ливневых стоках в водные системы, а также в отходах (илах) местных очистных сооружений бытовых вод и промстоков.

Транспортировка радиоактивных отходов к местам их захоронения производится с соблюдением всех мер защиты окружающей среды от загрязнения. Тем не менее следует учитывать возможность такого загрязнения и контролировать чистоту транспортной магистрали каждый раз после перевозки по ней отходов высокой активности посредством маршрутной гамма-съемки с движущегося транспортного средства [41].

Места долговременного хранения высокоактивных отходов в течение сотен лет являются потенциальными источниками возможного радиоактивного загрязнения природной среды. По мере естественного старения материалов стенок емкостей могильников, защитных оболочек контейнеров с отходами, блоков отвержденных отходов будет происходить их постепенное разрушение в результате воздействия внешних факторов и внутренних физико-химических процессов, сопровождающееся проникновением радиоактивных продуктов в окружающую среду. Поэтому места захоронения радиоактивных отходов должны находиться под постоянным радиометрическим контролем. Радиометрическая съемка территории вблизи могильника производится каждый раз при загрузке радиоактивных отходов в могильник, причем измерения производятся два раза, до и после загрузки отходов. При случайном загрязнении территории в случае необходимости производится ее дезактивация. В перерывах между загрузками радиометрическая съемка производится периодически, не реже одного раза в месяц. С такой же периодичностью контролируется концентрация радиоактивных продуктов в грунтовых водах, отбираемых из водоносных горизонтов через скважины, пробуренные с учетом результатов гидрогеологических изысканий.

После консервации могильника в связи с его заполнением радиометрический контроль продолжает осуществляться ежемесячно в прежнем объеме [43].

4.10 Контроль за влиянием нерадиационных факторов на окружающую среду

К нерадиационным факторам воздействия на окружающую среду в зоне расположения АЭС относятся:

- загрязнение природной среды химическими примесями,.

- «тепловое» загрязнение,
- последствия хозяйственной деятельности, влияние водозабора на биоту и т. п. [41]

АЭС осуществляет контроль только за сбросами тепла и тех видов химических веществ, которые способны вызвать загрязнение водоемов и окрестностей. Это нефтепродукты, сульфаты, взвеси, отходы гальванического участка ремонтного подразделения и другие, специфические для каждой конкретной АЭС.

Целью контроля за нерадиационными факторами является получение сведений, необходимых для оценки состояния водоема-охладителя, а также данных о возможном химическом загрязнении природной среды в комплексе с другими видами загрязнений (радиоактивным, тепловым).

Необходимыми элементами контроля являются:

- инвентаризация всех видов нерадиационных источников;
- организация и выполнение измерений концентраций химических загрязняющих примесей, выбрасываемых (сбрасываемых) АЭС в окружающую среду, и тепловых сбросов;
- оценка загрязнения объектов природной среды химическими примесями, источниками которых являются производства, обеспечивающие эксплуатацию АЭС;
- оценка и прогноз теплового воздействия и изменений режима загрязнения природной среды в районе расположения АЭС химическими примесями вследствие суммарных выбросов (всех типов) атомной электростанции, предприятий местной промышленности, трансграничного переноса [41].

4.10.1 Контроль за загрязнением атмосферы химическими примесями

Контроль осуществляется путем выполнения наблюдений за приземной концентрацией примесей, а также путем расчетов.

Наблюдения за химическим загрязнением проводятся на стационарных, маршрутных и подфакельных постах.

Стационарные посты служат для проведения систематических наблюдений. Они оборудованы специальными павильонами, оснащены аппаратурой для отбора проб воздуха и непрерывной регистрации содержания вредных примесей в атмосфере, а также приборами для определения метеорологических характеристик. Стационарный пост устанавливается в населенных пунктах с численностью населения более 50 тысяч человек.

Маршрутные посты также предназначены для регулярных наблюдений. Отбор проб воздуха и метеорологические наблюдения на этих постах выполняются с помощью передвижной лаборатории.

Наблюдения под факелами дымовых труб соседних с АЭС предприятий выполняются с целью получения данных о распространении химических вредных веществ от отдельных источников выбросов в зависимости от метеорологических условий и оценки влияния этих источников на загрязнение атмосферы.

Отбор проб воздуха производится последовательно по направлению ветра на расстояниях от источника выбросов 0,2-0,5, 1, 2, 3, 4, 8, 10, 15 и 20 км. Кроме того, организуется пост по отбору проб воздуха с наветренной стороны от источника, на расстоянии, исключающем влияние обследуемого источника на концентрацию [41].

При изменении направления пространственной ориентации факела отбор проб прекращается, и посты перемещаются в зону его влияния. Если установить посты на указанных расстояниях не представляется возможным, выбирают доступные маршруты. Особое внимание уделяется наблюдениям на расстояниях, на которых можно ожидать наиболее высокие концентрации примесей (равные 10-40 средним высотам вентиляционных труб). Наблюдения проводятся за приоритетными примесями с учетом мощности выбросов и их токсичности. В зоне возможного загрязнения отбирают не менее 50-60 проб воздуха (при минимум 25 измерениях на других расстояниях) по каждому ингредиенту в разные сезоны года (зимой, летом, осенью, весной). Отбор проб проводится на высоте 1,5 м от поверхности Земли в течение 20 мин [41].

Параллельно с отбором пылегазовых проб производятся измерения скорости и направления ветра, температуры и влажности воздуха, а также метеорологические наблюдения за атмосферными явлениями, состоянием погоды и состоянием деятельной поверхности [45].

4.10.2 Контроль за химическим загрязнением почвы

Основными источниками химического загрязнения почв в районе расположения АЭС являются автомобильный транспорт, строительные работы, связанные с пылеобразованием, и только в отдельных редких случаях сама АЭС. Выбрасываемые этими промышленными производствами загрязняющие вещества переносятся воздушным потоком, вымываются осадками и осаждаются на расстояниях, зависящих от параметров источников выбросов и метеорологических условий [46].

Контроль за загрязнением почв химическими веществами осуществляется путем непосредственных экспериментальных наблюдений. Частота отбора проб почвы устанавливается в зависимости от решаемых задач:

- одновременно при взятии проб на радиоизотопный анализ отбираются пробы и для последующего определения концентраций химических примесей;
- эпизодически в случае поступления на поверхность почвы значительного количества химических примесей;
- эпизодически (1 раз в 3-5 лет) в районах влияния крупных источников примесей, оживленных автомагистралей [45].

По результатам определений концентрации химических примесей в почве изучают:

- содержание подвижных форм стронция и тяжелых металлов, а также макроэлементов и пестицидов на полях;

- соответствие отдельных элементов определенным типам почв и видам ландшафтов;
- влияние геофизических барьеров на уровень загрязнения почв отдельными веществами;
- особенности распределения тяжелых металлов на пахотных и пастбищных угодьях, в лесных массивах;
- интенсивность и направленность геохимической миграции тяжелых металлов;
- наличие корреляционных связей между концентрациями отдельных химических элементов и особенно ТМ;
- общие закономерности перераспределения ТМ в горизонтальном направлении при сопоставлении распределения концентраций различных элементов вдоль ландшафтных профилей;
- закономерности миграции ТМ по вертикальному профилю [45].

4.10.3 Контроль за химическом загрязнением водных объектов

Осуществляется с целью получения текущей информации о химическом загрязнении водоемов для разработки рекомендаций по управлению качеством воды водоемов-охладителей и прилегающих водных объектов в зоне размещения АЭС.

Задачей гидрохимического контроля водоемов является наблюдение за гидрохимическим режимом водоемов-охладителей и связанных с ним водотоков, оценка и прогноз степени воздействия сбросных вод АЭС на качество воды водоемов-охладителей и прилегающих водных объектов.

Основным требованием к блоку гидрохимического контроля является установление оптимального количества и состава измеряемых гидрохимических показателей, определяемых с учетом требований получения характеристик всех статей гидрохимического баланса.

Решение поставленных задач обеспечивается за счет натуральных полевых исследований, лабораторных аналитических работ, обработки и анализа полученной информации.

Натурные исследования включают проведение гидрохимических съемок с измерением температуры воды, содержания растворенного в воде кислорода и отбора проб воды и донных отложений на химический анализ.

На водоемах-охладителях отбор проб воды проводится из поверхностных и придонных слоев. При значительной кислородной стратификации с учетом конкретных условий, в том числе глубины водоема, число отбираемых проб воды на одной вертикали может быть увеличено до четырех [41].

Параллельно производятся гидрологические работы, обеспечиваются расчеты водного, а на его основе гидрохимического баланса водоема-охладителя. При гидрологических исследованиях измеряются уровни и расходы воды, скорость и направление циркуляционных течений, мощность донных отложений. Визуально

оцениваются качественные параметры состояния водных объектов: волнение, состояние берегов, ледовые явления.

Гидрохимические и гидрологические съемки должны охватывать основные фазы гидрологического и гидробиологического режимов - зимнюю межень, весеннее половодье, середину и конец летнего вегетационного периода и осеннюю межень, т. е. необходимо проводить не менее пяти съемок. Даты съемок определяются интенсивностью и продолжительностью половодья, погодными условиями, характером гидробиологических процессов [41, 45].

Оптимальная сеть отбора проб воды должна быть построена в предэксплуатационный период с учетом физико-географических условий, типа водоема, его гидробиологических особенностей, источников химического загрязнения водоема, объема сбросных подогретых вод. На основании этого, а также с учетом данных предварительных исследований создается гидролого-гидрохимический паспорт водоема-охладителя и прилегающих водных объектов, в который заносится вся информация начиная от сети отбора проб воды, взвешенных веществ, донных отложений до получения гидрологических и гидрохимических характеристик. При накоплении достаточного количества материала создается балансовая модель формирования качества воды с получением расчетных прогнозных величин.

4.11 Программа радиационного мониторинга поверхностных вод в зоне наблюдения Белорусской АЭС

Пункты наблюдений радиационного мониторинга поверхностных вод на период строительства должны быть определены на основе анализа данных рекогносцировочного обследования водных объектов региона, которое на Белорусской АЭС было проведено при выполнении работ по теме: «Комплексные инженерно-экологические изыскания с разработкой прогнозов и предложений к программе мониторинга наземных и водных экосистем», а также с учетом информации о гидрографических, основных морфометрических и гидрологических характеристиках рек, протекающих по территории зоны наблюдения. Эти же пункты планируется использовать при эксплуатации станции.

В перечень пунктов наблюдений вошел действующий пункт наблюдений, включенный в Государственный реестр пунктов наблюдений национальной системы мониторинга окружающей среды (р.Вилия (Михалишки)). Наблюдениями охвачена самая крупная река региона - р. Вилия и ее крупные притоки, при этом учтена потенциальная возможность аварийного сброса радионуклидов непосредственно в водоток.

Выбранные пункты наблюдений обеспечивают получение достоверной информации, необходимой для целей моделирования переноса радиоактивного загрязнения водным путем при возникновении аварийной ситуации.

В период строительства АЭС для определения фоновых радиационного состояния водных объектов выбраны 4 водотока:

- река Вилия в контрольном створе планируемого места водосброса продувочных вод АЭС (н.п. Мужилы);

- река Вилия выше по течению планируемой береговой насосной станции добавочной воды створе гидрологического поста (н.п. Малые Свиранки);
- река Полпе, левый приток Вилии, протекающая в непосредственной близости от площадки строительства АЭС в створе гидрологического поста;
- река Гозовка, левый приток Вилии в створе гидрологического поста;
- река Лоша, левый приток р. Ошмянки, бассейн Вилии в створе гидрологического поста.

Кроме того, во исполнение положений Программы послепроектного анализа Белорусской АЭС, согласованной министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь 23.12.2014, предусматриваются пункты наблюдений:

- река Страча (н.п. Ольховка);
- река Вилия (н.п. Михалишки) [47].

В таблице 1.5 представлен перечень пунктов наблюдений за радиоактивным загрязнением поверхностных вод, которые совпадают с сетью наблюдений за состоянием поверхностных вод по гидрохимическим и гидробиологическим показателям.

Таблица 5 - Перечень пунктов наблюдений за содержанием радионуклидов в поверхностных водах [48]

Водный объект	Пункт наблюдений	Географические координаты	Примечание
Вилия	Малые Свиранки	54°50'07,6" 26°04'36,7"	Контрольный створ
Вилия	Мужилы	54°49'35,1" 26°02'46,1"	-
Вилия	Михалишки	54°48'50,1" 26°10'03,2"	Наблюдения ведутся в соответствии с Программой послепроектного анализа Белорусской АЭС (ППА БелАЭС)
Гозовка	Гоза	54°46'42,5" 26°02'22,6"	Близко расположенный к АЭС водоток
Полпе	Чехи	54°45'17,4" 26°09'52,3"	водоток, в который будет осуществляться сброс очищенных хозяйственно-бытовых сточных вод
Водный объект	Пункт наблюдений	Географические координаты	Примечание
Лоша	Гервяты	54°41'08,5" 26°08'35,7"	Замыкающий створ
Страча	Ольховка	54°49'08,0"	Наблюдения ведутся в

Размещение пунктов наблюдений содержания радионуклидов в поверхностных водах в зоне наблюдения АЭС приведено на рисунке 26.

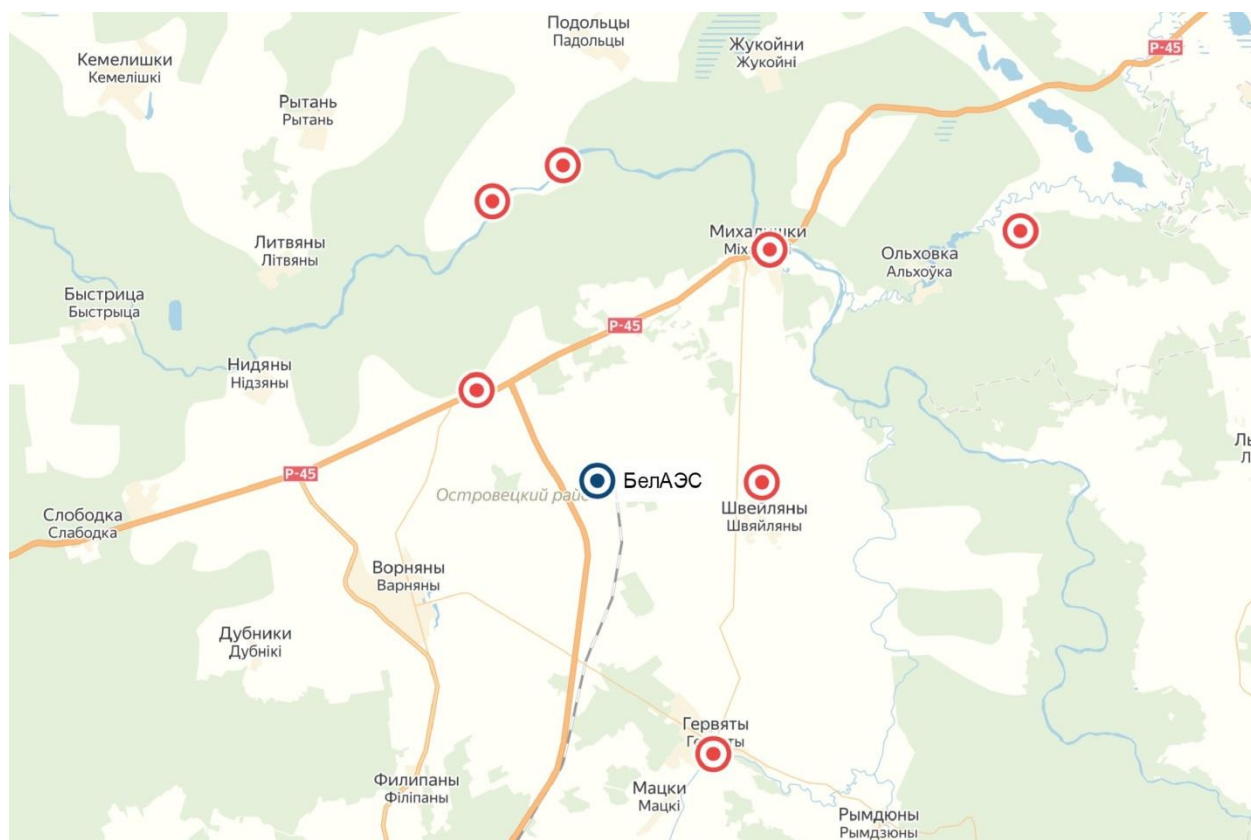


Рисунок 26 - Размещение пунктов наблюдений содержания радионуклидов в поверхностных водах

Поскольку водотоки в период строительства АЭС не подвергаются ни прямому, ни вторичному радиоактивному загрязнению, наблюдения необходимо проводить 5 раз в год в периоды основных гидрологических фаз: пик весеннего половодья; спад весеннего половодья; летняя межень; летне-осенние паводки; зимняя межень.

Ориентировочное время проведения наблюдений для пика весеннего половодья – март, для спада весеннего половодья май-июнь, для летней межени – июль-август, летне-осеннего паводка – третий-четвертый квартал, зимняя межень – декабрь-февраль [49, 50].

Наблюдения на выбранных пунктах наблюдений на Белорусской АЭС проводятся в соответствии с программой мониторинга по перечню показателей радиационного состояния поверхностных вод, представленному в таблице 1.6.

В поверхностных водах определяется удельная (объемная) активность (Бк/кг, Бк/дм³) естественных и техногенных радионуклидов ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ⁶⁵Zn, ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ⁵⁴Mn, ⁵⁹Fe, ⁹⁴Nb, ⁹⁵Nb, ⁵¹Cr, ⁹⁵Zr, ¹³¹I, ³H (естественные ⁴⁰K, ²³²Th, ²²⁶Ra),

суммарная β -активность, суммарная α -активность, суммарная γ -активность. При отборе проб поверхностных вод на берегу водотока в точке закрепления пробного створа (репера) производится измерение МД гамма-излучения на высоте 1м от поверхности почвы. Определение ^{210}Pb и $^{238,239,240}\text{Pu}$ в поверхностных водах будет проводиться после ввода АЭС в эксплуатацию [50-53].

Таблица 6 - Перечень контролируемых показателей при проведении радиационного мониторинга поверхностных вод [50-53]

Показатели	Единицы измерений	Периодичность измерения
Объемная активность ^{134}Cs	Бк/дм ³	5 раз в год
Объемная активность ^{137}Cs	Бк/дм ³	5 раз в год
Объемная активность ^{90}Sr	Бк/дм ³	5 раз в год
Объемная активность ^{65}Zn	Бк/дм ³	5 раз в год
Объемная активность ^{58}Co	Бк/дм ³	5 раз в год
Объемная активность ^{60}Co	Бк/дм ³	5 раз в год
Объемная активность ^{54}Mn	Бк/дм ³	5 раз в год
Объемная активность ^{59}Fe	Бк/дм ³	5 раз в год
Объемная активность ^{94}Nb	Бк/дм ³	5 раз в год
Объемная активность ^{95}Nb	Бк/дм ³	5 раз в год
Объемная активность ^{51}Cr	Бк/дм ³	5 раз в год
Объемная активность ^{95}Zr	Бк/дм ³	5 раз в год
Объемная активность ^{131}I	Бк/дм ³	5 раз в год
Объемная активность ^3H	Бк/дм ³	5 раз в год
Объемная активность естественных радионуклидов в (^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra)	Бк/дм ³	5 раз в год
Суммарная α -активность	Бк/дм ³	5 раз в год
Суммарная β -активность	Бк/дм ³	5 раз в год
Суммарная γ -активность	Бк/дм ³	5 раз в год
Мощность дозы	мкЗв/ч	5 раз в год

Отбор, транспортирование проб и определение содержания радионуклидов на период строительства Белорусской АЭС проводят испытательные лаборатории, аккредитованные в Национальной системе аккредитации Республики Беларусь на соответствие требованиям СТБ ИСО/МЭК 17025. После ввода первого блока в эксплуатацию данная задача будет возложена на отдел радиационной безопасности [48].

Испытания по определению содержания радионуклидов в пробах поверхностных вод проводят с использованием средств измерений, включенных в Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь или метрологически аттестованных в соответствии с законодательством и прошедших метрологический контроль.

Отбор проб воды производится в емкости из химически стойких полимерных материалов. Объем отбираемой пробы поверхностных вод должен быть не менее 80 л. Емкость с пробой поверхностных вод снабжается сопроводительным паспортом на пробу поверхностных вод.

Первичная обработка воды должна осуществляться в срок, не превышающий десяти дней с момента отбора пробы. При превышении десятидневного срока пробу консервируют концентрированной азотной кислотой из расчета $1 \text{ см}^3 \text{ HNO}_3$ на каждый 1 дм^3 воды.

Отбор проб поверхностных вод оформляется актом отбора проб воды. Определение содержания радионуклидов осуществляют в соответствии с техническими нормативными правовыми актами, а также методиками выполнения измерений в области охраны окружающей среды, прошедшими метрологическое подтверждение пригодности в соответствии с законодательством Республики Беларусь и включенными в реестр методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении измерений в области охраны окружающей среды.

Измерения содержания гамма-излучающих радионуклидов в пробах поверхностных вод проводятся на гамма-спектрометрах типа ADCAM-100, NOMAD, DAVIDSON (фирма ORTEC, США) с детекторами типа GEM и GMX, изготовленными из особо чистого германия. Гамма-спектрометры проверены в диапазоне регистрируемого излучения от 50 кэВ до 3000 кэВ с основной относительной погрешностью определения эффективности для доверительной вероятности 0,95 менее 10 %. Подготовленные для гамма-спектрометрического анализа образцы проб помещаются в измерительные сосуды – типа Маринелли 1000 см^3 , чашка 100 см^3 . Измерительные сосуды размещаются на детекторах, находящихся внутри свинцовой защиты с толщиной стенки 100 мм. Проведение измерений и обработка результатов измерений проводится с помощью пакета программ GAMMAVISION-32 [54-56].

В таблице 1.7 представлен перечень оборудования, используемого при проведении радиационного мониторинга поверхностных вод:

Таблица 7 - Приборы и оборудование, используемые для определения содержания радионуклидов [56, 60]

Наименование средства измерений или оборудования	Тип, изготовитель	Основные технические характеристики (диапазон измерений, погрешность)
Атомно-абсорбционный спектрофотометр	ААС-3, Карл Цейс «Йена», ФРГ	Диапазон: (190 - 380), (380 - 865) нм, чувствительность для Sr-55 мкг/л; погрешность-10 %
Альфа-бета-радиометр	УМФ-2000, НПП «Доза», Россия	Бета-излучение: диапазон: (0,1-3000) Бк; чувствительность: (0,117 - 0,161)

		имп./Бк·с; погрешность - 15 %. Альфа-излучение: диапазон (0,01 - 1000) Бк; чувствительность: 0,265 имп./Бк·с; погрешность - 15 %.
Бета-радиометр	РУБ-01П1, Пятигорский завод атомного машиностроения, Россия	Бета-диапазон: (0,2 – 3700) Бк; чувствительность: 0,11 ± 0,02 имп./Бк·с; погрешность - 25 %.
Гамма-спектрометр	ADCAM-100/GEM 80205, ORTEC, США	Диапазон энергии гамма излучения: 40-3000 кэВ; основная относительная погрешность - 20 %.
Гамма-спектрометр	EL-1309 (МКГ- 1309), ГИПП АТОМТЕХ, Беларусь	Диапазон энергии гамма излучения: 50-3000 кэВ; основная относительная погрешность - 30 %.
Дозиметр-радиометр	МКС-АТ-6130, НПУП «АТОМТЕХ», Беларусь	Мощность амбиентной дозы рентгеновского и гамма-излучения: диапазон: (0,1-10,0)мЗв/ч, погрешность - 20%. Плотность потока бета-частиц: диапазон: (10-104) част./мин·см ² , погрешность – 20 %.

Результаты наблюдений, выполняемых в ходе радиационного мониторинга поверхностных вод, должны регистрироваться в установленных формах первичной документации (акты отбора проб, протоколы испытаний, журналы регистрации данных и др.) с последующим перенесением информации в базу данных для анализа и обработки, также приводится сравнительный анализ с начальными значениями и принятыми в проектные основы.

Результаты, полученные на контролируемых водных объектах в период строительства Белорусской АЭС, а также гидрологические характеристики водных объектов заносятся в базу данных.

Состав информации, заносимой в базу данных:

- местоположение пункта наблюдения;
- дату и глубину отбора пробы;
- наименование радионуклида;
- измеренное значение радионуклида, измеренное значение МД;
- наименование организации, проводившей испытания (измерения) пробы.
- гидрологические характеристики водного объекта.

Информация из базы данных используется для ретроспективного анализа содержания радиоактивных веществ и суммарной активности α - и β -излучателей,

определение уровня и динамики содержания радиоактивных веществ в поверхностных водах [51, 58].

Результаты анализа оформляются в виде:

- раздела годового отчета о результатах радиационного мониторинга окружающей среды;
- раздела годового отчета по Программе послепроектного анализа;
- раздела Отчета по обоснованию безопасности;
- раздела отчета по определению «нулевого» фона содержания радионуклидов в поверхностных водах [58].

4.12 Программа гидрохимического мониторинга поверхностных в зоне наблюдения Белорусской АЭС

Одним из основных принципов организации мониторинга в зоне наблюдения в районе размещения Белорусской АЭС стал комплексный подход, предусматривающий совмещение пунктов наблюдений за загрязнением водных объектов по гидрохимическим показателям и донных отложений, загрязнению водных экосистем по гидробиологическим показателям (рисунок 27). Однако в данной статье будет подробно рассмотрен мониторинг только по гидрохимическим показателем, который наравне с радиационным мониторингом является основополагающим при оценке воздействия АЭС на окружающую среду.

Наблюдения за состоянием поверхностных водных объектов осуществляются в створах рек в пунктах наблюдений, которые определяются исходя из условий смешения вод водотока со сточными водами или водами притоков реки [55].

Предлагаемая сеть мониторинга поверхностных водных объектов для периода строительства АЭС сформирована, исходя из результатов инженерно-экологических изысканий, выполненных в 2012–2013 гг. К наиболее репрезентативным водным объектам с точки зрения оценки возможного воздействия строительства АЭС на водные экосистемы отнесены 4 поверхностных водных объекта (6 пунктов наблюдений):

Река Вилия, выше планируемого поверхностного водозабора (н.п.Маркуны).

Река Вилия, створ реки, позволяющий контролировать сброс нормативно чистых вод и суммарную техногенную нагрузку на территорию зоны наблюдений АЭС (2 км ниже устья р.Сенканка).

Река Полпе, левый приток Вилии (Островецкий район Гродненской области). Протекает в непосредственной близости от площадки АЭС. Русло на протяжении 4,6 км от истока до д.Чехи канализировано.

Река Гозовка, левый приток Вилии (Островецкий район Гродненской области). На протяжении 9,6 км устье канализировано.

Река Лоша, левый приток р.Ошмянки, бассейн Вилии (Ошмянский и Островецкий районы Гродненской области) [55].

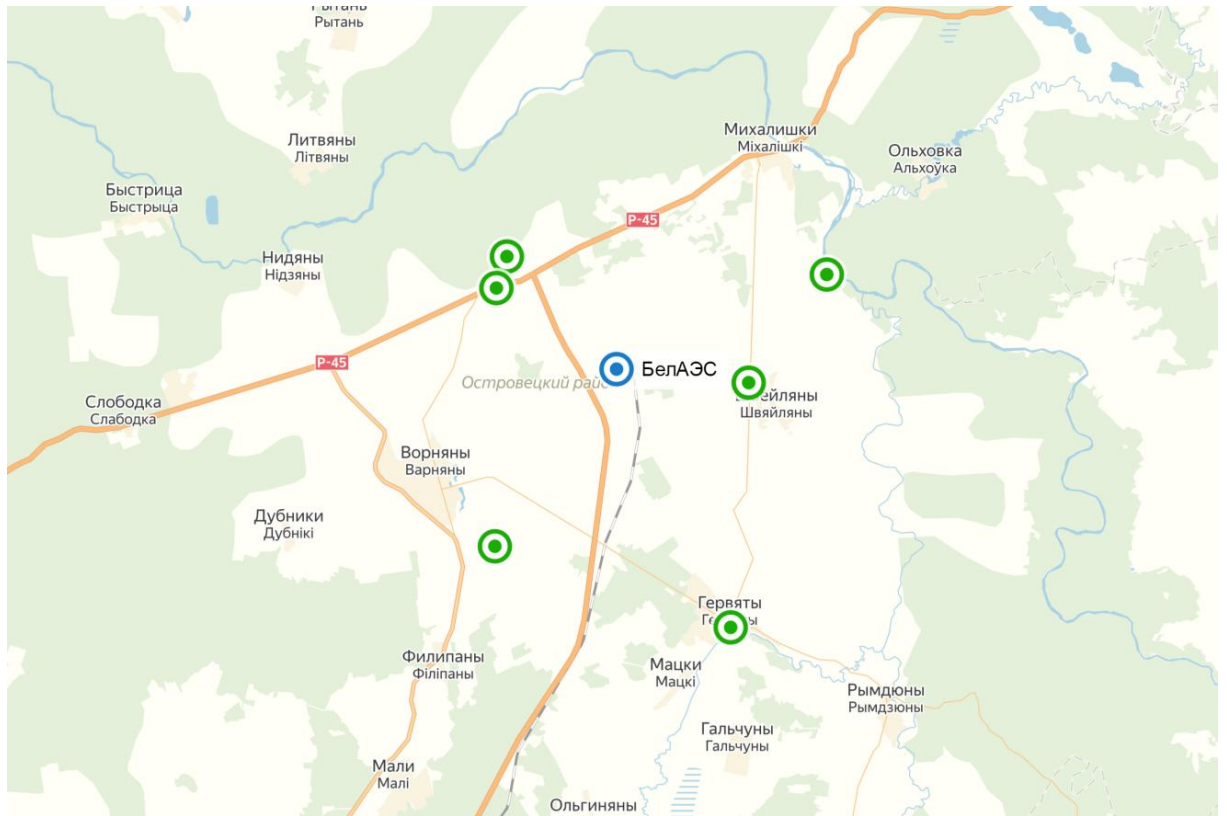


Рисунок 27 - Пункты мониторинга поверхностных вод

В таблице 8 представлен перечень пунктов наблюдений гидрохимического мониторинга поверхностных вод.

Таблица 8 - перечень пунктов наблюдений гидрохимического мониторинга поверхностных вод [55]

Водоток	Пункт наблюдений	Географические координаты	Примечание
Виляя	н.п. Нидяны-Тартак	54°47'06,5" 25°55'29,9"	створ реки, позволяющий контролировать сброс нормативно чистых вод и суммарную техногенную нагрузку на территорию зоны наблюдений АЭС (2 км ниже устья р.Сенканки)
Гозовка	н.п. Гоза	54°46'36,5" 26°02'13,5"	закрывающий (контрольный) створ реки, принимающей поверхностный сток с территории 5-км зоны АЭС
Гозовка	н.п. Керняны	54°42'29,7" 26°02'10,3"	фоновый створ в верховье реки
Виляя	н.п. Маркуны	54°46'49,6" 26°11'16,9"	выше планируемого поверхностного водозабора (возле устья р.Ошмянки, д.Маркуны)

Полпе	н.п. Чехи	54°45'06,1" 26°09'08,5'	створ локального мониторинга на водотоке, в который будет осуществляться сброс сточных вод ливневой канализации при сооружении АЭС
Лоша	н.п. Гервяты	54°41'13,4" 26°08'38,7"	река, химическая нагрузка на которую возрастет за счет социально-экономического развития г.Островца

Число горизонтов вертикали пункта наблюдений определяется с учетом глубины водотока: при глубине до 5 м устанавливаются один горизонт вертикали (в 0,2–0,3 м от поверхности воды в теплый период или от нижней поверхности льда в холодный период года).

Выбранные пункты наблюдений находятся на водотоках, не подверженных прямому антропогенному воздействию. Согласно нормативной документации Республики Беларусь на таких водных объектах наблюдения за химическим составом вод проводится семь раз в год в периоды основных гидрологических фаз: пик половодья; при наименьшем и наибольшем расходе воды во время летней межени; осенью перед ледоставом и во время зимней межени. За содержанием тяжелых металлов наблюдения предполагается проводить 4 раза в год (Таблица 9).

Ориентировочное время проведения наблюдений для пика весеннего половодья – апрель; летней межени – июль–август; осеннего паводка – сентябрь–октябрь; ледостава – ноябрь–декабрь и зимней межени – январь [69].

Наблюдения за состоянием поверхностных вод на установленных пунктах в обязательном порядке осуществляются по предусмотренному в Беларуси перечню показателей состояния поверхностных вод (Таблица 9).

Таблица 9 - Перечень физико-химических показателей состояния поверхностных вод [70, 71]

Показатели		Единицы измерения	Периодичность проведения измерений
Показатели физических свойств и газового состава воды	1. Температура	С°	5 раз в год
	2. Прозрачность	см	5 раз в год
	3. рН	ед.	5 раз в год
	4. Концентрация взвешенных веществ	мг/дм ³	5 раз в год
	5. Концентрация растворенного кислорода	мгО ₂ /дм ³	5 раз в год
	6. Удельная электропроводность	мкСм/см	5 раз в год
	2. Прозрачность	см	5 раз в год
Основные	1. Концентрация хлорид-иона	мг/дм ³	5 раз в год

Показатели		Единицы измерения	Периодичность проведения измерений
ионы, минерализация	2. Концентрация сульфат-иона	мг/дм ³	5 раз в год
	3. Концентрация гидрокарбонат-иона	мг/дм ³	5 раз в год
	4. Концентрация магний-иона	мг/дм ³	5 раз в год
	5. Концентрация кальций-иона	мг/дм ³	5 раз в год
	6. Концентрация натрий-иона	мг/дм ³	5 раз в год
	7. Концентрация калий-иона	мг/дм ³	5 раз в год
	8. Минерализация (по сухому остатку)	мг/дм ³	5 раз в год
	9. Жесткость	мг-экв/дм ³	5 раз в год
	Органические вещества	1. Концентрация органических веществ (по БПК ₅)	мгО ₂ /дм ³
2. Концентрация органических веществ (по ХПК _{ср})		мгО ₂ /дм ³	5 раз в год
3. Концентрация нефтепродуктов		мг/дм ³	5 раз в год
4. Концентрация анионных ПАВ		мг/дм ³	5 раз в год
5. Концентрация фенолов (суммарно)		мг/дм ³	5 раз в год
Биогенные вещества	1. Концентрация аммоний-иона (в пересчете на N)	мгN/дм ³	5 раз в год
	2. Концентрация нитрат-иона (в пересчете на N)	мгN/дм ³	5 раз в год
	3. Концентрация нитрит-иона (в пересчете на N)	мгN/дм ³	5 раз в год
	4. Концентрация азота общего по Кьельдалю	мгN/дм ³	5 раз в год
Биогенные вещества	5. Концентрация фосфат-иона (в пересчете на P)	мгP/дм ³	5 раз в год
Биогенные вещества	6. Концентрация фосфора общего	мгP/дм ³	5 раз в год
Тяжелые металлы	7. Концентрация железа (общего)	мг/дм ³	5 раз в год
	1. Концентрация марганца	мг/дм ³	4 раз в год
Тяжелые металлы	2. Концентрация меди	мг/дм ³	4 раз в год
	3. Концентрация цинка	мг/дм ³	4 раз в год
	4. Концентрация никеля	мг/дм ³	4 раз в год
	5. Концентрация хрома (общего)	мг/дм ³	4 раз в год
	6. Концентрация свинца	мг/дм ³	4 раз в год
	7. Концентрация кадмия	мг/дм ³	4 раза год

Требования к точности измерений гидрохимических показателей определяются следующими основными факторами:

- наличием аттестованных методик в Национальной системе аккредитации (для Республики Беларусь – соответствующие требованиям СТБ ИСО/МЭК 17025;)
- наличием и техническими возможностями средств измерений, включенных в Государственный реестр средств измерений или метрологически аттестованных в соответствии с законодательством и прошедших метрологический контроль.

В связи с тем, что РУП «БелАЭС» не осуществляет измерения гидрохимических показателей поверхностных вод, а привлекает для этого сторонние организации, перечень оборудования определяется оснащенностью данных организаций.

Результаты наблюдений, выполняемых в ходе мониторинга поверхностных вод, должны регистрироваться в установленных формах первичной документации (акты отбора проб, протоколы испытаний, журналы регистрации данных и др.) с последующим перенесением информации в базу данных для анализа и обработки.

База данных формируется на основе результатов полученных на контролируемых поверхностных водных объектах в период строительства Белорусской АЭС.

Данные по результатам измерения каждой пробы включают:

- местоположение пункта наблюдения;
- дату и глубину отбора пробы;
- наименование вещества/показателя;
- измеренное значение вещества/показателя;
- наименование организации, проводившей испытания (измерения)

пробы [62].

Результаты мониторинга поверхностных вод по гидрохимическим показателям представляются в виде таблиц.

В случае выявления уровней загрязнения, превышающих критерии высоких уровней загрязнения поверхностных вод, не позднее часа после установления факта таких превышений обеспечивается:

- документальное оформление результатов измерений в соответствии с руководством по качеству организации, проводившей измерения;
- передача информации о фактах превышения в территориальные органы Минприроды и ГП «Белорусская АЭС» с обязательным указанием места, даты и времени отбора пробы воды, в отношении которой установлены такие факты [45].

Оповещение руководства Минприроды и дежурно-диспетчерских служб Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь в соответствии с установленным порядком.

4.13 РАО АЭС

В соответствии с Законом Республики Беларусь «О радиационной безопасности населения», *радиоактивные отходы* – источники ионизирующего излучения, использовавшиеся в ходе экономической или иной деятельности пользователей источников ионизирующего излучения, которые они не намерены либо не могут использовать по прежнему назначению, а также образовавшиеся при выполнении мероприятий по ликвидации последствий радиационной аварии, в которых содержание радионуклидов превышает уровни, установленные нормативными правовыми актами [63].

Радиоактивные отходы АЭС классифицируют по величине удельной активности, агрегатному состоянию, физическим и химическим свойствам, радионуклидному составу, периоду полураспада, методам переработки и способам захоронения.

1. По агрегатному состоянию РАО разделяются на:

- твердые (ТРО) – это радиоактивные отходы в виде твердых материалов;
- жидкие (ЖРО) – радиоактивные отходы в виде жидких продуктов (водных или органических) или пульп, содержащие радионуклиды в растворенной форме или в виде взвесей;
- газообразные (ГРО) – это радиоактивные отходы в виде аэрозолей, инертных газов, паров йода и его соединений.

2. По уровню активности:

- отходы высокого уровня активности (ВАО);
- отходы среднего уровня активности (САО);
- отходы низкого уровня активности (НАО);
- отходы очень низкого уровня активности (ОНАО).

3. По периоду полураспада радионуклидов, определяющему время, необходимое для изоляции отходов:

- очень короткоживущие (часы, дни);
- короткоживущие (месяцы);
- среднеживущие (годы);
- долгоживущие (столетия и выше).

4. Классификация МАГАТЭ, основанная на способах окончательного захоронения:

1) Отходы, освобожденные от контроля. Их радиологическая опасность незначительна. Для таких отходов при всех сценариях облучения индивидуальная доза не должна превышать 10 мкЗв в год.

2) Низко- и среднеактивные отходы (НАО и САО) содержат такие количества радионуклидов, что необходимы меры для защиты персонала и населения. Тепловыделение данного класса отходов составляет ниже 2 кВт/м³. Для короткоживущих отходов является подходящим *приповерхностное захоронение*, для долгоживущих может потребоваться *захоронение в глубоких геологических формациях*.

3) Высокоактивные отходы – в течение длительного времени требуют высокой степени изоляции от биосферы, а также создания экранирующей оболочки (биологической защиты) и охлаждения. Тепловая мощность ВАО – выше 2 кВт/м³. Необходимо захоронение в глубинных геологических хранилищах [64].

5. В соответствии с классификацией Республики Беларусь по способу захоронения, РАО разделяются на 4 класса в зависимости от их удельной активности, тепловыделения, наличия долгоживущих радионуклидов, потенциальной опасности (Таблица 10).

Таблица 10 – Классификация РАО для обеспечения долгосрочной безопасности при захоронении [65].

Класс РАО для целей захоронения	Виды РАО, передаваемых на захоронение	Вид пункта захоронения
Класс 1	ВАО с тепловыделением	Пункт глубинного захоронения в геологические формации (с предварительной выдержкой)
Класс 2	ВАО и долгоживущие САО; ОЗРИ 1 и 2 категории	Пункт глубинного захоронения в геологические формации
Класс 3	САО и долгоживущие НАО; ОЗРИ 3 категории	Пункт приповерхностного захоронения РАО (на глубине до 100 метров)
Класс 4	НАО и ОНАО; ОЗРИ 4 и 5 категории	Пункт приповерхностного захоронения РАО с облегченными требованиями

В реакторах атомных электростанций ядерное топливо подвергается расщеплению, уран распадается на радиоактивные продукты деления. Большинство продуктов деления остается в топливных сборках и перемещается с отработавшим топливом при его выгрузке из реактора. Однако из-за дефектов оболочек топливных элементов некоторые продукты деления попадают в систему охлаждения реактора и далее распространяются по первому контуру и другим системам реактора. В системе охлаждения может также происходить нейтронная активация нерадиоактивных загрязнителей и продуктов коррозии, присутствующих в воде охлаждающего контура реактора. Кроме того, в течение нормальной эксплуатации реактора образуются небольшие количества газообразных отходов (триций, I, Ag, Xe), источником которых являются дефекты тепловыделяющих элементов. Твердые радиоактивные отходы на АЭС образуются в результате радиоактивного загрязнения поверхностей жидкими или аэрозольными загрязнителями, а также в результате нейтронной активации конструкционных материалов реактора [66].

К ГРО АЭС относятся не подлежащие дальнейшему использованию газообразные среды, содержащие радионуклиды в виде аэрозолей, инертных радиоактивных газов (Ar, Kr, Xe), молекулярного йода, его органических или неорганических соединений, активность которых выше уровней, регламентируемых допустимым выбросом газообразных радиоактивных веществ в атмосферу.

Источники образования радиоактивных газо-аэрозольных смесей

- вытяжные установки спецвентиляции помещений ЗКД;
- системы газовых сдувок оборудования ЗКД;
- технологические сдувки и неорганизованные протечки второго контура (здание турбины).

При работе энергоблока АЭС газо-аэрозольные смеси могут включать:

- радиоактивные инертные газы (Xe и Kr);
- газы-продукты активации (^3H , ^{41}Ar , ^{14}C , $^{13,16}\text{N}$);
- радионуклиды йода ($^{129, 131, 132, 133, 134, 135}\text{I}$);
- аэрозоли ($^{89,90,91}\text{Sr}$, ^{103}Ru , $^{134,137}\text{Cs}$, $^{141,144}\text{Ce}$, ^{51}Cr , $^{54,55}\text{Mn}$, ^{59}Fe , $^{58,60}\text{Co}$, ^{95}Zr , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, $^{22,24}\text{Na}$, ^{88}Rb , ^{99}Mo и др.) [67].

К твердым РАО относятся отработавшие свой ресурс радионуклидные источники, не предназначенные для дальнейшего использования материалы, оборудование, биологические объекты, грунт, а также отвержденные жидкие РАО.

При известном радионуклидном составе отходы являются радиоактивными, если сумма отношений удельной активности радионуклидов к их минимально значимой активности превышает 1.

При неизвестном радионуклидном составе твердые отходы считаются радиоактивными, если их удельная активность превышает:

- 100 кБк/кг – для источников β -излучения;
- 10 кБк/кг – для источников α -излучения;
- 1 кБк/кг – для трансурановых радионуклидов.

γ -излучающие отходы неизвестного состава считаются радиоактивными, если МЭД у их поверхности (0,1 м) превышает 0,001 мЗв/ч над фоном при соблюдении условий измерения в соответствии с утвержденными методиками [63].

Источники образования ТРО

Твердые отходы образуются на АЭС при работе энергоблоков в процессе нормальной эксплуатации в технологических системах при переработке и очистке жидких и газообразных отходов (отвержденные, осушенные ЖРО, фильтры, сорбенты, ионообменные смолы и др.), в период проведения ремонтных работ (демонтируемое оборудование, датчики КИП, инструмент, спецодежда и др.) и во время возникновения аварийных ситуаций [68].

Классификация ТРО

ТРО классифицируются по удельной активности согласно таблице 11.

Таблица 11 – Категоризация ТРО по удельной активности

Категория РАО	Удельная активность, Бк/г			
	тритий	β - излучающие радионуклиды (исключая тритий)	α - излучающие радионуклиды (исключая трансурановые)	Трансурановые радионуклиды
Очень низкоактивные*	менее 10^7	менее 10^3	менее 10^2	менее 10^1
Низкоактивные	от 10^7 до 10^8	от 10^3 до 10^4	от 10^2 до 10^3	от 10^1 до 10^2
Среднеактивные	от 10^8 до 10^{11}	от 10^4 до 10^7	от 10^3 до 10^6	от 10^2 до 10^5
Высокоактивные	более 10^{11}	более 10^7	более 10^6	более 10^5

* – ОНАО – твердые промышленные отходы атомной станции, загрязненные или содержащие радионуклиды техногенного происхождения, удельная активность которых не допускает освобождение их от радиационного контроля, но меньше активности твердых радиоактивных отходов. При известном радионуклидном составе отходы относятся к ОНАО, если их суммарная удельная активность больше или равна 0,3 кБк/кг, а верхняя граница активности определяется суммой отношений удельной активности радионуклидов к их минимально значимой удельной активности; сумма не должна превышать 1. Основной радионуклидный состав ОНАО: ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{134}Cs , ^{54}Mn [69].

Сбор ТРО является обязательным этапом подготовки отходов к переработке, хранению, кондиционированию и обеспечивает исключение поступления радионуклидов в окружающую среду выше допустимых пределов.

Сбор РАО на АЭС производится непосредственно в местах их образования по категориям отдельно от отходов производства и потребления с учетом:

- агрегатного состояния РАО (твердые, жидкие);
- радионуклидного состава и периода полураспада содержащихся в РАО радионуклидов;
- категории РАО;
- количества РАО;
- физических и химических характеристик РАО;
- природы РАО (органические и неорганические);
- взрыво- и пожароопасности РАО;
- методов дальнейшего обращения с РАО (прессуемые, измельчаемые, сжигаемые, неперерабатываемые).

Для предварительной сортировки твердых РАО в местах их образования и перед отправкой на временное хранение рекомендуется использовать критерии по уровню поверхностного радиоактивного загрязнения, приведенные в таблице 1.12, и по МЭД ГИ на расстоянии 0,1 м от поверхности:

- очень низкоактивные – от 0,001 до 0,03 мЗв/ч;
- низкоактивные – от 0,03 до 0,3 мЗв/ч;
- среднеактивные – от 0,3 до 10 мЗв/ч;
- высокоактивные – более 10 мЗв/ч [63].

Таблица 12 – Категоризация ТРО по уровню поверхностного радиоактивного загрязнения [67]

Категория РАО	Уровень поверхностного радиоактивного загрязнения, част/(см ² · мин)	
	β- излучающие радионуклиды	α- излучающие радионуклиды
Очень низкоактивные	от 500 до 10 ³	от 50 до 10 ²
Низкоактивные	от 10 ³ до 10 ⁴	от 10 ² до 10 ³
Среднеактивные	от 10 ⁴ до 10 ⁷	от 10 ³ до 10 ⁶
Высокоактивные	более 10 ⁷	более 10 ⁶

Очень низкоактивные, низкоактивные и среднеактивные ТРО могут содержать как радиоактивные продукты деления, так и активированные продукты коррозии. На момент образования ТРО прогнозируемый перечень основных радионуклидов, определяющих активность ТРО, включает следующие нуклиды: ³H, ⁵¹Cr, ⁵⁴Mn, ⁵⁸Co, ⁵⁹Fe, ⁶⁰Co, ⁹⁵Zr, ⁹⁵Nb, ⁸⁹Sr, ⁹⁰Sr, ⁹⁹Mo, ¹⁰³Ru, ¹²²Sb, ¹²⁴Sb, ^{110m}Ag, ¹³²Te, ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ¹⁴⁰Ba, ¹⁴⁰La, ¹⁴¹Ce. При паспортизации ТРО и отправке их на захоронение также должны контролироваться долгоживущие нуклиды, такие как ¹⁴C, ⁵⁹Ni, ⁶³Ni, ⁹⁴Nb, ⁹⁹Tc, ¹²⁹I и др. 70].

К ЖРО относятся не подлежащие дальнейшему использованию радиоактивные органические и неорганические жидкости, пульпы и шламы.

Жидкие отходы являются радиоактивными, если их удельная активность превышает:

- 0,05 Бк/г – для α- излучающих радионуклидов;
- 0,5 Бк/г для β- излучающих радионуклидов.

При загрязнении жидких отходов йодом-131 – если удельная активность йода-131 превышает 0,62 Бк/г [63].

Источники образования ЖРО на АЭС

- высококонцентрированные солевые растворы (кубовые остатки) образуются вследствие переработки трапных вод, вод спецпрачечных и санпропускников на выпарных установках СВО;
- отработавшие низко-, средне- и высокоактивные ионообменные смолы, угольные сорбенты и перлит – в результате выгрузки из фильтров систем СВО;
- отработанные масла – в результате сбора после очистки;

- иловые отложения (шламы), удаляемые из трубопроводов и оборудования в процессе проведения ремонтных работ или работ, связанных с выводом их из эксплуатации.

Классификация ЖРО

Жидкие радиоактивные отходы классифицируются по удельной активности согласно таблице 1.13.

Таблица 13 – Категоризация ЖРО по удельной активности

Категория РАО	Удельная активность, Бк/г			
	тритий	β - излучающие радионуклиды (исключая тритий)	α - излучающие радионуклиды (исключая трансурановые)	трансурано- вые радио- нуклиды
Низкоактивные	менее 10^4	менее 10^3	менее 10^2	менее 10^1
Среднеактивные	от 10^4 до 10^8	от 10^3 до 10^7	от 10^2 до 10^6	от 10^1 до 10^5
Высокоактивные	более 10^8	более 10^7	более 10^6	более 10^5

По физическим характеристикам ЖРО классифицируются на гомогенные и гетерогенные (пульпы фильтрующих материалов, шламы солей, осадков гидроксидов и продуктов коррозии); горючие и негорючие. По химическим свойствам выделяют органические ЖРО (ИОС, масла, эмульсии масел в воде, растворы детергентов) и неорганические (солевые водные растворы) [67]. По предполагаемому методу переработки выделяют ЖРО, направляемые на фильтрацию, сорбцию, выпаривание, отверждение [68].

4.14 Система обращения с РАО на Белорусской АЭС

Система обращения с радиоактивными отходами АЭС предназначена для сбора, сортировки, обезвреживания, хранения, переработки, кондиционирования, транспортировки, долговременного хранения и захоронения РАО, образующихся в процессе эксплуатации атомной электростанции.

Основной *целью* обращения с радиоактивными отходами является их надежная изоляция, обеспечивающая радиационную безопасность человека и окружающей среды на весь период потенциальной опасности радиоактивных отходов [66].

Операции по изготовлению упаковки РАО, приемлемой для манипулирования, хранения, транспортировки, долговременного хранения и захоронения называются *кондиционированием РАО*. Упаковка РАО (представляющая собой контейнер с помещенными в него РАО) является главным инженерным барьером для удержания радионуклидов и обеспечения безопасности.

Проектом атомной электростанции предусматриваются отдельные системы обращения с РАО различных видов. При эксплуатации Белорусской АЭС будут образовываться следующие виды отходов, подлежащих захоронению:

- отвержденные ЖРО средней удельной активности;
- осушенные ионообменные смолы и ионоселективные сорбенты средней удельной активности (ИОС);
- твердые радиоактивные отходы категорий очень низкоактивные, низкоактивные и среднеактивные;
- промышленные ОНАО, загрязненные техногенными радионуклидами.
- высокоактивные эксплуатационные РАО – 1 % от общего количества отходов.

Основные задачи, решаемые при обращении с РАО атомной электростанции:

- при обращении с газообразными РАО – очистка перед выбросом в атмосферу до состояния, удовлетворяющего санитарным нормам;
- при обращении с жидкими РАО – очистка от радионуклидов, концентрирование радионуклидов в минимальном объеме и перевод жидких концентрированных РАО в формы, удобные для хранения;
- при обращении с твердыми РАО – минимизация объемов и безопасное надежное хранение в течение проектного срока [63].

Эксплуатационные РАО Белорусской АЭС всех категорий будут размещаться в стационарных хранилищах АЭС в кондиционированном виде (переработанные, отвержденные и упакованные). Высокоактивные отходы будут храниться на АЭС в течение всего срока эксплуатации, а объемы временного хранения конечных форм ОНАО, НАО и САО (в НЗК и металлических бочках) рассчитаны на 10 лет эксплуатации АЭС.

По истечении срока временного хранения этих РАО в хранилище АЭС предусматривается их перемещение в планируемый пункт захоронения РАО.

Газообразные РАО образуются во всех эксплуатационных режимах работы АЭС. Удаление газо-аэрозольных отходов осуществляется организованно в высотные вентиляционные трубы после предварительной очистки на фильтрах, что снижает радиационное воздействие на окружающую среду и население.

Для ограничения газо-аэрозольных выбросов, содержащих жидкие радиоактивные среды (из деаэратора подпитки первого контура АЭС, из барботера компенсатора давления, из бака протечек первого контура, из баков хранения теплоносителя), используется система очистки технологических сдувок из баков.

Система состоит из двух одинаковых и взаимозаменяемых ниток – рабочей и резервной. Сдувки из баков, в которых содержатся радиоактивные среды, поступают в теплообменник рабочей нитки и после охлаждения направляются в аэрозольный фильтр для осушки. Осушенный газ подогревается и направляется на йодный фильтр, где происходит удаление ионов йода, и далее выбрасывается в вентиляционную трубу.

Для предотвращения загрязнения воздушной среды помещений энергоблока радиоактивными веществами выше допустимых пределов и снижения их содержания в атмосферном воздухе при работе блока в проекте АЭС предусмотрены следующие технические решения:

- организация направленного движения воздуха только в сторону более «грязных» помещений, что достигается созданием разрежения не менее 50 Па вытяжными системами вентиляции;
- обеспечение эффективной очистки вытяжного воздуха ЗКД на фильтровальных станциях от радиоактивного йода и аэрозолей перед выбросом в атмосферу через вентиляционную трубу;
- снижение объемов вытяжного воздуха, выбрасываемого в атмосферу через вентиляционную трубу, за счет использования рециркуляционных охлаждающих установок;
- применение двухступенчатой очистки вытяжного воздуха защитной герметичной оболочки;
- поддержание разрежения не менее 200 Па в защитной герметичной оболочке здания реактора и не менее 100 Па в межоболочечном пространстве здания реактора;

Используемые в проекте Белорусской АЭС технические решения позволят поддерживать активность газовых выбросов АЭС существенно ниже норм, установленных санитарными правилами [63].

Комплекс оборудования для переработки ТРО обеспечивает сбор, сортировку, измельчение и загрузку ТРО в металлические бочки емкостью 200 дм³, прессование ТРО непосредственно в бочке, герметизацию и паспортизацию бочек с последующим направлением их на хранение.

Сбор твердых радиоактивных отходов в ЗКД осуществляется в контейнеры-сборники в специально оборудованных местах. Затаривание твердых РАО разных категорий в контейнеры-сборники производится под контролем дежурного дозиметриста:

- ОНАО затариваются в многоразовые возвратные сборники-контейнеры;
- НАО затариваются в полиэтиленовые или многослойные бумажные мешки;
- САО и ВАО – в специальные защитные контейнеры.

Высокоактивные отходы собираются в специальные капсулы и размещаются в хранилищах ТРО на весь срок эксплуатации АЭС. Очень низкоактивные, низкоактивные и среднеактивные ТРО компактируются в металлические бочки и размещаются в хранилищах АЭС на 10 лет.

Планируемое общее количество эксплуатационных радиоактивных отходов на 1 энергоблок АЭС – 83,5 м³ в год, включая высокоактивные.

В процентном отношении количество отходов будет составлять:

- | | |
|-----------------------|--------|
| – очень низкоактивные | 13,3% |
| – низкоактивные | 79,3%; |
| – среднеактивные | 6,1%; |

- высокоактивные 1,2 %.

В соответствии с действующими санитарными правилами, для окраски контейнеров с ТРО применяются следующие цвета [63]:

- для очень низкоактивных ТРО серый;
- для низкоактивных ТРО белый;
- для среднеактивных ТРО голубой;
- для высокоактивных ТРО красный.

Жидкие радиоактивные отходы образуются при выпаривании, очистке на фильтрах и гидроциклонах *жидких радиоактивных сред*:

- вода от дезактивации оборудования, арматуры, трубопроводов и помещений;
- регенерационные, отмывочные воды, воды гидровыгрузки и взрыхления фильтров спецводоочистки;
- протечки и дренажи оборудования, трубопроводов, арматуры, расположенных в ЗКД;
- отмывочные воды химпромывок выпарных аппаратов;
- вода от пробоотбора и лабораторий;
- воды от санпропускника и спецпрачечной.

Все указанные потоки относятся к трапным водам, их переработка предусматривается на основе метода выпаривания, который обеспечивает необходимую степень очистки с образованием минимального объема радиоактивных солевых концентратов.

Очистка жидких радиоактивных сред производится на выпарной установке с производительностью 6 т/час. Оцененный объем перерабатываемых трапных вод при нормальной эксплуатации и планово-предупредительных ремонтах составляет 7100 м³/год при максимальной удельной активности 0,1 ТБк/м³.

В результате переработки трапных вод образуется чистый конденсат, повторно используемый в цикле АЭС, и концентрат солей с солесодержанием до 400 г/л (кубовый остаток). Основной вклад в кубовый остаток по анионам вносят NO_3^- (до 50%) и $C_2O_4^{2-}$ (до 20%).

Применяемые в проекте технологии обеспечивают повторное использование в цикле АЭС до 95% трапных вод.

Для промежуточного хранения и последующей переработки ЖРО предусмотрены следующие системы:

- система промежуточного хранения кубовых остатков и отработавших сорбентов, обеспечивающая выдержку жидких РАО в течение трех месяцев для распада короткоживущих радионуклидов;
- система кондиционирования и отверждения отходов, предназначенная для получения отвержденного продукта, пригодного для промежуточного хранения и захоронения [63].

При нормальной эксплуатации АЭС ожидается образование 10 м³/год отработавших ионообменных смол и 25 м³/год кубового остатка на 1 энергоблок [71].

Для отверждения жидких радиоактивных отходов служит система **цементирования**, предназначенная для перевода РАО в конечное состояние, обеспечивающее их хранение в твердых формах с надежной фиксацией в них радионуклидов. В проекте АЭС предусмотрено использовать в качестве упаковки отвержденных жидких РАО бетонный невозвратный защитный контейнер типа НЗК-150-1,5П, рассчитанный на загрузку 1,5 м³ переработанных ЖРО [63].

Замешивание поступающих на переработку жидких РАО (концентрата кубового остатка), цемента и присадок в соответствии с заданной рецептурой осуществляется в смесителе установки отверждения. Полученный цементный компаунд направляется в подготовленный к заполнению контейнер НЗК [70].

Отработавшие ИОС и ионоселективные сорбенты низкого и среднего уровней активности после обезвоживания до содержания свободной влаги менее 3% будут расфасовываться в металлический вкладыш, предварительно установленный в контейнеры НЗК, без смешения с цементом [63].

В результате переработки образуются отвержденные и осушенные жидкие радиоактивные отходы в объеме 22 контейнеров НЗК в год на один блок (14 контейнеров с отвержденным ККО, 8 контейнеров с осушенными ИОС), максимальное ожидаемое их образование с учетом возможных аварийных ситуаций – 38 контейнеров в год на один блок [71].

С учетом физических и химических свойств перерабатываемых сред для отверждения жидких РАО на Белорусской АЭС принят метод *цементирования*. Включение в цемент – один из наиболее широко применяемых методов отверждения, обладающий следующими преимуществами:

- процесс цементирования прост и не требует сложного аппаратного оформления, взрыво- и пожаробезопасен и обладает малой энергоемкостью, так как осуществляется без разогрева отверждаемой смеси;
- образующийся цементный компаунд негорюч, непластичен при нагреве и достаточно прочен, что облегчает последующую транспортировку и хранение;
- высокая плотность цементных материалов способствует уменьшению внешнего излучения (самоэкранирование радиации);
- щелочная среда, создаваемая цементом, способствует удержанию многих радионуклидов и низкой коррозии стали;
- отвердитель (цемент) доступен и относительно недорог [72].

До недавнего времени считалось, что цементирование имеет существенные недостатки: невысокая степень включения РАО в цемент, значительное увеличение объема продукта (например, степень включения ЖРО составляла 5÷7 масс. % в пересчете на сухой остаток), высокая выщелачиваемость из цемента включенных в него компонентов. Однако исследования последних лет показали возможность включения в цементную матрицу достаточно большого количества отходов (до 25÷35 масс. %) при сохранении ее качества [73].

4.15 Хранение РАО

В случае если захоронение РАО не может быть осуществлено непосредственно после кондиционирования, требуется временное хранение упаковок отходов, которое должно проводиться таким образом, чтобы гарантировать целостность упаковок и их пригодность для последующего захоронения.

Требования к упаковкам отходов

Упаковки отходов, отправляемые в хранилище, должны соответствовать критериям приемлемости для хранения, которые могут представлять собой комбинацию критериев приемлемости отходов для захоронения, требований правил перевозки и дополнительных требований, налагаемых на них условиями хранения. Критерии приемлемости упаковок играют важную роль в обеспечении уверенности, что по истечении срока хранения упаковки можно безопасно транспортировать.

Некоторые проектные требования к хранилищам

- Хранилище должно обеспечить минимальное облучение персонала путем применения биологической защиты и ограждения.
- Должны быть предусмотрены средства для дезактивации индивидуальных контейнеров и поверхностей хранилища.
- В установку хранения должна быть включена зона для осмотра, сортировки, неразрушающего контроля, сертификации и маркировки упаковок отходов.
- Хранилище должно быть разделено на области, в которых хранятся разные по свойствам упаковки.
- Установки хранения должны быть спроектированы таким образом, чтобы контролировать любое загрязнение, исходящее от газообразных или жидких выбросов.

Оценка безопасности хранилищ

Хранилище должно быть лицензировано для подтверждения того, что оно удовлетворяет регулирующим требованиям. В частности, оценка безопасности должна продемонстрировать, что дозы и риски не превышают установленных пределов и удовлетворяют принципу ALARA. Безопасность должна быть оценена как для нормальных условий эксплуатации, так и для возможных аварийных ситуаций. Должны быть предусмотрены инциденты, которые являются результатом внутренних процессов (пожар внутри помещения, падение упаковок, разрушение контейнера) и внешних событий (падение самолета, транспортные аварии вдали от установки, землетрясения, ураганы и внешние пожары) [74].

4.16 Захоронение РАО

После кондиционирования и временного хранения ОНАО, НАО и САО в соответствующих контейнерах в хранилище АЭС отходы должны быть захоронены.

Захоронение отходов преследует две цели:

- 1) Защитить здоровье человека и окружающую среду от вредного воздействия радиоактивных отходов;
- 2) Разместить отходы таким способом, чтобы ответственность будущих поколений была сведена к минимуму.

Данные цели могут быть достигнуты путем изоляции отходов на время, достаточное для распада радионуклидов до незначительных уровней активности.

Безопасность захоронения основывается на концепции «защита в глубину», т.е. создание нескольких уровней защиты в виде ряда естественных и инженерных барьеров для изоляции РАО и ограничения выхода радиоактивных веществ в окружающую среду.

Для захоронения радиоактивных отходов существуют два основных варианта:

- приповерхностное захоронение (неглубокое наземное захоронение, захоронение в пустотах на промежуточной глубине);
- геологическое захоронение [74].

Выбор специфической системы захоронения зависит от типа отходов и местных климатических, гидрогеологических, экономических условий, а также социально-политических соображений. В свою очередь, метод захоронения влияет на выбор отходов для захоронения и метод их кондиционирования, так как они должны быть совместимы друг с другом.

Для обеспечения безопасной изоляции эксплуатационных РАО Белорусской АЭС необходимо создать пункт захоронения радиоактивных отходов. Мировая практика захоронения низко- и среднеактивных короткоживущих отходов *в приповерхностных могильниках* показывает, что при надлежащем соблюдении требований стандартов и инструкций безопасность захоронения обеспечивается в полной мере. Согласно проведенным оценкам, ОНАО, НАО и САО Белорусской АЭС содержат долгоживущие радионуклиды в концентрациях, допустимых для приповерхностного захоронения.

Таким образом, строительство ПЗРО целесообразно осуществить с использованием приповерхностного способа локализации отходов непосредственно в районе размещения АЭС [69].

4.17 Моделирование процесса удаления ионов тяжелых металлов из воды методом реагентной ультрафильтрации

Метод реагентной ультрафильтрации относится к одной из самых перспективных технологий водоочистки, в том числе и на АЭС, поэтому актуальным является разработка лабораторных работ посвященных данному процессу.

При разработке лабораторных работ для портала ядерных знаний, было проведено несколько серий экспериментов по оценке степени извлечения различных металлов из модельных водных растворов. В первой серии

экспериментов определяли зависимость степени извлечения тяжелых металлов от НОММ мембраны, для чего использовали мембраны с маркировкой 1, 10, 30 кДа. Во второй серии экспериментов изучали зависимость степени извлечения металлов от рН, который изменяли в диапазоне от 5 до 9 добавлением раствора гидроксида натрия концентрацией 1 ммоль/дм³. В третьей серии экспериментов изучали зависимость степени извлечения свинца от концентрации гуминовых кислот, которая варьировалась от 6 до 30 мг/дм³.

В качестве модельных растворов на основании данных [69] были выбраны водные растворы, содержащие следующие компоненты:

Pb²⁺ – от 10 до 30 мг/ дм³;

Cu²⁺ - от 10 до 30 мг/ дм³;

Co²⁺ - от 10 до 30 мг/ дм³.

Проведение очистки: 100 см³ модельного раствора помещали в конические колбы, добавляли определенное количество суспензии гуминовых кислот концентрацией 3 г/дм³ (0,2–1 см³) и оставляли на 24 ч для установления равновесия.

Далее содержимое колбы очищали от гуминовых кислот с помощью микрофльтрации и определяли содержание металлов методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

4.17.1 Методика получения гуминовых кислот

Метод выделения гуминовых кислот из торфа – одного из основных полезных ископаемых РБ, основан на их растворимости в щелочах и нерастворимости в кислотах в отличие от фульвокислот. Суть метода состоит в том, что после окисления торфа смесью азотной и соляной кислот гуминовые кислоты совместно с фульвокислотами выщелачивают гидроксидом натрия, а затем осаждают соляной кислотой [76, 77].

Исходные реактивы:

1. Гидроксид натрия NaOH;
2. Раствор азотной кислоты HNO₃ (ρ=1,51 г/см³);
3. Раствор серной кислоты H₂SO₄ (ρ=1,84 г/см³);
4. Торф;
5. Дистиллированная вода.

Ход работы [78]: В реакционный сосуд, снабженный обратным холодильником и магнитной мешалкой, вносили 10 г предварительно высушенного при 378К в сушильном шкафу в течение 2 часов торфа и 100 см³ раствора азотной и соляной кислот с концентрацией 0,48 и 1 моль/дм³ соответственно, для приготовления которого в мерную колбу на 100 см³ добавляли 3 см³ концентрированной азотной и 4,5 см³ концентрированной соляной кислот и доводили до метки дистиллированной водой.

Проводили реакцию при 343 К и перемешивании в течение 60 мин. После остывания значение рН реакционной смеси доводили до 7 разбавленным раствором

гидроксида натрия с последующей фильтрацией на бумажном фильтре «Синяя лента» (удельный вес 80 г/м²) под вакуумом используя воронку Бюхнера и колбу Бунзена.

Полученный осадок переносили в стакан на 1000 см³ и добавляли 400 см³ предварительно приготовленного 0,1 н гидроксида натрия и давали отстояться в течение часа. После щелочной экстракции гуминовых кислот раствор отфильтровывали на бумажном фильтре под вакуумом.

Гуминовые кислоты осаждали из фильтрата 10% соляной кислотой при значении рН 1–2. Осадку гуминовой кислоты давали сформироваться, надосадочную жидкость осторожно сливали, а осадок высушивали при 353 К.

4.17.2. Методика определения степени извлечения металлов

Количественное содержание металлов в водном растворе определяли с помощью атомно-абсорбционной спектроскопии

Исходные реактивы:

1. Ацетат меди $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$;
2. Нитрат свинца $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$;
3. Нитрат кобальта $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$;
4. Дистиллированная вода.

Ход работы [79]: измерения проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре Analytikjena ZEEnit 700 с пламенным атомизатором. Готовили серии калибровочных растворов с содержанием ионов Cu^{2+} : 1, 2, 3, 4, 5, 6 мг/дм³; Co^{2+} : 3, 6, 9, 12, 15, 18 мг/дм³; Pb^{2+} : 7, 14, 21, 28 мг/дм³; разбавлением соответствующих растворов с более высокой концентрацией. По результатам измерений построили калибровочные графики (рисунки 27-29) и рассчитали степень извлечения тяжелых металлов из модельных растворов.

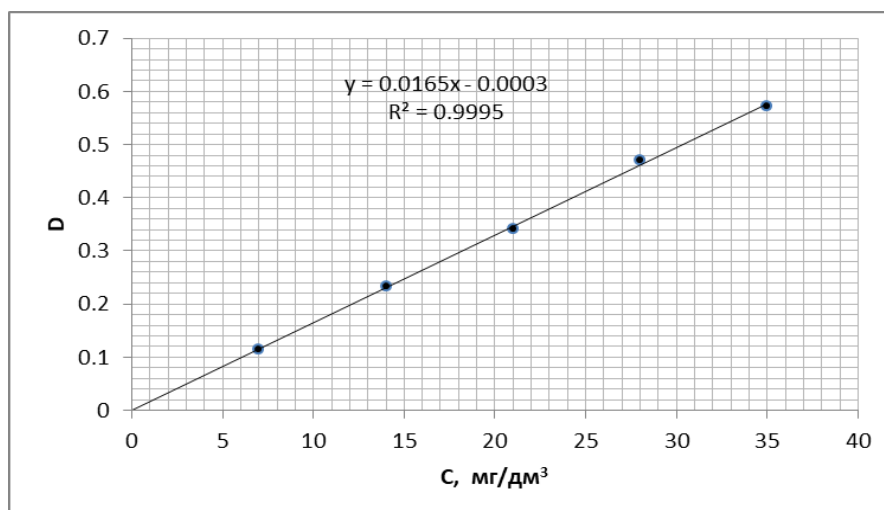


Рисунок 27 – Зависимость оптической плотности D от концентрации ионов Cu^{2+}

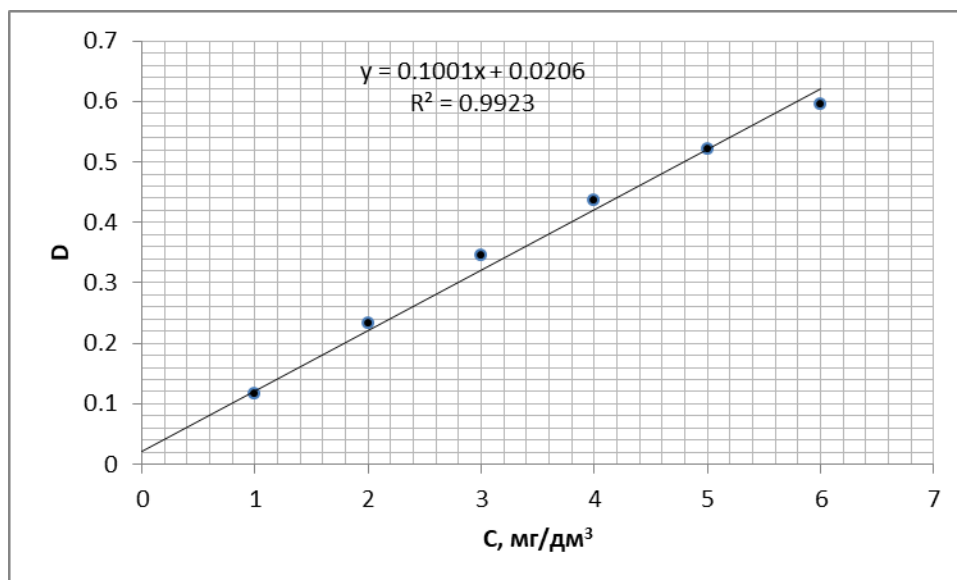


Рисунок 28 – Зависимость оптической плотности D от концентрации ионов Pb^{2+}

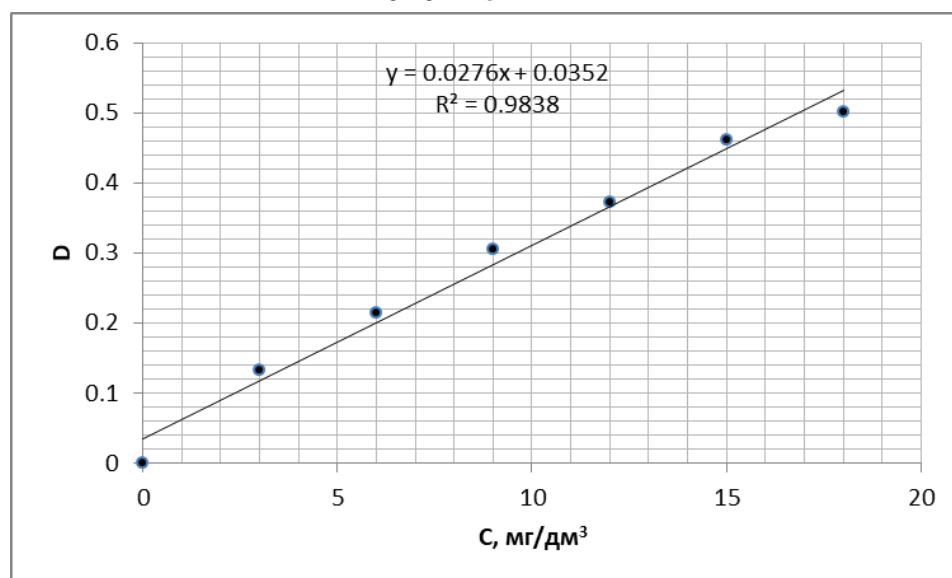


Рисунок 29 – Зависимость оптической плотности D от концентрации ионов Co^{2+}

4.17.3 Определение содержания фосфатов в воде

При разработке лабораторных работ для портала ядерных знаний был проведен анализ существующего метода количественного определения фосфатов в воде применительно к модельным растворам. Концентрация фосфат-ионов в этих растворах соответствовала их содержанию в поверхностных водах в зоне наблюдения БелАЭС в течение 2016 года.

В качестве модельных растворов на основании данных [60] были выбраны водные растворы, содержащие следующие концентрации фосфат-иона: 0,040; 0,045; 0,054; 0,059.

Колориметрический метод определения ортофосфатов основан на образовании с молибдатами аммониевой соли фосфомолибденовой кислоты в

кислой среде и последующим восстановлением продукта до молибденовой сини [80].

Исходные реактивы:

1. Молибдат аммония $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$;
2. Хлорид олова(II) $\text{SnCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$;
3. Дигидрофосфат калия KH_2PO_4 ;
4. Раствор серной кислоты H_2SO_4 ($\rho=1,84$ г/см³).

Ход работы [80]: Измерения проводили на спектрофотометре Huch-Lange dr6000 при 690 нм и толщине кюветы 10 мм. Готовили серию калибровочных растворов с концентрацией 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07 мг PO_4^{3-} /дм³ разбавлением соответствующих растворов более высокой концентрации. После чего переносили их в конические колбы. Для анализа отбирали по 3 пробы модельных растворов объемом 50 см³ и также переносили в конические колбы.

К исследуемым и калибровочным растворам добавляли 1 см³ кислого раствора молибдата аммония и через определенное время 0,1 см³ суспензии хлорида олова, после чего проводили измерение оптической плотности.

Для получения кислого раствора молибдата аммония растворяли 25 г $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ в 600 см³ воды. К раствору при перемешивании и охлаждении добавляли 340 см³ H_2SO_4 ($\rho=1,84$ г/см³). После охлаждения раствор помещали в мерную колбу на 1 дм³ и доводили до метки дистиллированной водой. Раствор использовали через 48 часов.

Суспензию хлорида олова (II) готовили разбавлением 0,5 г $\text{SnCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в 50 см³ 10% соляной кислоты

После фотометрического измерения оптической плотности растворов строили калибровочный график (рисунок 30) и определили содержание фосфатов в модельных растворах.

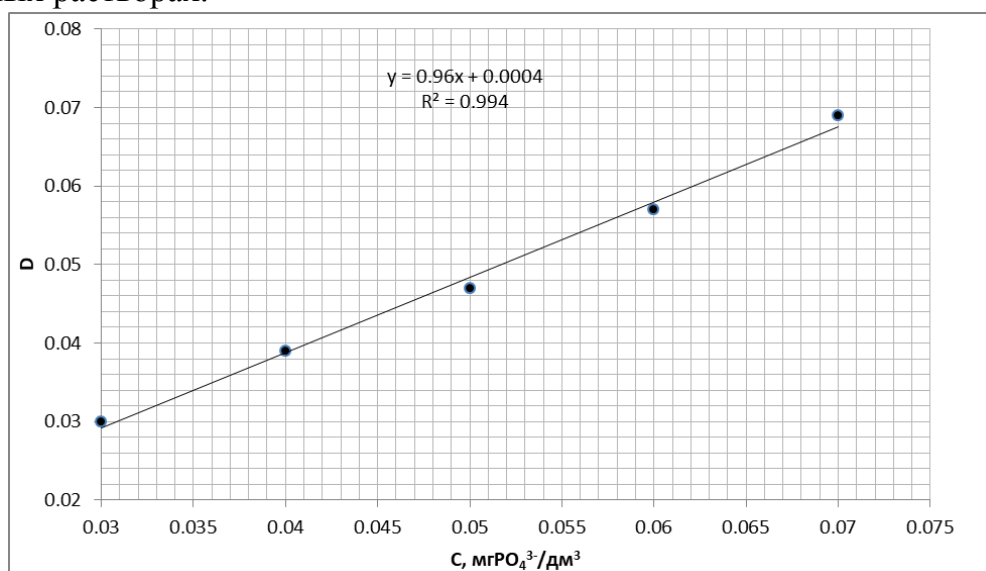


Рисунок 30 – Зависимость оптической плотности D от концентрации фосфат-ионов

4.18 Сравнение методов определения ХПК

При разработке лабораторных работ для портала ядерных знаний был произведено сравнение двух методов определения ХПК в воде. В качестве стандарта использовали раствор 2,0824 моль/дм³ бифталата калия, ХПК которого равно 500 мгО/дм³. Данный раствор получали растворением соответствующей навески бифталата калия в воде.

Полученные значения сравнивали между собой и значением ХПК стандарта.

4.18.1 Титриметрический метод определения ХПК

Метод основан на титровании избытка бихромата калия после его взаимодействия с исследуемой пробой [80].

Исходные реактивы:

1. Бихромат калия $K_2Cr_2O_7$;
2. Соль Мора $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$;
3. Молибдат аммония $((NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O)$;
4. Ферроин $C_{36}H_{24}FeN_6^{2+}$;
5. Раствор серной кислоты H_2SO_4 ($\rho=1,84$ г/см³).

Ход работы [80, 81]: Для анализа отбирали 20 см³ стандартного раствора бифталата калия и разбавляли до 50 см³ дистиллированной водой после чего переносили в круглодонную колбу. Добавляли 1 г $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$, 5 см³ концентрированной серной кислоты, перемешивали до растворения, затем вливали 25 см³ стандартного раствора бихромата калия и, очень осторожно, малыми порциями добавляли 70 см³ серной кислоты, вносили в колбу центры кипения, присоединяли обратный холодильник и нагревали до слабого кипения, которое поддерживали 2 часа. Затем обмывали стенки обратного холодильника 25 см³ дистиллированной воды, заливая ее через верх холодильника, не разбирая систему. Затем количественно переносили содержимое круглодонной колбы в коническую колбу емкостью 500 см³. Раствор охлаждали и оттитровывали избыток бихромата раствором предварительно приготовленной и стандартизированной соли Мора. Индикатор ферроин (3–4 капли) добавляли в середине титрования.

Параллельно проводили контрольный опыт: для этого брали 50 см³ дистиллированной воды и осуществляли все стадии анализа, как и для исследуемой воды.

ХПК, выраженное числом мг кислорода на 1 дм³ воды, вычисляли по формуле:

$$ХПК = ((A - B) \cdot N \cdot 8 \cdot 1000) / V \quad (2.1)$$

где А и В – объемы раствора соли Мора, израсходованного на титрование в холостом опыте и при анализе пробы соответственно, см³;

N – нормальность титрованного раствора соли Мора, г-экв/ дм³;

V – объем анализируемой пробы воды, см³.

4.18.2 Фотометрический («экспресс») метод определения ХПК

Для определения ХПК данным методом используют готовый реактив LCI 400 (производитель Huch-Lange). В состав реактива входит сернокислый раствор бихромата калия, сульфат серебра в качестве катализатора, и сульфат ртути для связывания хлоридов.

Ход работы: две ампулы с реагентом интенсивно встряхивали, после чего в них вводили 2 см³ исследуемого раствора стандарта и 2 см³ дистиллированной воды. Ампулы повторно интенсивно встряхивали и помещали в предварительно разогретый до 421 К термостат Huch drb200 на 2 часа.

Через 2 часа ампулы охлаждали в термостате до 333 К, после чего опять встряхивали и оставляли остыть до комнатной температуры. Измерения исследуемой пробы и контрольного образца производили на спектрофотометре Huch-Lange dr600, выбрав соответствующую программу.

4.19 Ионохроматографический анализ

Для проведения ионохроматографического анализа использовался ионный хроматограф 850 Professional IC AnCat фирмы Metrohm (Швейцария) с кондуктометрическим детектором 850 iDetector. Определение катионов проводилось на колонке Metrosep C4 – 250/4.0, заполненной силикагелем с карбоксильными группами. Разделение анионов осуществляли на колонке Metrosep A Supp 7 – 250/C4, заполненной поливиниловым спиртом с четвертичными аммониевыми группами. В качестве элюента для разделения катионов использовали раствор азотной кислоты концентрацией 2,5 ммоль/дм³, а для разделения анионов – раствор карбоната натрия 6,4 ммоль/дм³ и бикарбоната натрия 2,0 ммоль/дм³. Запись хроматограмм и обработка пиков осуществлялась с помощью программного обеспечения MagIC NetTM. Перед осуществлением анализа система была протестирована путём записи хроматограммы ультрачистой (деионизированной) воды. Отсутствие значительных пиков позволило приступить к анализу.

Для приготовления всех растворов была использована деионизированная вода с удельным сопротивлением 0,055 мкСм/см. Для её получения применялась система подготовки воды SiemensUltraClear TWR Series. Получение ультрачистой воды в установке осуществлялось несколькими методами: ультрафильтрацией, окислением УФ-излучением, обратным осмосом, ионным обменом.

Для изготовления ионообменных колонок использовали катионит КУ-2-8 ЧС в Н-форме и анионит АВ-17-8 ЧС в ОН-форме.

Калибровку прибора осуществляли с использованием стандартных растворов фирмы «Fluka» с содержанием по 10,0 мг/кг ± 0,2% Li⁺, Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺. Из данного раствора путём разбавления деионизированной водой были приготовлены стандарты с концентрациями 0,05 мг/л, 0,1 мг/л, 0,15 мг/л, 0,2 мг/л.

4.20 Пробоподготовка

В качестве объекта исследования была выбрана вода реки Виля. Отбор проб осуществлялся в соответствии с СТБ ГОСТ Р 51592-2001 и проводился в Сморгонском районе Гродненской области.

Перед началом анализа все пробы (образцы природной воды и воды, прошедшей ступени обессоливания) были пропущены через фильтр CHROMAFIL® Xtra 0.45 μm для устранения мелкодисперсных примесей, которые могут негативно сказаться на работе хроматографа. Затем образцы были разбавлены в 20 раз для соответствия калибровочной кривой, так как из-за ограниченной ёмкости предконцентрирующей колонки концентрации, выходящие за пределы калибровки, могут быть недостоверны. После этого образцы тщательно перемешивались и оставлялись на сутки в тёмном месте для установления диффузионного равновесия.

4.21 Изготовление ионообменных колонок

Расчет высоты колонки осуществлялся исходя из ее диаметра и минимально допустимой высоты слоя ионита (минимальная высота слоя 60 см при диаметре колонки 50 мм). Для проведения эксперимента были изготовлены 5 колонок высотой 47 мм каждая в масштабе 1:20 – две с катионитом КУ-2-8 ЧС в Н-форме и две с анионитом АВ-17-8 ЧС в ОН-форме, пятая колонка моделировала ФСД. Колонка ФСД была загружена смешанной шихтой в соотношении катионита к аниониту 1:2. Затем составлялась схема обессоливания (рисунок 31), через которую впоследствии пропусклась исследуемая вода со скоростью 1 мл/мин.

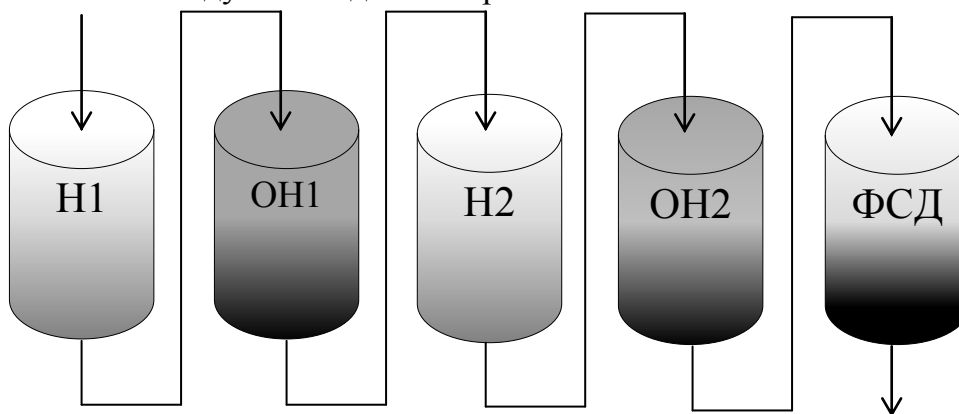


Рисунок 31 - Экспериментальная схема обессоливания природной воды

Н1 – катионитный фильтр 1-ой ступени; ОН1 – анионитный фильтр 1-ой ступени; Н2 – катионитный фильтр 2-ой ступени; ОН2 – анионитный фильтр второй ступени; ФСД – фильтр смешанного действия.

4.22 Удаление из воды тяжелых металлов методом реагентной ультрафильтрации

Весьма важными параметрами при проведении удаления из воды ионов тяжелых металлов, в частности меди, кобальта и свинца, методом реагентной ультрафильтрации являются значение водородного показателя и НОММ мембраны, поскольку изменение их позволяет подобрать оптимальные условия проведения процесса.

Значения степени извлечения металлов из модельных растворов в зависимости от НОММ мембраны, зависящего от размера ее пор, значения рН, начальной концентрации металлов представлены в таблицах 14–16.

Таблица 14 – Значения степени извлечения Cu^{2+} из модельных растворов

НОММ мембраны, кДа	Начальная концентрация Cu^{2+} , мг/дм ³	Степень извлечения, %			
		рН=5	рН=7	рН=9	Контрольный опыт (рН=9)
1	10	37,69	60,71	>99,00	18,69
	20	30,64	61,06	>99,50	14,78
	30	30,07	62,22	>99,67	15,53
10	10	34,62	59,07	>99,00	17,60
	20	30,15	60,79	>99,50	14,39
	30	29,53	61,96	>99,67	15,65
30	10	21,24	52,06	>99,00	14,40
	20	21,79	56,76	>99,50	17,29
	30	14,67	54,49	>99,67	14,73

Таблица 15 – Значения степени извлечения Co^{2+} из модельных растворов

НОММ мембраны, кДа	Начальная концентрация Co^{2+} , мг/дм ³	Степень извлечения, %			
		рН=5	рН=7	рН=9	Контрольный опыт (рН=9)
1	10	23,46	50,69	>97,00	22,46
	20	21,07	55,15	>98,50	24,43
	30	17,40	54,97	>99,00	21,47
10	10	23,82	51,18	>97,00	21,83
	20	19,40	53,83	>98,50	17,74
	30	17,30	54,88	>99,00	19,27
30	10	20,10	48,61	>97,00	21,13
	20	18,09	53,87	>98,50	23,18
	30	16,80	54,67	>99,00	22,46

Таблица 16 – Значения степени извлечения Pb^{2+} из модельных растворов

НОММ мембраны, кДа	Начальная концентрация Pb^{2+} , мг/дм ³	Степень извлечения, %			
		pH=5	pH=7	pH=9	Контрольный опыт (pH=9)
1	10	41,39	62,06	>91,00	29,79
	20	45,09	68,43	>95,50	29,90
	30	27,08	60,77	>97,00	29,73
10	10	39,90	61,11	>91,00	27,18
	20	44,89	68,35	>95,50	29,91
	30	26,43	60,40	>97,00	28,63
30	10	32,34	58,11	>91,00	31,03
	20	18,07	54,54	>95,50	25,76
	30	20,06	57,26	>97,00	29,10

Ниже графически представлены зависимости степени извлечения ионов металлов от pH (рисунки 32-34) при использовании мембраны с НОММ 10 кДа.

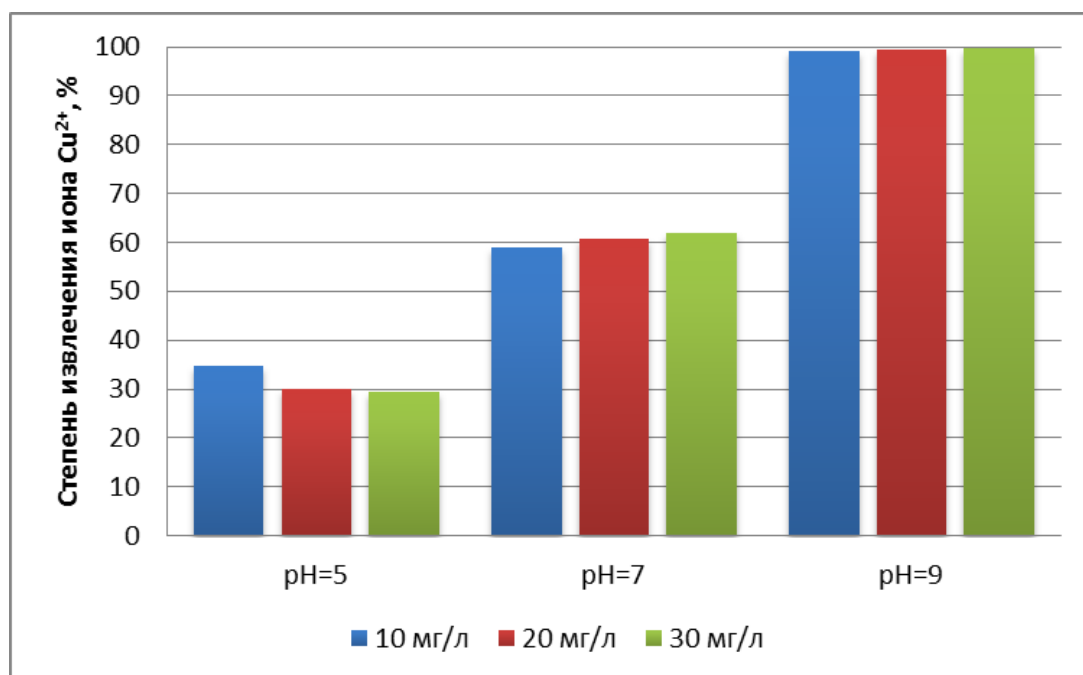


Рисунок 32 – Зависимость степени извлечения ионов Cu^{2+} от pH раствора

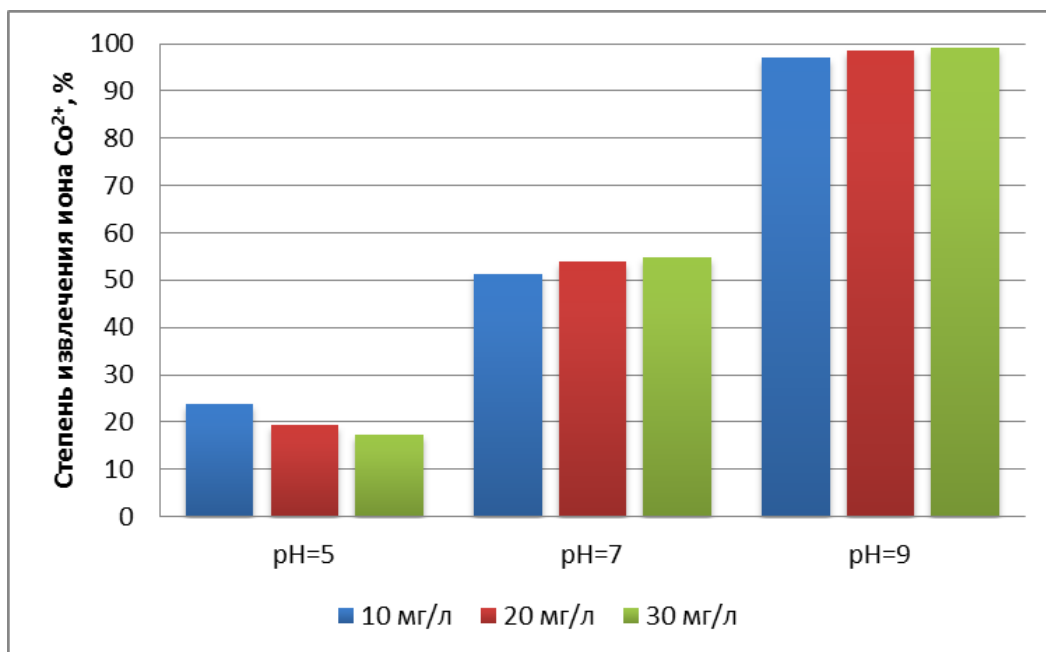


Рисунок 33 – Зависимость степени извлечения ионов Pb^{2+} от pH раствора

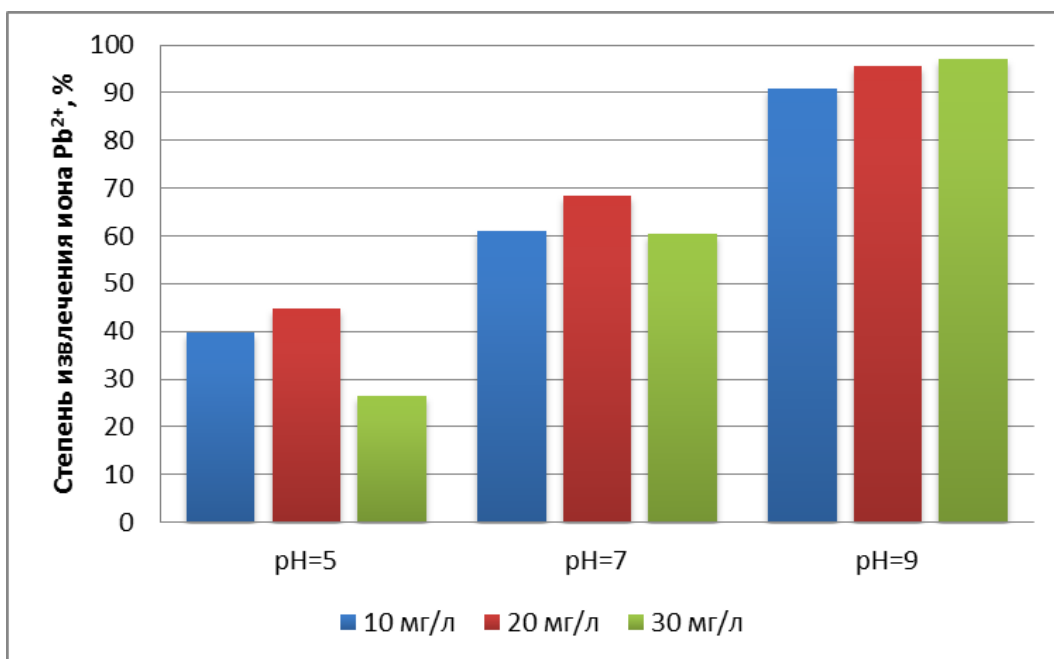
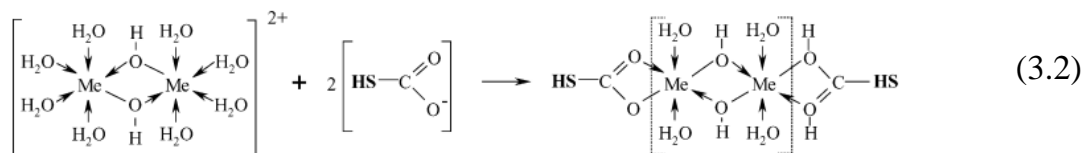
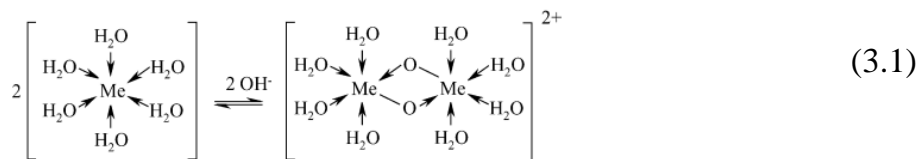


Рисунок 34 – Зависимость степени извлечения ионов Co^{2+} от pH раствора

Из представленных диаграмм видно, что степень извлечения ионов металлов возрастает при увеличении pH. Данная зависимость совпадает с теоретическими данными [75]. Влияние начальной концентрации ионов металлов на степень их извлечения прослеживается только при pH=5, поскольку в данном случае образование гидроаквакомплексов затруднено низкой концентрацией гидроксид-ионов, которые согласно уравнениям (3.1, 3.2) адсорбируются на гуминовых кислотах.



На рисунках 35–37 представлены зависимости степени извлечения металлов от НОММ ультрафильтрационной мембраны при pH 7.

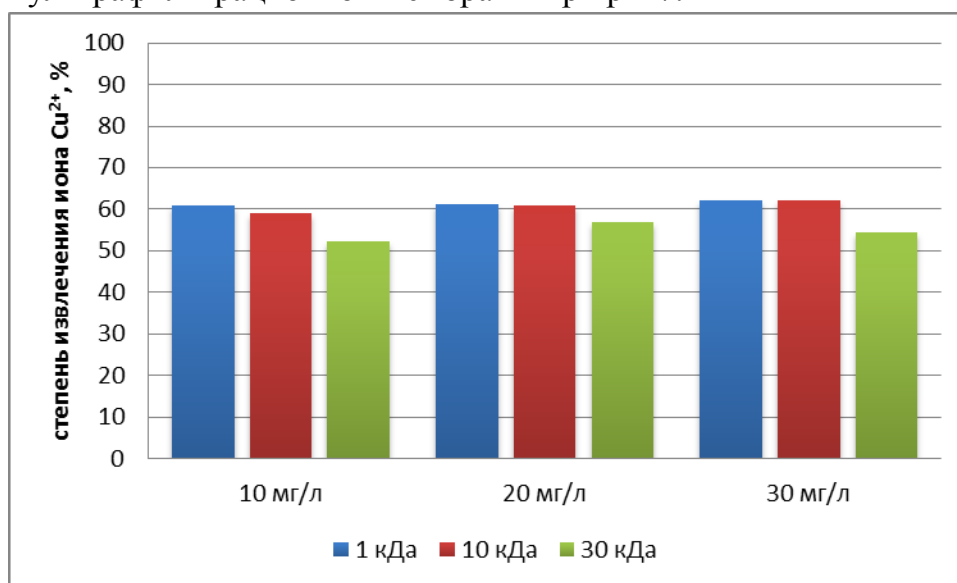


Рисунок 35 – Зависимость степени извлечения ионов Cu²⁺ от НОММ мембраны

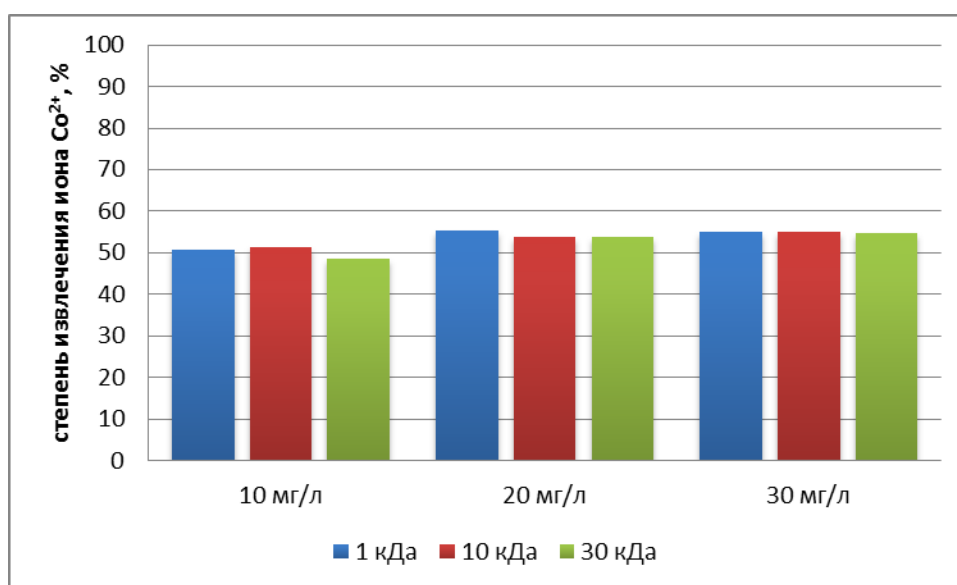


Рисунок 36 – Зависимость степени извлечения ионов Co²⁺ от НОММ мембраны

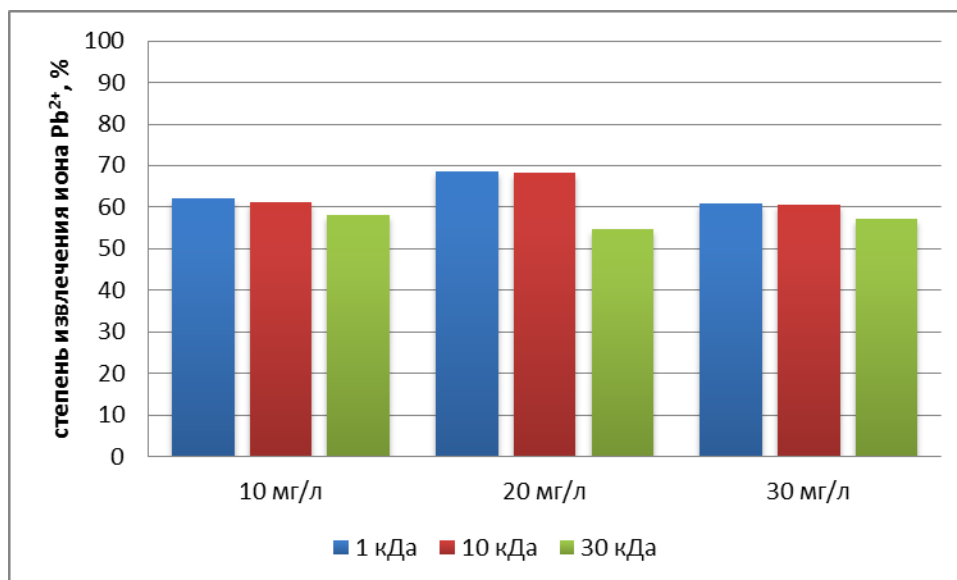


Рисунок 37 – Зависимость степени извлечения Pb^{2+} от НОММ мембраны

Из представленных диаграмм видно, что значения степени извлечения при использовании мембран с НОММ 1 и 10 кДа примерно равны, причем для всех исследуемых металлов и при любой начальной концентрации. В то же время производительность мембраны с НОММ 10 кДа значительно выше. Степень извлечения для мембраны с маркировкой 30 кДа несколько ниже чем у упомянутых ранее.

Также была исследована зависимость степени извлечения металлов от концентрации гуминовых кислот при $pH = 7$. Данная зависимость представлена на рисунке 3.7.

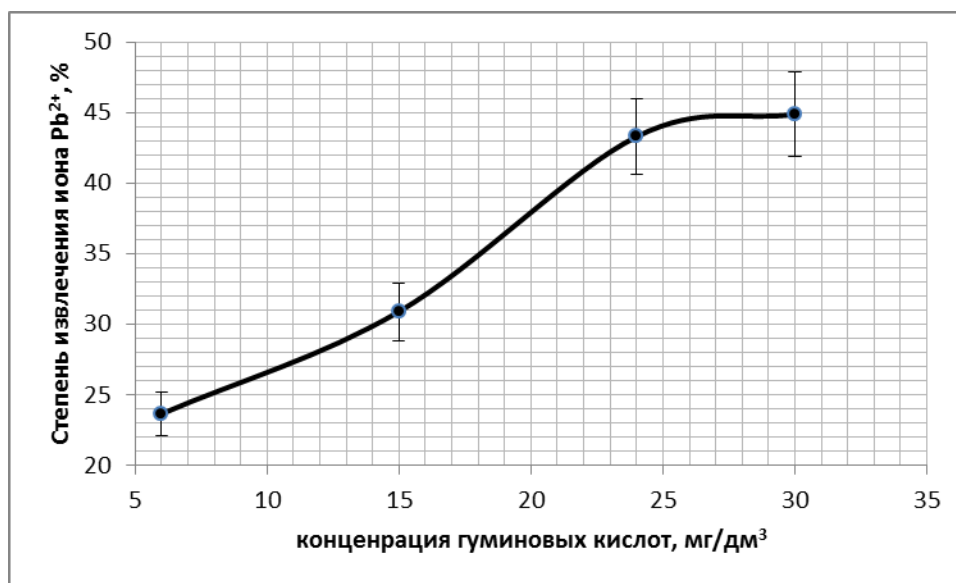


Рисунок 38 – Зависимость степени извлечения Pb^{2+} от концентрации гуминовых кислот

Рисунок 38 демонстрирует рост степени извлечения свинца с увеличением концентрации гуминовых кислот, который достигает максимума вблизи значений

концентрации гуминовых кислот 30 мг/дм³ и дальнейшее увеличение не имеет смысла.

Таким образом, оптимальными условиями проведения реагентной ультрафильтрации являются:

- использование мембраны с НОММ 10 кДа;
- концентрация гуминовых кислот 30 мг/дм³;
- рН=9.

Определение оптимальных условий проведения данного процесса является основной задачей разработанной лабораторной работы.

4.23 Определение содержания фосфатов в воде

При разработке лабораторной работы, были произведены исследования четырех модельных растворов фосфатов, концентрации которых соответствуют значениям содержанию фосфатов в р. Вилия в 2016 году.

Результаты измерений, а также абсолютная и относительная погрешности представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Результаты определения концентрации фосфат-иона в модельных растворах

$C_{ист},$ мг PO_4^{3-} /дм ³	$C_1,$ мг PO_4^{3-} /дм ³	$C_2,$ мг PO_4^{3-} /дм ³	$C_3,$ мг PO_4^{3-} /дм ³	$C_4,$ мг PO_4^{3-} /дм ³	$C_5,$ мг PO_4^{3-} /дм ³	$C_{ср},$ мг PO_4^{3-} /дм ³	$\Delta C,$ мг PO_4^{3-} /дм ³	$\epsilon, \%$
0,04	0,0392	0,0402	0,0371	0,0381	0,0413	0,0392	0,00204	5,22
0,045	0,0444	0,0423	0,0433	0,0444	0,0454	0,0440	0,00147	3,35
0,054	0,0527	0,0527	0,0548	0,0558	0,0517	0,0535	0,00212	3,97

На рисунке 39 представлено сравнение полученных результатов с учетом абсолютной погрешности и истинных концентраций модельных растворов.



Рисунок 39 – Сравнение полученных результатов и истинных концентраций модельных раствора

Из представленных данных видно, что с доверительной вероятностью 95 % и относительной погрешностью не превышающей 5,3 % результаты измерений всех модельных растворов соответствуют истинным концентрациям фосфат-ионов. Таким образом, данный метод можно использовать для определения содержания фосфатов в воде.

На основании литературных данных [79–81] и полученных результатов была разработана лабораторная работа.

4.24 Сравнение методов определения ХПК

Основными способами определения ХПК по бихроматному методу являются фотометрия и титриметрия. При разработке лабораторной работы для портала ядерных знаний было проведено сравнение данных методов. Результаты представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Результаты определения ХПК стандарта различными методами

	ХПК _{ст} , мгО/дм ³	ХПК ₁ , мгО/дм ³	ХПК ₂ , мгО/дм ³	ХПК ₃ , мгО/дм ³	ХПК _{ср} , мгО/дм ³	ΔХПК, мгО/дм ³	ε, %
Титриметр. метод	526,4	511,4	556,5	531,4	22,97	10,73	10,73
Фотометр. метод	497,0	501,0	489,0	495,7	6,11	3,06	3,06

Сравнение результатов измерений с учетом абсолютной погрешности и значения ХПК стандарта представлено на рисунке 40.

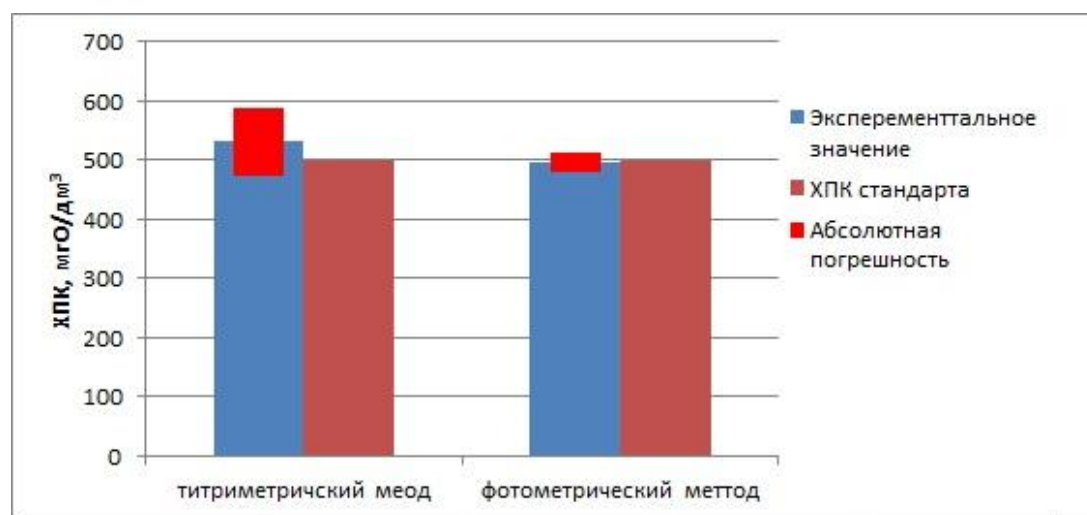


Рисунок 40 - Сравнение результатов измерений и значения ХПК стандарта

Данные полученные обоими методами соответствуют ХПК стандарта, но в случае титриметрического метода относительная погрешность более чем в три раза превышает относительную погрешность фотометрического измерения.

На основании литературных данных [49, 50] и полученных результатов была разработана лабораторная работа.

4.25 Определение ионного состава природной воды

В ходе работы были получены хроматограммы образцов воды из р. Вилии. Результаты ионнохроматографического анализа представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Содержание анионов и катионов в пробах воды р. Вилия

Ион	Концентрация, мг/дм ³
Cl ⁻	10,3
NO ₃ ⁻	7,40
SO ₄ ²⁻	16,2
Na ⁺	23,8
K ⁺	5,17
Mg ²⁺	42,2
Ca ²⁺	150,9

Как следует из таблицы, в образцах воды из р.Вилия обнаружены следующие анионы: Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻. Содержание сульфат-аниона составляет 16,2 мг/дм³ и не превышает ПДК в воде водоемов хозяйственно-питьевого назначения (500 мг/л). Содержание нитрат-ионов 7,4 мг/дм³, это значение не превышает ПДК (45 мг/л), но наличие нитратов свидетельствует о загрязненности воды вследствие сельскохозяйственной деятельности [37]. Содержание хлорид-ионов, а также калия и натрия не выходят за пределы норм для пресных вод. Ионов лития, фторид- и бромид-ионов в воде обнаружено не было. Из катионов преимущественно содержатся кальций и магний (150,9 и 42,2 мг/дм³ соответственно), которые обуславливают жесткость воды.

4.26 Эффективность степени очистки природной воды методом ионного обмена

Процесс трехступенчатого обессоливания природной воды был смоделирован на основе второй стадии ХВО АЭС по схеме Н1-ОН1-Н2-ОН2-ФСД. Результаты ионнохроматографического анализа проб, отобранных после каждой ступени ионирования представлены в таблицах 20, 21 и на рисунках 41 и 42.

Таблица 20 – Результаты анализа проб воды на содержание катионов, отобранной на разных ступенях обессоливания

Катион	Содержание в исходной воде, мг/дм ³	Содержание в Н1-катионированной воде, мг/дм ³	Степень очистки, %	Содержание в Н2-катионированной воде, мг/дм ³	Степень очистки, %	Содержание в воде, прошедшей 3 ступени обессоливания, мг/дм ³	Степень очистки, %
Na ⁺	23,8	6,72	71,7	0,011	99,95	0,004	99,99
K ⁺	5,18	2,26	56,3	-	100	-	100
Mg ²⁺	42,2	-	100	-	100	-	100
Ca ²⁺	150,9	0,40	99,7	-	100	-	100

Таблица 21 – Результаты анализа проб воды на содержание анионов, отобранной на разных ступенях обессоливания

Анион	Содержание в исходной воде, мг/дм ³	Содержание в ОН1-анионированной воде, мг/дм ³	Степень очистки, %	Содержание в ОН2-анионированной воде, мг/дм ³	Степень очистки, %	Содержание в воде, прошедшей 3 ступени обессоливания, мг/дм ³	Степень очистки, %
Cl ⁻	10,3	0,641	93,5	0,18	98,3	0,003	99,97
NO ₃ ⁻	7,40	-	100	-	100	-	100
SO ₄ ²⁻	16,2	0,647	96,0	-	100	-	100

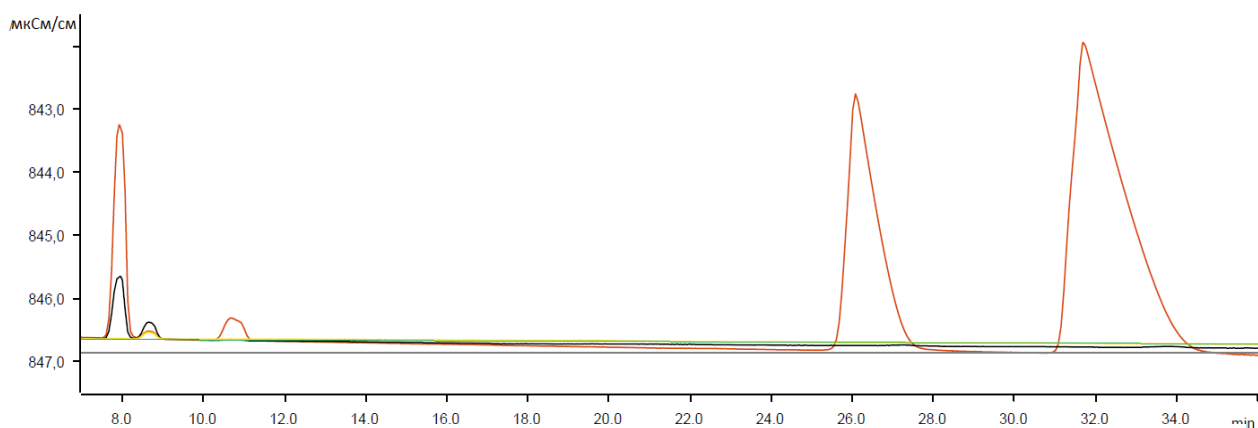


Рисунок 41 - Сравнительная хроматограмма образцов воды. Определение содержания катионов (колонка Metrosep C4 – 250/4.0, элюент – HNO_3 2,5 ммоль/дм³):

- хроматограмма природной воды из р. Вилия;
- хроматограмма воды из р. Вилия, прошедшей 1-ую ступень Н–катионирования;
- хроматограмма воды из р. Вилия, прошедшей 2-ую ступень Н–катионирования;
- хроматограмма воды из р. Вилия, прошедшей 3 ступени обессоливания, включая ФСД.

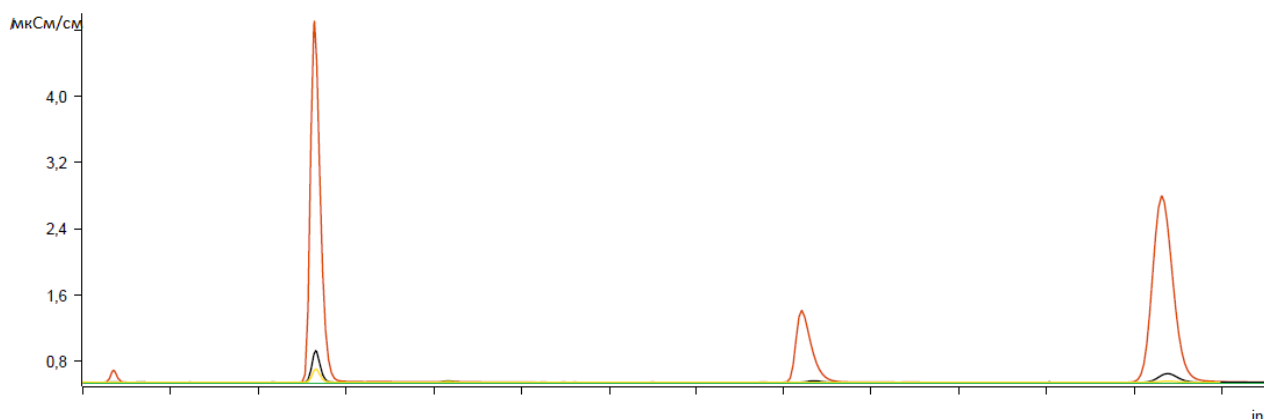


Рисунок 42 - Сравнительная хроматограмма образцов воды. Определение содержания анионов (колонка Metrosep A Supp 7 – 250/C4, элюент – Na_2CO_3 6,4 ммоль/дм³ и NaHCO_3 2,0 ммоль/дм³):

- хроматограмма природной воды из р. Вилия;
- хроматограмма воды из р. Вилия, прошедшей 1-ую ступень ОН–анионирования;
- хроматограмма воды из р. Вилия, прошедшей 2-ую ступень ОН–анионирования;
- хроматограмма воды из р. Вилия, прошедшей 3 ступени обессоливания, включая ФСД.

Как видно из результатов эксперимента, степень очистки по ионам K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} уже после второй ступени Н-катионирования составила 100%. Степень очистки от ионов Na^+ на данной стадии процесса обессоливания высокая, но недостаточная для применения такой воды в качестве теплоносителя. После прохождения воды через ФСД остаточное содержание натрия (4 мкг/дм³) приемлемо, оно меньше установленного значения 10 мкг/дм³. Полная очистка природной воды от нитрат-ионов произошла уже на первой ступени ОН-анионирования, от сульфат-ионов – на второй ступени. Степень удаления хлорид-ионов после двух ступеней ионирования неудовлетворительна: содержание хлорид-ионов 0,18 мг/дм³. При этом обессоленная вода, используемая для нужд АЭС и поступающая в баки

обессоленной воды, должна иметь концентрацию по хлорид-ионам не более 50 мкг/дм³.

Таким образом, двухступенчатая схема обессоливания оказывается недостаточной для получения обессоленной воды требуемого качества. Внедрение ФСД в цепочку ионирования позволяет достичь значений ионных концентраций равных или ниже регламентированных. На основании полученных результатов и литературных данных [34, 37-39].

4.27 Медиатехнологии в учебном процессе

4.27.1 Методическое обеспечение лабораторной работы в формате видеофильма

Разработано методическое обеспечение лабораторной работы «Моделирование процесса очистки сточных вод от аммиака с помощью жидких эмульсионных мембран», выполненной в формате видеофильма, где последовательно демонстрируется выполнение работы самими студентами. При этом материал сопровождается аудиотекстом с подробным описанием действий, объяснением теоретических положений, необходимых для выполнения работы (рисунок 43).

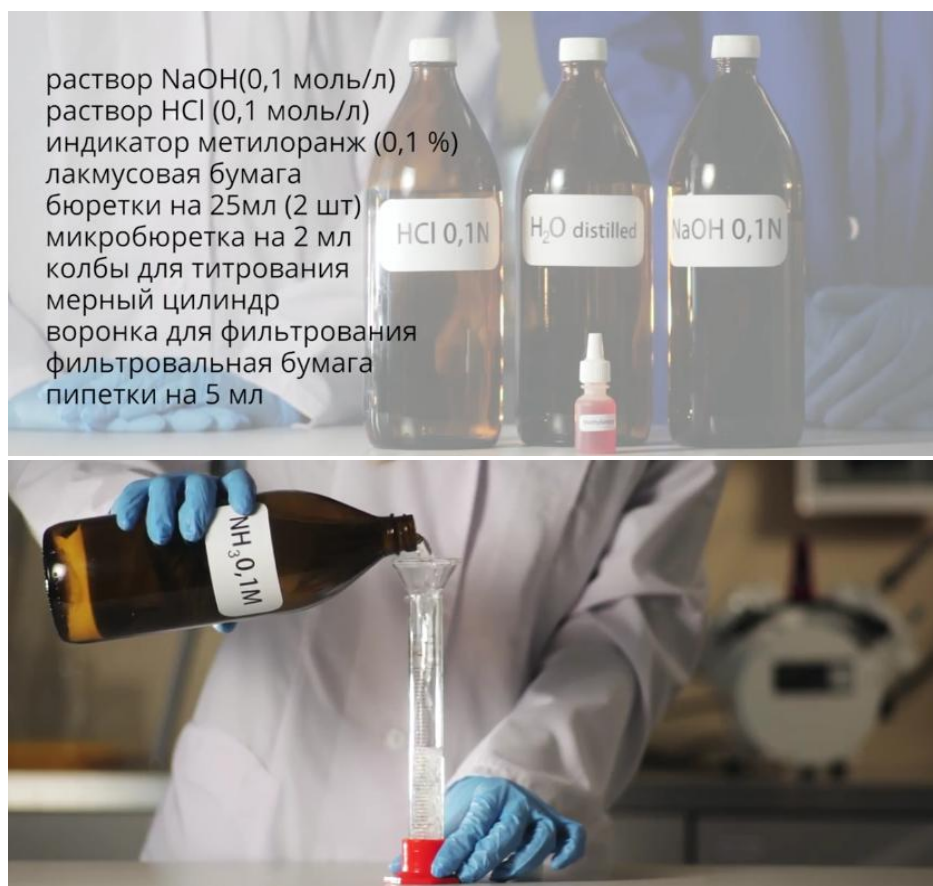


Рисунок 43 – Фрагменты видеофильма

Методическое обеспечение не имеет аналогов, поскольку в видеофильмах демонстрируется не просто эксперимент, а поэтапное выполнение действий, что позволит обучаемым качественно подготовиться к работе в реальных условиях.

Полезьа такого способа выполнения работы заключается в реализации важнейших компонентов кооперативного обучения: *взаимная зависимость* (positive interdependence), *тесное сотрудничество* (face to face interaction), *личная ответственность* (individual accountability), *развитие коммуникабельности* (interpersonal skills) и *рефлексия* (group processing).

Созданный образовательный продукт ориентирован не только на студентов БГУ, но и на национальный и иностранный образовательные рынки (рисунок 44).

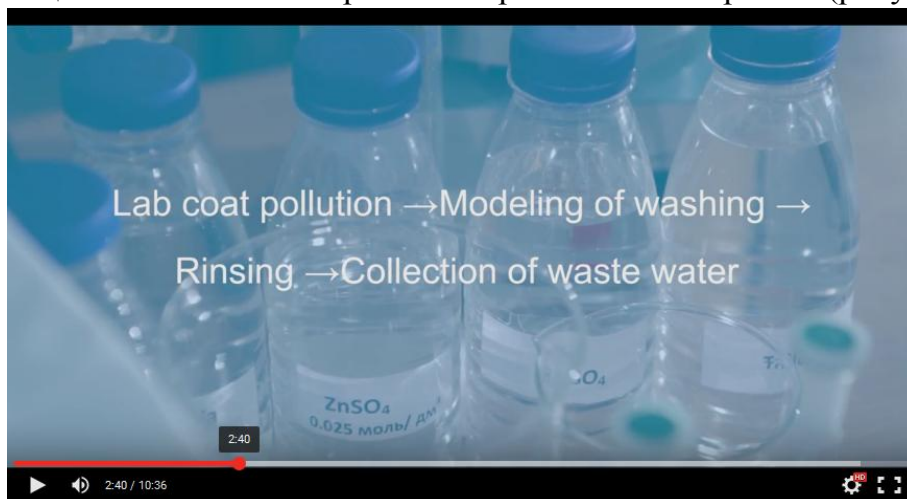


Рисунок 44 – Фрагменты видеофильма на английском языке

В настоящее время видеолaborаторная работа размещена на специализированном сайте химического факультета “Инновационные технологии в образовании” (<http://www.chemistry.bsu.by/index.php/innov-technology?id=262:2016-01-27-13-36-53>) и на электронном портале ядерных знаний.

Такие медиатехнологии являются одним из способов коммуникации в современном обществе. Их использование способствует повышению качества образования, мотивации обучающихся, экономии учебного времени и более глубокому усвоению материала за счет воздействия сразу на несколько органов чувств.

4.27.2 Интернет-реактор лаборатория (ИРЛ)

Проект ИРЛ предоставляет для студентов БГУ виртуальный доступ к исследовательскому реактору ISIS, который принадлежит Комиссариату по атомной и альтернативным видам энергии (КАЭ) Франции. В проекте принимают участие БГУ, Вильнюсский университет, организации Туниса и Танзании. Координатором выступает Комиссариат по альтернативным видам энергии и атомной энергетике (КАЭ) Франции. Цель проекта: знакомство студентов с работой исследовательского реактора ISIS, расположенного на базе Национального центра ядерных технологий (г. Сакле), и выполнение лабораторных работ в режиме он-лайн.

В период 2016-2018 гг. ежегодно транслировалось по 5 лабораторных работ в режиме видеоконференции, включающих запуск реактора, загрузку топлива, определение влияния различных факторов на работу реактора, измерение нейтронных потоков. Работы выполнялись с использованием оборудования, поставленного МАГАТЭ в 2016 г. Посредством интернет связи контрольный пункт и сам реактор были соединены с классом, в котором находились студенты. В выполнении лабораторных работ приняло участие 100 студентов 3-5 курсов специальности «Химия высоких энергий». Консультативную помощь студентам при выполнении лабораторных работ оказывали сотрудники КАЭ Славица Иванович, лектор-инструктор, и эксперт исследовательских реакторов Хавьер Вохлебер, профессор Болонского университета Домициано Мостачи, доцент кафедры ядерной физики Горно-металлургической академии им. С. Сташица в Кракове Миколай Оеттинген (рисунок 45).



Рисунок 45 - Он-лайн лабораторные работы на исследовательском реакторе ISIS

4.28 Размещение материалов на портале ядерных знаний

Проведен анализ ведения водоподготовительного процесса и водно-химических режимов на АЭС с ВВЭР, в результате которого можно заключить, что повышение эффективности ВПУ на АЭС достигается при внедрении новых мембранных технологий взамен традиционных ионитных. На Белорусской АЭС в процессе водоподготовки для очистки природной воды после стадии коагуляции предполагается использование ультрафильтрационных мембран и двух ступеней обратного осмоса, что говорит о более высоком уровне технологичности и наукоемкости производства химически обессоленной воды по сравнению с ионным обменом.

Выяснено, что при ведении слабощелочного восстановительного аммиачно-калиевого водного режима с борной кислотой рекомендуется добавление соединений цинка (ацетата или оксида) в теплоноситель первого контура с целью снижения дозовой нагрузки на персонал атомной станции.

В ведении ВХР второго контура наблюдается тенденция к переходу от аммиачно-гидразинового ВХР к ВХР с дозированием высших аминов. Это позволяет поддерживать стабильное значение рН в щелочной области в теплоносителе второго контура за счет того, что у высших аминов по сравнению с аммиаком более низкое значение коэффициента распределения между газовой и жидкой фазой. Для АЭС с ВВЭР добавление этаноламина предпочтительнее, чем морфолина. Для второго контура Белорусской АЭС предусмотрено ведение гидразинового водно-химического режима с дозированием как этаноламина, так и аммиака. Одним из направлений совершенствования водно-химического режима второго контура является внедрение нейтрально-окислительного ВХР. В работе рассмотрены системы приготовления химически обессоленной воды и системы поддержания водно-химических режимов первого и второго контуров Белорусской АЭС.

На основе проанализированной информации подготовлены материалы для портала. Осуществлена подборка оригинальных статей и книг, регулирующих документов МАГАТЭ, касающихся ведения водоподготовительного процесса и водно-химических режимов первого и второго контуров на АЭС с ВВЭР на русском и английском языках. На рисунке 46 представлено окно портала и ряд содержащихся в нем информационных ресурсов.



Рисунок 46 - Ресурсы электронной библиотеки «Портала ядерных знаний Республики Беларусь»

Ниже представлен список ресурсов, загруженных на портал BelNET:

1. Chemistry Programme for Water Cooled Nuclear Power Plants, (International Atomic Energy Agency, Specific Safety Guide, No. SSG-13);
2. Water chemistry and corrosion control of cladding and primary circuit components (International Atomic Energy Agency, IAEA-TECDOC-1128, ISSN 1011-4289);

3. Water chemistry in WWER reactor (V.A.Yurmanov, V.A.Mamet, Y.M.Shestakov, M.M.Amosov);
4. Comparison of French and German NPP Water Chemistry Programs (U.Staudt, S.Odar, A.Stutzman);
5. Анализ поведения продуктов коррозии во втором контуре АЭС с ВВЭР (В.А.Юрманов, С.В.Великопольский, Е.В.Юрманов);
6. Влияние коррекционной химической обработки теплоносителя первого контура и рабочих сред второго контура АЭС с ВВЭР, PWR на радиационную безопасность (Т.В.Мальцева, Ю.А.Зинченко, И.Ю.Добровольская, А.В.Архипенко);
7. Выбор автоматических анализаторов химического контроля для системы диагностики водной химии 2-го контура АЭС с ВВЭР-1000 (В.Я.Козлов, И.Ю.Добровольская, В.И.Михайловский, М.А.Смалько, Е.Н.Письменный);
8. Оптимизация водно-химического режима второго контура АЭС с ВВЭР (С.И.Брыков, Л.А.Сиряпина, О.П.Архипов, В.Ф.Тяпков, С.Ф.Ерпылева);
9. Опыт ведения водно-химического режима второго контура на АЭС с ВВЭР-1000 с дозированием органических аминов (В.Ф.Тяпков, С.Ф.Ерпылева, В.В.Быкова, А.Л.Богданов, С.И.Брыков, Г.П.Кузнецова);
10. Перспективы совершенствования водно-химического режима второго контура АЭС с ВВЭР (О.А.Кардасевич, М.И.Брагарь);
11. Пути совершенствования водно-химического режима второго контура АЭС с ВВЭР (А.В.Шутиков, В.Е.Савченко, Ю.М.Виграненко, В.А.Хрусталеv);
12. Водные режимы тепловых и атомных электростанций (Т.Х.Маргулова, О.И.Мартынова);
13. О корректировке водно-химического режима теплоносителя первого контура отечественных реакторов типа ВВЭР (А.Б.Александров, А.Б.Бабушкин, К.Б.Викторович, А.А.Матвеев, Е.П.Муратов, И.М.Белозеров, А.В.Волощук, Э.П.Магомедбеков, А.В.Рождествин, А.А.Семенов, В.А.Юрманов);
14. Оптимизация способа дозирования цинка в теплоноситель РБМК И ВВЭР (А.Е.Корнеев, С.В.Европин, А.Д.Иванов, В.Н.Белоус, В.А.Юрманов, С.М.Григорович, Е.В.Юрманов);
15. Программа по водно-химическому режиму для атомных электростанций с водоохлаждаемыми реакторами (Международное агенство по атомной энергии, специальное руководство по безопасности, № SSG-13);
16. Современные методы водоподготовки и защиты оборудования от коррозии и накипеобразования: сборник докладов IV конференции;
17. Повышение эффективности энергетического оборудования: материалы VI всероссийской научно-практической конференции;
18. Повышение эффективности энергетического оборудования: материалы V юбилейной всероссийской научно-практической конференции;
19. Совершенствование экологических показателей технологий обессоливания воды (С.П.Высоцкий, М.В.Коновальчик);
20. Разделение и очистка веществ мембранными, обменными и электрохимическими методами (Л.И.Дорофеева);

21. Особенности водоподготовки при получении технической воды для Южно-Украинской АЭС (Г.В.Жданова, Ю.Л.Ковальчук, О.П.Полтаруха, Ю.В.Толстенко);
22. Баромембранные технологии для современных водоподготовительных установок объектов энергетики (Б.С.Сажин, В.В.Козляков, Ю.А.Ситняковский, В.И.Есьман, В.Б.Сажин);
23. Водоподготовительная установка с применением мембранной технологии (Е.Н.Груздев).

На портале создан глоссарий, содержащий как термины атомной энергетики, так и общехимические термины. Глоссарий портала дополнен 24 терминами с определением на русском и английском языках, касающихся ведения водоподготовки и водно-химических режимов на АЭС. Ниже представлен список терминов на русском и английском языках:

1. Водно-химический режим (ВХР) (Water-chemistry regime (WCR));
2. Блочная обессоливающая установка (БОУ) (Condensate purification plant (CPP));
3. Водоподготовительная установка (ВПУ) (Water-treatment plant (WTP));
4. Химически-обессоленная вода (ХОВ) (Chemically demineralized water (CDW));
5. Фильтр смешанного действия (ФСД) (Mixed bed (MB));
6. Катионитный фильтр (Cation exchanger);
7. Анионитный фильтр (Anion exchanger);
8. Фильтр-ловушка (Entrainment filter);
9. Обезжелезивание (Deironing);
10. Питательная вода (Feed water);
11. Продувочная вода (Blowdown water);
12. Природная вода (Natural water);
13. Нормируемые показатели (Control parameters);
14. Диагностические показатели (Diagnostic parameters);
15. Система KKS (KKS system);
16. Атомная электростанция (АЭС) (Nuclear power plant (NPP));
17. Теплоноситель (Coolant);
18. Парогенератор (Steam generator);
19. Полупроницаемая мембрана (Semipermeable membrane);
20. Ультрафильтрация (Ultrafiltration);
21. Микрофильтрация (Microfiltration);
22. Обратный осмос (Reverse osmosis);
23. Нанофильтрация (Nanofiltration);
24. Флокуляция (Flocculation).

На рисунке 47 представлен ряд терминов и их определений в составе глоссария.

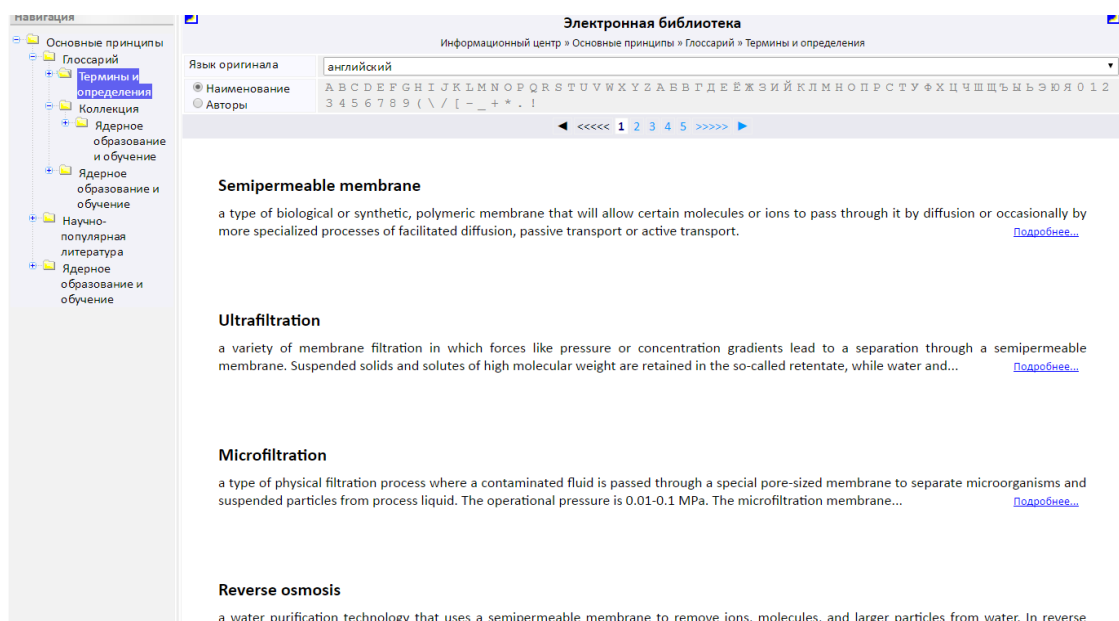


Рисунок 47 - Термины и определения в составе глоссария «Портала ядерных знаний Республики Беларусь»

Созданы билингвальные электронные ресурсы, содержащие аналитическую информацию по ведению водоподготовки и ВХР первого и второго контуров, в том числе и на Белорусской АЭС (32 ресурса). Данные материалы находятся в общем доступе на портале BelNET. Они будут полезны обучающимся и преподавателям в образовательном процессе, а также для сотрудников атомной отрасли страны. На рисунке 3.17 представлен перечень подготовленных и загруженных материалов на портал на русском языке в области водоподготовки и ведения ВХР АЭС, а на рисунке 48 представлены примеры разработанных материалов на английском языке.

Электронный портал ядерных знаний Республики Беларусь
Belarusian Nuclear Education and Training Portal - BeNET

Главная страница Информационный центр Сотрудничество

Электронная библиотека

Язык оригинала: Все указанные языки

Наименование: А В С D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z А Б В Г Д Е Ж З И Й К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Щ Ъ Ы Ъ Ю Я 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 (\ / [- _ + * . !

Авторы

Система регенерации и промывки установок мембранной очистки (GDP) [Подробнее...](#)

Система предварительной очистки исходной воды (GDB) [Подробнее...](#)

Система подачи реагентов для установок мембранной очистки (GDN) [Подробнее...](#)

Система обессоливания предочищенной воды методом обратного осмоса (GDF) [Подробнее...](#)

Химическая лаборатория оперативного контроля ВХР первого контура (SRG10) [Подробнее...](#)

Химическая лаборатория здания ядерного обслуживания (SRG50) [Подробнее...](#)

Список систем поддержания ВХР первого контура [Подробнее...](#)

Система хранения теплоносителя (КВВ) [Подробнее...](#)

Система приготовления и подачи раствора борной кислоты (QCA) [Подробнее...](#)

Химическая лаборатория оперативного контроля параметров ВХР второго контура и ВПУ (STG10) [Подробнее...](#)

Системы поддержания ВХР второго контура [Подробнее...](#)

Системы автоматизированного химического контроля (QUA, QUB, QUC, QUК) [Подробнее...](#)

Система химической промывки парогенератора по второму контуру (LFG) [Подробнее...](#)

Система ручного отбора проб второго контура (QUH) [Подробнее...](#)

Рисунок 47 - Перечень ресурсов на русском языке «Портала ядерных знаний Республики Беларусь» в области водоподготовки и ведения ВХР АЭС

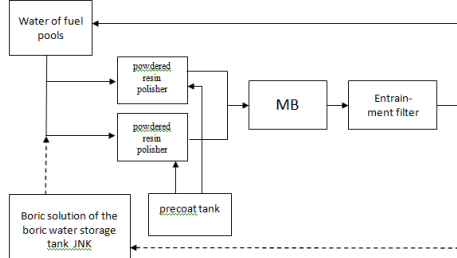
Purification system of the fuel pools and water of boric water storage tank (FAL)

Purification system of the fuel pools and water of boric water storage tank provides WCR quality parameters of the fuel pools and pit-tanks of low concentration boric water storage.

Functions of FAL system are:

- purification of fuel pool water from mechanic and dissolved impurities with purpose of reduction of its activity and to improvement of transparency;
- purification of low concentration boric water storage pit-tanks from mechanic and dissolved impurities.

The FAL system contain refrigerant of boric water, pumps of boric water supply on purification powdered resin polisher, MB, entrainment filter, pumps of layer support, pump of powdered resin polisher powder with mixing device armature, pipelines. The principle scheme of FAL system is showed on the picture.



Scheme 1. The principal technological scheme of FAL system (JNK – system of high concentration boric water storage; MB – mixed bed)

The system works constantly at reactor overload. At other reactor regimes one works at certain intervals according to the water quality parameters.

System of make-up and boric regulation (KBA)

System of make-up and boric regulation is delivered for:

- control reactor reactivity;
- the primary circuit WCR coolant regulation;
- coolant output on purification to the KBE filters;
- the primary circuit system integrity and durability test run;
- the primary circuit coolant degasation in the deaerator for hydrogen, oxygen and noble gases removing;
- boric acid solution level and quality control in the ECCS accumulators;
- pipeline and reactor plant equipment filling by coolant at reactor cold position;
- cooling water injection in MCP (main circulation pump) at operational disorder;
- compensation of coolant uncontrolled leakage and return coolant controlled leakage to the circuit;
- boric acid solution injection in pressurizer for pressure reduction in the first circuit at turned off MCP;
- boric acid injection in the first circuit at the emergency system activation;
- the primary circuit coolant tapping on automatic chemical control;
- coolant supply on blowdown and filling of the primary circuit monitoring device lines.

The diagnostic quality parameters of make-up water is showed in table 1.

Table 1 – The diagnostic quality parameters of KBA system make-up water

Diagnostic parameters	Control level
pH value	5,9-10,3
Chloride-ion concentration, mg/dm ³ , no more	0,1
Ammonia concentration, mg/dm ³ , no more	3,0
Dissolved oxygen concentration, mg/dm ³ , no more	0,02
Iron concentration, mg/dm ³ , no more	0,05
Specific electrical conductivity, mcSm/sm	20-200
Boric acid concentration, g/dm ³	no less current
Common organic carbon concentration, mg/dm ³ , no more	0,5

The list of systems of the secondary circuit WCR maintenance

1. GC – the deep desalting water system provides the obtaining the desalting water for initial filling and make-up of the secondary circuit in operational period.
2. MAJ – system of creating vacuum in condenser provides turbine steam condensation, primary condensate deaeration and make-up water deaeration.
3. LDF – system of turbine condensate deironing and desalting.
4. LDN – the secondary circuit WCR correction system provides supply of hydrazine-hydrat, ethanolamine and ammonia for WCR maintenance.
5. LAA – system of make-up water provides deep deaeration.
6. LCU – system of feed water provides supply of desalting water to the secondary circuit.
7. LCQ-1 – steam generator blowdown system provides output of steam generator blowdown water in order to maintain purge water quality parameters.
8. LCQ-2 – system of steam generator blowdown water purification provides purification of blowdown water so that it could return to the secondary circuit.
9. LDT – system of condensate-feed pipeline preoperational cleaning provides purification of the condensate-feed pipeline from corrosion products and sludge.
10. LDB – system of general plant's draining condensate purification provides purification of dirty condensate tank so that it could return to the secondary circuit.
11. LFG – system of steam generator chemical cleansing of the secondary circuit provides cleansing of steam generator heat transmitting surfaces from deposits.
12. QUA – automatic chemical control system of feed water systems.
13. QUB – automatic chemical control system of steam systems.
14. QUC – automatic chemical control system of condensate systems.
15. QUK – automatic chemical control system of steam generator blowdown water.
16. QUH – hand sampling system of the secondary circuit.
17. STG10 – operative monitoring chemical laboratory of the WCR secondary circuit and water treatment plant.

System of steam generator blowdown water purification LCQ-2

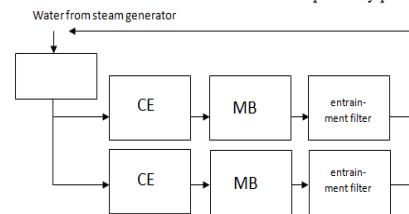
The function of LCQ-2 system is steam generator blowdown water purification from mechanic and dissolved impurities.

The LCQ-2 system consists of two H-cation exchangers, two MB, two entrainment filter, pipelines, armature.

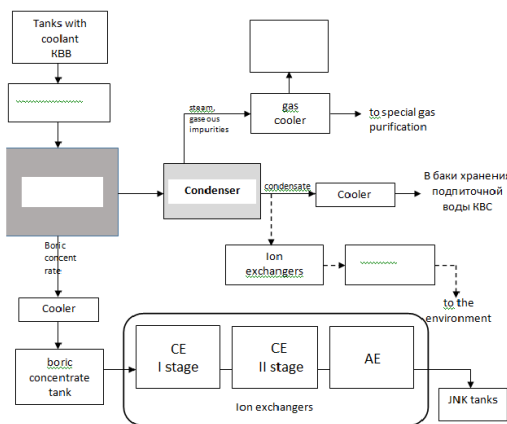
Steam generator blowdown water purification is carried out at a rate of no more 100 t/h in the reactor plant equipment operational period.

Steam generator blowdown water with temperature 50°C after blowdown expansion tank and cooler goes to cation exchanger, where blowdown water is purified from mechanic impurities and from ammonia and ethanolamine cations. Then steam generator blowdown water is introduced on MB, where blowdown water is purified from dissolved cation and anion impurities.

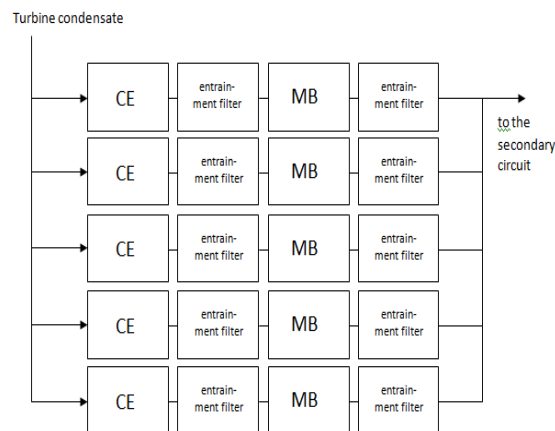
Purified water after the entrainment filter is replaced by pumps.



Scheme 1. The principal technological scheme of LCQ-2 system (CE – cation exchanger, MB – mixed bed)



Scheme 1. Principal technologic scheme KBF system (AE – anion exchanger, CE – cation exchanger, KBB – system of coolant storage; KBF – system of primary circuit coolant treatment; KPF – drain water treatment system; JNK – high concentration boric water storage system)



Scheme 1. The principal technological scheme of LDF system (CE – cation exchanger, MB – mixed bed)

Осуществлена подборка оригинальных статей и книг, касающихся ведения радиационного и химического мониторинга поверхностных вод в зоне расположения АЭС. Был создан билингвальный контент, касающийся проведения радиационного и химического мониторинга поверхностных вод Белорусской АЭС. На рисунках 49 и 50 представлено окно портала и ряд загруженных него информационных ресурсов.

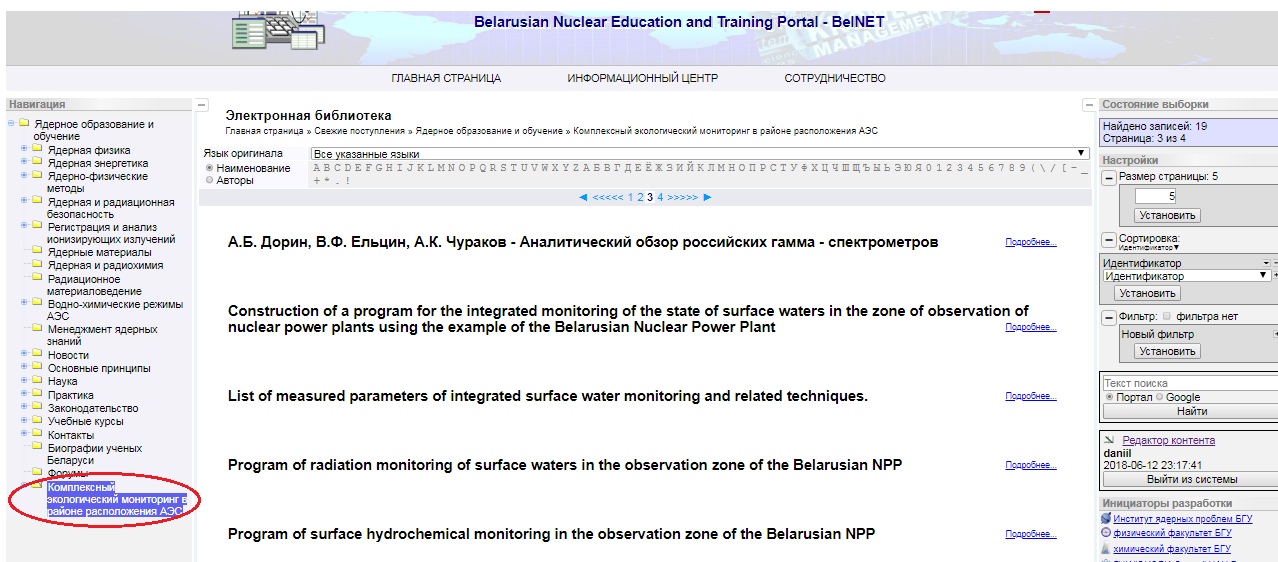


Рисунок 49 – Перечень ресурсов электронной библиотеки «Портала ядерных знаний Республики Беларусь» в области радиационного контроля и мониторинга поверхностных вод

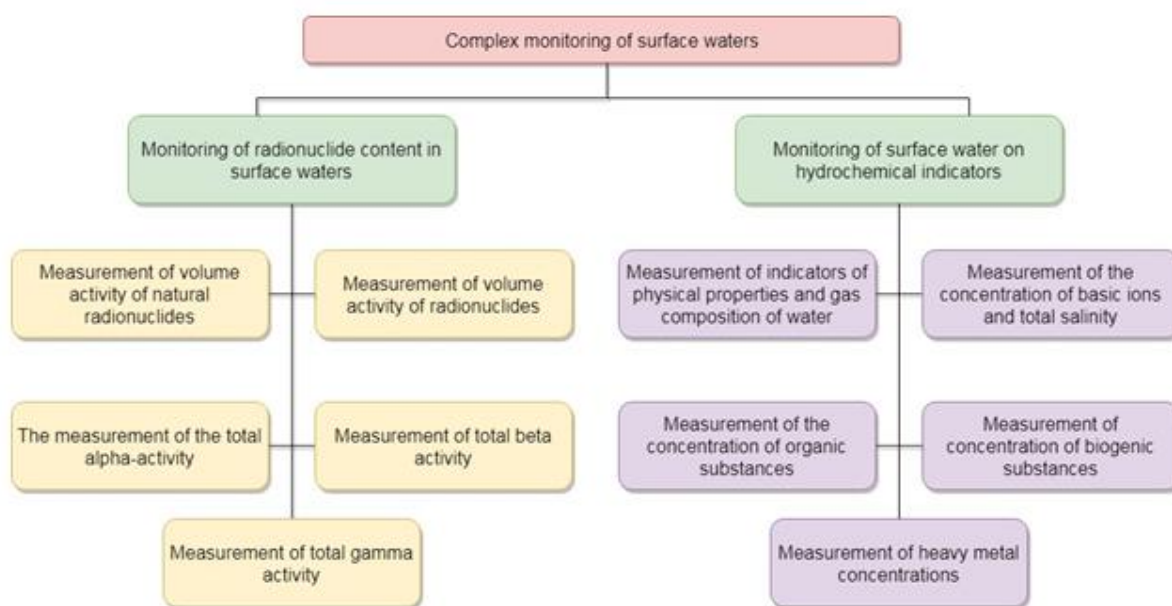


Рисунок 50 – Схема мониторинга поверхностных вод, размещенная в электронной библиотеке «Портала ядерных знаний Республики Беларусь»

Список ресурсов, загруженных на портал BelNET:

24. The Health Physics and Radiological Health Handbook;
25. Радиология человека и животных(С.П. Ярмоненко);
26. Практическая гамма-спектрометрия на атомных станциях(Е.А. Панов);
27. Радиационная биофизика (Ю.Б. Кудряшов);
28. Ионизирующая радиация. Обнаружение, контроль, защита (Ю.А. Виноградов);
29. Вопросы дозиметрии и радиационная безопасность на АЭС (А.В. Носовский);
30. Практикум по дозиметрии и РБ (А.В.Матвеев);
31. Минимальная детектируемая активность. основные понятия и определения (А.Г. Исаев, В.В. Бабенко, А.С. Казимиров, С.Н. Гришин, С.М. Иевлев);
32. Проблемы прикладной спектрометрии и радиометрии ППСР-2007. Тезисы докладов (X Международное совещание);
33. Проблемы прикладной спектрометрии и радиометрии ППСР-2001. Тезисы докладов (V Международное совещание);
34. Аналитический обзор российских гамма – спектрометров (А.Б. Дорин, В.Ф. Ельцин, А.К. Чураков).

Разработанные лабораторные работы также размещены на портале (рисунок 51).

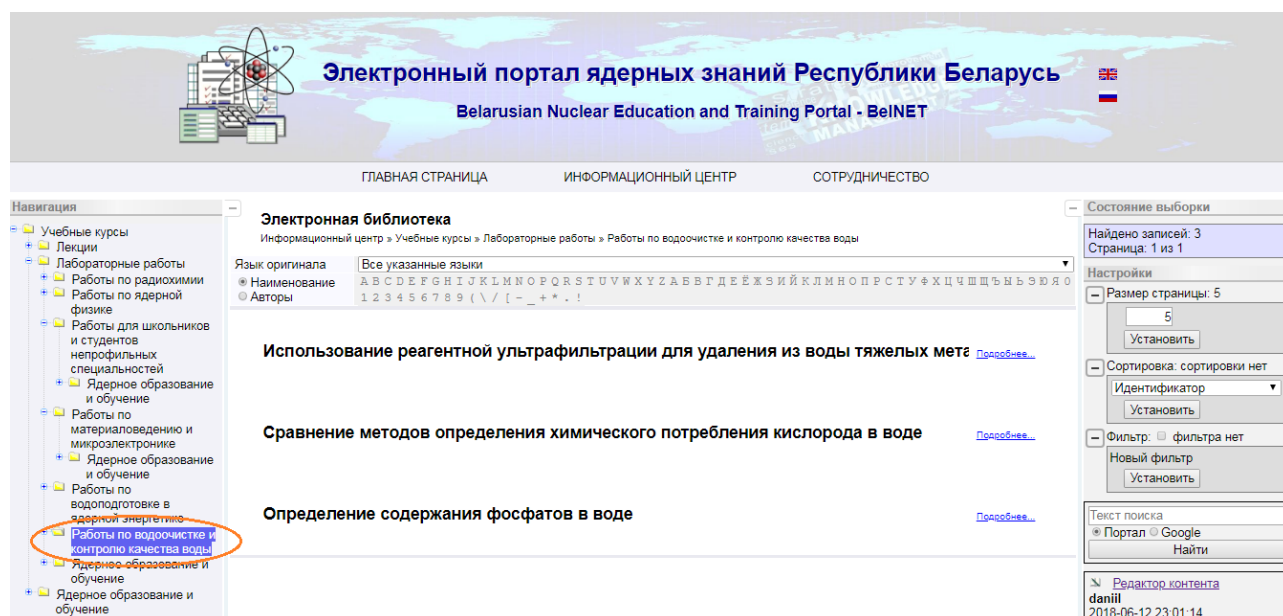
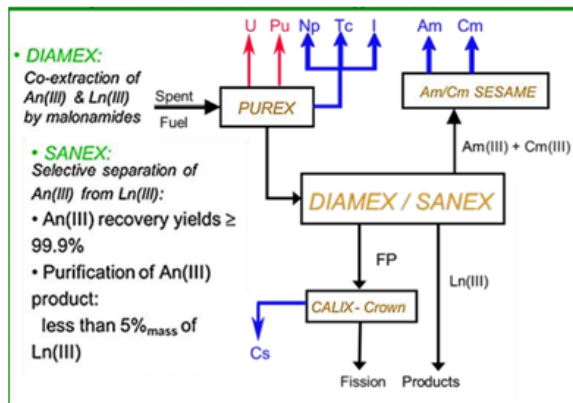


Рисунок 51 - Раздел лабораторные работы «Портала ядерных знаний Республики Беларусь»

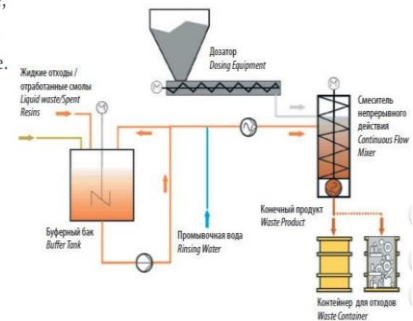
Разработан комплекс материалов для дистанционного электронного обучения по технологиям переработки ОЯТ и РАО. Комплекс включает материалы по проблемам, связанным с ОЯТ и РАО, путям их переработки, классификации

методов, современным сорбционным и экстракционным технологиям переработки, иммобилизирующим матрицам для РАО, а также тестовые задания к ним. Показано, что переработка отработанных тепловыделяющих сборок относится к транснациональному производству. Рассмотрена новая технология радиохимической переработки ОЯТ, включающая процесс волоксации (предварительного окисления ОЯТ). Технология позволяет избежать образования жидких РАО, т.е. рассматривается как экологически чистая. Рассмотрена стратегия обращения с твердыми, жидкими и газообразными РАО на Белорусской АЭС. Пример материалов по данному вопросу представлен на рисунке 52.



Кондиционирование отходов

- Остекловывание;
- Битумирование;
- Цементирование.



Новейшие, экологически чистые технологии по радиохимической переработке ОЯТ

Внедрение в технологию волоксации (предварительное окисление ОЯТ)

При этом диоксид урана UO_2 переходит в октаоксид урана U_3O_8 .
 $3UO_2 + O_2 \rightarrow U_3O_8$.

Это приводит к следующим эффектам:

- происходит разуплотнение топлива;
- изменяется кристаллическая решетка;
- как следствие первых двух эффектов, создаются условия для интенсивного выхода газообразных ПД и трития из ОЯТ;
- разрыхление топлива способствует процессу его дальнейшего растворения в кислотных растворах.

Рисунок 52 - Примеры материалов по технологиям переработки ОЯТ и РАО

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выводы по результатам выполненной НИР:

Развита оригинальная белорусская система управления контентом eLab-Science для создания учебно-научных порталов различных профилей на основе свободного программного обеспечения. На ее основе специализированный электронный портал ядерных знаний BelNET размещен по адресу: <https://belnet.bsu.by>. Проведенные работы по совершенствованию программного обеспечения портала BelNET – системы eLab-Science, включая повышенные требования к безопасности, существенное повышение скорости доступа и обеспечение доступа к portalу с поддержкой шифрования в целях повышения безопасности, несколько уровней доступа к документам в зависимости от прав пользователей, оригинальные механизмы предпросмотра документов и тестирования при выполнении лабораторных работ, гарантируют его бесперебойное эффективное функционирование и возможность дальнейшего развития.

Получен акт внедрения системы eLab-Science и портала CoExAN в Университете Tor Vergata (URTV) (Италия).

Важнейшими результатами выполнения задания являются:

1. Показана и реализована возможность использования системы управления контентом портала eLab-Science для разработки научных порталов разнообразной направленности. На основе eLab-Science создан научный портал проекта “Collective Excitations in Advanced Nanostructures”, Project ID 644076 Call H2020-MSCA-RISE-2014 программы Horizon2020 CoExAN по адресу <https://coexan.bsu.by>.
2. Разработаны оригинальные материалы для портала ядерных знаний BelNET, учитывающие специфику Республики Беларусь, в том числе развита таксономия портала ядерных знаний и проведено наполнение его специализированными материалами.

Развита таксономия портала в химическом секторе портала ядерных знаний. Разработаны оригинальные специализированные материалы на русском и английском языках по вопросам организации водоподготовки и водно-химических режимов первого и второго контуров АЭС с ВВЭР, современным подходам к переработке ОЯТ и РАО, организации радиационного и химического мониторинга, включая Белорусскую АЭС. На примере реки Виляя смоделирована и апробирована трехступенчатая схема химического обессоливания воды методом ионного обмена по аналогии со второй стадией химводоочистки Южно-Украинской и Калининской АЭС. Результаты представлены в виде лабораторной работы. На основании перечня контролируемых гидрохимических показателей созданы лабораторные работы: по определению фосфатов в воде; сравнению методов определения ХПК; удалению ионов тяжелых металлов из воды методом

реагентной ультрафильтрации; оценке эффективности очистки модельных и природных вод коагулянтами, представленными на рынке Республики Беларусь, причем последние две работы построены по кооперативному принципу. Осуществлена подборка оригинальных статей и книг, регулирующих документов МАГАТЭ, по данным направлениям на русском и английском языках. Глоссарий портала дополнен терминами с определениями на двух языках. На портал загружено 34 информационных ресурса (статьи, книги, материалы конференций и др.), 40 подготовленных материалов на двух языках, касающихся систем ведения водоподготовительного процесса и ВХР первого и второго контуров Белорусской АЭС, переработки ОЯТ и РАО, радиационного и химического мониторинга поверхностных вод в зоне расположения АЭС, 6 лабораторных работ, в том числе 1 – в формате видеофильма.

Организованы трансляции 5 лабораторных работ в режиме он-лайн, выполняемых на исследовательском реакторе ISIS Комиссариата по альтернативной и атомной энергетике Франции (г. Сакле) и включающих загрузку топлива, запуск реактора, определение реактивности, нейтронных потоков и температурных эффектов.

Материалы апробированы в рамках дисциплин «Вода в атомной энергетике», «Прикладная радиохимия», «Радиометрия», в том числе с использованием образовательной технологии Peer-led team learning (обучение лидером среди сверстников).

Подан проект и ведется разработка интеллектуальной информационной системы сотрудника Госатомнадзора для обеспечения контроля (надзора) в области ядерной и радиационной безопасности по заданию 1-02 «Разработать методы, алгоритмы, компьютерные технологии и внедрить интеллектуальную информационную систему сотрудника Госатомнадзора Республики Беларусь для обеспечения контроля (надзора) в области ядерной и радиационной безопасности» ГНТП «Интеллектуальные информационные технологии», (2016–2020 гг.)

Выполнены хозяйственные договоры:

- №375/2017 от 1 марта 2017 г. с 202 Химмотологическим центром горючего Вооружённых Сил Республики Беларусь «Исследование алгоритмов повышения производительности системы контроля качества и управления запасами ГСМ Вооружённых Сил Республики Беларусь»«E-lab ГСМ»
- № 435/2017 от «01» декабря 2017 г. с Госатомнадзором РБ «Исследование подходов и разработка стратегии Госатомнадзора по организации учета и контроля ядерных материалов, радиоактивных отходов и отработавшего ядерного материала»

Получено 6 актов внедрения результатов НИР в учебный процесс.

Результаты работы могут быть использованы в учебном процессе учреждений образования республики, готовящих специалистов для ядерной энергетики РБ, а также для информирования населения и учащихся средних школ по вопросам ядерной энергетики и радиационной безопасности, в том числе на базе учебно-тренировочного центра Белорусской АЭС, с целью повышения

грамотности населения в данной области и интернет-культуры молодого поколения.

НИР выполнена в соответствии с плановым заданием полностью, в срок, на высоком научном уровне.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сытова, С. Н. Контент учебно-научного портала ядерных знаний BelNET [Текст] / С. Н. Сытова [и др.]. // Вышэйшая школа. – 2016. – № 5. – С.22-27.
2. Система дистанционного обучения в рамках учебно-научного портала ядерных знаний BelNet / С. Н. Сытова [и др.] // Международный конгресс по информатике: информационные системы и технологии = International Congress on Computer Science: Information Systems and Technologies [Электронный ресурс]: материалы междунар. науч. конгресса, Республика Беларусь, Минск, 24–27 окт. 2016 г. / редкол.: С. В. Абламейко (гл. ред.), В. В. Казаченок (зам. гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2016. - С. 737-742. URL: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/160489> ISBN 978-985-566-369-1.
3. Сытова, С.Н. Принципы формирования контента учебно-научного портала ядерных знаний BelNET / С.Н. Сытова, М.Д. Дежурко, И.Я. Дубовская и др. // Фундаментальные и прикладные физические исследования. 2010–2016 гг. М., БГУ – 2016. – С.400–417
4. Сытова, С.Н. Система электронного документооборота аккредитованной испытательной лаборатории eLab / С.Н.Сытова, С.В.Черепица // Коммерциализация результатов научно-технических разработок организаций Республики Беларусь. Сборник трудов. СЗАО «Компания по развитию индустриального парка. Минск, 2016. С.459–462
5. S.N.Sytova et al. Basic and applied science at the portal of nuclear knowledge BelNET // ISMART 2016: тезисы пятой междунар. конф., 26 – 30 сентября 2016 г., Минск, Беларусь. – Минск: Изд. Центр БГУ, 2016. – С. 119–120.
6. Сытова, С. Н. Программное обеспечение для электронного портала ядерных знаний BelNET / С. Н. Сытова [и др.]. // Тезисы 9 Межд. научно-техн. конф. «Информационные технологии в промышленности, логистике и социальной сфере» ITI*2017, 23–24 мая 2017 года, Минск. С.144-145
7. Сытова, С. Н. Белорусское программное обеспечение для автоматизации систем учета и контроля в Вооруженных Силах Республики Беларусь / С. Н. Сытова [и др.]. // 7-я Международная научная конференция по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения: сборник научных статей. – 2017. – С. 213-222
8. Сытова, С. Н. Интеллектуальная информационная система eLab для обеспечения контроля (надзора) в области ядерной и радиационной безопасности / С. Н. Сытова [и др.]. //Материалы IV научно-практическая конференция с международным участием, 18-19 октября 2017 г. «Экологическая и радиационная безопасность объектов атомной энергетики». – Калининград: Изд. Дом «РОСТ-ДООАФК», 2017. – С. 71-78
9. Sytova S.N. Information technology in the field of nuclear and radiation safety /S.N.Sytova [et al.]// Nonlinear Dynamics and Applications. – 2016 (published 2017). – Vol.22. – P.258-264

10. Сытова, С. Н. Возможности формирования контента учебно-научного портала ядерных знаний BelNET / С. Н. Сытова [и др.]. // VI Конгресс физиков Беларуси (20-23 ноября 2017): Сборник научных трудов. / редкол.: С.Я. Килин (гл.ред.) [и др.]. – Минск : Институт физики НАН Беларуси, 2017. – С.399-400
11. Sytova, S.N. Knowledge presentation in the content management system eLab-Science / S.N.Sytova [et al.]// Proc. Int. conf. «Open Semantic Technologies for Intelligent Systems» OSTIS-2018 (Minsk, February 15–17 2018) . – P. 365-368
12. Сытова С.Н. Информационные и интернет-технологии для изучения динамики излучения сильноточных пучков заряженных частиц в неоднородных пространственно-периодических структурах // Тезисы докладов 4-я Межд. научно-практ. конф. WebConf2018, Минск, БГУ, 14-18 мая 2018. С. 113
13. Dunets, A.P. Full-text search of documents in the content management system eLab-Science / A.P.Dunets, S.N.Sytova [et al.]// Abstr. 4-th Int. conf. WebConf2018 (Minsk, May 14–18, 2018) . – P. 82
14. Bell, D. The Coming of Post-Industrial Society: A Venture in Social Forecasting [Text] / D. Bell. – New York: Basic Books, 1973. – ISBN 0-465-01281-7.
15. Ковалев, М.М. Будем строить экономику знаний [Текст] / М.М. Ковалев // Экономика Беларуси. – № 3. – 2010. – С. 62-66.
16. Kosilov, A. Knowledge Management for a New Nuclear Power Infrastructure [Text] / A. Kosilov, Y. Yanev, T. Mazour // Int. J. Nuclear Knowledge Management. – 2009. – Vol. 3, N 4. – P. 431-440.
17. Talwar R., Hancock T. The Shape of Job to Come: Final Report, Fast Future Research [Electronic Resource]. – 2010. – Режим доступа : www.fastfuture.com. – Дата доступа: 01.12.2015.
18. Дубовская, И.Я. Создание учебно-научного портала ядерных знаний / И.Я. Дубовская [и др.] // материалы межд. науч.-техн. конф., приуроченной к 50-летию МРТИ-БГУИР, Минск, 18–19 марта 2014 / БГУИР. – Минск, 2014. – С. 450–451.
19. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 10.09.2008 № 1329 «Об утверждении Государственной программы подготовки кадров для ядерной энергетики Республики Беларусь на 2008–2020 годы» (в ред. постановления Совмина от 28.11.2013 № 1023). – Минск, 2013. – 42 с.
20. Сытова, С. Н. Возможность использования системы электронного документооборота e-Lab для создания учебно-научного портала ядерных знаний / С.Н.Сытова, .В.Черепица, А.С.Лобко // Сборник научных трудов IV Конгресс физиков Беларуси (24-26 апреля 2013 г. Минск). – С. 419-420.
21. Сытова, С. Н. Возможность использования системы электронного документооборота «E-Lab» для создания учебно-научного портала ядерных знаний / С. Н. Сытова, С.В.Черепица, А. С. Лобко // Труды Международного конгресса по информатике «Информационные системы и технологии – CSIST’2013», г. Минск, 4-7 ноября 2013 г. – С.254-259.

22. Жданова, Г.В. Особенности водоподготовки при получении технической воды для Южно-Украинской АЭС / Г.В. Жданова [и др.] // Вода: химия и экология. – 2011. – № 1. – С. 19–23.
23. Груздев, Е.Н. Водоподготовительная установка с применением мембранной технологии / Е.Н. Груздев, Е.Н. Стариков // Технопроект [электронный ресурс] – 2016. – Режим доступа: http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/45/026/45026188.pdf. – Дата доступа: 28.12.2018.
24. Поворов, А.А. Системы водоподготовки и водоочистки для предприятий теплоэнергетики. Концепция бессточной системы водопользования/ А.А. Поворов, А.С. Сенатов // Повышение эффективности энергетического оборудования: материалы VI всерос. науч.-практ. конф., Иваново, 6–8 декабря 2011 / Ивановский гос. энергетический ун-т; редкол.: А.В. Мошкарин [и др.]. – Иваново, 2011. – С. 333–339.
25. Сажин, Б.С. Баромембранные технологии для современных водоподготовительных установок объектов энергетики / Б.С. Сажин [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. – 2011. – Т. 25, № 4. – С. 94–102.
26. Громов, С.Л. Технологические решения, повышающие экономическую эффективность и экологическую безопасность водоподготовительных установок / С.Л. Громов, А.А. Пантелеев // Повышение эффективности энергетического оборудования: материалы V юбилейной всерос. науч.-практ. конф., Иваново, 1–2 ноября 2010 / Ивановский гос. энергетический ун-т; редкол.: А.В. Мошкарин [и др.]. – Иваново, 2010. – С. 97–104.
27. Высоцкий, С.П. Совершенствование экологических показателей технологий обессоливания воды / С.П. Высоцкий, М.В. Коновальчик // Вестник ДонНТУ. – 2016. – № 1. – С. 77–87.
28. Бушуев, Е.Н. Анализ современных технологий водоподготовки на ТЭС / Е.Н. Бушуев, Н.А. Еремина, А.В. Жадан // Вестник ИГЭУ. – 2013. – №1. – С. 1–8.
29. Система кодирования KKS / Институт энергетических систем [электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа: <http://enersys.ru/support/podderzhka/dokumentaciya/kodirovka-kks>. – Дата доступа: 28.12.2018.
30. Проектная документация, 5.7.4 «Водный режим, водоподготовка». ОАО «НИАЭП». – РУП «Белорусская атомная электростанция», 2013. – Т.1, кн. 1 – 437 с.
31. Chemistry Programme for Water Cooled Nuclear Power Plants / IAEA Safety Standards for protecting people and the environment. – Vienna: IAEA, 2011. – 68 р.
32. Воронов, В.Н. Химико-технологические режимы АЭС с водо-водяными энергетическими реакторами: учебное пособие для вузов / В.Н. Воронов, Б.М. Ларин, В.А. Сенина. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 390 с.

33. Маргулова, Т.Х. Водные режимы тепловых и атомных электростанций / Т.Х. Маргулова, О.И. Мартынова. – М.: Высшая школа, 1987. – 320 с.
34. Фрог, Б.Н. Водоподготовка: учебное пособие для вузов / Б.Н. Фрог, А.П. Левченко. – М.: Издательство МГУ, 1996. – 680 с.
35. Мировые водные технологии [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://wwtec.ru>. – Дата доступа: 28.12.2018.
36. «Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС)» в составе «Обоснования инвестирования в строительство АЭС в Республике Беларусь» / РУП «Белнипиэнергопром»
37. Пирогов, А.В. Анализ сверхчистых вод методом ионной хроматографии / А.В. Пирогов, А.Д. Смоленков, О.А. Шпигун // Рос.хим. ж. – 2005. – Т. 49, №2. – С. 31–40.
38. Воробьева, И.С. Определение анионов в теплоносителе первого контура атомных электростанций с борным регулированием методом ионной хроматографии / И.С. Воробьева, В.С. Гурский, Е.Ю. Харитоновна // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2013. – Т. 79, №6 – С. 21–24.
39. Гурский, В.С. Ионная хроматография в обеспечение химико-технологического контроля в ядерной энергетике / В.С. Гурский // Проблемы и перспективы развития химического и радиохимического контроля в атомной энергетике: материалы VII межотраслевой научно-технической конф., 16–18 сен. 2014 г. /ФГУП «НИТИ» им. А.П. Александрова; ред. А.А. Ефимов. – Сосновый бор, 2014. – С. 39–45.
40. International Atomic Energy Agency // Safety Glossary, Terminology used in Nuclear Safety and radiation Protection. – 2007. – Vienna: IAEA, 2007. – 238 p.
41. Махонько, К.П. Руководство по организации контроля состояния природной среды в районе расположения АЭС / К.П. Махонько – Ленинград: Гидрометеиздат 1990. – 264 с.
42. Махонько, К.П. Контроль за радиоактивным загрязнением природной среды в окрестностях АЭС / К.П. Махонько, А.Н. Шкуратова, И.Г. Шкуратова. – Ленинград: Гидрометеиздат 1985. - 136 с.
43. Радиационная безопасность в атомной энергетике/ Л.А. Булдаков [и др.]; под общ. ред. Л.А. Булдакова. – Москва: Атомиздат 1981. – 118 с.
44. Методические рекомендации по определению радиоактивного загрязнения водных объектов/ Под ред. С.М. Вакуловского. – Москва: Гидрометеиздат 1986. – 78 с.
45. Белорусская АЭС в составе 2-х энергоблоков. Рабочая документация. Программа комплексного экологического мониторинга, Книга 3. Программа мониторинга наземных и водных экосистем. Предварительные наблюдения за объектами мониторинга окружающей среды для организации МОС / Акционерное общество Нижегородская инжиниринговая компания «Атомэнергопроект». - 2015. -106 с.
46. Белорусская АЭС Блок 2. Предварительный отчет по обоснованию безопасности. Глава 1. Общее описание атомной станции, Книга 1 /

- Акционерное общество инжиниринговая компания «Атомстройэкспорт». - 2013. - 623 с.
47. Программа комплексного экологического мониторинга. Программа радиационного мониторинга окружающей среды на период сооружения. Книга 2 / Акционерное общество инжиниринговая компания «Атомстройэкспорт». - 2017. – 93 с.
 48. Санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии и источников ионизирующего излучения»: Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь, 31.12.2013, № 137 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2014. - №8/28341. – 50 с.
 49. Отчет о НИР. Сбор и анализ многолетних наблюдений (за 20 лет) метеорологических параметров по румбам в зоне размещения Белорусской АЭС. Расчет метеорологических параметров для определения размеров СЗЗ и ЗН Белорусской АЭС» / Республиканский центр радиационного контроля и мониторинга окружающей среды. – 2013. - 44 с.
 50. Технический отчет. Радиационный мониторинг. Годовой цикл наблюдений. 2017 год. Годовой отчет за 2017 год / Государственное учреждение «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» (Белгидромет). - 2018. – 513 с.
 51. Гигиенический норматив «Критерии оценки радиационного воздействия»: Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь, 28.12.2012, № 213 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. - №8/26850. – 2013. – 26 с.
 52. Нормы и правила по обеспечению ядерной и радиационной безопасности «Требования к эксплуатирующей организации по осуществлению радиационного мониторинга в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения атомной электростанции»: Постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, 30.06.2016, № 29 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2016. - №8/31074. – 10 с.
 53. Отчет по результатам исследования исходного радиационного состояния окружающей среды в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения АЭС (отчет о «нулевом фоне») / Акционерное общество инжиниринговая компания «Атомстройэкспорт». - 2017. – 73 с.
 54. Osborne, R.V. Tritium Hazard Report: Pollution and Radiation Risk from Canadian Nuclear Facilities / R.V. Osborn // Review of the Greenpeace report: Canadian Nuclear Association. - 2007. – 39 p.
 55. Иванов, В.И. Курс дозиметрии: Учебник для физических и физико-технических специальностей. Издание 4-е, дополненное и переработанное / В.И. Иванов. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 399 с.
 56. Козлов, В.Ф. Справочник по радиационной безопасности / В.Ф. Козлов. – М.: Энергоатомиздат, 1999. – 515 с.

57. Моисеев, А.А. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене/ В.И. Иванов. – Москва: Энергоатомиздат 1990. - 252 с.
58. Носовский, А.В. Радиационная безопасность и защита атомных электрических станций / А.В. Носовский [и др.]. – Харьков: Оберіг, 2008. – 356 с.
59. Технический отчёт. Гидрологические наблюдения в районе размещения АЭС. Мониторинг режима поверхностных вод. Годовой цикл наблюдений. 2016 год / Государственное учреждение «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» (Белгидромет). – 2017. – 244 с.
60. Технический отчет. Мониторинг загрязнения приземного слоя атмосферы, наземных и водных экосистем, водных объектов, состояния водных биологических ресурсов в районе размещения АЭС. Годовой цикл наблюдений. 2015 год / Институт природопользования НАН Беларуси. - 2016. – 219 с.
61. Ильин, Л.А. Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества / Л.А. Ильин, В.А. Филов, Б.А. Ивин. – Санкт-Петербург: Химия, 1995. – 465 с.
62. Информационный отчет. Мониторинг загрязнения приземного слоя атмосферы, наземных и водных экосистем, водных объектов, состояния водных биологических ресурсов в районе размещения АЭС. Годовой цикл наблюдений. 2014 год / Институт природопользования НАН Беларуси. - 2014. – 66 с.
63. Пятый национальный доклад Республики Беларусь «О выполнении объединенной конвенции о безопасности обращения с радиоактивными отходами». – Минск, 2014.
64. Международное агентство по атомной энергии. Классификация радиоактивных отходов, Серия норм МАГАТЭ по безопасности, № GSG-1. – МАГАТЭ, Вена, 2014.
65. Нормы и правила по обеспечению ядерной и радиационной безопасности «Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения», Постановление МЧС Республики Беларусь от 28.09.2010 № 47, редакция МЧС РБ 24.07.2017 № 33.
66. Международное агентство по атомной энергии. Технологические и организационные аспекты обращения с радиоактивными отходами, Серия учебных курсов, № 27. – МАГАТЭ, Вена, 2005.
67. СТО 1.1.1.03.004.1099-2016. Обращение с радиоактивными отходами на атомных станциях АО «Концерн Росэнергоатом», 2016.
68. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Правила безопасности при обращении с радиоактивными отходами атомных станций». НП-002-15. – Госатомнадзор России, 2015.
69. Государственная программа «Научное сопровождение развития атомной энергетики в Республике Беларусь». Мероприятие 3. Совершенствование технологии обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом. Отчет о НИР. Национальная академия наук Беларуси. Государственное научное учреждение «Объединенный институт

- энергетических и ядерных исследований – СОСНЫ». Инв. № 1662. – Минск, 2014.
70. Белорусская АЭС. Блок 1. Окончательный отчет по обоснованию безопасности (Предварительная редакция). Глава 10 Обращение с радиоактивными отходами. – Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», АО ИК «АСЭ», 2017.
 71. Белорусская АЭС. Энергоблоки № 1 и № 2. Схема обращения с РАО. – АО «НИАЭП», 2016.
 72. Белорусская АЭС. Проектная документация. Раздел 5 Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технологических решений. – АО «НИАЭП», 2013.
 73. Андриюшин, И. А. Обзор проблем обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом / И. А. Андриюшин, Ю. А. Юдин. – Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2010. – 119 с.
 74. Цыпленков, В. С. Учебный курс МАГАТЭ «Обращение с радиоактивными отходами. Технологии по обращению с отходами перед захоронением». – Москва, 2007.
 75. Ultrafiltration of water containing natural organic matter: heavy metal removing in the hybrid complexation–ultrafiltration process/ A. Alpatova [et. al.] // Separation and Purification Technology. - 2004. - № 40. - P. 155-162.
 76. Горová А.И., Орлов Д.С., Щербенко О.В. Гуминовые вещества/ А.И. Горová - Киев: Наук. думка, 1995. - 304 с.
 77. Гуминовые вещества в биосфере / Под ред. Д.С. Орлова. - М.: Наука, 1993. - 238 с.
 78. Способ получения гуминовых кислот: пат. 2176631 РФ, С 05 F 11/02 / Э.А. Блюмберг, А.Н. Зверев, А.А. Вольгемут; заявитель Э.А. Блюмберг - № 2000106148/13 заявл. 15.03.2000; опубл. 10.12.2001 // Официальный бюллетень/ Роспатент. – 2001. - № 6. - С. 234.
 79. Лурье Ю. Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод/ Ю.Ю. Лурье. - М.: Химия, 1984. - 448 с.
 80. Фомин Г.С. Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам/ Г.С. Фомин - М.: "Протектор", 2010. 1008 с.
 81. Муравьев А.Г. Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами / А.Г. Муравьев. – Спб.: Крисмас, 2004. – 248 с.
 82. Вода. Метод определения химического потребления кислорода: ГОСТ 31859-2012. - Введ. 01.01. 2014 Москва: Межгос. Совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Стандартиформ, 2014. – 7 с.