

СООРУЖЕНИЕ КОМПЛЕКСА ПЕРЕРАБОТКИ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ НА БЕЛОЯРСКОЙ АЭС

В.И. Булатов¹, А. О. Ташлыков¹, О. Л. Ташлыков²

¹Белоярская АЭС, г. Заречный, Свердловская обл., 624250, Россия, +7(34377)30074

²ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»,
ул. Мира, 19, г. Екатеринбург, Россия, 620002,
тел./факс +7(343)375-95-08, e-mail: otashlykov@list.ru

doi: 10.15518/isjaee.2020.09.006

Заключение совета рецензентов: 23.08.20

Заключение совета экспертов: 23.08.20

Принято к публикации: 29.08.20

Сформулированы задачи обеспечения безопасности населения и окружающей среды при эксплуатации объектов использования атомной энергии. Обоснована необходимость окончательной изоляции кондиционированных радиоактивных отходов, образующихся в результате производственной деятельности предприятий и вывода из эксплуатации объектов использования атомной энергии. Рассмотрены современные технологии безопасного обращения с жидкими радиоактивными отходами. Обобщен опыт эксплуатации установок по переработке жидких радиоактивных отходов на атомных станциях.

Приведены возможности ионоселективной сорбции в сокращении объемов конечного радиоактивного продукта и ее преимущества по сравнению с другими методами переработки жидких радиоактивных отходов.

Представлено описание комплекса переработки жидких радиоактивных отходов, сооружаемого на Белоярской АЭС с целью повышения надежности эксплуатации и защиты окружающей среды. Перечислены методы, выбранные для реализации программы переработки жидких радиоактивных отходов, и технологические линии, входящие в состав производства.

Представлено описание блочно-модульной установки ионоселективной очистки, предназначенной для переработки кубовых остатков из баков хранилищ жидких радиоактивных отходов. Приведено описание блочно-модульной установки кондиционирования ионообменных смол, использованных для очистки кубового остатка и трапных вод от радионуклидов кобальта и цезия, и продуктов коррозии других переходных металлов, с целью получения концентрированного нерадиоактивного солевого продукта и его расфасовки в первичные упаковки.

Описана установка цементирования, предназначенная для переработки шламов радиоактивных отходов из баков и резервуаров хранилищ, шламов от установки ионоселективной очистки, путем включения в цементную матрицу радиоактивных отходов.

Описаны мероприятия по предотвращению выбросов в окружающую среду при функционировании комплекса переработки жидких радиоактивных отходов. Приведены сведения о системах статических и динамических барьеров, предотвращающих поступление радионуклидов в окружающую среду при эксплуатации комплекса переработки жидких радиоактивных отходов. Представлены технические и организационные меры по защите барьеров и сохранению их эффективности в соответствии общими положениями обеспечения безопасности атомных станций.

Ключевые слова: защита и безопасность, радиоактивные отходы, обращение с радиоактивными отходами, жидкие радиоактивные отходы, (ЖРО), переработка радиоактивных отходов, комплекс по переработке ЖРО, ионоселективная очистка ЖРО, цементирование ЖРО, фильтр-контейнер.



CONSTRUCTION OF A LIQUID RADIOACTIVE WASTE PROCESSING COMPLEX AT BELOYARSK NPP

V.I.Bulatov¹, A.O.Tashlykov¹, O.L. Tashlykov²

¹Beloyarskaya NPP, Zarechny, Sverdlovsk Reg., 624250, Russia, Tel.: +7(34377)30074

²Federal State Autonomus Educational Institution of Higher Education

“Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin”,

19 Mira street, Yekaterinburg, 620002, Russia, Tel.: +7 (343) 375-95-08, e-mail: otashlykov@list.ru

doi: 10.15518/isjaee.2020.09.006

Referred: 23.08.20

Received in revised form: 23.08.20

Accepted: 29.08.20

The tasks of ensuring the safety of the population and the environment during the operation of nuclear facilities are formulated. The necessity of the final isolation of conditioned radioactive waste generated as a result of production activities of enterprises and decommissioning of nuclear facilities is substantiated. Modern technologies for the safe management of liquid radioactive waste are considered. The experience of operation of liquid radioactive waste processing facilities at nuclear power plants is summarized.

The capabilities of ion-selective sorption for the reduction of final radioactive product volume and its advantages in comparison with other methods of radioactive waste treatment are given.

A description is given of a complex for liquid radioactive waste reprocessing which is being built at the Beloyarsk NPP in order to increase the reliability of operation and environmental protection. The methods chosen for the implementation of the liquid radioactive waste reprocessing program are listed as well as the processing lines forming the facility.

The description is presented of a block-module facility of ion-selective treatment designed for the reprocessing of the residuum from the tanks of the liquid radioactive waste storages. Described is the block-module facility for the conditioning of the ion-exchange resins which were utilized for the purification of the residuum and discharged water from cobalt and cesium radionuclides and corrosion products of other transition metals, in order to gain the concentrated non-radioactive saline product and to pack it in the primary containers.

A cementation facility is described which is designed for reprocessing of the sludge of radioactive waste from the tanks and vessels of the storages and the sludge of the ion-selective treatment facility by inclusion of radioactive waste into the cement blocks.

The measures to prevent emissions into the environment during the operation of the liquid radioactive waste reprocessing complex are described. The data are presented on the systems of static and dynamic barriers preventing the ingress of radionuclides into the environment during the operation of the liquid radioactive waste reprocessing complex. The technical and managerial means are presented intended to protect the barriers and to preserve its efficiency in accordance with the general regulations of nuclear power plants safety ensuring.

Keywords: protection and safety, radioactive waste (RW), radioactive waste management, liquid radioactive waste (LRW), RW reprocessing, LRW reprocessing complex, ion-selective purification of LRW, cementation of LRW, container filter.



*Булатов Владимир
Иванович
Bulatov Vladimir
Ivanovich*

Сведения об авторе: Белоярская АЭС, Цех по обращению с радиоактивными отходами, начальник цеха

Образование: УГТУ-УПИ, Атомные станции и установки, инженер

Область научных интересов: ядерная энергетика и технологии, радиационная безопасность, обращение с радиоактивными отходами.

Публикации: 2

Information about the author: Beloyarskaya NPP, radioactive waste treatment department, superintendent.

Education: UGTU-UPI

Research area: nuclear energy and technologies, personnel radiation safety, radioactive waste management

Publications: 2 scientific works



*Ташлыклов Антон
Олегович
Tashlykov Anton
Olegovich*

Сведения об авторе: Белоярская АЭС, Цех по обращению с радиоактивными отходами, инженер

Образование: УГТУ-УПИ, 2005, Атомные станции и установки, инженер

Область научных интересов: ядерная энергетика и технологии, радиационная безопасность, обращение с радиоактивными отходами.

Публикации: 2

Information about the author: Beloyarskaya NPP, radioactive waste treatment department, engineer.

Education: UGTU-UPI, 2005

Research area: nuclear energy and technologies, personnel radiation safety, radioactive waste management

Publications: 2 scientific works



*Ташлыклов Олег
Леонидович
Tashlykov Oleg
Leonidovich*

Сведения об авторе: канд. техн. наук, доцент, Уральский федеральный университет.

Образование: Томский политехнический институт, 1978.

Область научных интересов: ядерная энергетика и технологии, радиационная безопасность, оптимизация ремонтных работ на АЭС.

Публикации: 2 монографии, 4 учебника, 10 учебных пособий, 336 научных публикаций

Information about the author: Associate Professor of "Nuclear Power Plants and Renewables" Department

Cand. Sci (Engineering), Ural Federal University

Education: Tomsk Polytechnic Institution, 1978

Research area: nuclear energy and technologies, personnel radiation safety, optimization of repair works at NPP

Publications: 2 monographs, 4 textbooks, 10 tutorials, 336 scientific works

Введение

Образование радиоактивных отходов является специфической особенностью функционирования АЭС. Поэтому решение проблемы экологически безопасного обращения с радиоактивными отходами (РАО) наряду с обеспечением безопасной эксплуатации АЭС, является определяющим условием приемлемости атомной энергетики, как надежного источника, обеспечивающего устойчивое развитие человечества [1].

Радиоактивные отходы представляют собой не подлежащие дальнейшему использованию материалы и вещества, а также оборудование, изделия (в том числе отработавшие источники ионизирующего излучения), содержание радионуклидов в которых превышает уровни, установленные в соответствии с критериями, установленными Правительством Российской Федерации [2]. В зависимости от агрегатного состояния, РАО подразделяются на твердые, жидкие и газообразные. Скорость образования эксплуатационных РАО зависит от типа реакторной установки АЭС, качества ее эксплуатации и многих других причин. Все РАО подвергаются на АЭС очистке или дополнительной обработке на специальных установках. При этом одной из главных задач является уменьшение объемов (концентрирование) радиоактивных отходов, а также перевод их в форму (вид), удобную для надежного длительного хранения и захоронения [3].

На 1 января 2020 года в России эксплуатируются 38 ядерных энергетических установок на 11 АЭС. В стране действует 23 реактора типа ВВЭР. Из них 13 реакторов типа ВВЭР-1000, три реактора типа ВВЭР-

1200; пять реакторов типа ВВЭР-440, две реакторных установки типа КЛТ-40С электрической мощностью по 35 МВт (ПАТЭС «Академик Ломоносов», Певек). Также в промышленной эксплуатации находятся 13 энергоблоков с канальными реакторами (10 энергоблоков с реакторами типа РБМК-1000 и три энергоблока с реакторами типа ЭГП-6); два энергоблока с реакторами на быстрых нейтронах (БН-600 и БН-800).

По данным МАГАТЭ на данный момент во всем мире окончательно остановлены 187 реакторных установок. Наибольшее количество приходится на 4 страны: США - 37 установок (почти 20% от общего числа отключенных реакторов); Германия - 30 реакторов (16%); Великобритания - 30 реакторов (16%); Япония - 27 реакторов (14,4%) [4]. В России окончательно остановлены два энергоблока на Белоярской АЭС, три – на Нововоронежской, по одному – на Ленинградской и Билибинской АЭС [5].

В 2005 г. Российская Федерация подписала и ратифицировала Объединенную конвенцию МАГАТЭ о безопасности обращения с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) и о безопасности обращения с РАО. В 2011 г. был принят Федеральный закон №190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», в котором закреплён принцип обязательного захоронения всех РАО. Принятие данного Федерального закона позволило приступить к решению проблемы реализации заключительного этапа жизненного цикла АЭС (снятия с эксплуатации) и безопасного конечного хранения РАО в соответствии с требованиями международных документов и отечественной нормативной и законодательной



базы. Отечественный и международный опыт показывает, что основной задачей при обращении с РАО для объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) становится необходимость окончательной изоляции кондиционированных РАО, образующихся в результате производственной деятельности предприятий и вывода из эксплуатации ОИАЭ.

В 2013 году была утверждена стратегия АО «Концерн Росэнергоатом» (КРЭА), в которой предусмотрен широкий набор мер: начиная от снижения образования РАО и до развития систем их переработки с обеспечением переработки всех образующихся и накопленных РАО и приведением их в соответствие с установленными критериями приемлемости. На основании этой стратегии во всех филиалах КРЭА – атомных станциях – были разработаны локальные стратегии. Нормативный документ НП-093-14 [6] определил общие критерии приемлемости радиоактивных отходов для захоронения, требования к установлению критериев приемлемости РАО для

захоронения в определенный пункт захоронения РАО; требования к подтверждению соответствия РАО критериям приемлемости для захоронения; требования к паспорту РАО, передаваемых на захоронение.

В течение последующих четырех лет основная часть нормативной базы была откорректирована в соответствии с требованиями НП-093-14. Соответственно, потребовалось изменить требования к созданию самих комплексов по переработке ТРО и ЖРО. Ранее при создании АЭС и других ОИАЭ степень переработки РАО была не велика, и объем перерабатываемых РАО определялся наличием установок и действующей транспортно-технологической схемой на предприятии. В настоящее время при создании комплексов переработки РАО должны учитываться объемы как образующихся (эксплуатационных) РАО, так и объемы РАО, образующиеся при продлении сроков эксплуатации и вывода из эксплуатации ОИАЭ [7].

АСУ ТП	автоматизированные системы управления технологическими процессами
ЖРО	жидкие радиоактивные отходы
ИОС	ионообменные смолы
КП ЖРО	комплекс переработки ЖРО
КРЭА	АО «Концерн Росэнергоатом»
МАГАТЭ	Международное агентство по атомной энергии
НЗК	невозвратный защитный контейнер
ОНАО	очень низкоактивные отходы
ОЯТ	отработавшее ядерное топливо

ОИАЭ	объект использования атомной энергии
РАО	радиоактивные отходы
ТРО	твердые радиоактивные отходы
УИСО	установка ионоselectивной очистки
ФК	фильтр-контейнер
ХЖО	хранилище жидких радиоактивных отходов
IPC	Irretrievable protective container
LRW	liquid radioactive waste

1. Предмет исследования

Жидкие радиоактивные отходы (ЖРО) образуются при работе реакторных установок (например, поддержании водно-химического режима, очистке организованных протечек теплоносителя), дезактивации оборудования, помещений и спецодежды [8], [9]. По физико-химическому составу жидкие радиоактивные отходы представляют собой гомогенные или гетерогенные системы (пульпы, эмульсии, суспензии) в кислом или щелочном состоянии. Эксплуатационные РАО загрязнены продуктами деления (цезий, стронций, йод), радионуклидами коррозионного происхождения (кобальт, никель, марганец), веществами, используемыми для поддержания водно-химического режима и дезактивации оборудования [10], [11], [12]. Среди этих радионуклидов практически отсутствуют изотопы с большими периодами

полураспада, что позволяет рассматривать возможность захоронения этих РАО со сроком гарантированной изоляции 300-500 лет, по истечении которого радионуклиды полностью распадаются до допустимого уровня.

Существовавшая до недавнего времени практика обращения с радиоактивными отходами АЭС состояла в хранении твердых и упаренных жидких отходов (кубовых остатков), а также ионообменных смол и шламов в специальных хранилищах на площадках атомных станций.

Ионообменные смолы (ИОС) широко используются на АЭС для обеспечения водно-химического режима первого и второго контуров, доочистки конденсата выпарных установок и в других вспомогательных водных системах [8]. Общее количество ионообменных аппаратов на каждой АЭС составляет несколько сотен, а ежегодное потребление – десятки тонн катионитов и анионитов. Отработавшие ИОС в



основном относятся к низко - и среднеактивным отходам и направляются на хранение в отдельные емкости хранилища ЖРО.

Для кондиционирования низко - и среднеактивных ЖРО на АЭС в России и во всем мире общепринятыми считаются методы цементирования и битумирования. Цементирование заключается в смешении ЖРО с цементным клинкером, при этом он гидратируется содержащейся в ЖРО водой, а входящие в состав отходов компоненты (соли) распределяются по образовавшейся массе компаунда. Степень

наполнения компаунда солями зависит от качества клинкера и вводимых добавок. Вес образующегося компаунда всегда больше веса кондиционируемых ЖРО. Битумирование заключается в замене, содержащейся в ЖРО воды на битум. Цементирование и битумирование не приводят к сокращению количества кондиционированных РАО [13].

В табл. 2 приведены данные по сокращению объемов ЖРО при использовании цементирования, битумирования, упаривания и также ионоселективной сорбции [14].

Таблица 1

Коэффициенты сокращения объемов ЖРО при переработке различными методами

Table 1

Volume reduction factors of liquid radioactive waste (LRW) for different treatment methods

Цементирование	Битумирование	Глубокое упаривание	Остекловывание	Селективная сорбция
0,9-1,3	1,5-2,5	2-3	3-4	70-90

Существенно более высокие возможности селективной сорбции в сокращении объемов конечного радиоактивного продукта определяют её преимущества по сравнению с другими методами переработки кубовых остатков, позволяя сконцентрировать радионуклиды ЖРО в небольшом объеме сорбента.

Радиоактивные вещества в растворах кубовых остатков находятся в виде простых и комплексных ионов, нейтральных молекул и коллоидных частиц. Основными радионуклидами в кубовых остатках являются $^{134, 137}\text{Cs}$, ^{60}Co , ^{54}Mn . Для изотопов цезия характерна ионная форма нахождения. Радионуклиды кобальта и марганца в кубовых остатках находятся в форме комплексов с соединениями, которые используются для дезактивации оборудования (щавелевая, муравьиная, лимонная и этилендиаминтетрауксусная (ЭДТА) кислоты).

Нахождение кобальта и марганца в комплексной, а потому в несорбируемой форме, определяет необходимость разрушения комплексов для решения проблемы выделения этих радионуклидов из растворов. Кроме того, органические соединения, присутствующие в кубовом остатке, снижают ресурс ферроцианидных сорбентов цезия [15].

В настоящее время для разрушения комплексных соединений радионуклидов в таких средах предложено несколько способов (например, перманганатное окисление, озонирование, электрохимическое окисление), из которых в производственных условиях реализовано озонирование. Озонирование разрушает с достаточно высокой скоростью практически любые органические соединения, в том числе и комплексобразующие.

Новая концепция обращения с ЖРО, базирующаяся на технологии их ионоселективной очистки от радионуклидов, была реализована на Кольской АЭС в рамках комплекса переработки ЖРО, который был введен в эксплуатацию поэтапно в 2006-2009 гг. [16].

Основными технологическими стадиями процесса очистки ЖРО на установке ионоселективной очистки являются предварительная фильтрация и

подготовка исходного раствора, озонирование, фильтрация и селективная сорбция на ферроцианидных сорбентах в двух последовательно соединенных фильтрах-контейнерах (ФК). Конечными продуктами переработки являются, очищенный от радионуклидов солевой раствор, отработавший сорбент в ФК, шлам с фильтров, образующийся в результате озонирования (объемная активность находится на уровне исходных ЖРО) [15].

Для данной технологии могут возникать некоторые сложности, связанные со стадией озонирования, используемой для разрушения органических комплексов коррозионных радионуклидов, главным образом кобальта-60. Наиболее прочные комплексы кобальт образует с этилендиаминтетрауксусной кислотой (ЭДТА), что препятствует осаждению или сорбции радионуклидов кобальта из растворов и мешает дезактивации жидких радиоактивных отходов. Логарифм константы устойчивости комплексов кобальта (II) с ЭДТА равен 16,21. [17]. Для такого комплекса скорость озонлиза в 10^4 раз меньше по сравнению со свободными молекулами ЭДТА. Это приводит к перерасходу озона при окислении ЖРО и делает озонлиз не всегда эффективным. В результате, на АЭС могут быть емкости с трудноозонируемыми ЖРО. Для таких ситуаций разработана технология очистки без стадии озонирования с использованием специальных сорбентов. Проведенные эксперименты на Кольской АЭС в 2016 году показали хорошие результаты [15].

2. Методы и технологии

2.1. Комплекс переработки ЖРО Белоярской АЭС

На Белоярской АЭС жидкие радиоактивные отходы (ЖРО) блоков №№ 1, 2 и 3 хранятся в виде солевых растворов (кубовых остатков), пульп фильтрующих материалов и шламов трапных вод в баках



хранилищ жидких радиоактивных отходов ХЖО-1 и ХЖО-2.

С целью повышения надежности эксплуатации Белоярской АЭС и защиты окружающей среды в настоящее время реализуется проект комплекса переработки ЖРО (КП ЖРО) для получения отвержденных радиоактивных отходов, отвечающих требованиям промежуточного контролируемого хранения и последующего захоронения.

Для реализации программы переработки ЖРО Белоярской АЭС выбраны три метода:

- метод ионоселективной сорбции радионуклидов из ЖРО, позволяющий сократить объемы РАО для захоронения;

- метод отверждения ЖРО (нерастворимого шлама) посредством включения их в цементную матрицу, в форму, безопасную при хранении, транспортировании и захоронении;

- метод кондиционирования ионообменных смол (ИОС) путем их осушки.

Соответственно, в состав производства входят три технологические линии (рис. 1).

1. Блочно-модульная установка ионоселективной очистки (УИСО) предназначена для переработки кубовых остатков из баков хранилищ ХЖО-1 и ХЖО-2.

2. Блочно-модульная установка цементирования.

3. Блочно-модульная установка кондиционирования ИОС.



Рис. 1. Технологические линии по обращению с ЖРО на 1, 2, 3 блоках Белоярской АЭС
Fig. 1. Production lines of radioactive waste treatment of the 1st, the 2nd and the 3rd units of Beloyarsk NPP

Для обеспечения нормального функционирования установок КП ЖРО предусмотрены вспомогательные системы (уплотняющей и охлаждающей воды, сжатого воздуха, приготовления и подачи дезактивирующих растворов, установки паспортизации и т.д.). Управление и контроль технологического процесса установок КП ЖРО осуществляется автономными АСУ ТП.

2.2. Установка ионоселективной очистки (УИСО)

УИСО предназначена для очистки кубового остатка и трапных вод от радионуклидов ^{60}Co , ^{134}Cs , ^{137}Cs и продуктов коррозии других переходных металлов, с целью получения концентрированного нерадиоактивного солевого продукта и его расфасовки в первичные упаковки. УИСО (рис. 2) состоит из блоков приема ЖРО (I), корректировки pH (II), генерации и дожигания озона (на схеме не показаны), озонирования ЖРО (III), предварительной (IV) и тонкой фильтрации (V), дозирования (VI), ионоселективной очистки (VII), узла получения сухих солей

(VIII), газоочистки (IX), сбора и передачи шлама, системы пробоотбора (на схеме не показаны).

I. Блок приема ЖРО предназначен для приема ЖРО 1 и включает приемные баки 2 и насосы 3 для передачи ЖРО в реактор 5.

II. Блок корректировки pH включает в себя емкости кислоты, щелочи, сорбента и насосы-дозаторы для их подачи в реактор 5.

III. Блок озонирования ЖРО предназначен для проведения реакции озонирования (разложения) комплексных соединений радионуклидов в реакторе 5. Для разрушения комплексов ^{60}Co в реактор подается озон 4 в необходимом количестве из блока генерации озона. Для разрушения молекул озона, не вступивших в реакцию, газовые сдувки подаются через теплообменник 6 и фильтр 7 в блок дожигания озона 8.

IV. Блок предварительной фильтрации предназначен для фильтрации жидкой фазы, подаваемой насосами 9 после озонирования. В состав блока входят фильтры 10 для очистки декантата, емкости

фильтрата 16, насосы 15 для подачи раствора в блок тонкой очистки.

V. Блок тонкой фильтрации предназначен для удаления мелкодисперсных включений с помощью фильтров 14.

VI. Блок дозирования предназначен для дозирования солевого раствора в блок ионоселективной очистки и включает промежуточный бак 13 и насосы 12 для подачи солевого раствора на фильтры.

VII. Блок ионоселективной очистки предназначен для удаления радионуклидов ^{137}Cs из солевого раствора и включает в себя баки 17, насосы 18 для возврата солевого раствора на доочистку, боксы для фильтр-контейнеров (ФК), ионоселективные ФК 11, тележки для ФК, аэрозольный фильтр, насос 19 для подачи солевого раствора в блок получения сухих солей.

VIII. Узел получения сухих солей предназначен для упаривания солевого раствора. В состав узла входят расходный бак 20, насосы 23 для перекачки очищенного солевого раствора в сушилки 25, бочки для сушки солевого раствора 24, конденсатор 28, сборник конденсата 29, фильтр 21 на сбросе газа в систему технологических сдувок 22.

IX. Блок газоочистки предназначен для очистки неконденсируемых газов и аэрозолей, образующихся в результате конденсации вторичного пара, получаемого в результате упаривания солевого раствора, и включает в себя фильтр 27 и вакуумный насос 26.

Получаемый в УИСО шлам подается в сборник, откуда насосом направляется на установку цементирования. Для контроля за качеством процесса отбираются пробы в разных блоках и узлах технологической цепочки.

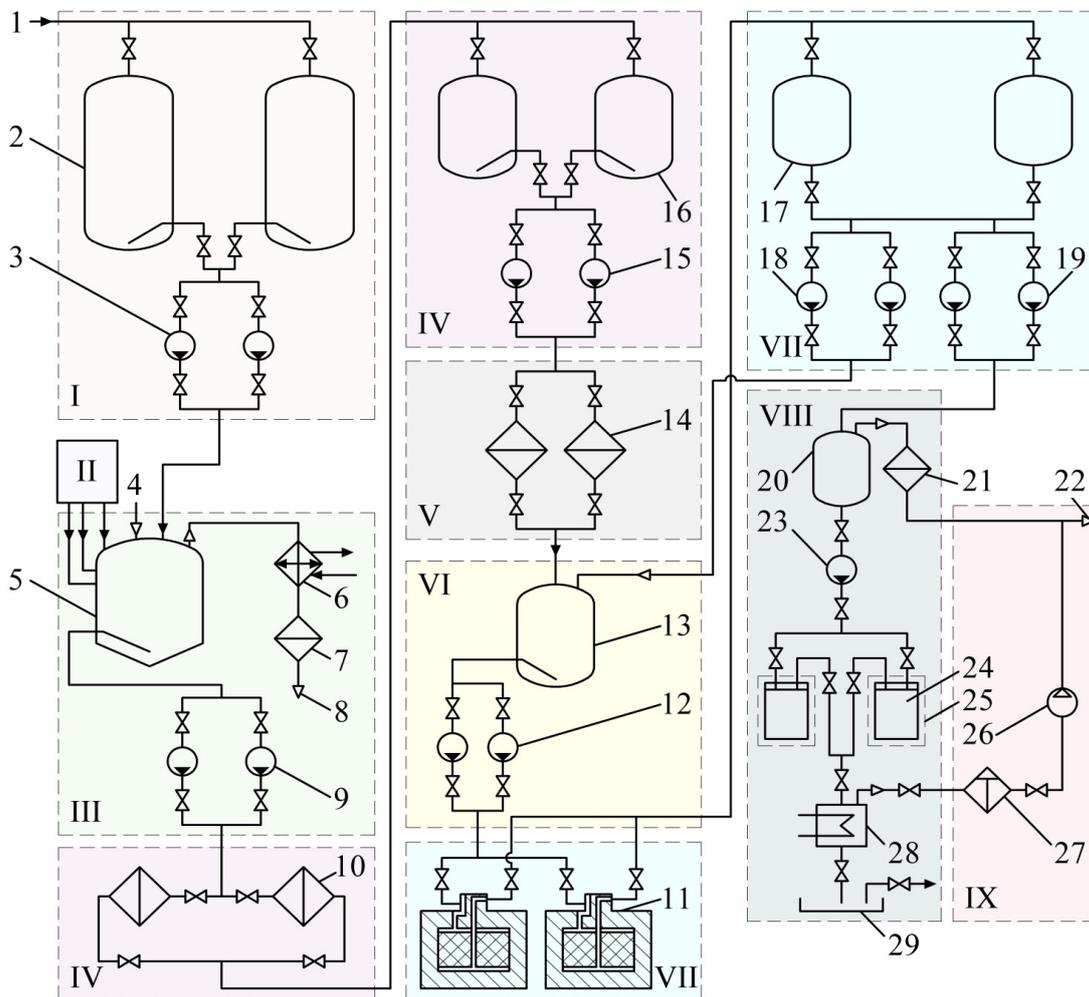


Рис. 2. Установка ионоселективной очистки
Fig. 2. The facility of ion-selective purification

2.3. Установка кондиционирования обработавших ионообменных смол

Установка ИОС предназначена для кондиционирования обработавших ионообменных смол с целью

сокращения объемов радиоактивных отходов и включает в себя следующие блоки (рис.3):

A. Блок приема и подготовки предназначен для приема пульпы фильтрующих материалов 9 и включает в себя приемные баки 7 с системой декантации; бак транспортной воды 3, насосы 12 для передачи



сгущенной пульпы в блок сушки, насосы 10 для передачи транспортной воды из приемного бака в бак транспортной воды, насосы 2 для возврата транспортной воды в баки хранения ЖРО 1, фильтры 6, 8, 11 для очистки сдувок с емкостного оборудования. Предусмотрена подача в бак сжатого воздуха 4 и дезактивирующих растворов 5.

Б. Блок сушки предназначен для удаления воды до значения критериев пригодности для длительного хранения/захоронения. В его состав входят: бак расходный 14 с фильтрами 8, сушилка 15 с электрообогревом 16, устройство загрузочное, фильтры для

очистки сдувок, насосы 13 для удаления транспортной воды, транспортная система 18 для перемещения контейнера НЗК 17 в границах технологической схемы.

В. Блок газоочистки предназначен для создания в сушилке вакуума, удаления парогазовой смеси, конденсации газов и очистки от аэрозолей неконденсирующихся газов, сбрасываемых в систему технологических сдувок 23 и включает в себя конденсатор 20, сборник конденсата 19, аэрозольный фильтр 21, вакуумный насос 22.

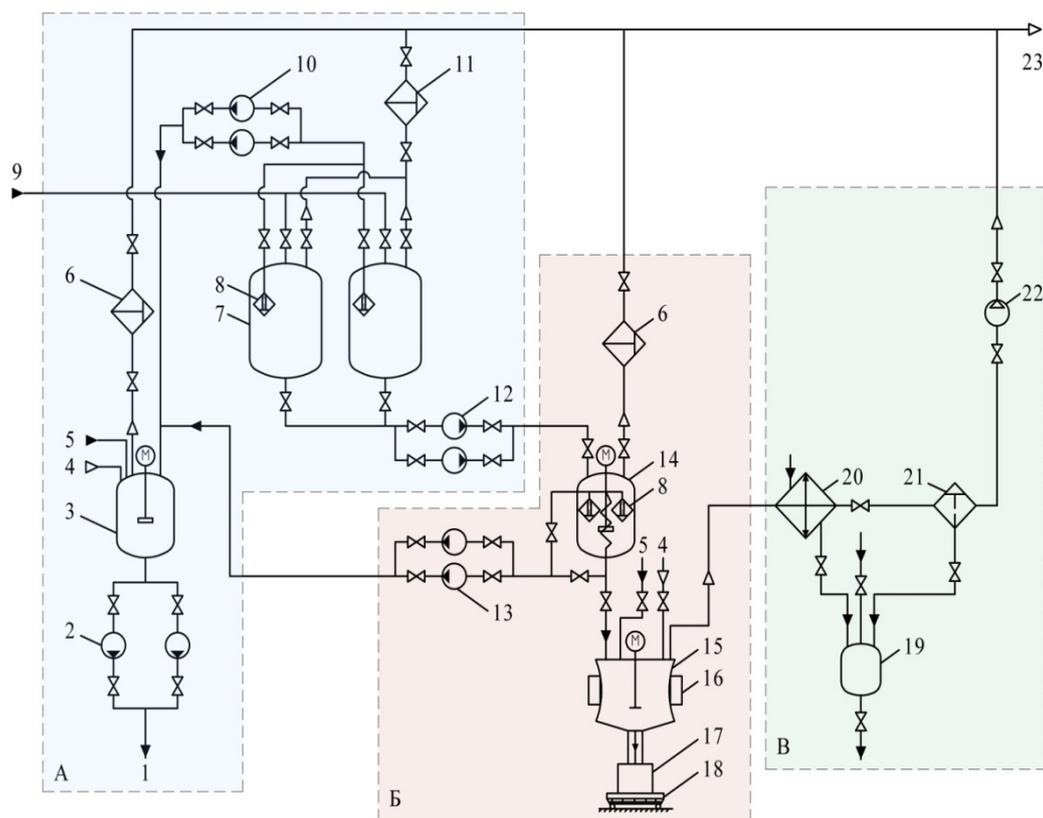


Рис. 3. Установка кондиционирования отработавших ИОС
Fig. 3. The facility of waste ion exchange resin conditioning

2.4. Установка цементирования

Установка цементирования предназначена для переработки шламов РАО из баков и резервуаров хранилищ, шламов от УИСО, путем включения в цементную матрицу радиоактивных отходов (рис.4). Цементный компаунд, получаемый в установке, с включенными в него ЖРО, отверждается в невозвратных защитных контейнерах (НЗК).

Установка цементирования включает в себя следующие блоки:

- Блок приема и выдачи ЖРО, предназначенный для приема шламов 14 из УИСО, корректировки pH ЖРО, поступающих на цементирование и дози-

рованной подачи ЖРО в НЗК для замешивания цементного компаунда.

- Блок приема и подачи сухих компонентов 10, предназначенный для приема готовой смеси цемента и сухих технологических добавок и дозированной подачи смеси в блок цементирования.

- Блок цементирования, предназначенный для смешения ЖРО и сухих компонентов с получением цементного компаунда, и включающий в себя стыковочный узел и привод перемешивающего устройства, устройство снятия-установки пробки контейнера, транспортную систему для перемещения контейнеров, фильтр.

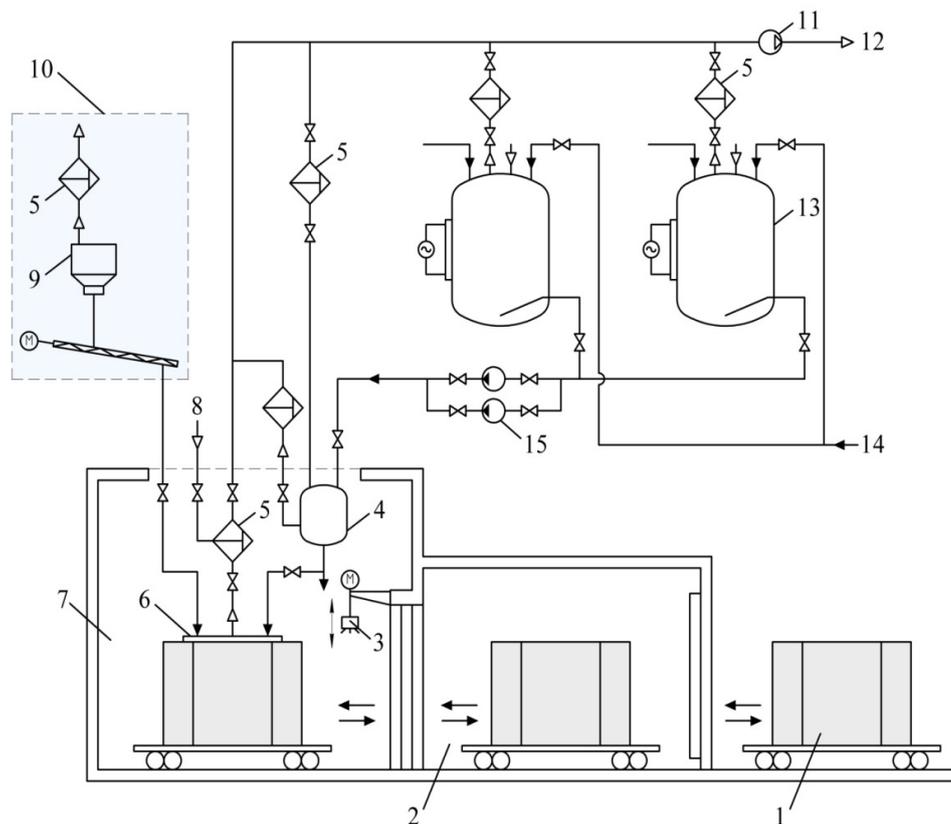


Рис. 4. Установка цементирования: 1 – невозвратный защитный контейнер (НЗК); 2 – транспортный шлюз; 3 – устройство снятия пробки НЗК; 4 – мерник; 5 – фильтр; 6 – стыковочный узел; 7 – помещение цементирования; 8 – дезактивирующий раствор; 9 – бункер; 10 – блок сухих добавок; 11 – газодувка; 12 – технологические сдувки; 13 – бак; 14 – шлам из УИСО

Fig. 4. The cementation facility: 1 – Irretrievable protective container (IPC) 2 – Transport gateway 3 – IPC plug removing device 4 – Measuring device (measuring vessel or tank) 5 – Filter 6 – Connecting node 7 – Cementation room 8 – Decontamination solution 9 – Bunker 10 – The unit of dry supplements 11 – Gas blower 12 – Technological blows-off 13 – tank 14 – Sludge from the ion-selective purification facility

3. Результаты и их обсуждение

Сооружаемый КП ЖРО Белоярской АЭС обеспечит переработку поступающих кубовых остатков из баков хранения методом ионоселективной очистки с последующим цементированием шламов непосредственно в контейнерах НЗК-150-1,5П и получением сухих солей (промышленные отходы) в металлических бочках; кондиционирование ионообменных смол методом сушки до содержания влаги 3% с упаковкой в контейнеры НЗК-150-1,5П, транспортирование свежих фильтр-контейнеров (ФК) со склада, замену отработавших ФК и передачу их в промежуточное хранилище на территории Белоярской АЭС; очистку газовых фаз до требований санитарных норм перед выбросом их в атмосферу [18]; вывоз контейнеров с радиоактивным компаундом с установки цементирования; с осушенными ионообменными смолами; ФК с отработавшим сорбентом в хранилище ТРО БАЭС; вывоз очищенного солевого продукта в пункт хранения ОНАО.

Предотвращение поступления радионуклидов в окружающую среду при эксплуатации КП ЖРО обеспечивается системой статических и динамиче-

ских барьеров на пути распространения радиоактивных веществ в окружающую среду, а также техническими и организационными мерами по защите барьеров и сохранению их эффективности в соответствии с требованиями НП-001-15 [19].

Статическими барьерами являются: стенки сосудов, насосов, трубопроводов, обеспечивающих сбор, временное хранение и перекачивание ЖРО; стены помещений, обеспечивающих защиту от ионизирующих излучений при размещении в них оборудования, трубопроводов и сосудов для сбора жидких радиоактивных отходов; металлические облицовки пола и стен помещений с емкостями для сбора ЖРО, на высоту превышающую уровень жидкости, при опорожнении в результате разгерметизации емкости; приемки, трапы и трубопроводы спецканализации, обеспечивающие сбор и отвод протечек от оборудования, сосудов и трубопроводов при нарушении их герметичности; гидроизоляция фундаментной плиты здания установок ЖРО, препятствующая выходу радионуклидов в землю; герметичные проходки в стенах для приводов оборудования, трубопроводов, кабелей; герметичные двери в необслуживаемых помещениях; наблюдательные скважины в составе

действующей автоматизированной системы контроля радиационной обстановки [20].

Динамические барьеры предусматривают очистку вентиляционного воздуха помещений с возможным выделением радиоактивных аэрозолей и технологических сдувок перед выбросом в вентиляционную трубу. Технологические сдувки очищаются сначала на аэрозольных фильтрах, установленных на линиях сдувок от емкостей и аппаратов установок КП ЖРО, а затем в системе вентиляции здания

Заключение

Сооружение КП ЖРО Белоярской АЭС является важной частью стратегии обращения с РАО, реализация которой позволит сформировать систему, целевое состояние которой будет соответствовать основным положениям Федерального закона №190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»: все РАО, образующиеся в организации, приводятся в соответствие с критериями приемлемости, после чего передаются Национальному оператору. Захоронение РАО оплачивается организацией, в результате деятельности которой РАО образовались.

В настоящее время комплексы по обращению с РАО на АЭС РФ, эксплуатируемые и сооружаемые, используют современные технологии, обеспечивающие безопасное обращение с РАО на всех этапах, начиная с процессов сбора, сортировки и транспортирования до переработки и получения конечной упаковки для передачи Национальному оператору. При этом конечный продукт в виде кондиционированных РАО обеспечивает надежную изоляцию содержащихся в них радионуклидов от окружающей среды в течение необходимого срока изоляции.

Список литературы

1. Новиков Г.А. Обеспечение безопасности в области использования атомной энергии: учебник / Г.А. Новиков, О.Л. Ташлыков, С.Е. Щеклеин. – Екатеринбург : Изд-во Урал. Ун-та, 2017. – 552 с.
2. О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов. Постановление Правительства Российской Федерации № 1069 от 19 октября 2012 г. М.: 2012. <https://base.garant.ru/70247038/>
3. Nosov, Y.V. Decommissioning Features of BN-350, -600 Fast Reactors / Y.V. Nosov [et al.] // Atomic Energy. – 2019. – Vol. 125. – No. 4. – Pp. 219-223.
4. <https://pris.iaea.org/PRIS/>
5. Кропачев Ю.А. Оптимизация радиационной защиты на этапе вывода энергоблоков АЭС из эксплуатации / Ю.А. Кропачев, О.Л. Ташлыков, С.Е. Щеклеин // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2019. – №1. – С.119-130.

6. НП-093-14. Критерии приемлемости радиоактивных отходов для захоронения (в ред. приказа Ростехнадзора от 17 ноября 2017 г. № 481). – М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2017. 36 с.

7. Адамович Д.В. Современные подходы к комплексам переработки и кондиционирования РАО для вновь строящихся АЭС / Д.В. Адамович [и др.] // Доклады XI международной конференции «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики» – М.: АО «Концерн Росэнергоатом». – 2018. – С.276-279.

8. Ташлыков О.Л. Эксплуатация и ремонт ядерных паропроизводящих установок АЭС: учебник / О.Л.Ташлыков [и др.]. В 2 кн. –М.: Энергоатомиздат, – 1995. – Кн.1 – 256 с.

9. Атомные электростанции с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем: учебное пособие. В 2 ч. Ч. 1 / под ред. С.Е.Щеклеина, О.Л. Ташлыкова. – Екатеринбург: УрФУ, – 2013. – 548 с.

10. Ташлыков О.Л. О проблеме снижения дозовых затрат персонала АЭС / О.Л. Ташлыков, С.Е. Щеклеин, В.И. Булатов // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2011. – №1. – С.55-60.

11. Ташлыков О.Л. Дозовые затраты персонала в атомной энергетике. Анализ. Пути снижения. Оптимизация: монография / Ташлыков О.Л. Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. RG. 2011. 232 с.

12. Ташлыков О.Л. Ремонт оборудования атомных станций: учебник / О.Л. Ташлыков. – Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та, 2018. – 352 с.

13. Переработка и кондиционирование РАО на АЭС для подготовки к окончательной изоляции / М.Р. Стахив [и др.]. – М.: ВНИИАЭС. 2013/ <https://www.atomic-energy.ru/technology/40756>

14. Арустамов А. Э. Метод ионоселективной очистки жидких радиоактивных отходов атомных станций / Арустамов А. Э. [и др.] // Безопасность жизнедеятельности. – 2005. – №11. – С. 13 – 16.

15. Ремез В.П. Повышение Эффективности локализации радионуклидов кобальт-60 и цезий-137 из жидких радиоактивных отходов в решении проблемы обеспечения радиационной безопасности АЭС / Ремез В.П. [и др.] // Ядерная физика и инжиниринг. – 2016. – Том 7. – № 2. – С. 129–137.

16. Аvezниязов С. Р. Опыт работы по обращению с ЖРО на Кольской АЭС / С.Р. Аvezниязов, М. Р. Стахив // Радиоактивные отходы. – 2018. – № 4 (5). – С.49-54.

17. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии / Ю.Ю. Лурье. – М.: Химия, – 1971. – 456 с.

18. СанПин 2.6.1.24-03. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03). – М.: – 2003.

19. НП-001-15. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 декабря 2015 г. № 522

20. Tashlykov, O. Ecological foresight in the nuclear power of XXI century / O. Tashlykov [et al.] // Interna-

tional journal of energy production and management. – 2016. – V. 1. – No. 2. – Pp. 133-140.

References

1. Novikov G.A. Obespechenie bezopasnosti v oblasti ispol'zovaniya atomnoi ehnergii: uchebnyk / G.A. Novikov, O.L. Tashlykov, S.E. Shcheklein. – Ekaterinburg : Izd-vo Ural. Un-ta, 2017. – 552 s.

2. O kriteriyakh otneseniya tverdykh, zhidkikh i gazo-obraznykh otkhodov k radioaktivnym otkhodam, krite-riyakh otneseniya radioaktivnykh otkhodov k osobym radioaktivnym otkhodam i k udalyaemym radioaktivnym otkhodam i kriteriyakh klassifikatsii udalyaemykh radioaktivnykh otkhodov. Postanovlenie Pravitel'-stva Rossiiskoi Federatsii № 1069 ot 19 oktyabrya 2012 g. M.: 2012. <https://base.garant.ru/70247038/>

3. Nosov, Y.V. Decommissioning Features of BN-350, -600 Fast Reactors / Y.V. Nosov [et al.] // Atomic Energy. – 2019. – Vol. 125. – No. 4. – Pp. 219-223.

4. <https://pris.iaea.org/PRIS/>

5. Kropachev YU.A. Optimizatsiya radiatsionnoi zashchity na eh tape vyvoda ehnergoblokov AEHS iz ehks-pluatatsii / YU.A. Kropachev, O.L. Tashlykov, S.E. Shcheklein // Izvestiya vuzov. Yadernaya ehnergetika. – 2019. – №1. – S.119-130.

6. NP-093-14. Kriterii priemlemosti radioaktivnykh otkhodov dlya zakhroneniya (v red. prikaza Ro-stekhnadzora ot 17 noyabrya 2017 g. № 481). – M.: FBU «NTTS YARB», 2017. 36 s.

7. Adamovich D.V. Sovremennyye podkhody k kom-pleksam pererabotki i konditsionirovaniya RAO dlya vnov' stroyashchikhsya AEHS / D.V. Adamovich [i dr.] // Doklady XI mezhdunarodnoi konferentsii «Bezopasnost', ehffektivnost' i ehkonomika atomnoi ehnerge-tiki» – M.: AO «Kontsern RosehnergoatoM». – 2018. – S.276-279.

8. Tashlykov O.L. Ehkspluatatsiya i remont yadernykh paroproizvodyashchikh ustanovok AEHS: uchebnyk / O.L.Tashlykov [i dr.]. V 2 kn. –M.: Ehnergoatomizdat, – 1995. – Kn.1 – 256 s.

9. Atomnye ehlektrostantsii s reaktorami na bystrykh neitronakh s natrievym teplonositelem: uchebnoe posobie. V 2 ch. CH. 1 / pod red. S.E.Shchekleina, O.L. Tashlykova. – Ekaterinburg: URFU, – 2013. – 548 s.

10. Tashlykov O.L. O probleme snizheniya dozovykh zatrat personala AEHS / O.L. Tashlykov, S.E. Shchekle-in, V.I. Bulatov // Izvestiya vuzov. Yadernaya ehnerge-tika. – 2011. – №1. – S.55-60.

11. Tashlykov O.L. Dozovye zatraty personala v atomnoi ehnergetike. Analiz. Puti snizheniya. Optimizatsiya: monografiya / Tashlykov O.L. Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. RG. 2011. 232 c.

12. Tashlykov O.L. Remont oborudovaniya atomnykh stantsii: uchebnyk / O.L. Tashlykov. – Ekaterinburg: Izd-vo Ural. Un-ta, 2018. – 352 s.

13. Pererabotka i konditsionirovanie RAO na AEHS dlya podgotovki k okonchatel'noi izolyatsii / M.R. Stakhiv [i dr.]. – M.: VNIIEHS. 2013/ <https://www.atomic-energy.ru/technology/40756>

14. Arustamov A. EH. Metod ionoselektivnoi ochistki zhidkikh radioaktivnykh otkhodov atomnykh stantsii / Arustamov A. EH. [i dr.] // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. – 2005. – №11. – S. 13 – 16.

15. Remez V.P. Povyshenie Ehffektivnosti lokalizatsii radionuklidov kobalt-60 i tsezii-137 iz zhidkikh radioaktivnykh otkhodov v reshenii probleme obespecheniya radiatsionnoi bezopasnosti AEHS / Remez V.P. [i dr.] // Yadernaya fizika i inzhiniring. – 2016. – Tom 7. – № 2. – S. 129–137.

16. Avezniyazov S. R. Opyt raboty po obrashcheniyu s ZHRO na Kol'skoi AEHS / S.R. Avezniyazov, M. R. Stakhiv // Radioaktivnye otkhody. – 2018. – № 4 (5). – S.49-54.

17. Lur'e YU.YU. Spravochnik po analiticheskoj khimii / YU.YU. Lur'e. – M.: Khimiya, – 1971. – 456 s.

18. SaNPIn 2.6.1.24-03. Sanitarnyye pravila proektirovaniya i ehkspluatatsii atomnykh stantsii (SP AS-03). – M.: – 2003.

19. NP-001-15. Obshchie polozheniya obespecheniya bez-opasnosti atomnykh stantsii. Utverzhdeny prikazom Federal'noi sluzhby po ehkologicheskomu, tekhnolo-gicheskomu i atomnomu nadzoru ot 17 dek-abrya 2015 g. № 522

20. Tashlykov, O. Ecological foresight in the nuclear power of XXI century / O. Tashlykov [et al.] // International journal of energy production and management. – 2016. – V. 1. – No. 2. – Pp. 133-140.

Транслитерация по BSI

