

УДК 621.039.59

DOI: 10.26277/SECNRS.2020.95.1.002

## О РАЗВИТИИ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ, УСТАНОВЛИВАЮЩЕЙ ПОДХОДЫ К ВОЗВРАТУ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА В ГОСУДАРСТВО ИХ ПОСТАВЩИКА

Курьиндин А. В., к. т. н. (kuryndin@secnrs.ru), Киркин А. М. (kirkin@secnrs.ru),  
Маковский С. В. (makovskiy@secnrs.ru) (ФБУ «НТЦ ЯРБ»),  
Гусаков-Станюкович И. В. (Gusakov-Stan.I.V@tenex.ru) (АО «Техснабэкспорт»)

Статья поступила в редакцию 26.11.2019 г.

*В настоящее время Российская Федерация принимает на своей территории с целью переработки облученные тепловыделяющие сборки, изготовленные для реакторов российского производства, эксплуатируемых за рубежом. Действующим законодательством предусмотрено, что продукты переработки указанных сборок должны быть направлены в государство их поставщика. Существующие подходы к определению количества данных продуктов в настоящий момент изложены в руководстве по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендации по обеспечению безопасности при возврате продуктов переработки облученных тепловыделяющих сборок в государство их поставщика» (РБ-092-13). В настоящей работе приведен анализ необходимости актуализации возможных методов определения количества продуктов переработки, подлежащих возврату государству-поставщику отработавших тепловыделяющих сборок, а также содержатся предложения по внесению соответствующих изменений в РБ-092-13.*

► **Ключевые слова:** отработавшее ядерное топливо, возврат продуктов переработки, эквивалент активности.

## DEVELOPMENT OF LEGAL AND REGULATORY BASIS FOR APPROACHES TO RETURN OF REPROCESSING PRODUCTS OF SPENT NUCLEAR FUEL TO THE SUPPLIER'S STATE

Kuryndin A. V., Ph. D., Kirkin A. M., Makovskiy S. V. (SEC NRS),  
Gusakov-Stanyukovich I. V. (JSC «Tenex»)

Article received 26 November 2019

*The Russian Federation accepts on its territory spent nuclear assemblies that were manufactured for the Russian-designed reactors abroad for reprocessing. According to current legislature products of spent nuclear fuel reprocessing are subject to return to the Supplier's state. Present approaches to determination of reprocessing products quantity are established in safety guide RB-092-13 «Recommendations to Safety Ensuring the Return of the Irradiated Fuel Assemblies Reprocessing Products to the Supplier's State». This paper presents analysis of possible update of approaches to determination of reprocessing products quantity and contains proposals for changes of RB-092-13.*

► **Keywords:** spent nuclear fuel, return of reprocessing products, activity equivalent.

## Введение

На текущий момент во всем мире эксплуатируются более 50-ти энергоблоков с реакторами ВВЭР-440 и ВВЭР-1000, из которых более 30-ти находятся за пределами Российской Федерации. Производство ядерного топлива (ЯТ) для всех энергоблоков, в том числе зарубежных, осуществляется российской топливной компанией АО «ТВЭЛ». В ходе эксплуатации энергоблоков образуются значительные объемы отработавшего ядерного топлива (ОЯТ), обращение с которым, в частности его переработка или захоронение в глубоких геологических формациях, требует наличия развитых технологий и существенных финансовых вложений. Российская Федерация при заключении государственных контрактов на сооружение атомных электрических станций (АЭС) за рубежом предоставляет иностранным партнерам возможность направления ОЯТ, образующегося в ходе эксплуатации АЭС, в Россию для его переработки. Так, в настоящее время уже осуществляется вывоз ОЯТ с ранее сооруженных АЭС, например АЭС Украины и Болгарии [1].

Кроме вывоза ОЯТ энергетических реакторов, Российская Федерация в соответствии с Программой возврата топлива исследовательских реакторов российского производства [2] принимала на своей территории также ОЯТ исследовательских ядерных установок (ИЯУ), которое характеризуется высоким начальным обогащением и потенциально может быть опасным с точки зрения распространения ядерного оружия.

В соответствии с основными принципами охраны окружающей среды, установленными Федеральным законом № 7-ФЗ [3], негативное воздействие любой деятельности должно быть максимально снижено, учитывая экономические и социальные факторы. С учетом указанных принципов, с целью поддержания экологического баланса и снижения негативного воздействия от деятельности по переработке ОЯТ, образованного при эксплуатации АЭС и ИЯУ, сооруженных по российским проектам за рубежом, федеральными законами № 7-ФЗ [3] и № 170-ФЗ [4] предусмотрена приоритетность права возврата продуктов переработки указанного ОЯТ поставщику. Определение объемов и типа возвращаемых продуктов переработки осуществляется по согласованным обеими сторонами методикам, которые разрабатываются в соответствии с Положением [5]. При этом данное Положение не содержит конкретного порядка,

в соответствии с которым должны определяться объемы возвращаемых продуктов переработки. Тем не менее в [5] указано, что количество данных продуктов должно определяться исходя из условия эквивалентности их активности и активности ввезенного ОЯТ.

С целью установления единого подхода к определению эквивалентности активности ОЯТ и возвращаемых продуктов его переработки в 2013 г. при участии авторов настоящей статьи было разработано и утверждено Ростехнадзором руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендации по обеспечению безопасности при возврате продуктов переработки облученных тепловыделяющих сборок в государство их поставщика» РБ-092-13 [6], которое на основе имеющегося опыта разработки методик определения эквивалента активности устанавливает рекомендации по определению количества продуктов переработки ОЯТ, возвращаемых в государство их поставщика. В соответствии с рекомендациями [6] продукты переработки ОЯТ предполагается отправлять в страну их происхождения в форме отверженных высокоактивных радиоактивных отходов (ВАО). Иллюстрация существующих подходов к регулированию возврата продуктов переработки ОЯТ в государство их поставщика приведена на рис. 1.

В [6] приведены рекомендуемые аналитические зависимости для определения количества радиоактивных отходов (РАО), которые необходимо возвращать в государство их поставщика. Данные зависимости позволяют определить объемы РАО, эквивалентные объемам ввезенного ОЯТ, исходя из дозовых эквивалентов радионуклидов, входящих в состав ОЯТ и РАО, характеризующих величину эффективной дозы, которую получит человек при поступлении данных радионуклидов в организм с пищей. Так, в [6] дозовый эквивалент отдельно взятого радионуклида определяется по формуле:

$$E^i(t) = A^i(t) \cdot K^i, \quad (1)$$

где:

$A^i(t)$  – активность  $i$ -го радионуклида на момент времени  $t$ ;

$K^i$  – дозовый коэффициент  $i$ -го радионуклида.

При этом возврату подлежит такое количество РАО, дозовый эквивалент которых равен дозовому эквиваленту ввезенного ОЯТ на момент возврата:

$$E^{\text{РАО}}(t_{\text{возвр}}) = E^{\text{ОЯТ}}(t_{\text{возвр}}). \quad (2)$$

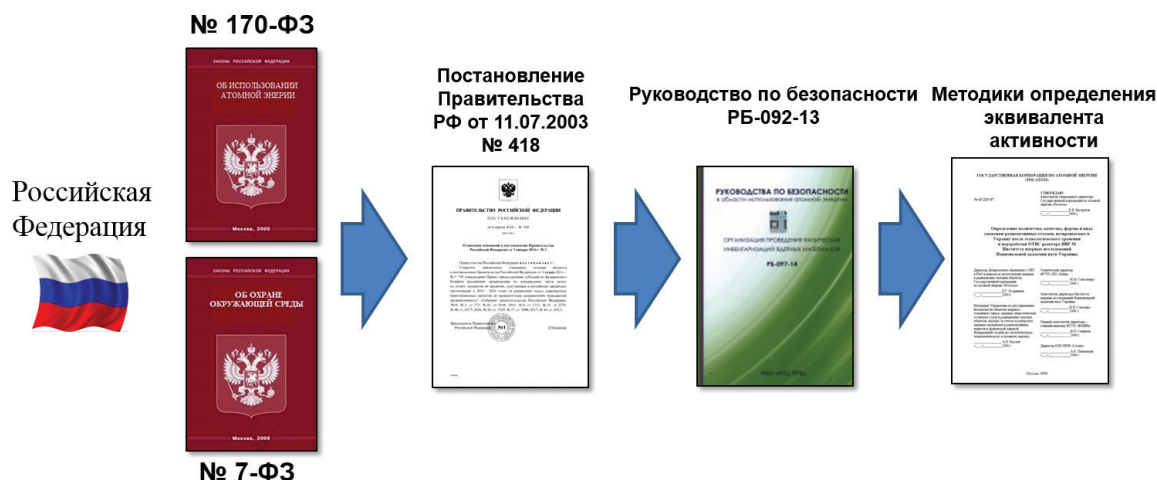


Рис. 1. Нормативно-методические основы возврата продуктов переработки ОЯТ в государство их поставщика

Необходимо отметить, что рекомендации РБ-092-13 [6] исходят из того, что в процессе переработки ОЯТ происходит технологическое извлечение делящихся материалов, которые остаются в Российской Федерации, и их вклад при проведении расчетов не учитывается.

На текущий момент уже накоплен определенный опыт использования РБ-092-13 [6] при определении количества РАО, возвращаемого в страну происхождения отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС).

### Перспективные подходы к возврату продуктов переработки отработавшего ядерного топлива

Следует отметить, что положения РБ-092-13 [6] являются рекомендациями, и, согласно п. 5 [6], обязательные требования нормативных документов могут быть выполнены с использованием иных подходов при обоснованности данных с точки зрения обеспечения безопасности. Так как реализуемые в соответствии с рекомендациями РБ-092-13 [6] подходы к возврату продуктов переработки исключают отправку государству-поставщику таких продуктов, как ядерные делящиеся материалы (ЯДМ) – регенерированный U, Pu, а также Np, – то данные продукты не учитываются при определении дозового эквивалента возвращаемых РАО. Предполагается, что ЯДМ являются достаточно ценными продуктами и могут в дальнейшем использоваться при производстве регенерированного ЯТ (например, МОКС-топлива).

Однако для обращения с ЯДМ требуется обеспечение достаточно высокого уровня безопасности.

Например, в работе [7] показано, что в связи с длительным периодом полураспада ЯДМ и большими значениями их дозовых эквивалентов данные нуклиды могут оказывать потенциально большее радиационное воздействие, чем продукты деления, которые учитываются при определении эквивалента активности. Следует также отметить, что в Российской Федерации к настоящему времени уже накоплено достаточно большое количество собственного ОЯТ. Таким образом, в качестве одного из вариантов усовершенствования действующего в Российской Федерации порядка возврата продуктов переработки ОЯТ, в соответствии с принципами, заложенными в Федеральном законе № 7-ФЗ [3], может рассматриваться учет ЯДМ при расчетах дозовых эквивалентов.

Перспективным может также являться возврат продуктов переработки ОТВС в государство их поставщика в виде свежих тепловыделяющих сборок (ТВС), содержащих регенерированные ЯДМ. В этом случае возможно значимое снижение количества РАО, возвращаемых государству-поставщику ОТВС, за счет учета дозового эквивалента регенерированных ЯДМ, входящих в состав свежей ТВС, что может избавить поставщика ОТВС от необходимости сооружения крупных хранилищ и/или объектов захоронения ВАО в глубоких геологических формациях на своей территории, что предусмотрено п. 1.17 [8].

В работе [7] показано, что учет дозовых эквивалентов ЯДМ и их возврат в виде свежего уран-плутониевого топлива приведет к существенному (до 90 %) снижению объемов РАО, возвращаемых в государство их поставщика, а также потенциально приведет к улучшению радиационной

обстановки в Российской Федерации в будущем за счет того, что РАО, остающиеся в Российской Федерации после переработки ОЯТ зарубежной АЭС, в долгосрочной перспективе потенциально оказывают меньшее радиационное воздействие, чем гипотетическое хранение эквивалентных им по активности регенерированных ЯДМ, что соответствует принципу минимизации негативного экологического воздействия, установленному в ст. 10 Федерального закона № 7-ФЗ [3].

Следует также отметить, что учет ядерных материалов (ЯМ) в качестве одного из возможных сценариев при осуществлении возврата продуктов переработки ОЯТ в настоящее время уже предусмотрен Стратегией обращения с ОЯТ Белорусской АЭС [9].

#### **О возможных изменениях нормативной базы, направленных на учет перспективных подходов к возврату продуктов переработки отработавшего ядерного топлива**

Как было указано ранее, РБ-092-13 [6] не учитывает перспективный подход, связанный с учетом ЯМ при возврате продуктов переработки ОЯТ в государство их поставщика, и, в соответствии с положениями п. 5 [6], данный подход рекомендуется реализовывать при условии дополнительных обоснований безопасности при осуществлении каждого конкретного возврата. С целью предоставления унифицированных рекомендаций по определению эквивалента активности продуктов переработки ОЯТ с учетом дозовых эквивалентов ЯДМ целесообразно рассмотреть возможность внесения соответствующих изменений в РБ-092-13 [6].

В частности, в [6] необходимо предусмотреть выбор варианта, который может использоваться при определении эквивалента активности (возврат эквивалента активности ОЯТ в виде РАО либо в виде свежего ЯТ, содержащего регенерированные ЯДМ). Для этих целей потребуются актуализировать (пересмотреть) рекомендуемые соотношения для расчета активности РАО, возвращаемых в государство их поставщика, представленные в приложении № 1 к [6] в части учета ЯДМ. Указанные соотношения должны определять количество возвращаемых РАО, в том числе с учетом возврата свежего ЯТ, содержащего регенерированные ЯМ, и учитывать дозовые эквиваленты ОТВС, остеклованных ВАО и свежей ТВС, содержащей регенерированные ЯМ. Дозовый эквивалент свежей ТВС должен определяться

с учетом всех входящих в свежую ТВС регенерированных ЯМ. В частности, в случае МОКС-топлива следует учитывать дозовые эквиваленты изотопов  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$ ,  $^{242}\text{Pu}$  и  $^{241}\text{Am}$ .

Действующая редакция РБ-092-13 [6] не учитывает возможное влияние временных показателей на количество возвращаемых продуктов переработки, так как эквивалент активности определяется только на момент возврата продуктов переработки. Дозовый эквивалент короткоживущих радионуклидов, несмотря на свое большое значение в начальный момент времени, относительно быстро спадает, тогда как долгоживущие радионуклиды несут потенциальную опасность в течение продолжительного периода времени.

Влияние указанных факторов может быть проиллюстрировано на примере дозового эквивалента свежего МОКС-топлива, содержащего 4 % Pu энергетического качества, и РАО, образующихся при переработке ОЯТ различных реакторов. Активность МОКС-топлива определяется долгоживущими ЯМ (период полураспада составляет до нескольких десятков тысяч лет) и продуктами их распада, в то время как активность РАО определяется сравнительно короткоживущими радионуклидами (период полураспада составляет до нескольких сотен лет). На рис. 2 приведен график изменения дозового эквивалента одной тонны свежего МОКС-топлива и эквивалентного ему на начальный момент времени количества РАО.

Из представленных зависимостей видно, что, несмотря на равенство дозовых эквивалентов ВАО и ЯДМ на начальный момент, данные значения существенно расходятся с увеличением времени хранения ОТВС. В конечном итоге дозовый эквивалент регенерированных ЯМ изменяется со временем незначительно, в то время как аналогичное значение для ВАО становится несущественным в сравнении с дозовым эквивалентом ЯДМ по прошествии 200 – 300 лет.

Учет влияния хранения ОТВС и РАО для различных радионуклидов может быть осуществлен, например, посредством установления конкретного обоснованного соотношения между величиной эквивалента активности радионуклидов, а также начального и конечного момента времени рассматриваемого варианта обращения с ОТВС и РАО.

Указанное соотношение при условии его включения в РБ-092-13 [6] позволит исключить имеющуюся неопределенность в части времени определения эквивалента активности и более

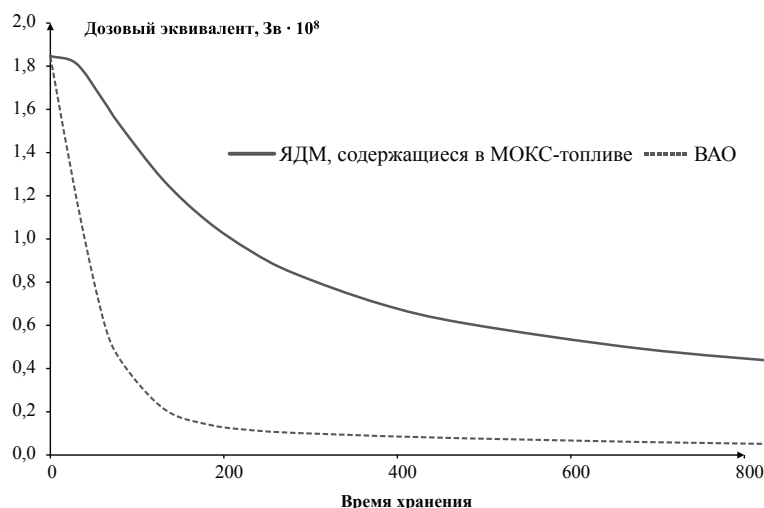


Рис. 2. Зависимость дозового эквивалента ЯДМ в МОКС-топливе и ВАО от времени

корректно учитывать радиационное воздействие продуктов переработки. Кроме того, предлагаемый подход позволит потенциально снизить радиационное воздействие от ОЯТ иностранного происхождения на население Российской Федерации.

Реализуемые в РБ-092-13 [6] подходы учитывают радиационное воздействие только от внутреннего облучения человека при поступлении радионуклидов с пищей, что приводит к неучету других радиационных факторов и может привести к недооценке возвращаемых продуктов переработки. Для учета всех факторов могут применяться и другие подходы к определению эквивалента активности, основанные, например, на вероятности возникновения заболеваний у человека, учете внешнего облучения. По этой причине, по мнению авторов, необходим детальный анализ с целью определения оптимального подхода, соответствующего основным принципам охраны окружающей среды, установленным в [3], и позволяющего максимально снизить радиационное воздействие от ввозимого ОЯТ и продуктов его переработки на население Российской Федерации.

### Заключение

Реализуемые в настоящий момент в Российской Федерации подходы к возврату продуктов переработки ОЯТ в государство их поставщика апробированы опытом и закреплены рядом межгосударственных соглашений. Однако с целью реализации предусмотренного Федеральным законом № 7-ФЗ [3] принципа минимизации негативного экологического воздействия представляется целесообразным пересмотреть действующие подходы и актуализировать их за счет учета возможных вариантов возврата продуктов переработки и определения оптимального и научно-обоснованного метода оценки эквивалента активности продуктов переработки и ввозимых ОТВС. Предложенные в настоящей работе возможные изменения в РБ-092-13 [6] позволят не только повысить конкурентоспособность российских атомных технологий, но и приведут к снижению негативного воздействия на окружающую среду от деятельности по обращению с ОЯТ зарубежного происхождения.

### Литература

1. Пятый национальный доклад Российской Федерации о выполнении обязательств, вытекающих из Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами. Москва, 2017. Режим доступа: <https://www-ns.iaea.org/downloads/rw/conventions/russian-federation-national-report.pdf>, свободный.

2. О заключении соглашения между Правительством Российской Федерации и Правительством Соединенных Штатов Америки о сотрудничестве по ввозу в Российскую Федерацию ядерного топлива исследовательских реакторов, произведенного в Российской Федерации: постановление Правительства Российской Федерации от 09.01.2004 № 6. Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102084892>, свободный.

3. Об охране окружающей среды: Федер. закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 31.12.2017).
4. Об использовании атомной энергии: Федер. закон от 21.11.1995 № 170-ФЗ (ред. от 03.07.2016).
5. О порядке ввоза в Российскую Федерацию облученных тепловыделяющих сборок ядерных реакторов (вместе с Положением о ввозе в Российскую Федерацию облученных тепловыделяющих сборок ядерных реакторов): постановление Правительства Российской Федерации от 11.07.2003 № 418 (ред. от 04.09.2012).
6. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендации по обеспечению безопасности при возврате продуктов переработки облученных тепловыделяющих сборок в государство их поставщика. РБ-092-13: утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 30.12.2013 № 655.
7. Курындин А. В., Киркин А. М., Маковский С. В., Гусаков-Станюкович И. В., Новиков А. С., Щекочихин А. А. Реализуемые и перспективные подходы к возврату продуктов переработки отработавшего ядерного топлива в государство поставщика // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Материаловедение и новые материалы. 2019. Выпуск 2 (98). С. 48 – 59.
8. Обращение с радиоактивными отходами перед захоронением. Общие требования безопасности. № GSR Part 5. МАГАТЭ, 2010.
9. Стратегия обращения с отработавшим ядерным топливом Белорусской атомной электростанции: утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь 22.08.2019 № 558.

### References

1. The Fifth National Report of the Russian Federation on the Fulfillment of Commitments Resulting from the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. Moscow, 2017: <https://www-ns.iaea.org/downloads/rw/conventions/russian-federation-national-report.pdf>
2. On the Conclusion of the Agreement between the Government of the Russian Federation and the Government of the United States of America on Cooperation on the Repatriation to the Russian Federation of the Research Reactor Nuclear Fuel Fabricated in the Russian Federation: the RF Government Ordinance No. 6 of 09.01.2004: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102084892>
3. Federal Law on Environmental Protection No. 7-FZ of 10.01.2002 (as amended on 31.12.2017).
4. Federal Law on the Use of Atomic Energy No. 170-FZ of 21.11.1995 (as amended on 03.07.2016).
5. On the Procedure for Importing into the Russian Federation the Spent Fuel Assemblies from Nuclear Reactors (together with the Regulation on Importing into the Russian Federation the Spent Fuel Assemblies from Nuclear Reactors): the RF Government Ordinance No. 418 of 11.07.2003 (as amended on 04.09.2012).
6. Nuclear Safety Guide. Safety Guidelines for the Return of the Products of Spent Fuel Assemblies Reprocessing to the Supplier State. RB-092-13: Endorsed by the Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service Order No. 655 of 30.12.2013.
7. Kuryndin A. V., Kirkin A. M., Makovsky S. V., Gusakov-Stanyukovich I. V., Novikov A. S., Shchekochikhin A. A. Current and Future Approaches to the Return of the Products of Spent Nuclear Fuel Reprocessing to the Supplier State // Issues of Nuclear Science and Engineering. Series: Materials Science and New Materials. 2019. Issue 2 (98). P. 48 – 59.
8. Predisposal Management of Radioactive Waste. General Safety Requirements. GSR Part 5. IAEA, 2010.
9. Strategy of Spent Nuclear Fuel Management for Belarus Nuclear Power Plant: Endorsed by the Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus No. 558 of 22.08.2019.

