



УДК: 621.039.75

DOI: 10.26277/SECNRS.2020.98.4.005

© 2020. Все права защищены.

СИСТЕМА ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕР ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОГО ЗАКРЫТИЯ ПУНКТОВ ГЛУБИННОГО ЗАХОРОНЕНИЯ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Понизов А. В.* (ponizov@secnrs.ru)

Статья поступила в редакцию 5 ноября 2020 г.

Аннотация

Проведен анализ опыта ликвидации эксплуатационных скважин на пунктах глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов. Определены количественные показатели, относящиеся к ликвидации скважин на примере пункта глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов «Дмитровградский».

С учетом требований федеральных норм и правил в области использования атомной энергии по обеспечению безопасности закрытия пункта глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов сформулированы и систематизированы концептуальные положения о системе организационно-технических мер, необходимых для безопасного закрытия пункта глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов, применительно к варианту «немедленное закрытие».

► **Ключевые слова:** пункт глубинного захоронения, жидкие радиоактивные отходы, ликвидация скважин, концепция закрытия, требования безопасности.

* Федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности», Москва, Российская Федерация.

A SYSTEM OF ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL MEASURES FOR SAFE CLOSURE OF DEEP DISPOSAL FACILITIES FOR LIQUID RADIOACTIVE WASTE. CONCEPTUAL PROVISIONS

Ponizov A. V.*

Article is received on November 5, 2020

Abstract

The analysis of the experience of the closure of operational boreholes of deep disposal facilities for liquid radioactive waste was performed. Quantitative criteria related to the closure of the deep disposal facilities for liquid radioactive waste "Dimitrovgrasky" boreholes were specified.

Conceptual proposals to the organizational and technical measures required for the safe closure of the deep disposal facilities for liquid radioactive waste as applied to «immediate» closure option have been specified and systematized based on the federal rules and regulations in the field of atomic energy use that establish safety requirements for the closure of the deep disposal facilities for liquid radioactive waste.

► **Keywords:** *deep disposal facilities, liquid radioactive waste, closure of boreholes, closure concept, safety requirements.*

* Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety, Moscow, Russian Federation.

Введение

В настоящее время промышленную переработку отработавшего ядерного топлива в Российской Федерации и за рубежом (Франция и Великобритания) осуществляют по гидрометаллургическим технологиям, в результате использования которых образуются и накапливаются жидкие радиоактивные отходы (ЖРО).

Конечной целью обращения с ЖРО на радиохимических предприятиях является их подготовка (переработка и кондиционирование) к обязательному захоронению – безопасному размещению в пункте захоронения радиоактивных отходов (РАО) без намерения их последующего извлечения [1].

Основным способом захоронения РАО является их размещение в отвержденном виде: высоко- и среднеактивных долгоживущих РАО – в пунктах глубинного захоронения; среднеактивных короткоживущих и низкоактивных РАО – в пунктах приповерхностного захоронения [1].

С 1963 года в Российской Федерации реализуется практика глубинного захоронения ЖРО [2], заключающаяся в контролируемом нагнетании ЖРО через скважины в глубокозалегающие водоносные (эксплуатационные) горизонты, изолированные от дневной поверхности толщей водупоров. В настоящее время эксплуатируются три пункта глубинного захоронения низкоактивных и среднеактивных ЖРО (ПГЗ ЖРО): «Северский» (г. Северск, Томская область), «Димитровградский» (г. Димитровград, Ульяновская область) и «Железногорский» (г. Железногорск, Красноярский край).

ПГЗ ЖРО является сложной природно-технической системой, которая включает в себя специально выделенный участок недр, имеющий статус горного отвода, и комплекс подземных (нагнетательные, разгрузочные и наблюдательные скважины) и поверхностных (здания, сооружения, емкости, трубопроводы, насосное и другое технологическое оборудование) объектов, предназначенных для захоронения ЖРО. Эксплуатация ПГЗ ЖРО сопровождается обязательными контрольными наблюдениями за состоянием геологической среды и распределением в ней компонентов ЖРО, протекающими процессами изменения уровня режима подземных вод, их составом, изменениями физических полей на поверхности и в скважинах, техническим состоянием скважин и поверхностного оборудования [2].

В настоящей работе приведены результаты разработки концептуальных положений по закрытию

ПГЗ ЖРО, представляющих собой систему организационно-технических мер по обеспечению безопасного закрытия ПГЗ ЖРО, на основе анализа опыта ликвидации эксплуатационных скважин на ПГЗ ЖРО и действующей системы обязательных требований федеральных норм и правил (ФНП), установленных для обеспечения безопасности ПГЗ ЖРО.

Закрытие ПГЗ ЖРО является комплексом технических решений и организационных мероприятий, направленных на достижение конечного состояния ПГЗ ЖРО после закрытия, обеспечивающих безопасность населения и окружающей среды в течение потенциальной опасности захороненных РАО.

Нормативное обеспечение безопасности закрытия пункта глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов

Закрытие ПГЗ ЖРО должно осуществляться с соблюдением требований нормативных правовых актов в области использования атомной энергии.

Основополагающими нормативными правовыми актами, определяющими правовую основу и принципы регулирования отношений, возникающих при осуществлении деятельности по закрытию ПГЗ ЖРО, являются федеральные законы РФ: «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 11.07.2011 г. № 190-ФЗ [1] и «Об использовании атомной энергии» от 21.11.1995 г. № 170-ФЗ [3].

Согласно [1] захоронение низкоактивных и среднеактивных ЖРО в недрах земли в пределах горного отвода, в границах которого такие ЖРО должны быть локализованы, допускается исключительно в ПГЗ ЖРО, сооруженных и эксплуатируемых до 11 июля 2011 года. Для их захоронения в указанных пунктах ЖРО должны быть приведены в соответствие с критериями приемлемости для захоронения.

В [1] закрытие ПГЗ ЖРО определяют как деятельность по приведению ПГЗ ЖРО в состояние, обеспечивающее безопасность населения и окружающей среды в течение периода потенциальной опасности РАО, захороненных в данном ПГЗ ЖРО, которая осуществляется после завершения технологических операций по захоронению в нем РАО.

Общие требования обеспечения безопасности при закрытии ПГЗ ЖРО установлены в ФНП «Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования безопасности»

(НП-055-14) [4], однако при разработке организационно-технических мероприятий по выводу из эксплуатации отдельных поверхностных объектов, входящих в состав ПГЗ ЖРО, а также ликвидации скважин целесообразно учитывать требования ФНП в области использования атомной энергии и в области промышленной безопасности, таких как: «Обеспечение безопасности при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии. Общие положения» (НП-091-14) [5], «Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения» (НП-058-14) [6], «Общие положения обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла» (НП-016-05) [7], «Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии» (НП-064-17) [8], «Правила охраны недр» (ПБ 07-601-03) [9], федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности» [10].

Рекомендации по выполнению требований ФНП, относящихся к закрытию пунктов захоронения РАО, приведены в следующих руководствах по безопасности (РБ): «Обеспечение безопасности при закрытии пунктов приповерхностного захоронения радиоактивных отходов» (РБ-111-16) [11], «Оценка долговременной безопасности пунктов приповерхностного захоронения радиоактивных отходов» (РБ-117-16) [12], «Состав и содержание отчета по обоснованию безопасности пунктов глубокого захоронения жидких радиоактивных отходов» (РБ-139-17) [13], «Инструкция о порядке ведения работ по ликвидации и консервации опасных производственных объектов, связанных с использованием недр» (РД 07-291-99) [14].

Согласно [4] ПГЗ ЖРО удовлетворяет требованиям безопасности в период после его закрытия, если:

- при нормальном (эволюционном) протекании естественных процессов на площадке размещения ПГЗ ЖРО (при наиболее вероятных сценариях эволюции системы захоронения РАО) его радиационное воздействие на население не приведет к превышению допустимого уровня, установленного в соответствии с санитарными правилами и нормативами радиационной безопасности;

- при маловероятных (катастрофических) внешних воздействиях природного и техногенного характера на площадке размещения ПГЗ ЖРО (при маловероятных сценариях распространения радионуклидов из системы

захоронения РАО) для критической группы населения не будет превышено граничное значение обобщенного риска, установленного санитарными правилами и нормативами радиационной безопасности.

Анализ обязательных требований безопасности, установленных в ФНП [4–10], и рекомендаций по их выполнению, приведенных в РБ [11–14], позволил сформировать систему поэтапного безопасного закрытия ПГЗ ЖРО и представить ее в виде схемы, как показано на рис. 1.

В соответствии с данной схемой, работы, связанные с закрытием ПГЗ ЖРО, начинаются еще на этапе эксплуатации при текущем планировании работ по закрытию с разработки концепции закрытия и принятия (обоснования) решения о его закрытии. Закрытие ПГЗ ЖРО завершается после достижения (обоснования) конечного состояния, установленного в проекте его закрытия, с оформлением эксплуатирующей организацией соответствующего документа (акта), подтверждающего завершение работ по закрытию ПГЗ ЖРО.

В документе должно быть показано соответствие фактического состояния ПГЗ ЖРО и площади его размещения на момент завершения работ по закрытию конечному состоянию, определенному в проекте закрытия ПГЗ ЖРО.

После закрытия ПГЗ ЖРО эксплуатирующая организация должна проводить периодический радиационный контроль и мониторинг системы захоронения РАО, включающий:

- контроль состояния инженерных и естественных барьеров безопасности, ограждений и предупреждающих знаков;
- мониторинг состояния вмещающих пород;
- мониторинг состояния окружающей среды.

Согласно требованиям п. 159 НП-055-14 [4] ликвидация отдельных скважин, выполнивших свое назначение или имеющих неудовлетворительное техническое состояние, должна проводиться по специальным проектам до закрытия ПГЗ ЖРО в целом.

В соответствии с требованиями п. 160 НП-055-14 [4] при закрытии ПГЗ ЖРО часть наблюдательных скважин должна сохраняться для проведения контрольных наблюдений в региональной (федеральной) системе контроля состояния природной среды. В случае неудовлетворительного технического состояния существующих наблюдательных скважин вместо них могут сооружаться новые скважины по отдельным проектам при условии обеспечения безопасности ПГЗ ЖРО.

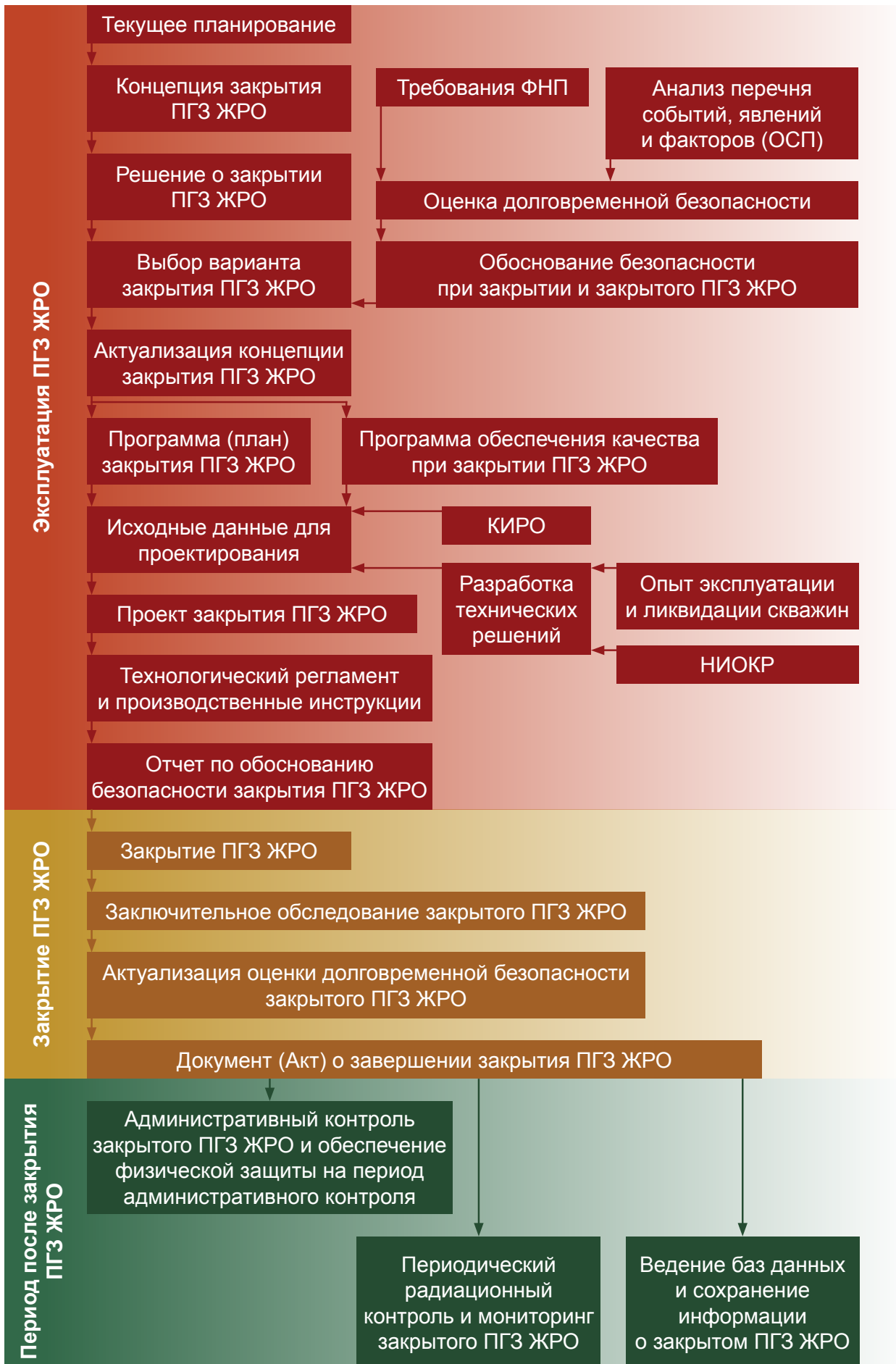


Рис. 1. Общая схема этапов закрытия пункта глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов

Важным этапом закрытия ПГЗ ЖРО после выбора варианта закрытия является актуализация концепции закрытия ПГЗ ЖРО, на основе которой, в свою очередь, разрабатываются программа (план) и проект закрытия ПГЗ ЖРО.

При актуализации концепции закрытия ПГЗ ЖРО и подготовке исходных данных для разработки проекта закрытия ПГЗ ЖРО должны быть учтены:

- опыт эксплуатации и ликвидации скважин ПГЗ ЖРО;
- результаты комплексного инженерного и радиационного обследования (КИРО) ПГЗ ЖРО перед его закрытием;
- результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) по обоснованию безопасности закрытия ПГЗ ЖРО.

С учетом положений концепции закрытия ПГЗ ЖРО и необходимости выполнения требований п. 158 НП-055-14 [4] проектом закрытия ПГЗ ЖРО должно быть предусмотрено выполнение следующих работ:

- ликвидация эксплуатационных скважин (тампонирование скважин);
- дезактивация и демонтаж сооружений, строительных конструкций, систем и оборудования, в том числе трубопроводов, предназначенных для приемки и захоронения ЖРО;
- проведение периодического радиационного контроля и мониторинга системы захоронения РАО.

Анализ сведений о ликвидации скважин пункта глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов

Как показано выше, при разработке технических решений для проекта закрытия ПГЗ ЖРО необходимо учитывать прежний опыт эксплуатации и ликвидации скважин, в том числе нагнетательных скважин, через которые происходило захоронение ЖРО в недра земли. Безопасная ликвидация эксплуатационных скважин с воссозданием на месте бурения условий, приближенных к первоначальным (природным) до сооружения данных скважин с обязательным восстановлением гидроизоляции пересекаемых скважинами горизонтов, является важной составной частью обеспечения долговременной безопасности закрытого ПГЗ ЖРО.

На существующих ПГЗ ЖРО в процессе их эксплуатации осуществляли ликвидацию отдельных скважин, выполнивших свое назначение, исчерпавших свой эксплуатационный ресурс или в связи с ухудшением их технического состояния,

устанавливаемого по данным контроля за режимом нагнетания ЖРО и мониторинга за состоянием недр. При этом ухудшение технического состояния скважин обуславливало необходимость корректировки режимов нагнетания ЖРО или проведения ремонтно-восстановительных работ на скважинах, но не приводило к возникновению проектных или запроектных аварий на ПГЗ ЖРО [2].

В рамках выполнения комплексных расчетно-экспериментальных исследований в целях реализации рекомендаций миссии МАГАТЭ по совершенствованию обоснования безопасности эксплуатации и закрытия ПГЗ ЖРО, основные аспекты которых представлены в [15], были систематизированы сведения о ликвидации эксплуатационных скважин на различных ПГЗ ЖРО. В результате проведенного анализа было установлено, что наиболее распространенным осложнением, приводящим к необходимости ликвидации скважины, оказалось падение приемлемости нагнетательных скважин [2, 15]. Другой причиной ликвидации скважин является разрушение конструктивных элементов скважины. Как пример, можно рассмотреть скважину Н-2 на ПГЗ ЖРО «Северский», в которой в 1978 году была обнаружена гидравлическая связь III эксплуатационного горизонта с вышележащим буферным горизонтом в результате ухудшения за колонной цементации на скважине Н-2. Причиной этого явления оказалось неправильное освоение скважины при ее сооружении с выносом песчаного материала из эксплуатационного горизонта.

К настоящему времени ликвидированы:

- 32 скважины на ПГЗ ЖРО «Северский»;
- 21 скважина на ПГЗ ЖРО «Димитровградский»;
- 6 скважин на ПГЗ ЖРО «Железнодорожный».

Количественные показатели, относящиеся к ликвидации скважин, можно оценить на примере ПГЗ ЖРО «Димитровградский».

Анализ проектной и эксплуатационной документации показал, что на ПГЗ ЖРО «Димитровградский» из 21 ликвидированной скважины:

- 12 были ликвидированы по причине выработки эксплуатационного ресурса;
- 5 из-за некачественного цементного камня в затрубном и межтрубном пространстве;
- 2 из-за коррозии труб обсадных колонн.

Минимальный срок эксплуатации скважины до ее ликвидации составлял 4 года, максимальный – 44 года. Наибольшее количество скважин было ликвидировано при достижении 30–35 лет с начала эксплуатации ПГЗ ЖРО (рис. 2).

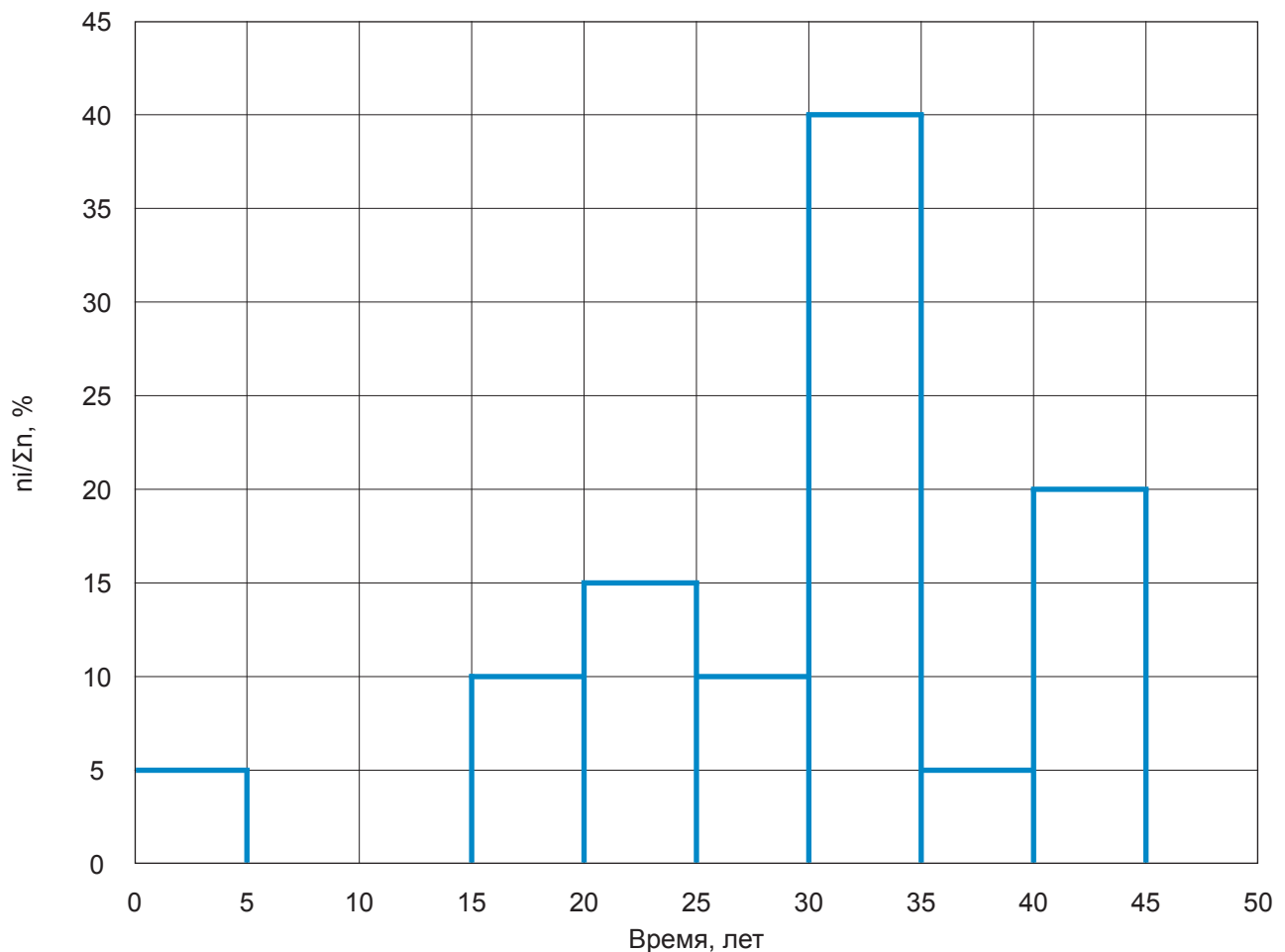


Рис. 2. Распределение количества ликвидированных скважин ($n_i/\Sigma n$) от времени с начала эксплуатации пункта глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов

Для цементации (тампонирования) ликвидируемых скважин применяли раствор, приготовленный из сульфатостойкого тампонажного цемента по ГОСТ 1581-96 (действующая редакция) [16]. Для получения более плотного цементного камня в колонном пространстве скважин использовали цементный раствор с удельным весом $1,8 \text{ г/см}^3$. Технология ликвидации скважин, помимо тампонирования обсадных колонн скважин, предусматривала нагнетание под давлением тампонажного раствора в эксплуатационный горизонт для создания дополнительного изолирующего экрана.

Количество применяемого сухого цемента для цементации колонны скважины в основном составляло 30–40 т, а для цементации призабойной зоны эксплуатационного горизонта – до 30 т. Распределение количества ликвидированных скважин по массе используемого цемента представлено на рис. 3.

Проведенный анализ опыта ликвидации скважин на ПГЗ ЖРО «Димитровградский» позволяет сделать следующие обобщения.

Ликвидируемые скважины могут быть разделены на две основные группы:

- скважины с удовлетворительным состоянием затрубного цементача и отсутствием взаимосвязи между эксплуатационными горизонтами и вышележащими (буферными) горизонтами;
- скважины, которые требуют при их ликвидации дополнительной изоляции затрубного пространства. Для ликвидации скважин второй группы требуется применение особой технологии.

На первом этапе ликвидации скважин следует выполнить нагнетание в эксплуатационный горизонт, содержащий ЖРО, кольматирующих растворов, которые образуют практически непроницаемую зону в эксплуатационном горизонте на расстояниях первых метров от скважины. Благодаря этому, компоненты ЖРО, как радионуклиды, так и химические соединения, в последующем не будут контактировать с конструктивными элементами скважины и тампонажными материалами, применяемыми для ликвидации скважин. На втором этапе осуществляется тампонирование внутреннего пространства обсадных колонн скважин.

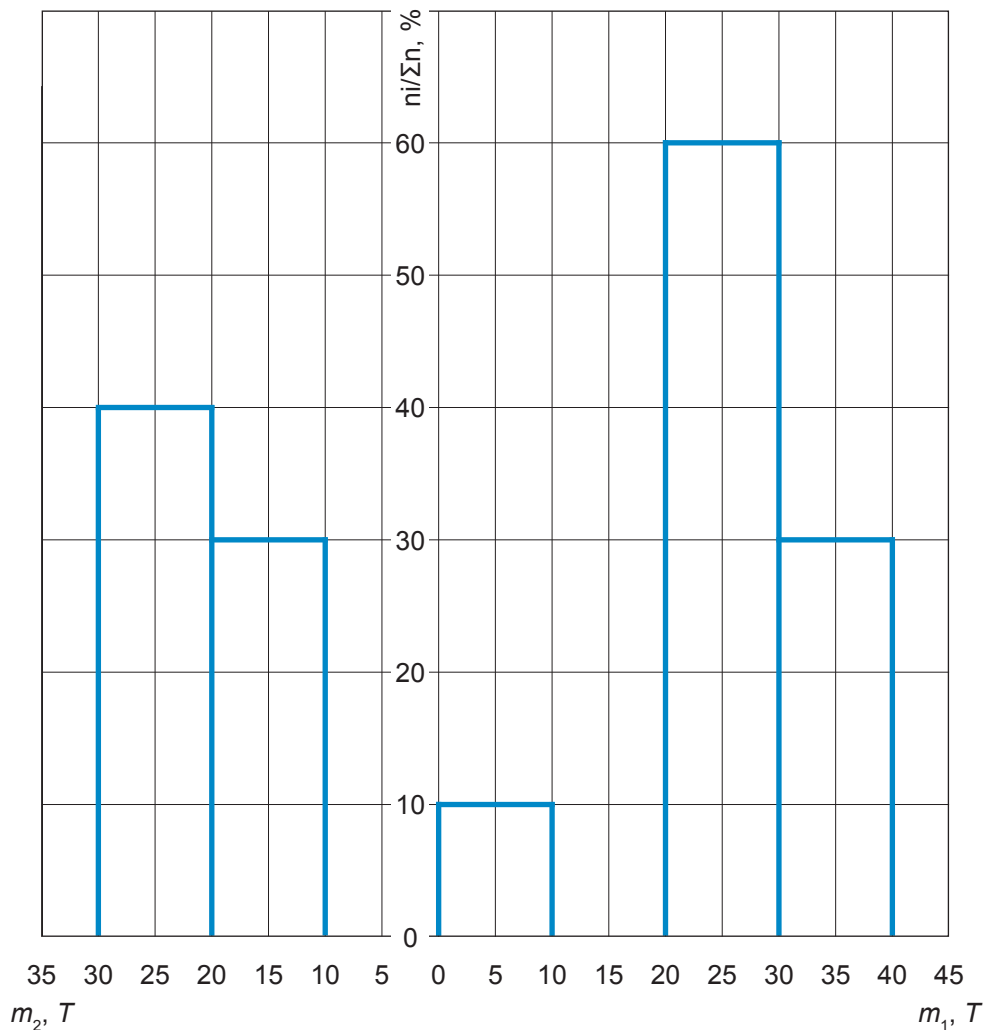


Рис. 3. Распределение количества ликвидированных скважин ($n_i/\Sigma n$) по массе используемого цемента для цементирования колонн (m_1) и призабойной зоны (m_2)

В результате ликвидированная (затампонирующая) скважина представляет собой размещенное в геологической среде искусственное образование в виде вертикального тела, состоящего из цементного камня, в котором заключены обсадные металлические трубы. При этом в эксплуатационном горизонте вокруг фильтра скважины образуется дополнительный инженерный барьер безопасности – цементное кольцо радиусом 0,3–0,5 м при длине фильтра ~ 50 м, а внутри скважины – дополнительный барьер, являющийся препятствием для возможных заколонных и внутриколонных перетоков компонентов захороненных ЖРО и подземных вод вверх по стволу скважины.

Вместе с тем на основании результатов проведенного анализа следует отметить, что для случаев, когда качество затрубной цементации является неудовлетворительным, требуется дополнительное применение мер для обеспечения безопасности скважин в течение длительного периода времени. В большинстве случаев для таких скважин необходимо выполнять дополнительную

перфорацию «проблемных» участков (интервалов) либо перфорацию в интервале вышележащего водоупорного горизонта и создавать дополнительные горизонтальные изоляционные экраны, предотвращающие межпластовые перетоки грунтовых вод и миграцию компонентов ЖРО [17].

Для скважин, доступ во внутреннее пространство которых может быть затруднен, например, из-за наличия песчаной пробки, постороннего предмета, а также высокого уровня радиоактивного загрязнения внутренней поверхности колонн, пригодна технология тампонирувания с использованием инъекционных скважин, сооружаемых на расстоянии 10–15 м от ликвидируемых скважин и вскрывающих вышележащие горизонты. Нагнетание цементного раствора в этом случае выполняют в режиме гидроразрыва пласта в интервалах нахождения слабопроницаемых пород.

Согласно результатам проведенного анализа, способы ликвидации скважин, примененные на ПГЗ ЖРО «Димитровградский», «Северский» и «Железнодорожный», обеспечили требуемый

уровень безопасности ликвидируемых скважин: поступления компонентов ЖРО в вышележащие горизонты по стволам ликвидированных скважин по данным многолетних наблюдений не установлены, ЖРО локализованы в местах захоронения – эксплуатационных горизонтах.

**Основные концептуальные положения
о системе организационно-технических мер,
необходимых для безопасного закрытия
пункта глубинного захоронения
жидких радиоактивных отходов**

Принятие Федерального закона [1], утверждение соответствующих подзаконных нормативных актов в области использования атомной энергии и развитие системы ФНП и РБ, регулирующих обеспечение безопасности при обращении с РАО, в том числе обеспечения безопасности их захоронения, потребовало пересмотра и уточнения концепции закрытия ПГЗ ЖРО.

Так, в руководстве по безопасности РБ-139-17 [13] содержится рекомендуемая структура отчета по обоснованию безопасности ПГЗ ЖРО, который включает главу «Концептуальные положения по закрытию ПГЗ ЖРО».

В данной главе рекомендуется приводить информацию, подтверждающую способность эксплуатирующей организации обеспечить условия безопасного закрытия ПГЗ ЖРО и приведения ПГЗ ЖРО в состояние, которое будет оставаться безопасным в период потенциальной опасности захороненных в нем РАО, в том числе приводить концепцию закрытия ПГЗ ЖРО, разработанную в соответствии с требованиями ФНП, и для выбранного варианта закрытия ПГЗ ЖРО – концептуальные решения по закрытию ПГЗ ЖРО.

К настоящему времени разработаны два варианта закрытия ПГЗ ЖРО:

- «отложенное закрытие»;
- «немедленное закрытие».

Различие между вариантами закрытия заключается в продолжительности проведения организационно-технических мероприятий, направленных на достижение конечного состояния ПГЗ ЖРО после закрытия.

Анализ опыта ликвидации скважин на ПГЗ ЖРО, обязательных требований ФНП позволил сформулировать и систематизировать основные концептуальные положения закрытия ПГЗ ЖРО применительно к основному (базовому) варианту «немедленного закрытия».

При этом были учтены концептуальные положения долговременного мониторинга ПГЗ ЖРО после закрытия, включающего в себя периодический радиационный контроль и мониторинг системы захоронения РАО, опубликованные в [2, 18].

Предлагаемая система организационно-технических мер по обеспечению безопасности закрытия ПГЗ ЖРО включает следующие положения.

1. Определение направлений деятельности по закрытию ПГЗ ЖРО по варианту «немедленное закрытие» с целью достижения конечного состояния ПГЗ ЖРО после закрытия, обеспечивающее безопасность населения и окружающей среды на период потенциальной опасности захороненных РАО.

2. Достижение конечного состояния осуществляется посредством:

- ликвидации поверхностной части ПГЗ ЖРО – вывод из эксплуатации (деактивации, демонтажа, ликвидации либо репрофилирования) поверхностных объектов (зданий, сооружений, емкостей, трубопроводов, оборудования и др.);
- поэтапной ликвидации подземных сооружений (эксплуатационных скважин);
- проведения дополнительных изоляционных мероприятий в недрах (при необходимости).

3. Естественные барьеры безопасности (недра в пределах горного отвода) выполняют функции по локализации компонентов ЖРО и изоляции их от населения и окружающей среды. Геологическое строение района и площадки размещения ПГЗ ЖРО и свойства поглощающих (эксплуатационных) и вышележащих (водоупорных и буферных) горизонтов препятствуют негативному воздействию компонентов ЖРО на человека и окружающую среду в период эксплуатации, закрытия и после закрытия ПГЗ ЖРО.

4. Эксплуатационные скважины различного назначения являются элементами, влияющими на безопасность в период после закрытия ПГЗ ЖРО. При сооружении скважин изменяются природные свойства геологической среды в месте их бурения и создаются потенциальные каналы связи эксплуатационных горизонтов, предназначенных для захоронения ЖРО, с земной поверхностью и неглубокозалегающими горизонтами подземных вод. Конструктивные и технологические решения по ликвидации скважин должны предусматривать применение эффективных тампонажных материалов, изолирующих эксплуатационные горизонты от вышележащих горизонтов и земной поверхности. Применение таких материалов

определяется с учетом их способности после твердения образовывать непроницаемые композиции, сохраняющие свои изолирующие свойства в условиях геологической среды в течение длительных периодов времени [17].

5. После прекращения использования поверхностные объекты ПГЗ ЖРО должны быть дезактивированы и демонтированы или переоборудованы для использования по другому назначению.

6. Безопасное закрытие ПГЗ ЖРО обеспечивается выполнением следующих решений:

- применением технических решений по безопасной ликвидации (тампонированию) эксплуатационных скважин, разработанных с учетом текущего технического состояния самой скважины, эволюционного состояния эксплуатационного горизонта, содержащего компоненты захороненных ЖРО, и вышележащих (водоупорных, буферных) горизонтов на участках размещения скважин;

- предусмотрением возможности дальнейшего безопасного использования наблюдательных скважин для целей мониторинга за состоянием системы захоронения РАО;

- ликвидацией скважин после установления стабильного температурного режима в эксплуатационном горизонте на участках расположения скважин, в которые раньше (на ранних этапах развития атомной промышленности) осуществляли нагнетание высокоактивных ЖРО;

- дезактивацией демонтированных (и перефилированных) зданий, сооружений, строительных конструкций, систем и оборудования, в том числе емкостей и трубопроводов, использовавшихся для приема, временного хранения, транспортирования и захоронения ЖРО;

- выводом из эксплуатации систем и элементов наземной инфраструктуры, за исключением объектов, необходимых для мониторинга и системы физической защиты;

- рекультивацией площадки размещения ПГЗ ЖРО до уровней радиоактивного загрязнения, характерных для участков территорий, примыкающих к площадке ПГЗ ЖРО;

- проведением после завершения каждого этапа закрытия ПГЗ ЖРО анализа результатов выполненных работ, дополнительного обследования ПГЗ ЖРО в объеме, необходимом для своевременной корректировки проектной документации, и принятием необходимых мер по безопасному выполнению работ на последующем этапе закрытия ПГЗ ЖРО;

- проведением при закрытии ПГЗ ЖРО мониторинга системы захоронения РАО, направленного на наблюдение за поведением компонентов ЖРО;

- проведением контроля радиационной обстановки на территории ПГЗ ЖРО после закрытия, а также дозиметрического контроля персонала и радиоактивного загрязнения оборудования, используемого при проведении мониторинга;

- выполнением НИОКР на этапах закрытия ПГЗ ЖРО, включающих:

- анализ изменения топографических, гидрометеорологических, климатических, демографических, гидрологических, гидрогеологических, инженерно-геологических, геолого-тектонических, геодинамических, геологических, сейсмотектонических и сейсмических условий района и площадки размещения ПГЗ ЖРО;

- оценку эффективности и достаточности существующих и создаваемых инженерных барьеров безопасности для обеспечения надежной изоляции компонентов ЖРО;

- прогнозные расчеты для оценки долговременной безопасности системы захоронения РАО с учетом всех возможных путей и особенностей миграции радионуклидов в окружающую среду и уточнения периода потенциальной опасности захороненных РАО;

- определение значений ожидаемых доз облучения критической группы лиц из населения на различных этапах закрытия ПГЗ ЖРО;

- уточнение и пересмотр критериев, характеризующих конечное состояние ПГЗ ЖРО;

- отработку технологии ликвидации скважин и подбор тампонажных материалов для их ликвидации;

- проведением всех работ по закрытию ПГЗ ЖРО в соответствии с программой обеспечения качества;

- подтверждением достижения установленного в проекте закрытия ПГЗ ЖРО его конечного состояния результатами заключительного обследования закрытого ПГЗ ЖРО и оформления необходимой документации на закрытый ПГЗ ЖРО в соответствии с действующими нормативными документами.

Выводы

1. Проведен анализ опыта ликвидации эксплуатационных скважин ПГЗ ЖРО. На примере ПГЗ ЖРО «Димитровградский» определены количественные показатели, относящиеся к ликвидации

скважин: диапазоны времени эксплуатации скважин до их ликвидации; количество тампонажного материала, необходимого для тампонирувания ликвидируемых скважин и цементирования призабойной зоны эксплуатационного горизонта.

2. На основании анализа действующих ФНП и РБ предложена обобщенная схема этапов закрытия ПГЗ ЖРО, предусматривающая выполнение организационных мероприятий и технических решений на период эксплуатации (текущее планирование закрытия ПГЗ ЖРО), закрытия и после закрытия ПГЗ ЖРО.

3. По результатам анализа требований нормативных правовых актов РФ в области использования атомной энергии по обеспечению безопасного закрытия ПГЗ ЖРО и с учетом рекомендаций миссии МАГАТЭ по совершенствованию обоснования безопасности эксплуатации и закрытия ПГЗ ЖРО были сформированы и систематизированы концептуальные положения о системе организационно-технических мер, необходимых для безопасного закрытия ПГЗ ЖРО, применительно к варианту «немедленного закрытия».

Литература

1. Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федер. закон от 11.07.2011 г. № 190-ФЗ.
2. Рыбальченко А. И. Глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов / Рыбальченко А. И., Пименов М. К., Костин П. П. и др. – М.: ИздАТ, 1994. – 256 с.
3. Об использовании атомной энергии: Федер. закон от 21.11.1995 г. № 170-ФЗ.
4. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования безопасности. НП-055-14: утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 22 августа 2014 г. № 379 (зарег. Минюстом России 2 февраля 2015 г. № 35819, вступ. в силу 14 февраля 2015 г.).
5. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Обеспечение безопасности при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии. Общие положения. НП-091-14: утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20 мая 2014 г. № 216 (зарег. Минюстом России 14 июля 2014 г. № 33086, вступ. в силу 15 декабря 2014 г., с изм. приказом Ростехнадзора от 11 декабря 2018 г. № 610 (зарег. Минюстом России 14 января 2019 г. № 53341, вступ. в силу 26 января 2019 г.)).
6. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения. НП-058-14: утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 5 августа 2014 г. № 347 (зарег. Минюстом России 14 ноября 2014 г. № 34701, вступ. в силу 17 февраля 2015 г.).
7. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Общие положения обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла. НП-016-05: утв. постановлением Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 02.12.2005 г. № 11 (введ. с 01.05.2006 г., с изм., внесенными приказом Ростехнадзора от 28.07.2014 г. № 326, зарег. Минюстом РФ 28.08.2014 г. № 33890, вступ. в силу с 31.10.2014 г.).
8. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии. НП-064-17: утв. приказом Ростехнадзора от 30.11.2017 г. № 514 (зарег. Минюстом России 26.12.2017 г., № 49461, вступ. в силу с 07.01.2018 г.).
9. Правила охраны недр. ПБ 07-601-03: утв. постановлением Федерального горного и промышленного надзора России от 06.06.2003 г. № 714 с изм., внесенным приказом Минприроды России от 30.06.2009 г. № 183 (зарег. Минюстом России 02.10.2009 г., № 14952).
10. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности: утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 12.03.2013 г. № 101 (с изм., внесенными приказом Ростехнадзора от 12.01.2015 г. № 1, зарег. Минюстом РФ 20.02.2015 г. № 368191, вступ. в силу с 01.01.2017 г.).
11. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Обеспечение безопасности при закрытии пунктов приповерхностного захоронения радиоактивных отходов. РБ-111-16: утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 24.08.2016 г. № 352.

12. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Обеспечение безопасности при закрытии пунктов приповерхностного захоронения радиоактивных отходов. Оценка долговременной безопасности пунктов приповерхностного захоронения радиоактивных отходов. РБ-117-16: утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14.12.2016 г. № 531 (с изм., внесенным приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 28 декабря 2017 г. № 589).

13. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Обеспечение безопасности при закрытии пунктов приповерхностного захоронения радиоактивных отходов. Состав и содержание отчета по обоснованию безопасности пунктов глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов. РБ-139-17: утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 18.01.2018 г. № 20.

14. Инструкция о порядке ведения работ по ликвидации и консервации опасных производственных объектов, связанных с пользованием недрами. РД 07-291-99: утв. постановлением Федерального горного и промышленного надзора России от 02.06.1999 г. № 33 (зарег. Минюстом РФ 25.06.1999 г. № 1816).

15. Дорофеев А. Н., Савельева Е. А., Уткин С. С., Понизов А. В. и др. Эволюция обоснования долговременной безопасности ПГЗ ЖРО // Радиоактивные отходы. 2017. № 1. С. 54–63.

16. ГОСТ 1581-96. Портландцементы тампонажные. Технические условия.

17. Понизов А. В., Верещагин П. М., Чулков Н. В., Шарапута М. К., Байдарико Е. А. Условия, последствия и пути предотвращения заколонных перетоков жидкостей по стволам скважин на участках глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2019. № 2. С. 56–67.

18. Маркова Ю. В., Понизов А. В., Чулков Н. В. Концептуальные положения долговременного мониторинга пунктов глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов после закрытия / Сборник статей международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность», Севастополь – 2019. – С. 989–992.

References

1. Ob obrashhenii s radioaktivnymi otkhodami i o vnesenii izmenenij v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii [On the Management of Radioactive Waste and Amendment of Some Acts of Law of the Russian Federation]. Federal Law no. 190-FZ of 11.07.2011.

2. Rybalchenko A. I., Pimenov M. K., Kostin P. P. et al. (1994). Glubinnoe zakhoronenie zhidkikh radioaktivnykh otkhodov [Geological Disposal of Liquid Radioactive Waste]. Moscow: Izdat [in Russian].

3. Ob ispol'zovanii atomnoj energii [On the Use of Atomic Energy]. Federal Law no. 170-FZ of 21.11.1995.

4. Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoj energii. Zakhoronenie radioaktivnykh otkhodov. Principy, kriterii i osnovnye trebovaniya bezopasnosti. NP-055-14 [Federal Nuclear Safety Regulations. Disposal of Radioactive Waste. Principles, Criteria and Fundamental Safety Requirements. NP-055-14]. Approved by the Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service Order no. 379 of August 22, 2014 (registered by the Ministry of Justice of Russia on February 2, 2015 under the reference number 35819; in force from February 14, 2015).

5. Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoj energii. Obespechenie bezopasnosti pri vyvode iz ekspluatscii ob'ektov ispol'zovaniya atomnoj energii. Obshhie polozheniya. NP-091-14 [Federal Nuclear Safety Regulations. Safe Decommissioning of Nuclear Facilities. General Provisions. NP-091-14]. Approved by the Rostekhnadzor Order no. 216 of May 20, 2014 (registered by the Ministry of Justice on July 14, 2014 under the reference number 33086, in force from December 15, 2014), as amended by the Rostekhnadzor Order no. 610 of December 11, 2018 (registered by the Ministry of Justice on January 14, 2019 under the reference number 53341; in force from January 26, 2019).

6. Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoj energii. Bezopasnost' pri obrashhenii s radioaktivnymi otkhodami. Obshhie polozheniya. NP-058-14 [Federal Nuclear Safety Regulations. Safe Management of Radioactive Waste. General Provisions. NP-058-14]. Approved by the Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service Order no. 347 of August 05, 2014 (registered by the Ministry of Justice on November 14, 2014 under the reference number 34701; in force from February 17, 2015).

7. Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoj energii. Obshhie polozheniya obespecheniya bezopasnosti ob'ektov yadernogo toplivnogo cikla. NP-016-05 [Federal Nuclear Safety Regulations. General Safety Provisions for Nuclear Fuel Cycle Facilities. NP-016-05]. Approved by the Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service Resolution no. 11 of 02.12.2005, in force from 01.05.2006; as amended by the Rostekhnadzor Order no. 326 of 28.07.2014 (registered by the Ministry of Justice on 28.08.2014 under the reference number 33890, in effect from 31.10.2014).

8. Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoj energii. Uchet vneshnikh vozdeystvij prirodno i tekhnogennogo proiskhozhdeniya na ob'ekty ispol'zovaniya atomnoj energii. NP-064-17 [Federal Nuclear Safety Regulations. Consideration of Natural and Human-Induced External Impacts at Nuclear Facilities. NP-064-17]. Approved by the Rostekhnadzor Order no. 514 of 30.11.2017 (registered by the Ministry of Justice on 26.12.2017 under the reference number 49461, in effect from 07.01.2018).

9. Pravila okhrany nedr. PB 07-601-03 [Rules for Protection of Subsurface Resources. PB 07-601-03]. Approved by the Federal Mining and Industrial Supervision Authority of Russia with Resolution no. 714 dated 06.06.2003, as amended by the RF Ministry of Natural Resources order no.183 of 30.06.2009 (registered by the Ministry of Justice on 02.10.2009 under the reference number 14952).

10. Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoj bezopasnosti. Pravila bezopasnosti v neftyanoj i gazovoj promyshlennosti [Federal Industrial Safety Regulations. Safety Regulations in the Oil and Gas Industry]. Approved by the Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service Order no.101 of 12.03.2013; as amended by the Rostekhnadzor Order no. 1 of 12.01.2015 (registered by the Ministry of Justice on 20.02.2015 under the reference number 368191, in effect from 01.01.2017).

11. Rukovodstvo po bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoj energii. Obespechenie bezopasnosti pri zakrytii punktov pripoverkhnostnogo zakhroneniya radioaktivnykh otkhodov. RB-111-16 [Nuclear Safety Guide. Provision of the Safe Closure of Near-Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste. RB-111-16]. Approved by the Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service Order no. 352 of 24.08.2016.

12. Rukovodstvo po bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoj energii. Obespechenie bezopasnosti pri zakrytii punktov pripoverkhnostnogo zakhroneniya radioaktivnykh otkhodov. Ocenka dolgovremennoj bezopasnosti punktov pripoverkhnostnogo zakhroneniya radioaktivnykh otkhodov. RB-117-16 [Nuclear Safety Guide. Provision of the Safe Closure of Near-Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste. Long-Term Safety Assessment for Near-Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste. RB-117-16]. Approved by the Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service Order no. 531 of 14.12.2016 (as amended by the Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service Order no. 589 of December 28, 2017).

13. Rukovodstvo po bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoj energii. Obespechenie bezopasnosti pri zakrytii punktov pripoverkhnostnogo zakhroneniya radioaktivnykh otkhodov. Sostav i sodержanie otcheta po obosnovaniyu bezopasnosti punktov glubinnogo zakhroneniya zhidkikh radioaktivnykh otkhodov. RB-139-17 [Nuclear Safety Guide. Provision of the Safe Closure of Near-Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste. Structure and Content of Safety Analysis Report for Geological Repositories for Radioactive Waste. RB-139-17]. Approved by the Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service Order no. 20 of 18.01.2018.

14. Instrukciya o poryadke vedeniya rabot po likvidacii i konservacii opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov, svyazannykh s pol'zovaniem nedrami. RD 07-291-99 [Guidance on Management of Closure Activities at Hazardous Industrial Facilities Related to the Use of Subsurface Resources. RD 07-291-99]. Approved by the Federal Mining and Industrial Supervision Authority of Russia with Resolution no. 33 dated 02.06.1999 (registered by the Ministry of Justice on 25.06.1999 under the reference number 1816).

15. Dorofeyev A. N., Savelyeva E. A., Utkin S. S., Ponizov A. V. et al. (2017). Evolyuciya obosnovaniya dolgovremennoj bezopasnosti PGZ ZhRO [Evolution of Long-Term Safety Cases for Geological Repositories for Liquid Radioactive Waste]. Radioaktivnye otkhody – Radioactive waste, no. 1. pp. 54–63 [in Russian].

16. GOST 1581-96. Portlandcementy tamponazhnye. Tekhnicheskie usloviya [GOST 1581-96. Oil-Well Portland Cement. Specification].

17. Ponizov A. V., Vereshchagin P. M., Chulkov N. V., Sharaputa M. K., Baidariko E. A. (2019). Usloviya, posledstviya i puti predotvrashheniya zakolonykh peretokov zhidkostej po stvolam skvazhin na uchastkakh glubinnogo zakhroneniya zhidkikh radioaktivnykh otkhodov [Conditions, Consequences and Ways to Prevent Wellbore Leakages at Geological Disposal Sites of Liquid Radioactive Waste]. Geokologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya – Geocology. Engineering Geology. Hydrogeology. Geocryology, no. 2. pp. 56–67 [in Russian].

18. Markova Yu. V., Ponizov A. V., Chulkov N. V. (2019). Konceptual`nye polozheniya dolgovremennogo monitoringa punktov glubinno go zakhoroneniya zhidkikh radioaktivnykh otkhodov posle zakrytiya [Strategy Ideas for Long-Term Post-Closure Monitoring of Geological Repositories for Liquid Radioactive Waste]. Collected Papers of the International Research-to-Practice Conference “Ekologicheskaya, promyshlennaya i energeticheskaya bezopasnost” – “Environmental, Industrial and Energy Safety and Security”. Sevastopol, pp. 989–992 [in Russian].

Сведения об авторах

Понизов Антон Владимирович, начальник отдела безопасности предприятий топливного цикла, федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (107140, г. Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5).

Для цитирования

Понизов А. В. Система организационно-технических мер по обеспечению безопасного закрытия пунктов глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов. Концептуальные положения // Ядерная и радиационная безопасность. 2020. № 4 (98). С. 47–60. DOI: 10.26277/SECNRS.2020.98.4.005.

Author credentials

Ponizov Anton Vladimirovich, Chief of Department of Safety of Fuel Cycle Facilities, Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety (2/8 building 5, Malaya Krasnoselskaya street, Moscow, 107140), e-mail: ponizov@secnrs.ru.

For citation

Ponizov A. V. A System of Organizational and Technical Measures for Safe Closure of Deep Disposal Facilities for Liquid Radioactive Waste. Conceptual provisions. Nuclear and Radiation Safety, 2020, no. 4 (98), pp. 47–60. DOI: 10.26277/SECNRS.2020.98.4.005 [in Russian].

