

**В. Г. Батий, О. А. Кафтанатина, Ю. В. Морозов, А. А. Правдивый,  
В. М. Рудько, Д. В. Богуцкий\***

*Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль,  
\*ГСП "Чернобыльская АЭС"*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБРАЩЕНИЯ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ НОВОГО ХРАНИЛИЩА ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС**

Проведен анализ количества радиоактивных отходов, образование которых предполагается в процессе эксплуатации ХОЯТ-2 Чернобыльской АЭС, и их характеристик. Показано, что основной объем высокоактивных отходов составят удлиняющие стержни отработавших тепловыделяющих сборок и дополнительные поглотители. Предложена оптимальная схема обращения с ними.

*Ключевые слова:* отработавшие тепловыделяющие сборки, высокоактивные отходы, выдержка временем, обращение с твердыми радиоактивными отходами, захоронение.

Проектирование и строительство нового хранилища отработавшего ядерного топлива (ХОЯТ-2) на площадке ГСП ЧАЭС было начато в 1999 г. консорциумом во главе с компанией «Framatome» (Франция). В 2003 г. реализация данного проекта была приостановлена из-за его технических недостатков, делающих невозможным лицензирование ХОЯТ-2 и его последующую безопасную эксплуатацию.

В настоящее время работы по модификации существующего проекта ХОЯТ-2 и завершению его строительства выполняются компанией «Holtec International, Inc.» (США). Одной из задач для проекта ХОЯТ-2 является выбор оптимальной схемы и технологий по обращению с твердыми радиоактивными отходами (ТРО), образующихся в процессе эксплуатации данного объекта, в частности о целесообразности организации хранения высокоактивных отходов (ВАО), в том числе дополнительных поглотителей (ДП), на площадке ХОЯТ-2, а также интеграция схемы, технологий и оборудования (контейнеров и упаковок для ТРО) по обращению с ТРО в стратегию обращения с радиоактивными отходами (РАО) на ГСП ЧАЭС.

### **Источники образования, виды и характеристики ТРО**

При выполнении штатных операций на ХОЯТ-2 в условиях нормальной эксплуатации будут образовываться ТРО различных видов [1]:

активированный металл (например, ДП и удлиняющие стержни (УС), отделенные при проведении операций резки в технологическом помещении обработки);

стружка, образующаяся при резке центрального стержня отработавшей тепловыделяющей сборки (ОТВС);

загрязненные при выполнении технологических операций инструменты и оснастка, применяемые при ремонте и техобслуживании, которые невозможно будет дезактивировать до установленных уровней;

отработавшие фильтры системы вентиляции;

непригодные к использованию режущие инструменты;

материалы, используемые при техническом обслуживании (ветошь, обтирочный материал, тампоны) и т.п.;

использованные основные и дополнительные средства индивидуальной защиты (СИЗ) персонала;

вышедшее из строя (использованное) и не подлежащее ремонту оборудование;

использованная спецодежда, которая по критериям загрязненности относится к РАО и не подлежит дезактивации и пр.

При эксплуатации ХОЯТ-2 образуются ТРО всех категорий.

© В. Г. Батий, О. А. Кафтанатина, Ю. В. Морозов, А. А. Правдивый,  
В. М. Рудько, Д. В. Богуцкий, 2011

Образование ТРО 1-й и 2-й категорий будет происходить при выполнении регламентных работ по контролю радиационной обстановки, проведении дезактивации, технического обслуживания и ремонта оборудования, а также при замене фильтров спецвентиляции.

Из анализа, проведенного в [1], следует, что предполагаемый объем образующихся эксплуатационных ТРО 1-й и 2-й категорий составит:

низкоактивных (НАО) - 4,2 т/год (из них 0,5 т при нарушениях нормальной эксплуатации);

среднеактивных (САО) - 2,5 т/год.

ТРО 3-й категории будут образовываться при выполнении технологических операций по резке ОТВС в горячей камере, а также при эксплуатации системы вентиляции горячей камеры (в виде отработавших аэрозольных фильтров). Отработавшие фильтры спецвентиляции горячей камеры могут относиться либо к среднеактивным либо к высокоактивным ТРО.

Ориентировочный объем образующихся эксплуатационных ТРО 3-й категории составит около 2,0 т/год.

Предполагается, что эксплуатация установки по подготовке отработавшего топлива к хранению (УПОТХ) ХОЯТ-2 будет осуществляться на протяжении 10 лет. Исходя из этого, и с учетом приведенных выше данных, общее количество образованных эксплуатационных ТРО будет составлять:

ТРО 1-й и 2-й категорий - 67 т, в том числе: 1-й категории (НАО) - 42 т; 2-й категории (САО) - 25 т;

ТРО 3-й категории (ВАО) - 20 т.

Объем ТРО, образуемых при эксплуатации УПОТХ, будет значительно ниже, чем от деятельности по снятию с эксплуатации ЧАЭС и преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему. Следовательно, эти ТРО не будут вносить существенного вклада в общий объем ТРО, образование которых предполагается в результате деятельности на промплощадке ЧАЭС.

Помимо рассмотренных выше эксплуатационных ТРО, будут образовываться такие ТРО 3-й категории, как УС и ДП.

Общее количество ДП составляет 1610 обычных ДП массой 102 кг и 94 ДП кластерного типа (содержащие карбид бора) массой 94 кг. Таким образом, общая масса ДП, отнесенных к ТРО, составит примерно 173 т.

Общее количество УС аналогично количеству ОТВС, подлежащих хранению, составит 21217 шт., при этом масса одного УС (максимальная, используя консервативный подход) составляет 10,2 кг. В итоге общая масса УС, отнесенных к ТРО, составит примерно 216 т.

Исходя из вышеизложенного, общее количество УС и ДП составляет 389 т, что существенно больше, чем общее количество эксплуатационных ВАО (20 т), накопленных за весь период эксплуатации.

### **Схема обращения с ТРО по существующему проекту ХОЯТ-2**

Система обращения с ТРО на УПОТХ включает в себя:

обращение с ТРО 1-й и 2-й категории;

обращение с ТРО 3-й категории.

**Обращение с ТРО 1-й и 2-й категории.** ТРО 1-й и 2-й категории предполагается транспортировать для переработки на ЧАЭС, используя для этого транспортные контейнеры, соответствующие требованиям критериев приемки на ЧАЭС.

ТРО 1-й и 2-й категорий, образующиеся в УПОТХ, будут собраны, рассортированы и упакованы непосредственно в местах их образования (на рабочих местах) в первичную упаковку (пластиковые мешки), которые затем будут помещаться в маркированные 200-литровые контейнеры-бочки. Сбор первичных упаковок с ТРО со всех отметок производится в помещении 407, там же производится их упаковка в 200-литровые контейнеры-бочки. В помещении 407 предусмотрена машина для закрытия бочек.

При загрузке в бочки будут созданы условия, исключаящие просыпание ТРО. Процесс загрузки бочки будет сопровождаться радиационным контролем. При этом будет определяться величина активности ТРО, помещенных в бочку, а также проводиться проверка отсутствия радиационного загрязнения внешней поверхности бочки.

Все 200-литровые бочки с ТРО поступают на станцию мониторинга бочек (СМБ), расположенную в помещении IS102С6, после чего направляются в помещение буферного хранения 116, а затем в зал 107 или 119.

На СМБ производится определение следующих параметров: массы бочки; мощности дозы (на боковых и торцевых поверхностях бочки); мощности дозы на расстоянии 1 м от поверхности бочки;  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ -активности РАО; потока нейтронов.

Бочки устанавливаются на измерительную позицию системой внутреннего транспорта с помощью рольгангов. Во время измерений бочка вращается со скоростью 1 об/мин. Результаты измерения автоматически фиксируются в системе учета и контроля вместе с идентификационным номером бочки, после чего в помещении IS102С5 заполняется паспорт на отправку отходов.

Планируется вывоз ТРО 1-й и 2-й категорий на переработку на завод по переработке ТРО (ЗПТРО). В соответствии с проектом ЗПТРО производительность его технологического оборудования должна позволить перерабатывать не только ТРО, образуемые при снятии с эксплуатации ЧАЭС, но и эксплуатационные ТРО ХОЯТ-2.

Для транспортировки ТРО за пределы ХОЯТ-2 будут использовать транспортно-защитные контейнеры (типа КТЗ-3,0) и контейнеровоз КТРО-К1.

**Обращение с ТРО 3-й категории.** Система обращения с ТРО 3-й категории в процессе эксплуатации УПОТХ обеспечивает:

- хранение и подготовку пустой упаковки (бочек с крышками объемом 165 и 200 л) для ТРО 3-й категории (помещение 116);

- транспортировку 165-литровую бочки в горячую камеру (помещение 501);

- загрузку ТРО 3-й категории в 165-литровую бочку и закрытие крышки с помощью передвижного силового манипулятора;

- регистрация ТРО 3-й категории в помещении 501, предварительный контроль мощности дозы загруженной бочки;

- установку 165-литровой бочки в 200-литровую бочку, расположенную в помещении 501А, закрытие крышки 200-литровой бочки, контроль поверхностного загрязнения бочки (взятие мазка) и перемещение транспортной тележки с бочкой из помещения 501А в помещение IS 102С2;

- транспортировку 200-литровой бочки из помещения IS 102С2 на станцию контроля в помещении IS 102С6;

- контроль, регистрацию мощности экспозиционной дозы (МЭД) и массы 200-литровой бочки,  $\gamma$ -спектрометрию в помещении IS 102С6;

- перемещение 200-литровой бочки с ТРО 3-й категории на хранение в помещение IS 102D (временное хранилище бочек ТРО 3-й категории);

- хранение бочек с ТРО 3-й категории в течение 100 лет;

- извлечение бочек с ТРО 3-й категории из хранилища по завершению срока хранения.

В случае заполнения временного хранилища IS 102D возможна транспортировка бочек с ТРО 3-й категории из ХОЯТ-2 на ЧАЭС во временное хранилище в здании хранилища жидких и твердых радиоактивных отходов (ВХ ХЖТО) или в другое хранилище, которое будет создано в рамках интегрированной системы обращения с РАО в ГСП ЧАЭС.

В приведенной выше схеме обращения с ТРО ХОЯТ-2 наиболее проблемным является обращение с ВАО (прежде всего с ДП и УС), что обусловлено их значительным количеством (389 т).

Ниже приведены технические предложения по оптимизации обращения с ДП и УС.

## Оптимизация обращения с ТРО (ДП + УС)

**Обращение с ДП.** Оптимальным решением может быть предложение по хранению ДП на блоках ЧАЭС. С учетом относительно небольших периодов полураспада основных значащих нуклидов (прежде всего  $^{60}\text{Co}$ ) целесообразно предусмотреть возможность максимально длительного периода хранения ДП на блоках с целью дальнейшего отнесения большей части ТРО от ДП к более низкой категории отходов (к САО). Что в свою очередь позволит решить вопрос их захоронения без организации специального долговременного хранения.

В соответствии с “Программой снятия с эксплуатации Чернобыльской АЭС” предполагается провести демонтаж реакторных установок в период 2045 – 2065 гг. По результатам проведенных в 2004 г. на ЧАЭС измерений, мощность поглощенной в воздухе дозы  $\gamma$ -излучения ДП с временем выдержки 4–5 лет после выгрузки из активной зоны реактора составляет до  $8,4 \cdot 10^6$  мкГр/ч на расстоянии 0,1 м от поверхности ДП [2]. Учитывая, что подавляющий вклад в мощность дозы  $\gamma$ -излучения дает  $^{60}\text{Co}$  с периодом полураспада 5,27 лет, МЭД от ДП к 2045 г. будет составлять до  $3,5 \cdot 10^4$  мкГр/ч. В соответствии с ОСПУ РАО с такими МЭД с неизвестным радионуклидным составом должны быть отнесены к ВАО. При этом, учитывая неравномерность облучения, можно ожидать, что периферийные фрагменты ДП будут относиться к среднеактивным ТРО и их можно будет захоранивать, начиная с 2045 г. Те фрагменты, которые будут продолжать относиться к ВАО на момент демонтажа реакторных установок, необходимо будет дополнительно выдержать в промежуточном хранилище и после этого тоже захоронить.

Исходя из вышеизложенного, решение о хранении ДП на энергоблоках ЧАЭС до демонтажа реакторных установок представляется целесообразным.

**Обращение с УС.** Процесс обращения с УС на УПОТХ представляется возможным существенно оптимизировать, учитывая большую неоднородность наведенной активности по длине УС.

На рис. 1 и 2 приведены данные по распределению удельной активности (время выдержки 7 лет) по длине УС для РАО 3-й группы ( $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ) и 4-й группы ( $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{59}\text{Ni}$ ,  $^{63}\text{Ni}$ ). Длина 1-го, самого нижнего, участка 32,2 см, 2 - 5-го участков – 50 см. Данные получены на основании работы [3].

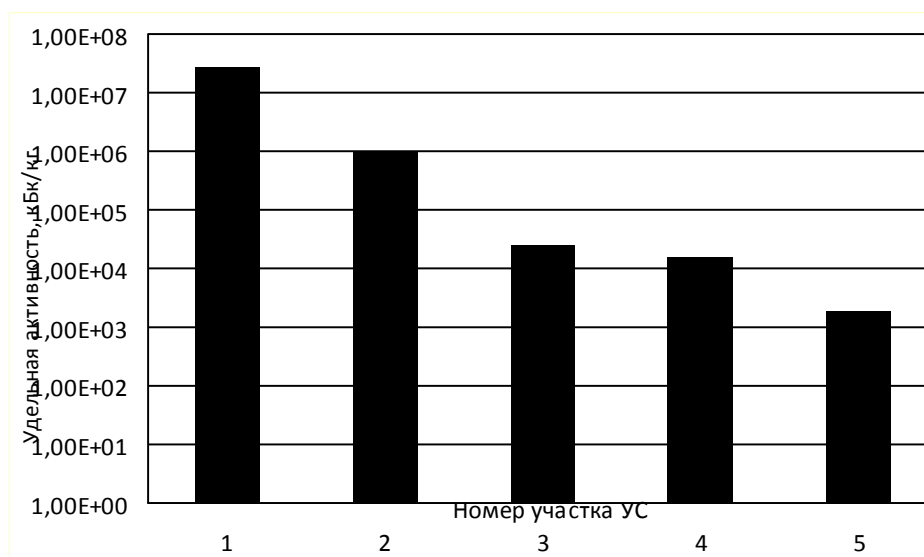


Рис. 1. Распределение активности по длине УС для РАО 3-й группы.

Для РАО 4-й группы все участки УС ОТВС имеют удельную активность ниже критериев отнесения к ВАО в соответствии с ОСПУ ( $10^8$  кБк/кг). Для РАО 3-й группы верхняя часть УС ОТВС (участки 2 – 5) имеет удельную активность ниже критериев

отнесения к ВАО в соответствии с ОСПУ ( $10^7$  кБк/кг) и только участок 1 относится к ВАО. Поэтому после отделения части УС, относящейся к ВАО (участок 1), целесообразно рассмотреть возможность отправки на захоронение частей УС (участки 2 – 5) относящихся к САО и удовлетворяющим критериям захоронения.

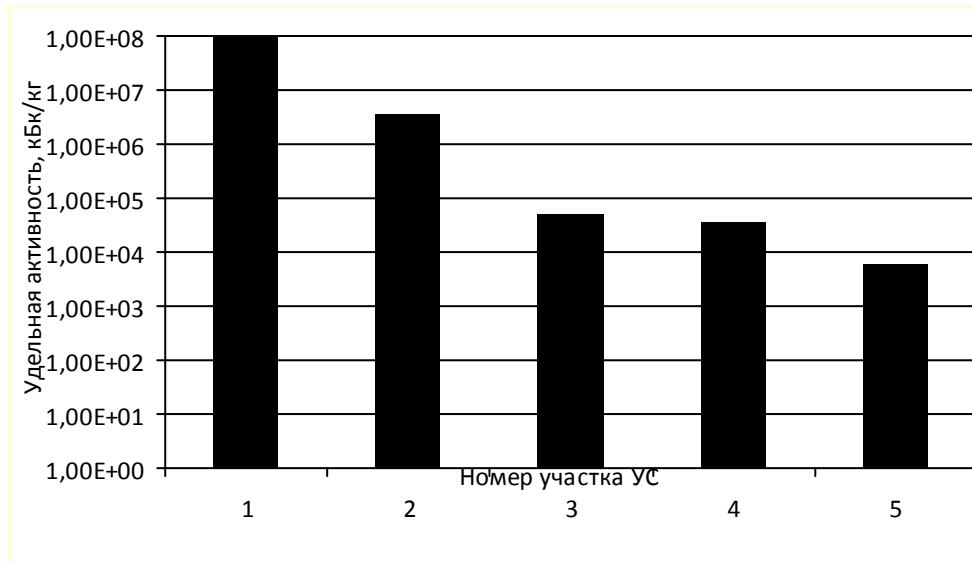


Рис. 2. Распределение активности по длине УС для РАО 4-й группы.

Для максимальной интеграции схемы обращения с ТРО ХОЯТ-2 в схему обращения с ТРО на ЧАЭС наиболее приемлем следующий вариант:

1. Отказаться от применения бочек (как было предусмотрено проектом) при обращении с ТРО 1-й и 2-й категорий.
2. Для сбора и транспортировки ТРО 1-й и 2-й категорий ХОЯТ-2 использовать контейнер КТЗ-1,3 и/или КТЗ-3,0 (согласовывается со схемой приемки на ЗПТРО, ЛОТ-2 ПКОТРО).

Данный вариант позволит:

- сократить объемы ТРО за счет отсутствия бочки (поскольку бочка невозвратная упаковка и подлежит переработке и захоронению);
- снизить загруженность ЗПТРО (за счет отсутствия резки и дальнейшей переработки бочек);
- существенно снизить количество транспортных операций с ТРО между ХОЯТ-2 и ЧАЭС (минимизация рисков, связанных с транспортировкой ТРО);
- существенно снизить эксплуатационные расходы ХОЯТ-2 (поскольку контейнер КТЗ-1,3 и/или КТЗ-3,0 в отличие от бочки является возвратной упаковкой).

"Нижняя" часть УС ОТВС (32,2 см), ближняя к топливу, будет относиться к ВАО и скорее всего превысит критерии приема на ВХ ХЖТО (учитывая весовые требования и требования к удельной активности ХЖТО, а также расчеты специалистов ЧАЭС). Поэтому эти фрагменты УС останутся в здании УПОТХ в бочках (106 шт).

Для частей УС, временно не удовлетворяющих критериям приемки на захоронение (прежде всего, по МЭД) целесообразно организовать временное хранение для выдержки необходимого времени с целью снижения МЭД данных ТРО.

По оценкам, полученным на основании данных [3] (рис. 3) к САО (мощность дозы менее  $10^4$  мкГр/ч) будут отнесены более 63 % РАО, образованных при фрагментации УС с 20 летней выдержкой и более 82 % РАО, образованных при фрагментации УС с 40 летней выдержкой.

Таким образом, при внедрении описанного технического предложения большую часть фрагментов УС, можно будет отправлять на захоронение непосредственно в процессе подготовки ОТВС к хранению, остальные после определенного времени выдержки.

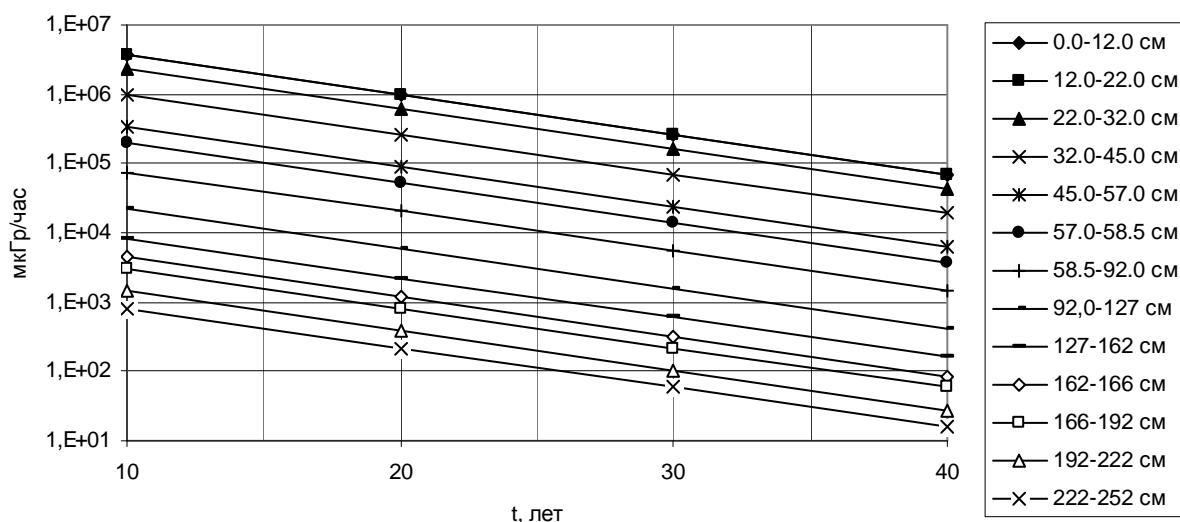


Рис. 3. Распределение МЭД по длине УС для разных времен выдержки

### Заключение

Общее количество УС и ДП, накопленных при эксплуатации УПОТХ, составляет 389 т, что существенно больше, чем количество эксплуатационных ВАО (20 т), планируемых к накоплению за весь период эксплуатации УПОТХ.

При обращении с ТРО ХОЯТ-2 наиболее проблемными являются вопросы обращения с ВАО, прежде всего с ДП и УС ввиду их большого количества (масса, объем).

С учетом относительно небольших периодов полураспада основных значащих нуклидов (прежде всего  $^{60}\text{Co}$ ) целесообразно предусмотреть возможность максимально длительного периода хранения ДП на блоках с целью дальнейшего отнесения большей части фрагментов ДП к более низкой категории отходов (к САО). Реализация такого подхода позволит их захоронить без организации специального долговременного хранения.

Представляется целесообразным временное хранение ДП на энергоблоках ЧАЭС до демонтажа реакторных установок (2045 – 2065 г.г.). При таком подходе только для небольшой части фрагментов ДП потребуются организация временного хранения.

В процессе обращения с УС после отделения от них фрагментов, относящихся к ВАО, целесообразно рассмотреть возможность передачи на захоронение остальных частей УС, относящихся к САО и удовлетворяющим критериям захоронения.

При этом целесообразно отказаться от применения бочек (как было предусмотрено проектом) при обращении с ТРО 1-й и 2-й категорий. Для сбора и транспортировки ТРО 1-й и 2-й категории предпочтительней использовать контейнер КТЗ-1,3 и/или КТЗ-3,0.

Для частей УС, временно не удовлетворяющих критериям приемки на захоронение целесообразно организовать временное хранение для выдержки необходимого времени с целью снижения мощности дозы данных ТРО до уровня САО.

При обращении с эксплуатационными ТРО 1-й и 2-й категории целесообразно внедрить технические решения, аналогично выше предлагаемому варианту обращения с УС. В частности, целесообразно отказаться от применения бочек и применять только контейнеры-сборники КТЗ-1,3 (ТРО в полиэтиленовых мешках) и транспортные контейнеры КТЗ-3,0.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сухое хранилище отработанного ядерного топлива (ХОЯТ-2) ЧАЭС. Проект завершения строительства. Т. 13. Оценка воздействия на окружающую среду. - КИЭП, ИПБ АЭС НАН Украины, 2009. -С. 240.

2. *Техническая спецификация* (№ ГУП ЧАЭС/С2/ТС/01. Ред. 3). Пункт работ С-2. Проектирование, лицензирование, изготовление, поставка и ввод в эксплуатацию промежуточного хранилища отработанного топлива РБМК на ЧАЭС. Дополнение № 2. Приложение 5а. - 2006. - С. 23.
3. *Техническая спецификация* (№ ГУП ЧАЭС/С2/ТС/01. Ред. 3). Пункт работ С-2. Проектирование, лицензирование, изготовление, поставка и ввод в эксплуатацию промежуточного хранилища отработанного топлива РБМК на ЧАЭС. Дополнение № 2. Приложение 20 “Основы для проектирования процессов обработки и хранения ОТВС и поглощающих стержней”.

**В. Г. Батій, О. А. Кафтанатіна, Ю. В. Морозов, О. А. Правдивий,  
В. М. Рудько, Д. В. Богуцький**

### **ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПОВОДЖЕННЯ З РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ У ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НОВОГО СХОВИЩА ВІДПРАЦЬОВАНОВОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС**

Проведено аналіз кількості радіоактивних відходів, утворення яких передбачається в процесі експлуатації СВЯП-2 Чорнобильської АЕС, та їхніх характеристик. Показано, що основний обсяг високоактивних відходів становитимуть подовжуючі стрижні відпрацьованих тепловиділяючих збірок і додаткові поглиначі. Запропоновано оптимальну схему поводження з ними.

*Ключові слова:* відпрацьовані тепловиділяючі збірки, високоактивні відходи, витримка часом, поводження з твердими радіоактивними відходами, захоронення.

**V. G. Batiy, O. A. Kaftanatina, Yu. V. Morozov, A. A. Pravdivy,  
V. M. Rud'ko, D. V. Bogutsky**

### **OPTIMIZATION OF PROCESS OF RAW MANAGEMENT IN A PROCESS OF CHERNOBYL NPP NEW SNF STORAGE FACILITY OPERATION**

The analysis of RAW quantities and their characteristics were spent, which formation is supposed in a process of Chernobyl NPP SNFS-2 operation. It is shown, that the basic volume of high-level radioactive waste will make up the extension rods of spent fuel assemblies and additional absorbers. The optimal scheme of managing with them is offered.

*Keywords:* spent fuel assemblies, high-level radioactive waste, exposure time, solid RAW management, disposal.

Поступила в редакцію 16.06.11