

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ЛИДЕРСТВО НА ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫХ СТАДИЯХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА: ЗАПРОС НА ПОДГОТОВКУ КАДРОВ

Е.М. Мелихова\*, И.Л. Абалкина\*, П.С. Кондратенко\*,\*\*,

А.И. Ксенофонтов\*\*\*

\* *Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН  
115191, Москва, ул. Б. Тульская, д. 52*

\*\* *Московский физико-технический институт*

*141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер., 9*

\*\*\* *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
115409, г. Москва, Каширское шоссе, д. 31*



Разворачивающиеся в России работы по выводу из эксплуатации объектов использования атомной энергии являются долгосрочным и масштабным направлением деятельности. Даются оценки числа объектов, подлежащих выводу из эксплуатации в России, и длительности реализации разных этапов работ. Отмечены техническая сложность и высокая стоимость работ по выводу из эксплуатации, обусловленные тем, что многие остановленные ядерно и радиационно опасные объекты являются уникальными, а некоторые – проблемными. Нацеленность Росатома на технологическое лидерство в новой области требует своевременной подготовки квалифицированного и мотивированного персонала. В статье рассмотрены ключевые требования МАГАТЭ к управлению человеческими ресурсами на заключительных стадиях жизни объектов использования атомной энергии, а также имеющиеся у Росатома заделы в этой области. Названы уже сформировавшиеся в ряде отраслевых предприятий и научных институтов центры компетенций по отдельным видам работ в области вывода из эксплуатации. Показано, что ключевым шагом в создании эффективной системы подготовки кадров для нового направления деятельности Росатома является формирование стратегического видения того, как и когда использовать людские ресурсы и какие именно знания и навыки нужны на заключительных стадиях жизненного цикла. На основании опыта Научно-технического совета № 10 Росатома «Экология и радиационная безопасность» сделан вывод о недостаточном использовании потенциала оптимизации радиационной защиты при организации работ по выводу из эксплуатации объектов ядерной энергетики. Отмечена необходимость многодисциплинарной подготовки будущих специалистов в этой области с обязательным изучением основ радиобиологии и радиозологии, проектного менеджмента и управления рисками.

**Ключевые слова:** заключительные стадии жизненного цикла объектов использования атомной энергии, вывод из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов, подготовка кадров для вывода из эксплуатации, оптимизация радиационной защиты.

© *Е.М. Мелихова, И.Л. Абалкина, П.С. Кондратенко, А.И. Ксенофонтов, 2020*

## ВВЕДЕНИЕ

Ведущие ядерные страны уже несколько десятилетий успешно реализуют долгосрочные масштабные государственные программы по ликвидации наследия гонки вооружений, в том числе по выводу из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов и реабилитации радиационно-загрязненных территорий, использовавшихся для производства ядерного оружия. Россия приступила к системному и комплексному решению проблем ядерного наследия фактически только в последнее десятилетие, параллельно идет формирование новой сферы деятельности – вывод из эксплуатации (далее ВЭ). К 2030 г. Росатом намерен стать технологическим лидером в этой области не только в России, но и в мире.

Таблица 1

**Проекты по созданию пунктов захоронения ВАО и ОЯТ [1]**

Страна	Категория РАО	Начало работ (НИОКР), г.	Планируемая дата ввода в эксплуатацию, г.	Период эксплуатации до закрытия
Бельгия	ВАО**	1974	2080	
Великобритания	ВАО**/ОЯТ**	Начало 1980-х	2075	~120 лет
Венгрия	ВАО/ОЯТ	1992	2064	
Германия	ВАО/ОЯТ	1975	После 2030	
Нидерланды	НАО/САО/ВАО	1993	2100	
Испания	ОЯТ/ВАО	1985	Не определена	
Канада	ОЯТ/ВАО	1984	2035	163 года
Россия	ВАО	2008	После 2030 (первая очередь)	~30 лет
США	ОЯТ	1983	Не определена	
Финляндия	ОЯТ	1987	2022	~100 лет
Франция	САО и ВАО	1987	2025	
Швейцария	ОЯТ/ВАО	2008	2060	
Швеция	ОЯТ	1975	2019	
Чехия	ДЖ НАО / САО / ОЯТ	1992	2065	
Япония	ВАО и ТРУ РАО	1976	Не определена	

Примечание: ВАО – высокоактивные отходы; ОЯТ – отработанное ядерное топливо; НАО – низкоактивные отходы; САО – среднеактивные отходы; ДЖ НАО – долгоживущие низкоактивные отходы; ТРУ – трансурановые РАО

О масштабах предстоящих работ говорят, например, следующие факты. В мире в период до 2030 г. работы по ВЭ будут проводиться на 240 реакторных установках мощностью свыше 50 МВт. В России инвентаризационный перечень ядерно и радиационно опасных объектов (ЯРОО) насчитывает 2210 единиц. На 2015 г. была прекращена эксплуатации 347 ЯРОО, введенных в эксплуатацию до 1970 г. (включая 55 ядерных установок и 124 пункта хранения). Росатом планирует в ближайшие 10 – 15 лет нарабатывать опыт по ВЭ на большом количестве самых разнообразных объектов, включая 18 энергоблоков АЭС, 13 промышленных уран-графи-

товых реакторов, 24 исследовательских реактора и другие объекты [2].

Входящие в триаду заключительных стадий жизненного цикла (далее ЗСЖЦ) задачи безопасного обращения с ОЯТ и РАО и ВЭ являются не только масштабными, но и беспрецедентно длительными по времени.

Таблица 2

**Мировой опыт эксплуатации ПИЛ [1]**

Страна	Название ПИЛ	Порода	Назначение	Глубина, м	Выполнение НИОКР, лет	
					Начало	Срок
Бельгия	HADES	Глины	О-С-Т-Х-Г-М-Р+Д	230	1980-е	> 40
Венгрия	Pecs	Аргиллиты	К-С-А	1000	1990-е	> 5
Германия	Asse	Соли	О-В-Г-М-Р+Д	490 – 950	1960-е	> 30
	Garleben	Соли	К-С-А	840	1980е	>25
	Konrad	Другие	К-С-ХГМ	800 – 1300	1980-е	>25
	Morsleben	Соли	К-С-Д	500	1990-е	> 25
Канада	AECL	Граниты	О-Т-Х-Г-М	240 – 420	1980-е	> 25
Россия	ERLIK	Граниты	О-С-Т-Х-Г-М-Р-А+Д	450-550	2010-е	> 9
США	Climax	Граниты	О-В-Д	300	1970-е	~ 10
	G-Tunnel	Соли	О-В-Т-Х-М	420	1980-е	~ 10
	Busted Butte	Туф	О-С-Х-Г-М	420	1990-е	~ 10
	WIPP	Соли	К-С-Т-Х-Г-М-Р+Д	655	1980-е	> 10
	ESF	Туф	К-С-Т-Х-Г-М+Д	300	1990-е	> 15
Финляндия	ONKALO	Граниты	К-С-Т-Х-Г-М-Р+Д	500	2000-е	~ 15
Франция	Fanay-Augeris	Граниты	О-В-Т-Х-Г-М	–	1980-е	~ 10
	Amelie	Соли	О-В-Т-М +Д	–	1980-е	> 15
	Turnemire RT	Аргиллиты	О-В-Х-Г-М	250	1990-е	~ 30
	Bure	Аргиллиты	К-С-Т-Х-Г-М-Р+Д	500	2000-е	~ 20
Швейцария	GrimselTS	Граниты	О-В-Т-Х-Г-М	450	1980-е	> 35
	Mont Terri URL	Аргиллиты	О-В-Т-Х-Г-М	230	1990-е	> 25
Швеция	Aspo HRL	Граниты	О-С-Т-Х-Г-М+Д	450	1990-е	~ 30
	Stripa	Граниты	О-В-Т-Х-Г-М	410	1970-е	> 20
Ю. Корея	KURT	Граниты	О-С-Т-Х-Г-М+Д	90	2000-е	~ 15
Япония	Tono	Другие	О-В-Х-Г-М	130	1980-е	> 20
	Kamaishi	Граниты	О-С-А	700	1980-е	~ 25
	MiU	Граниты	О-С	300	2000-е	> 15
	Honorobe	Другие	О-С-Т-Х-Г-М-Р	250	2000-е	> 15

Примечание: О – ПИЛ общего назначения; К – ПИЛ конкретного назначения; С – специально сооруженная ПИЛ; В – ПИЛ в существующей выработке; Т – тепловые; Х – химические; Г – гидро-геологические; М – механические; Р – радиационные; Д – демонстрационные; А – характеристика

Накопленный в мире опыт свидетельствует, что в создании пункта глубинного захоронения (ПГЗРО) для окончательной изоляции долгоживущих высокоактивных РАО успевают поучаствовать несколько поколений специалистов (табл. 1). Работы в подземных исследовательских лабораториях (ПИЛ) по изучению характеристик горных пород и создаваемых инженерных барьеров для ПГЗРО занимают десятки лет (табл. 2 [1]).

В России строительство ПИЛ начато в 2018 г. в гранитогнейсовых породах Нижнеканского массива. Исследования горных пород выполняются с 1992 г., планиру-

емый срок ввода ПИЛ в эксплуатацию – 2023 г. Комплексные исследования будут проводиться непосредственно на глубине, а также за пределами участка «Енисейский» на направлениях прогнозируемого движения загрязненных подземных вод после выхода за пределы системы инженерных барьеров. ПГЗРО будет создано после 2030 г.

Таблица 3

**Проекты по ВЭ, реализованные в ведущих ядерных странах**

Тип объекта	США	Великобритания	Франция	Россия
Реакторы-наработчики плутония	Хэнфорд: (8 законс. на 75 лет, 1 превращен в нац. музей)	–	–	ПУГР ЭИ-2 (СХК)
Промышленные площадки объектов ЯОК	- Завод Ферналд, - Завод Роки-Флэтс, - Лаборатория Маунд Сайт, - Техническая зона TA-21, Лос-Аламос, - Ривер Коридор в Хэнфорде	Селлафилд – планируемый срок завершения работ – 2120 г.	Площадки заводов UP2-800 и UP 3 в Ла-Аг – планир.срок завершения работ 2040 – 2060 гг.	–
Объекты ЯТЦ (производство топлива, обогащение, добыча)	- Газодиффузион. комплекс в Ок-Ридже, - Umetco site, Gas Hills Mining District, WY (добыча)	- Winfrith (производство Pu-топлива), - Саренhurst (добыча)	- SICN: произв. топлива на площадке Вёре-Воруаз - Завод в Пьерелате - Завод U-1	- МЗП, Москва, 1999 – 2002 гг. - ХМЗ ГХК Красноярск - Временное хранилище ЖРО, СХК, Северск - Производство твэлов для ПУГР, НЗХК, Новосибирск - Корп. диффузионного оборудования и площадки 115а, СХК, Северск
Исследовательские ядерные реакторы (около 300 ед. в мире на 2018 г.)	- Juggernaut, IL - Janus, IL - AFSR Argonne Fast Source, ID - TRIGA Cornell Univ. NY	- Berkley Zero Energy, Berkley, - Hector, Dorchester - ICI TRIGA Reactor, Billibgham, Nestor, Didcot	- Silhouette, Grenoble - Melusine, Grenoble - Harmonie, St-Paul-les-Durance	16 ИР до 2016г., включая - МР и РТФ (КИ, Москва) - РФ-ГС и БР-1 (ФЗИ, Обнинск) - АСТ-1 и РТБ-10/1 (НИИАР, Димитровград) - ВВРЛ-02 и ВВРЛ-03 (НИИП, Лыткарино)
Исследовательские установки	- КС «ZPR-6», «ZPR-9» Argonne NL - КС «PRCF Plutonium Recycle Critical», WA	- КС «Horace», Aldemarston - КС «Hazel», Dicot - КС «Puma», Thurso	- КС «Marius», «Cesar», «Peggy» in St-Paul-les-Durance - Rachel, Dijon	- Корпус «Б», ВНИИНМ-КС «Маяк», Москва - КС «Стенд-1» Электросталь - КС «SGO», Обнинск - Ускорительный комплекс У-70 ИФВЭ, Протвино

Задачи по выводу из эксплуатации (ВЭ) ЯРОО также могут иметь весьма долгосрочный характер. Например, в США реализация проектов по ВЭ объектов ядерного наследия началась в 1989 г. Сегодня, спустя 30 лет, работы завершены на 85% объектов. Оставшиеся 15% – это реакторы-наработчики плутония, заводы по производству топлива, обогащению и другие сложные объекты. Их ликвидация должна завершиться к 2050 г. В Великобритании работы по ВЭ объектов ядерного наследия

стартовали в 2004 г. До 2120 г. должны быть ликвидированы 17 ядерных площадок и установок (Магнокс, Селлафилд, Харвелл, Даунри и др. [3]).

При стратегии отложенного демонтажа процесс вывода блока АЭС из эксплуатации, начинающийся после удаления ОЯТ из реактора, также зачастую растянут во времени. Минимальное время подготовки блока к сохранению под наблюдением составляет пять – шесть лет, максимальное – от 30-ти до 100 лет в зависимости от проекта. Демонтаж блока и рекультивация освободившейся территории промплощадки занимает не менее пяти – шести лет.

В мире на середину 2018 г. из 173-х остановленных реакторов (коммерческих, экспериментальных, прототипов) работы по ВЭ начаты на 115-ти. Работы завершены на 19-ти площадках, 10 из них уже доведены до состояния «зеленой лужайки» [4].

После останова реактора и удаления из него отработавшего ядерного топлива (далее ОЯТ) радиационные риски снижаются на несколько порядков. Дальнейшая работа по ВЭ, включающая в себя более тщательную дезактивацию, поэтапный демонтаж оборудования и зданий, разделение РАО по классам и заключительный мониторинг, требует тщательного планирования и организационных усилий. Долговременный характер, техническая сложность и высокая стоимость работ (например, вывод из эксплуатации площадки Селлафилд в Великобритании оценивается в 100 млрд. фунтов стерлингов [5]) во многом объясняют, почему к настоящему времени процесс ВЭ завершён только на небольшом числе крупных ядерных установок (см. табл. 3).

Кроме масштабности и длительности отметим также техническую сложность работ по ВЭ. Многие остановленные ЯРОО являются уникальными, некоторые – проблемными, поскольку они проектировались, сооружались и эксплуатировались без должного учета задач по ВЭ. Проблемные объекты требуют разработки адресных технологий ведения работ и индивидуальных подходов.

Разворачивающиеся в нашей стране работы по ВЭ являются долгосрочным, масштабным и интересным направлением с перспективами международной научно-технической кооперации. Как любое другое это направление должно быть обеспечено человеческими ресурсами.

### **ПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ ВЭ**

В требованиях МАГАТЭ по безопасности WS-R-5 и Объединенной конвенции указывается на обязанность эксплуатирующей организации обеспечить наличие надлежащего количества квалифицированных и подготовленных кадров для работ по ВЭ [6]. Недостаток квалифицированных кадров Агентство считает одним из барьеров на пути реализации проектов ВЭ и реабилитации [7, 8].

Долгое время считалось, что эксплуатационный персонал справится с задачами по ВЭ, поскольку знает объект и имеет навыки его эксплуатации. Часть работников нужна для поддержания безопасности в режиме останова объекта. Уже на этом этапе появляются новые регламенты обслуживания объекта, существенно отличающиеся от условий активной эксплуатации, что требует от эксплуатирующей организации дополнительных усилий по обучению персонала. В дальнейшем, на этапе вывода из эксплуатации более целесообразным становится привлечение кадров, имеющих профессиональную подготовку по специфическим аспектам ВЭ [8].

Мировой опыт показывает, что все больше объектов выводятся из эксплуатации компаниями, которые непосредственно специализируются на этой деятельности. В США, например, при ВЭ АЭС используются такие механизмы, как передача лицензии другой компании или даже выкуп объекта для его ВЭ на средства соответствующего фонда. В Испании деятельность по ВЭ ядерных объектов осуществляет нацио-

нальный оператор – государственная компания ENRESA, в чьи полномочия также входит обращение с РАО. Такие подходы дают возможность наращивания опыта компаний, непосредственно специализирующихся на ВЭ и обладающих требуемым арсеналом технологий и методов работ.

Дело в том, что для работ по ВЭ нужны знания и навыки не только в технической, но и в финансовой, юридической и социальной областях. Перечень необходимых специальностей довольно широк и включает в себя директоров объекта, управляющих программами и проектами по ВЭ, инженеров (электромехаников, химиков, строителей, геологов и т.д.), операционных менеджеров, занимающихся оптимизацией работ в повседневном режиме, специалистов по обоснованию безопасности конечного состояния, по лицензированию, по контролю радиационной, промышленной и физической безопасности, операционный и технический персонал (дезактивация, демонтаж, характеристика, переработка, транспортировка и хранение РАО), а также инженеров-исследователей [5].

Переход от эксплуатации и технического обслуживания объекта к его демонтажу и полной ликвидации требует иной организационной культуры и существенно большей гибкости, чем на этапе эксплуатации. ВЭ включает в себя стандартный набор шагов, некоторые из них могут представлять собой последовательность незапланированных и уникальных (единственных в своем роде) задач. Это значит, что перечень работ и используемых методов постоянно меняется, работать приходится в условиях отсутствия устоявшихся производственных процессов и регулярной смены места работы. Работа в опасных условиях с высокими и часто непредсказуемыми радиационными и промышленными рисками требует особой психологической готовности. На обучение специалистов для работы в таких условиях требуется существенно большее время. Например, в США сертификация специалиста по демонтажу при ВЭ проводится почти по 60-ти учебным темам. В компании «Брокк демонтаж Северо-Запад» подготовка оператора дистанционного управления робототехникой для демонтажа ЯРОО занимает не менее пяти – шести лет. Демонтажные работы на сложных или особо опасных участках в стесненных и ограниченных пространствах требуют от оператора виртуозного владения целым парком дистанционно управляемых роботов и соответствующим навесным оборудованием.

### **СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ДЛЯ ВЭ**

В нашей стране традиционный путь подготовки кадров для ВЭ включает в себя получение базового образования, работу в эксплуатирующей организации, накопление опыта и повышение квалификации, переход к задачам ВЭ, в основном, через самообразование и участие в научно-технических семинарах и конференциях. Роль базовых образовательных институтов Росатома пока малозаметна. В программе подготовки руководителей высшего звена управления АЭС в Технической академии Росатома есть общая тема «Вывод из эксплуатации». В нескольких опорных вузах Росатома ведется набор аспирантов по специальности «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации».

В Европейских странах, где работы по ВЭ ведутся уже несколько десятилетий, создана многоуровневая система подготовки кадров. В Великобритании, Германии, Франции на базе университетов студенты могут получить высшее образование (степени бакалавра, магистра и PhD) в области ВЭ и обращения с ОЯТ и РАО. В национальных ядерных центрах в Бельгии, Германии, Италии и Словакии есть специальные учебные курсы по ВЭ для профессионалов атомной отрасли. На предприятиях, в научных центрах и лабораториях организуется обучение (повышение) квалифи-

кации технических специалистов (монтажники, операторы дистанционного управления, обращение с РАО) и управленцев по ВЭ. Кроме того создаются специализированные центры с макетами выводимых из эксплуатации объектов, трехмерными компьютерными моделями, симуляторами, робототехническим оборудованием, радиометрами, гамма-спектрометрами и другим необходимым оборудованием [5].

Значительные усилия в направлении переподготовки кадров и повышения квалификации прилагает МАГАТЭ. Агентство проводит проекты технического сотрудничества, организует профильные конференции и технические совещания, курсы обучения, поддерживает онлайн-платформу по ВЭ и реабилитации. Например, крупные международные форумы по ВЭ проводились в 2006 г. в Афинах и в 2016 г. в Мадриде. Пример технического сотрудничества – проект RER-9150, нацеленный на оптимизацию решений при реализации крупных проектов по ВЭ и обращению с РАО в восточно-европейских странах, часть его мероприятий проходит в России. В течение десяти лет МАГАТЭ проводит двухнедельные межрегиональные учебные курсы по планированию и реализации ВЭ и реабилитации радиоактивно загрязненных площадок на базе Аргоннской национальной лаборатории (США). Рассматривается вопрос о новой программе на четырехлетний период с углубленным изучением отдельных тем. Одновременно функционируют поддерживаемые Агентством ресурсы онлайн-обучения.

Поскольку требования к квалификации персонала по ВЭ и его количественному составу определяются потребностями промышленности, появились разные формы взаимодействия промышленности с учебными институтами. Например, в Великобритании национальное Управление по выводу из эксплуатации (NDA) финансирует подготовку кадров для ВЭ в Национальной академии профессионального образования для атомной промышленности (NSAN). Во Франции создан специальный форум (EMEIN), участниками которого являются, с одной стороны, Национальный институт по атомной науке и технике, французский лидер в области ядерного образования TRINOM, два крупных университета и другие образовательные организации, с другой стороны – французский Комиссариат по атомной энергии, компании EDF, AREVA и ANDRA.

В нашей стране в ряде отраслевых предприятий и научных институтов уже сформировались центры компетенции по отдельным видам работ в области ВЭ. Так в НИЦ «Курчатовский институт» создан специализированный комплекс для проведения всего спектра работ по ВЭ исследовательских реакторов и других типов ЯРОО. Созданный в 2013 г. в Концерне «Росэнергоатом» Опытно-демонстрационный инженерный центр специализируется на ВЭ энергоблоков АЭС. Томский ОДЦ УГР является базовой компанией Росатома по ВЭ промышленных уран-графитовых реакторов. Красноярский «Квант» занимается выводом из эксплуатации объектов ядерно-топливного цикла.

На российских предприятиях и в организациях есть специалисты, прошедшие подготовку на курсах МАГАТЭ. Их целесообразно привлекать к взаимодействию с Технической академией Росатома при формировании программ повышения квалификации по различным аспектам ВЭ.

В опорном вузе Росатома – Национальном исследовательском ядерном университете «МИФИ» (НИЯУ МИФИ) в настоящее время более 90 аспирантов учатся по специальности «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации». Поскольку важно организовать обучение молодых специалистов, карьера которых с самого начала ориентирована на сферу ЗСЖЦ, в ближайшем будущем НИЯУ МИФИ планирует открыть новое направление подго-

товки магистров по ВЭ [8]. Обучение по этому направлению будет включать в себя курсы по ядерным технологиям и обращению с РАО, дозиметрию и радиационную защиту, радиоэкологию и т.д. Обсуждаются возможности сотрудничества с производственным холдингом «ТВЭЛ» в части разработки краткосрочных и долгосрочных программ обучения его работников, по привлечению студентов НИЯУ МИФИ на практику в организации «ТВЭЛ», а также по разработке программ магистратуры для подготовки специалистов по ВЭ ЯРОО.

При создании системы взаимодействия отраслевого образования и промышленности следует привлекать «смежников», занимающихся разными аспектами безопасности атомных технологий. Например, несколько лет назад один из специалистов Ростехнадзора выпустил хорошее учебное пособие по обращению с российскими РАО [9]. ИБРАЭ РАН владеет технологией многодисциплинарной подготовки студентов в области проблем безопасного развития атомных энерготехнологий на всех этапах их жизненного цикла, включая заключительные [10].

Отметим, что ключевым шагом в создании эффективной системы подготовки кадров для ВЭ является формирование стратегического видения того, как и когда использовать людские ресурсы и какие именно знания и навыки нужны на заключительных стадиях жизненного цикла ЯРОО. Хорошо продуманный стратегический план позволит существенно оптимизировать организационные затраты на подготовку персонала для ВЭ.

### **КРИТИЧЕСКИ ВАЖНАЯ ЗАДАЧА**

Текущие и планируемые Росатомом работы по ВЭ и развитию ЕГС РАО в настоящее время часто выносятся на обсуждение экспертов Научно-технического совета № 10 «Экология и радиационная безопасность» Госкорпорации «Росатом». В рамках НТС №10 создана специальная секция «Экологическая и радиационная безопасность пунктов долговременного хранения, консервации и захоронения РАО». Опыт работы этой секции подтверждает необходимость профессиональной подготовки специалистов по ВЭ. В первую очередь отметим важность формирования у будущих специалистов умения реализовать на практике принцип оптимизации радиационной защиты. Эта задача представляется критически важной.

Согласно требованиям МАГАТЭ, выбор стратегии ВЭ должен базироваться на оптимизации радиационной защиты персонала, населения и окружающей среды применительно ко всем аспектам планируемой деятельности [6, 11, 12].

Очевидно, что подходы к обеспечению безопасности по принципу «самый лучший вариант – самый дешевый» или, напротив, «самый лучший вариант – самый безопасный» являются излишне упрощенными и не учитывают всего многообразия принимаемых во внимание факторов. Мерами радиационной защиты нельзя пренебрегать, обеспечение требований безопасности является безусловным приоритетом. Но когда эти меры выходят за рамки разумной достаточности, деятельность перестает быть экономически эффективной. Например, более медленное выполнение каких-то работ может выразиться в общем удлинении сроков ВЭ и, как следствие, росте всех расходов, связанных с содержанием площадки. Нельзя также оставлять без внимания общепромышленные риски, которые начинают преобладать в работах на площадке по мере снижения рисков радиационных.

Пути оптимизации следует искать путем сравнения социально-экономических издержек для разных вариантов работ при соблюдении общих ограничений по дозам и рискам. Для решения этой задачи менеджерам проектов по ВЭ необходима многодисциплинарная подготовка, в обязательном порядке включающая в себя такие

дисциплины, как основы радиобиологии, основы радиоэкологии, проектный менеджмент и управление рисками. Отметим, что многолетний опыт преподавания ряда дисциплин специалистам физико-технического направления накоплен в ИБРАЭ РАН, где базируется одна из кафедр факультета проблем физики и энергетики МФТИ.

В настоящее время возможности оптимизации используются явно недостаточно, что прямо или косвенно препятствует снижению издержек на ВЭ и обращение с РАО. В случае, если источником финансирования проектов ВЭ является госбюджет, это означает, что ограниченные общественные ресурсы используются нерационально, а дорогостоящие проекты ВЭ одних объектов оставляют в листе ожидания другие объекты и направления.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Разворачивающиеся в нашей стране работы по ВЭ являются долгосрочным и масштабным направлением деятельности Росатома. Потребности отрасли в человеческих ресурсах для системы ВЭ ЯРОО будут нарастать. Наиболее востребованными окажутся специалисты с углубленной подготовкой по ключевым для ВЭ темам, обучение которых занимает несколько лет.

Для своевременной подготовки требуемого числа квалифицированного и мотивированного персонала и оптимизации организационных затрат на его подготовку нужно иметь стратегическое видение. С учетом междисциплинарного характера работ по ВЭ целесообразно определить перечни наиболее востребованных направлений и профессий с целью ориентации на них кадровой политики руководителей дивизионов и предприятий Росатома. Начинать эту работу следует уже сегодня, ориентируясь на потенциал системы отраслевого обучения (переподготовки) и опыт, накопленный в национальных центрах компетенций, а также лучшие зарубежные практики и рекомендации МАГАТЭ. Определенный кадровый задел может быть связан с привлечением «смежников» из органов регулирования и внеотраслевой науки.

Важной задачей подготовки будущих высококвалифицированных специалистов по ВЭ является освоение знаний, умений и навыков практической реализации принципа оптимизации радиационной защиты. Необходимым условием формирования этой базовой подготовки является получение мультидисциплинарного образования с обязательным изучением основ радиобиологии, радиоэкологии, проектного менеджмента и управления рисками.

### **Благодарность**

Авторы выражают благодарность заместителю директора по информационно-аналитической поддержке комплексных проблем ядерной и радиационной безопасности доктору технических наук Линге Игорю Иннокентьевичу за постановку проблемы и ценные замечания.

### **Литература**

1. *Цебаковская Н.С., Уткин С.С., Капырин И.В.* Обзор зарубежных практик захоронения ОЯТ и РАО. – М.: Комтехпринт. 2015. – 208 с.

Электронный ресурс: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32598384> (дата доступа 06.07.2019).

2. Проблемы ядерного наследия и пути их решения: в 3-х томах. Вывод из эксплуатации. Т. 3. / Под общ. ред. Л.А. Большова, Н.П. Лаверова, И.И. Линге. – М.: ОАО «ЭНЕРГОПРОМАНАЛИТИКА», 2015. – 316 с. Электронный ресурс: [http://elib.biblioatom.ru/text/problemu-yadernogo-naslediya\\_t3\\_2015/go,0/](http://elib.biblioatom.ru/text/problemu-yadernogo-naslediya_t3_2015/go,0/) (дата доступа 06.07.2019).

3. *Цебаковская Н.С., Уткин С.У., Иванов А.Ю., Сахаров В.К., Полунин К.Е.* Лучшие зарубежные практики вывода из эксплуатации ядерных установок и реабилитации загрязненных территорий. / Под общ. ред. И.И. Линге, А.А. Абрамова. – М.: ИБРАЭ РАН, 2017. – 336 с. Электронный ресурс: [www.ibrae.ac.ru/docs/публикации/2017\\_vol1\\_s](http://www.ibrae.ac.ru/docs/публикации/2017_vol1_s) (дата доступа 06.07.2019).
4. *Schneider M., Froggatt A.* World Nuclear Industry Status Report. Paris, London, September 2018. DOI: 10.13140/RG.2.2.23379.22567.
5. Education and Training in Nuclear Decommissioning: Needs, Opportunities and Challenges for Europe. Report EUR 27460 EN. European Commission Joint Research Centre, University of Birmingham. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 2015. Электронный ресурс: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/education-and-training-nuclear-decommissioning-needs-opportunities-and-challenges-europe> (дата доступа 06.07.2019).
6. Decommissioning of Facilities Using Radioactive Material. IAEA Safety Standards Series No. WS-R-5. – Vienna: IAEA. 2006. Электронный ресурс: <https://www.iaea.org/publications/7536/decommissioning-of-facilities-using-radioactive-material> (дата доступа 06.07.2019).
7. The Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. INFCIRC/546. – Vienna. IAEA. 1997. Электронный ресурс: <https://www.iaea.org/sites/default/files/infcirc546.pdf> (дата доступа 06.07.2019).
8. *Путилов А.В., Стриханов М.Н., Тихомиров Г.В.* Подготовка кадров для развивающейся атомной энергетики. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2019. – №2. – С. 208-218. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2019.2.18>.
9. *Пронкин Н.* Обеспечение безопасности обращения с радиоактивными отходами предприятий ядерного топливного цикла. – М.: Логос, 2012. – 417 с.
10. Официальный сайт ИБРАЭ РАН. Электронный ресурс: <http://www.ibrae.ac.ru/contents/249/> (дата доступа 06.07.2019).
11. Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3. – Vienna. IAEA. 2014. Электронный ресурс: [https://www-pub.iaea.org/publications/PDF/Pub1578\\_web-57265295](https://www-pub.iaea.org/publications/PDF/Pub1578_web-57265295) (дата доступа 06.07.2019).
12. Decommissioning of Facilities. Safety Standards Series No. GSR Part 6. Vienna. IAEA. 2014. Электронный ресурс: <https://www-pub.iaea.org/publications/PDF/> (дата доступа 06.07.2019).

Поступила в редакцию 09.07.2019 г.

#### **Авторы**

Мелихова Елена Михайловна, заведующая лабораторией  
E-mail: [e\\_mel@ibrae.ac.ru](mailto:e_mel@ibrae.ac.ru)

Абалкина Ирина Леонидовна, заведующая лабораторией  
E-mail: [abalkina@ibrae.ac.ru](mailto:abalkina@ibrae.ac.ru)

Кондратенко Петр Сергеевич, заведующий лабораторией, зам. заведующего кафедрой  
E-mail: [kondrat@ibrae.ac.ru](mailto:kondrat@ibrae.ac.ru)

Ксенофонтов Александр Иванович, доцент  
E-mail: [aiksenofontov@mephi.ru](mailto:aiksenofontov@mephi.ru)

**TECHNOLOGICAL LEADERSHIP IN NUCLEAR DECOMMISSIONING:  
THE NEEDS IN HUMAN RESOURCE DEVELOPMENT**

Melikhova E.M.\*, Abalkina I.L.\*, Kondratenko P.S.\*,\*\*, Ksenofontov A.I.\*\*\*

\* Nuclear Safety Institute of Russian Academy of Sciences (IBRAE RAN)  
52 B. Tuskaya, Moscow 115191 Russia

\*\* National Research Nuclear University (MEPhI)  
31 Kashirskoe shosse, Moscow, Russia, 115409 Russia,

\*\*\* Moscow Institute of Physics and Technology (MIPT)  
9 Institutskiy per., Dolgoprudny, Moscow Reg., 141701 Russia

## ABSTRACT

Expanding efforts on decommissioning shutdown nuclear facilities represent the long-term, large-scale and ambitious strategic direction for the Rosatom State Nuclear Energy Corporation. The present paper provides estimated numbers of different types of nuclear facilities to be decommissioned and the duration of various stages of these works. Technical complexity and high cost of decommissioning nuclear and radiation hazardous facilities associated with the uniqueness of some nuclear objects as well with systematic disregard of specific decommissioning problems during the design and operation stages are also noted. Rosatom's focus on the technological leadership in this area requires preparation in a timely manner of qualified and motivated personnel. The paper readdresses the key IAEA requirements for training and managing human resources for the final phases of decommissioning of nuclear installations, as well as discusses the Rosatom achievements in this field. The centers of competence as pertains to certain types of decommissioning operations already formed in a number of Russian industrial enterprises and scientific institutes are named. It is demonstrated that the key step in developing effective training system for Rosatom's new area of activities is to formulate a strategic vision of how and when human resources must be used and what specific competencies are needed during the final stages of the nuclear facilities' life cycle. Analysis of relevant experience of the Rosatom's Scientific-Technical Board No.10 «Ecology and radiation safety» reveals that sizeable potential associated with optimization of radiation protection is underused now. The paper emphasizes the need for multidisciplinary training of nuclear decommissioning project managers with compulsory studying of the basics of radiobiology and radioecology, design management and risk management.

**Key words:** final stages of life cycle of nuclear facilities, decommissioning of nuclear and radiation hazardous objects, education and training of personnel for nuclear decommissioning, radiation protection optimization.

## REFERENCES

1. Tsebakovskaya N.S., Utkin S.S., Kapyrin I.V. *Review of Foreign Practices of NSF and RW Disposal*. Moscow. Komtechprint Publ., 2015, 208 p. (in Russian). Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32598384> (accessed Jul 06, 2019) (in Russian).
2. *Nuclear Legacy Problems and their Solutions: in 3 volumes. Decommissioning. Vol. 3*. Editorship of L.A. Bolshov, N.P. Laverov, I.I. Linge. Moscow. ENERGOPROMANALITIKA Publ., 2015, 316 p. (in Russian). Available at: [http://elib.biblioatom.ru/text/problemy-yadernogo-naslediya\\_t3\\_2015/go,0/](http://elib.biblioatom.ru/text/problemy-yadernogo-naslediya_t3_2015/go,0/) (accessed Jul 06, 2019) (in Russian).
3. Tsebakovskaya N.S., Utkin S.S., Ivanov A.Yu., Saharov V.K., Polunin K.E. *Best Foreign Practices of Decommissioning of Nuclear Installations and Rehabilitation of Contaminated Territories*. Editorship of I.I. Linge and A.A. Abramov. Moscow. IBRAERAN Publ., 2017, 336 p.

(in Russian). Available at: [www.ibrae.ac.ru/docs/публикации/2017\\_vol1\\_s](http://www.ibrae.ac.ru/docs/публикации/2017_vol1_s) (accessed Jul 06, 2019) (in Russian).

4. Schneider M., Froggatt A. *World Nuclear Industry Status Report*. Paris, London, September 2018. DOI: 10.13140/RG.2.2.23379.22567.

5. *Education and Training in Nuclear Decommissioning: Needs: Opportunities and Challenges for Europe*. Report EUR 27460 EN. European Commission Joint Research Centre, University of Birmingham. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 2015. Available at: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/education-and-training-nuclear-decommissioning-needs-opportunities-and-challenges-europe> (accessed Jul 06, 2019).

6. *Decommissioning of Facilities Using Radioactive Material*. IAEA Safety Standards Series No. WS-R-5. Vienna: IAEA. 2006. Available at: <https://www.iaea.org/publications/7536/decommissioning-of-facilities-using-radioactive-material> (accessed Jul 06, 2019).

7. *The Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management*. INFCIRC/546. Vienna. IAEA, 1997. Available at: <https://www.iaea.org/sites/default/files/infcirc546.pdf> (accessed Jul 06, 2019).

8. Putilov A.V., Strikhanov M.N., Tikhomirov G.V. Training for the Developing Nuclear Power. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2019, no.2, pp. 208-218. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2019.2.18> (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2019.2.18>.

9. Pronkin N. *Provision of the Safe Management of Radioactive Wastes from Nuclear Fuel Cycle Facilities*. Moscow. Logos Publ., 2012, 417 p. (in Russian).

10. Official site of IBRAERAN. Available at: <http://www.ibrae.ac.ru/contents/249/> (accessed Jul 06, 2019) (in Russian).

11. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3. Vienna. IAEA. 2014. Available at: [https://www-pub.iaea.org/publications/PDF/Pub1578\\_web-57265295](https://www-pub.iaea.org/publications/PDF/Pub1578_web-57265295) (accessed Jul 06, 2019).

12. Decommissioning of Facilities. Safety Standards Series No. GSR Part 6. Vienna. IAEA. 2014. Available at: <https://www-pub.iaea.org/publications/PDF> (accessed Jul 06, 2019).

#### Authors

Melikhova Elena Mikhailovna, Head of Laboratory

E-mail: [e\\_mel@ibrae.ac.ru](mailto:e_mel@ibrae.ac.ru)

Abalkina Irina Leonidovna, Head of Laboratory

E-mail: [abalkina@ibrae.ac.ru](mailto:abalkina@ibrae.ac.ru)

Kondratenko Petr Sergeevich, Head of Laboratory, Deputy Head of Department

E-mail: [kondrat@ibrae.ac.ru](mailto:kondrat@ibrae.ac.ru)

Ksenofontov Alexander Ivanovich, Assistant Professor

E-mail: [aiksenofontov@mephi.ru](mailto:aiksenofontov@mephi.ru)