

соответственно. Рассчитаны средние значения и доверительные интервалы при уровне значимости 0.05, которые для ионизационных камер составляют  $153 \pm 26$  кБк  $\text{м}^{-3}$ , для камер Лукаса -  $153 \pm 25$  кБк  $\text{м}^{-3}$ , т.е. практически совпадают, что свидетельствует о высокой достоверности полученных результатов. Коэффициенты вариации  $OA$  для камер Лукаса и ионизационных камер составляют соответственно 45% и 43%. Значения воздухопроницаемости лежат в интервале  $0,0052 \dots 18 \text{ м}^2$ , среднее значение и доверительный интервал при уровне значимости 0.05 для этой величины составляют  $6.6 \pm 2.8 \text{ м}^2$ ; коэффициент вариации для проницаемости составляет 113%. На основе проведенного анализа результатов измерения сделан вывод о том, что наблюдаемая разными авторами высокая вариабельность ППР [2, 3] обусловлена в первую очередь высокой изменчивостью проницаемости грунтов в зависимости от атмосферных условий, что также затрудняет использование данной величины для определения радоноопасности территорий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. П.С Микляев, Т.Б.Петрова, А.В.Климшин, А.П. Смирнова. Картирование геогенного радонового потенциала (на примере территории Москвы)// АНРИ. – 2015. - №1. – С. 1-13.
2. Шилова К. О., Рыжакова Н. К., Ключникова Ю. О., Иванов М. И., Матюшкина Ю. А. Анализ методов и результатов измерения выхода изотопа Rn-222 на участке застройки г. Томска // Известия вузов. Физика. - 2015 - Т. 58 - №. 2/2. - С. 172-176.
3. Neznal, Martin – Neznal, Matěj (2002): Measurement of radon exhalation rate from the ground surface: can the parameter be used for determination of radon potential of soils?. In: Radon investigations in the Czech Republic IX and the sixth international workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping. Czech Geological Survey. Prague. s. 16-25. ISBN 80-7075-585-7.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВОЛОКСИДАЦИИ

И.А. Курский, А.В. Васильев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [atomlink@mcc.krasnoyarsk.su](mailto:atomlink@mcc.krasnoyarsk.su)

В качестве одного из перспективных методов подготовки облученного ядерного топлива (ОЯТ) перед гидрометаллургической переработкой значительный интерес представляет метод волоксации – предварительного (перед растворением) окисления топлива при повышенной температуре. Процесс сопровождается выводом в газовую фазу основной массы летучих продуктов деления (ЛПД): благородных газов, соединений йода, трития и др. Это обстоятельство позволяет сконцентрировать ЛПД (главным образом, трития) в сравнительно небольшом объеме газовой фазы, которую можно превратить в форму, удобную для захоронения[1].

Объектом исследования является изучение процесса волоксации необлученного и реального топлива ВВЭР-1000.

Целью данной работы является проверка вариантов волоксации ОЯТ, выполненных при различных условиях.

В качестве исходного материала использовали таблетки ВВЭР-1000.

На первом этапе исследований провели опыты по волоксации двух необлученных таблеток  $\text{UO}_2$  без оболочки при температуре  $450 \pm 30^\circ\text{C}$  в течение 2,5 ч смесью газов, содержащей (об. %):  $\text{N}_2 - (48 \div 77)$ ;  $\text{O}_2 - (12 \div 19,2)$ ;  $\text{CO}_2 - (0 \div 30)$ ;  $\text{H}_2\text{O} - (4 \div 10)$ , без встряхивания.

Показано, что при 20-30 - кратном обмене газовой фазы реактора в час полнота перевода таблеток  $UO_2$  в порошок  $U_3O_8$  составляет более 99%. Образовавшийся порошок закиси-окиси имел насыпную плотность 2-2,5 г/см<sup>3</sup>.

Опыты, проведенные в тех же условиях с двумя необлученными таблетками, помещенными в циркониевую оболочку, показали, что выход  $U_3O_8$  составил 40-60%.

На втором этапе провели опыты по испытанию различных способов волоксидации на необлученных фрагментах в условиях механического воздействия на реакционную камеру (встряхивания) с частотой 1 встряхивание в секунду.

Результаты опытов показывают, что две необлученные таблетки, помещенные в циркониевую оболочку, в течение двух с половиной часов при температуре  $450 \pm 30^\circ C$  в газовой среде (об. %):  $N_2 - (69 \div 75)$ ;  $O_2 - (17 \div 19)$ ;  $CO_2 - (0 \div 10)$ ;  $H_2O - (4 \div 6)$  при встряхивании с частотой 1 раз в секунду и объемной скорости обмена газовой фазы 30 объемов в час, переходят в порошок  $U_3O_8$  на 98,9- 99,3%.

При исключении из исходной газовой смеси азота и кислорода, перехода таблеток  $UO_2$  в порошок  $U_3O_8$  практически не происходит.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Б.В. Громов, В.И. Савельев, В.Б. Шевченко. "Химическая технология облученного ядерного топлива". М., Энергоатомиздат, 1983 г.

#### ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ СФЗ

Д. С. Леонович, Б. П. Степанов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [dsl@tpu.ru](mailto:dsl@tpu.ru)

Обеспечение гарантий нераспространения и сохранности ядерных материалов осуществляется за счет создания системы государственного учета и контроля ядерных материалов и физической защиты (ФЗ). Таким образом, на каждом ядерном объекте создается система физической защиты (СФЗ), способная противостоять угрозам в отношении ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения со стороны внешних и внутренних нарушителей.

Процесс создания СФЗ включает в себя анализ уязвимости объекта, проектирование и непосредственное внедрение комплекса инженерно-технических средств ФЗ. При проведении анализа уязвимости выделяются особенности объекта и уязвимые места. Полученные данные учитываются на этапе проектирования СФЗ с учетом оценки ее эффективности.

Целью настоящей работы является оценка возможностей применения специализированных программ для проведения разработки проектной документации технических подсистем СФЗ. Данные программные средства позволяют осуществлять выбор состава оборудования системы охранной сигнализации, системы контроля и управления доступом. Также в работе проводился анализ вариантов охраны объекта и формировалась структура построения СФЗ объекта. На их основе выбирались элементы и устройства комплекса инженерно-технических средств ФЗ.

Сегодня, проектирование эффективной СФЗ – процесс автоматизированный. Существует множество специализированных организационно-технических систем, позволяющих создавать конструкторскую