

**В. Г. Батий, Д. В. Городецкий, Ю. И. Рубежанский, В. М. Рудько, А. А. Сизов**

*Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, ул. Кирова 36а, Чернобыль, 07270, Украина*

## **ОЦЕНКА РАДИАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ХРАНИЛИЩА ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА (ХОЯТ-2) ЧАЭС**

Выполнена оценка радиационных воздействий при эксплуатации сухого хранилища отработавшего ядерного топлива (ХОЯТ-2) реакторов РБМК ЧАЭС. Показано, что радиационные воздействия при нормальной эксплуатации, соответствуют установленным критериям безопасной эксплуатации радиационно-ядерных объектов на территории Украины.

*Ключевые слова:* ядерное топливо, ЧАЭС, хранилище, окружающая среда.

### **Введение**

В настоящее время на площадке ЧАЭС находятся отработавшие тепловыделяющие сборки (ОТВС), накопленных за период ее эксплуатации. В настоящее время ОТВС размещены в действующем хранилище отработавшего ядерного топлива (ХОЯТ-1).

Проектный срок эксплуатации ХОЯТ-1 истекает в 2016 г., после чего хранилище должно быть освобождено от ОТВС и снято с эксплуатации. В связи с этим чрезвычайно актуальным является строительство нового хранилища, предназначенного для долговременного хранения ОТВС (не менее 100 лет), что является необходимым условием обеспечения деятельности по снятию ЧАЭС с эксплуатации.

Проектирование и строительство нового хранилища ХОЯТ-2 на площадке ГСП ЧАЭС было начато в 1999 г. консорциумом во главе с компанией «Framatome» (Франция). Однако 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 модификация существующего проекта и завершение строительства ХОЯТ-2 выполняются компанией «Holtec International, Inc.» (США). Предложенная HOLTec технология предполагает модификацию установки по подготовке отработанного ядерного топлива (ОЯТ) к хранению с целью повышения ее ядерной и радиационной безопасности, что выражается в снижении рисков, связанных с обращением и хранением ОТВС, в частности уменьшению потенциальных радиационных воздействий на персонал и окружающую среду.

Цель настоящей работы – прогноз и анализ радиационных воздействий выбросов при реализации технологии «Holtec International, Inc.» по обращению с ОЯТ в ХОЯТ-2 при нормальных условиях эксплуатации.

### **Краткое описание ХОЯТ-2 и технологии подготовки и хранения ОЯТ**

ХОЯТ-2 – промежуточное наземное хранилище ОЯТ сухого типа, предназначенное для длительного (до 100 лет) хранения 21217 ОТВС реакторов РБМК-1000, образовавшихся вследствие эксплуатации 1, 2 и 3-го энергоблоков ЧАЭС.

Хранилище расположено на территории чернобыльской зоны отчуждения (ЗО), на расстоянии 2,4 км в юго-восточном направлении от объекта «Укрытие».

Транспортирование ОТВС из ХОЯТ-1 в ХОЯТ-2 будет осуществляться по железнодорожной колее, в специальных транспортных контейнерах (ТК-8). Разгрузка ТК-8 и подготовка ОТВС к хранению выполняется в здании установки по подготовке отработавшего топлива к хранению (УПОТХ), ограждающие конструкции которого обеспечивают достаточную изоляцию технологических помещений от окружающей среды (рис. 1). В здании УПОТХ отработавшие ТВС подвергаются фрагментации. Затем половинки ОТВС (пучки твэлов) помещаются в двустенный сухой экранированный пенал (ДСЭП), объем которого позволяет разместить 93 фрагментированных ОТВС.

Загруженные ДСЭП осушают путем многократной прокачки через него газовой смеси, заполняют инертным газом (гелием) и герметизируют (заваривают). Далее ДСЭП загружают в специальный внутриплощадочный транспортный контейнер (ВТК), предназначенный для обеспечения биологической защиты при его перемещении в пределах площадки ХОЯТ-2, и транспортируют на рельсовой платформе к месту долговременного хранения ДСЭП – бетонным модулям хранения (БМХ) (рис. 2).

© В. Г. Батий, Д. В. Городецкий, Ю. И. Рубежанский, В. М. Рудько, А. А. Сизов, 2013



Рис. 1. Общий вид здания УПОТХ на территории хранилища ХОЯТ-2 (2009 г.).

ежегодной обработке не менее 2500 единиц ОТВС или ОДП.

В соответствии с применяемой технологией подготовки ОЯТ к хранению сбросы радиоактивных веществ в окружающую среду не предусмотрены. Образующиеся при технологических операциях жидкие (ЖРО) и твердые (ТРО) радиоактивные отходы временно сохраняются в здании УПОТХ. ЖРО 1-й и 2-й категорий и ТРО 1, 2 и 3-й категорий, радиационные характеристики которых соответствуют критериям приемки существующих хранилищ и установок по переработке РАО ГСП «ЧАЭС», по мере накопления будут вывозиться на ЧАЭС для кондиционирования и дальнейшего захоронения.



Рис. 2. Незаполненные бетонные модули хранения ОЯТ на площадке ХОЯТ-2 (2009 г.).

радиационного контроля как с целью неперевышения лимита доз облучения персонала, так и с целью предотвращения сверхнормативных воздействий на окружающую среду.

### Выбросы при нормальных условиях эксплуатации ХОЯТ-2

При эксплуатации хранилища газоаэрозольный выброс радиоактивных веществ образуется вследствие загрязнения воздушной среды вентилируемых помещений УПОТХ при выполнении технологических операций с ОТВС.

Газоаэрозольный выброс при нормальной эксплуатации ХОЯТ-2 будет формироваться в процессе выполнения технологических операций в здании УПОТХ за счет:

выхода радионуклидов из твэлов, имеющих газовую неплотность или микротрещины; отслоения от поверхности ОТВС отложений, образовавшихся в период их нахождения в реакторе;

поверхностных загрязнений ОТВС, образовавшихся в процессе их хранения в ХОЯТ-1.

На территории зоны хранения ОЯТ, примыкающей к зданию УПОТХ, расположены 58 горизонтальных вентилируемых модулей БМХ, каждый из которых рассчитан на хранение четырех ДСЭП. Конструкция БМХ обеспечивает биологическую защиту - предельная мощность дозы на поверхности БМХ составит не более 11,8 мкЗв/ч [1].

Удлиняющие стержни (УС), оставшиеся после резки ОТВС, помещают в соответствующие гильзы для длительного безопасного хранения в специальном помещении здания УПОТХ (в течение 100 лет его эксплуатации).

Проектный срок эксплуатации оборудования УПОТХ составляет 20 лет при

Кроме того, здание УПОТХ предназначено для постоянного хранения образовавшихся ТРО 3-й категории, радиационные характеристики которых не соответствуют критериям приемки хранилищ РАО ЧАЭС. В частности, к ним относятся ТРО, в которых содержание трансурановых элементов (ТУЭ) превышает значения уровня освобождения, установленные ОСПУ-2005 [2].

В соответствии с применяемой технологией длительного хранения ОЯТ, газоаэрозольные выбросы радиоактивных веществ из сооружений БМХ будут исключены.

Эксплуатация ХОЯТ-2 предусматривает организацию различных видов радиационного

Для определения величины выброса, обусловленного наличием газовой неплотности или микротрещин в твэлах, использованы следующие данные и предпосылки.

По данным ГСП ЧАЭС, после трехдневной выдержки негерметичной ОТВС (выдержка осуществлялась непосредственно после выгрузки из реактора на мощности) удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в воде пенала выдержки составляла  $3,7 \cdot 10^6$  Бк/кг. Пенал был заполнен  $0,05 \text{ м}^3$  воды. Таким образом, скорость выхода  $^{137}\text{Cs}$  из негерметичной сборки не превышала величины  $(3,7 \cdot 10^6 \text{ Бк/кг}) \cdot (10^3 \text{ кг/м}^3) \cdot (0,05 \text{ м}^3/3 \text{ сут}) = 6,2 \cdot 10^7$  Бк/сут.

Безусловно, в настоящее время после продолжительной выдержки ОТВС (не менее 10 лет) скорость выхода  $^{137}\text{Cs}$  во много раз уменьшилась, поскольку температура твэлов существенно снизилась. Учитывая, что точное значение скорости выхода в настоящее время неизвестно, то исходя из консервативных соображений, принимаем скорость выхода  $^{137}\text{Cs}$  равной  $6,2 \cdot 10^7$  Бк/сут.

Время нахождения каждой из ОТВС в здании УПОТХ разное и определяется временем, необходимым для полной загрузки ДСЭП. Для оценки выбросов вследствие выхода радионуклидов используем среднее время нахождения одной ОТВС в здании УПОТХ (до начала операции по приварке внутренней крышки ДСЭП), равное 6 сут. Таким образом, в среднем выход  $^{137}\text{Cs}$  из одной ОТВС за время ее нахождения в здании УПОТХ составит, примерно,  $3,7 \cdot 10^8$  Бк.

По данным [3], плотность снимаемого поверхностного радиоактивного загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  удлиняющих стержней ОТВС (после их хранения в существующем ХОЯТ-1), примерно, в 1000 раз выше, чем  $^{239}\text{Pu}$ . Следовательно, можно предположить, что скорость выхода  $^{239}\text{Pu}$  на три порядка ниже, чем  $^{137}\text{Cs}$ . Кроме того, по результатам систематических измерений, выполняемых химической лабораторией ЦРБ ГСП ЧАЭС, количество ТУЭ и  $^{90}\text{Sr}$  в воде хранилища ХОЯТ-1 находится на уровне обнаружения. Поэтому принимаем скорость выхода  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{90}\text{Sr}$  на уровне 0,1 % от  $^{137}\text{Cs}$ . Выход других ТУЭ из твэлов через микротрещины можно оценить, исходя из соотношения активностей радионуклидов референтной ОТВС (данные о радионуклидном составе такой ОТВС приведены в [3]).

Результаты оценки выхода радионуклидов из одной ОТВС через микротрещины в твэлах, приведены на рис. 3.

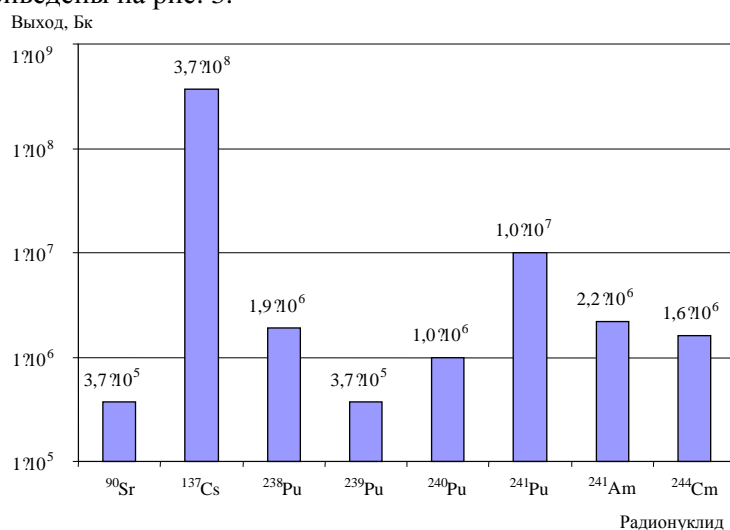


Рис. 3. Выход радионуклидов из одной ОТВС через микротрещины в твэлах.

их хранения в ХОЯТ-1 существенно не увеличивает общую активность отложений и его вклад можно не учитывать [4].

Активность радионуклидов в отложениях после 10 летней выдержки ([4] табл. 3) составляет  $4,1 \cdot 10^8$  Бк/г ( $^{60}\text{Co}$ ),  $2,5 \cdot 10^8$  Бк/г ( $^{55}\text{Fe}$ ),  $3,3 \cdot 10^8$  Бк/г ( $^{63}\text{Ni}$ ). Суммарная удельная активность основных радионуклидов в отложениях ( $^{60}\text{Co} + ^{55}\text{Fe} + ^{63}\text{Ni}$ ) достигает  $10^9$  Бк/г. Данных о наличии в отложениях  $^{137}\text{Cs}$  и ТУЭ в документе [4] не приводится.

В то же время в [3] приведены результаты определения поверхностного загрязнения удлиняющих стержней ОТВС, полученные специалистами ГСП ЧАЭС. Можно допустить, что эти результаты в целом характеризуют поверхностное загрязнение ОТВС. По результатам исследования сделаны, в частности, следующие выводы:

вклад  $^{137}\text{Cs}$  в общую активность нефиксированного радиоактивного загрязнения составляет менее 1 %;

Для оценки величины выброса за счет отслоения от поверхности ОТВС отложений, образовавшихся в период их нахождения в реакторе, а также за счет дополнительного поверхностного загрязнения, образовавшегося в процессе хранения ОТВС и ОДП в ХОЯТ-1, использованы следующие данные и предпосылки.

Согласно [4], для оценки радиоактивного выброса через вентиляционную трубу УПОТХ следует использовать среднее значение поверхностной концентрации отложений, равное  $10 \text{ г/м}^2$ . При этом дополнительное поверхностное загрязнение ОТВС и ОДП в процессе

вклад активности ТУЭ в общую активность нефиксированного радиоактивного загрязнения незначителен и составляет, при их наличии, не более десятых долей процента.

Если предположить, что вклад  $^{137}\text{Cs}$  в общую активность отложений будет примерно таким же, как и для нефиксированного радиоактивного загрязнения (консервативно принимаем 1 %), то получим следующее значение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  -  $10^7$  Бк/г.

Используя аналогичный подход для оценки вклада ТУЭ в общую активность отложений (консервативно принимаем 0,1 %), а также учитывая соотношения активностей радионуклидов для референтной ОТВС, получим следующие значения удельных активностей ТУЭ:  $1,1 \cdot 10^5$  Бк/г ( $^{238}\text{Pu}$ ),  $2,2 \cdot 10^4$  Бк/г ( $^{239}\text{Pu}$ ),  $6,1 \cdot 10^4$  Бк/г ( $^{240}\text{Pu}$ ),  $5,9 \cdot 10^5$  Бк/г ( $^{241}\text{Pu}$ ),  $1,3 \cdot 10^5$  Бк/г ( $^{241}\text{Am}$ ),  $9,2 \cdot 10^4$  Бк/г ( $^{244}\text{Cm}$ ).

С учетом площади поверхности ОТВС, равной  $6,79 \text{ м}^2$ , и среднего значения поверхностной концентрации отложений ( $10 \text{ г/м}^2$ ) получим суммарную активность радионуклидов в отложениях одной сборки:  $2,8 \cdot 10^{10}$  Бк ( $^{60}\text{Co}$ ),  $1,7 \cdot 10^{10}$  Бк ( $^{55}\text{Fe}$ ),  $2,2 \cdot 10^{10}$  Бк ( $^{63}\text{Ni}$ ),  $6,8 \cdot 10^8$  Бк ( $^{137}\text{Cs}$ ),  $7,7 \cdot 10^6$  Бк ( $^{238}\text{Pu}$ ),  $1,5 \cdot 10^6$  Бк ( $^{239}\text{Pu}$ ),  $4,2 \cdot 10^6$  Бк ( $^{240}\text{Pu}$ ),  $4,0 \cdot 10^7$  Бк ( $^{241}\text{Pu}$ ),  $8,9 \cdot 10^6$  Бк ( $^{241}\text{Am}$ ),  $6,2 \cdot 10^6$  Бк ( $^{244}\text{Cm}$ ).

По данным [4], в процессе выполнения каждой из операций по обращению с ОТВС происходит отделение от ее поверхности 15 % отложений. Для операций по сушке предполагается, что произойдет 100 %-ное отделение всех оставшихся отложений после выполнения предыдущих операций. Учитывая, что часть технологических операций выполняется за пределами ХОЯТ-2 (загрузка ОТВС на ХОЯТ-1 и транспортирование ОТВС в ТК-8), можно предположить, что в здание УПОТХ поступают ОТВС, которые имеют не более 70 % изначального объема отложений.

Следует также учесть, что не все отложения, отделившиеся от поверхности ОТВС в процессе выполнения технологических операций, имеют достаточно малые размеры, чтобы поступать в систему вентиляции. Часть отложений осядет на поверхность оборудования и помещений. Исходя из консервативных соображений, можно предположить, что в систему вентиляции будет поступать не более 50 % отделившихся отложений.

Таким образом, при подготовке к хранению одной ОТВС в систему вентиляции может поступить не более  $0,7 \cdot 0,5 = 0,35$  от изначальной активности радионуклидов в отложениях одной сборки.

Результаты оценки выхода радионуклидов из одной референтной ОТВС в систему вентиляции (без учета фильтрации), вследствие отслоения коррозионных отложений, приведены на рис. 4.

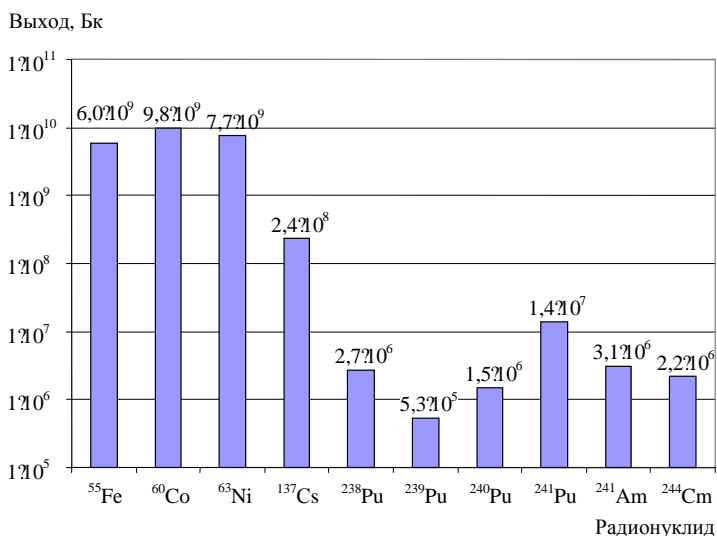


Рис. 4. Выход радионуклидов из одной референтной ОТВС за счет отслоения отложений.

Приведенные на рис. 3 и 4 данные свидетельствуют о том, что радиоактивный выброс формируется преимущественно за счет отслоения отложений. При этом основной вклад дает  $^{60}\text{Co}$ .

Выход радиоактивных веществ за пределы здания УПОТХ будет минимизирован за счет очистки выбрасываемого воздуха на высокоэффективных фильтрах. Эффективность очистки 99,97 %.

На рис. 5 даны значения годового газоаerosольного выброса из УПОТХ, рассчитанные с учетом того, что в здании будет производиться подготовка к хранению 2500 ОТВС в год, а также учитывая эффективность очистки выбрасываемого воздуха. Согласно отчету о соответствии са-

нитарному законодательству (ОССЗ), входящему в состав проекта завершения строительства ХОЯТ-2, допустимый выброс отдельных радионуклидов при нормальной эксплуатации УПОТХ составляет  $6,1 \cdot 10^{11}$  Бк/год ( $^{60}\text{Co}$ ),  $2,9 \cdot 10^{12}$  Бк/год ( $^{90}\text{Sr}$ ),  $1,7 \cdot 10^{12}$  Бк/год ( $^{137}\text{Cs}$ ),  $9,5 \cdot 10^9$  Бк/год ( $\alpha$ -излучающие ТУЭ). Для сравнения прогнозного и допустимого выбросов использовано неравенство 6.1 из [5]:

$$\begin{cases} \sum_i \frac{B_i}{ПВ_i} \leq 1 \quad (a) \\ \sum_j \frac{B_j}{ПВ_j} \leq 1 \quad (б) \end{cases}$$



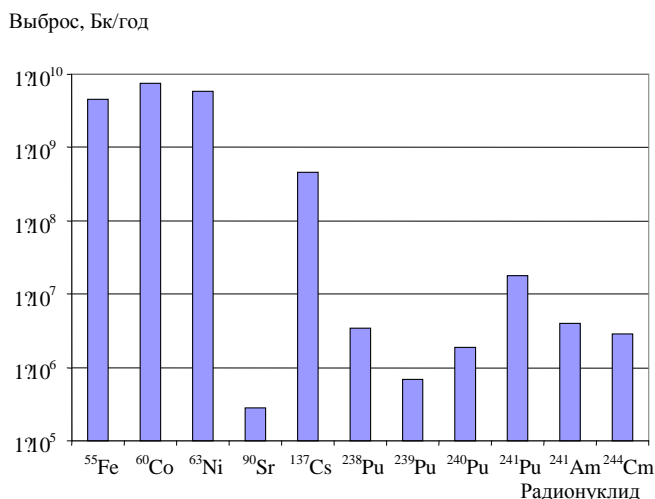


Рис. 5. Годовой газоаэрозольный выброс из УПОТХ при нормальной эксплуатации.

(60 000 м<sup>3</sup>/ч), получим максимальную объемную концентрацию радиоактивных веществ в выбросе из вентиляционной трубы здания УПОТХ. Она составит менее 40 Бк/м<sup>3</sup> для бета-излучающих нуклидов и менее 0,1 Бк/м<sup>3</sup> для альфа-излучающих нуклидов. Эти расчетные значения находятся внутри диапазона измерений объемной активности газоаэрозольных выбросов, выполняемых системой радиационного контроля ХОЯТ-2 (от 10<sup>-1</sup> до 10<sup>6</sup> Бк/м<sup>3</sup> по активности бета-частиц и от 10<sup>-2</sup> до 10<sup>5</sup> Бк/м<sup>3</sup> по активности альфа-частиц).

### Радиационные воздействия на воздушную среду

Выброс радиоактивных аэрозолей в окружающую среду будет осуществляться через вентиляционную трубу УПОТХ (высота 40 м от поверхности грунта).

Моделирование и расчеты рассеяния радиоактивных аэрозолей в атмосфере выполнялись по модифицированной методика Гаусса, рекомендованной МАГАТЭ для оценки радиационных воздействий на окружающую воздушную среду. Методика расчета и соответствующие вычислительные программы [6] ранее успешно применялись при разработке и реализации проектов, связанных с преобразованием объекта "Укрытие" и со снятием с эксплуатации ЧАЭС [7, 8].

С целью обеспечения максимально консервативного подхода при оценке воздействий на воздушную среду расчеты распространения радиоактивных аэрозолей выполнялись для различных категорий погодных условий, а именно: среднемноголетние метеоусловия (метеоусловия 1); чрезвычайные метеоусловия (метеоусловия 2).

При этом в каждом конкретном случае, при сравнении с радиационно-гигиеническими регламентами, консервативно использовалось большее значение загрязнения воздуха из двух полученных значений.

Были проведены прогнозные концентрации отдельных (наиболее значимых) радионуклидов в приземном слое атмосферы, в зависимости от расстояния до ХОЯТ-2. Проведено сравнение с допустимыми концентрациями для персонала (РС<sub>А</sub>) и населения (РС<sub>В</sub>), регламентированных НРБУ-97 [9] и контрольными уровнями (КУ), установленными для зоны отчуждения [10]. Наиболее близкой к КУ концентрацией оказалась концентрация <sup>137</sup>Cs (рис. 6).

Сравнение прогнозных значений объемной активности радионуклидов в воздухе, вследствие нормальной эксплуатации ХОЯТ-2 (см. рис. 6), с национальными и региональными радиационно-гигиеническими регламентами показывает, что даже при наиболее консервативной оценке они существенно меньше установленных контрольных уровней загрязнения атмосферного воздуха. Сравнительный анализ показал, что разница между прогнозными значениями и регламентными показателями настолько значительна (от 50 до 120000 раз для различных радионуклидов), что совокупное воздействие дополнительного загрязнения воздуха не приведет к превышению установленных радиационно-гигиенических регламентов.

Таким образом, дополнительные радиационные воздействия на воздушную среду вследствие нормальной эксплуатации ХОЯТ-2, следует считать несущественными.

где  $V_i$  - фактический суточный выброс  $i$ -го радионуклида (группы радионуклидов);  $ПВ_i$  - предел выброса  $i$ -го радионуклида (группы радионуклидов, нормируемой как один вид загрязнения), рассчитанный по формуле (6.2);  $V_j$  - средний за календарный месяц (или другой период) суточный выброс  $i$ -го радионуклида (группы радионуклидов).

В неравенстве (а) суммирование выполняется по всем радионуклидам (группам радионуклидов) суточного контроля, в неравенстве (б) - месячного контроля.

В результате сравнения прогнозного и допустимого выбросов получим, что прогнозный выброс не превысит 3 % допустимого выброса.

Исходя из значений допустимого выброса и расхода воздуха системы вентиляции

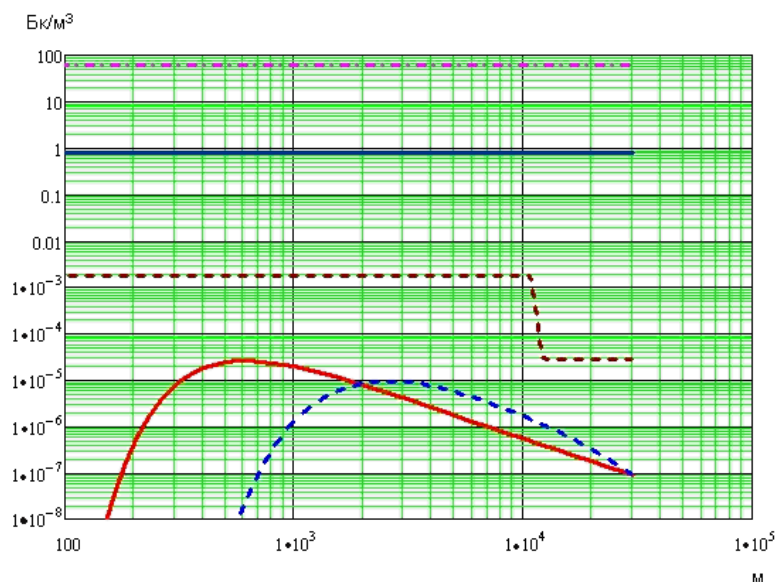


Рис. 6. Среднегодовая объемная активность  $^{137}\text{Cs}$  (Бк/м<sup>3</sup>) в приземном слое атмосферы при нормальных условиях эксплуатации ХОЯТ-2 в зависимости от расстояния (м): сплошная кривая - метеоусловия 1; пунктирная кривая - метеоусловия 2, Бк/м<sup>3</sup>; штрихпунктирная прямая - значение РС<sub>А</sub>; сплошная прямая - значение РС<sub>В</sub>; ломаная пунктирная линия - КУ в I радиационно-режимной зоне (10-километровая зона ЧАЭС) и в III радиационно-режимной зоне (Чернобыль).

### Радиационные воздействия на водную среду

Согласно запроектированной технологии при нормальной эксплуатации ХОЯТ-2 осуществление радиоактивных сбросов в окружающую среду не предполагается. Следовательно, основным видом радиационных воздействий на водную среду при реализации проектируемой деятельности будет оседание радиоактивных аэрозолей, содержащихся в технологических выбросах ХОЯТ-2, на поверхности открытых водоемов, а также на территории затопляемых пойменных участков. При этом консервативно принимается, что осевшие на затопляемую пойму аэрозоли полностью смываются во время паводка в проточные водоемы и мигрируют по гидрографической сети зоны влияния ХОЯТ-2.

Консервативный подход при прогнозной оценке радиационных воздействий выбросов ХОЯТ-2 на водную среду обеспечивался следующим образом. Предполагалось, что в течение года господствующие ветра будут иметь северо-восточное (от хранилища) направление, т.е. наиболее опасное направление, при котором загрязнение водной среды будет максимально неблагоприятным. Также предполагалось, что все радиоактивные аэрозоли, осевшие на территорию ее затопляемой поймы, смываются паводковыми водами в реку и суммируются с осевшими непосредственно на зеркало воды р. Припять. Скорость ветра принималась как постоянная в течение года и соответствующая среднесезонному значению.

Расчет оседания на поверхность водных объектов проводился на основании расчетов рассеяния аэрозолей в атмосфере (как при оценке загрязнения воздушной среды) и выполнялся методом интегрирования уравнения Гаусса с пределами интегрирования, равными расстоянию от ХОЯТ-2 до ближайшей (расстояние  $\approx 3,6$  км) и дальней (расстояние  $\approx 5,2$  км) границы затопляемой поймы р. Припять.

Согласно расчетам, в условиях нормальной эксплуатации ХОЯТ-2 дополнительное поступление радионуклидов в р. Припять не превысит значения  $3,6 \cdot 10^7$  Бк/год ( $^{137}\text{Cs}$ ) и  $2,3 \cdot 10^4$  Бк/год ( $^{90}\text{Sr}$ ).

Учитывая тот факт, что даже в маловодные годы, характеризующиеся наименьшим выносом  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  -  $0,49 \cdot 10^{12}$  и  $1,40 \cdot 10^{12}$  Бк/год соответственно [11, 12], расчетные дополнительные радиационные воздействия на водную среду при нормальной эксплуатации ХОЯТ-2 составят менее 0,1 % от годового выноса р. Припять. Также предполагая, что минимальный расход воды р. Припять составляет не менее  $330 \text{ м}^3/\text{с}$  [11, 12], то консервативно получаем расчетную максимально возможную дополнительную удельную активность  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в воде р. Припять вследствие нормальной эксплуатации ХОЯТ-2. Она составит соответственно не более  $3,5 \cdot 10^{-3}$  и  $2,2 \cdot 10^{-6}$  Бк/м<sup>3</sup>, что является незначительной величиной по сравнению с существующей объемной активностью  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в воде р. Припять, составляющей 0,05 и 0,12 кБк/м<sup>3</sup> соответственно [12].

Аналогичные расчеты загрязнения воды  $^{60}\text{Co}$  показывают, что дополнительная удельная активность воды в р. Припять за счет этого радионуклида составит не более  $0,05 \text{ Бк/м}^3$ . Учитывая, что предельно допустимое количество ( $\text{РС}_\text{В}^{\text{ingest}}$ )  $^{60}\text{Co}$  для питьевой воды соответствует величине  $8 \cdot 10^4 \text{ Бк/м}^3$  [9], то такое дополнительное воздействие также будет несущественным.

Таким образом, дополнительные радиационные воздействия на водную среду вследствие нормальной эксплуатации ХОЯТ-2 следует считать несущественными.

### Радиационные воздействия на почвенный покров

При расчетах принималось, что выброс происходит при средних значениях параметров погодных условий, включая наиболее вероятное направление ветра. Консервативно принималось, что вся выпавшая активность накапливалась в верхнем слое почвы в течение всего 10-летнего периода эксплуатации УПОТХ, без учета ее естественного распада и процессов миграции.

Анализ полученных расчетных значений показывает, что в условиях нормальной эксплуатации ХОЯТ-2 (за первые 10 лет работы УПОТХ) максимально возможная величина дополнительной плотности поверхностного загрязнения не превысит следующие значения:  $30 \text{ Бк/м}^2$  ( $^{137}\text{Cs}$ ),  $0,02 \text{ Бк/м}^2$  ( $^{90}\text{Sr}$ ),  $1,6 \text{ Бк/м}^2$  (изотопы  $^{239+240}\text{Pu}$ ). При этом наиболее близкими к КУ оказались значения дополнительной плотности поверхностного загрязнения почвенного покрова бета-активными радионуклидами (рис. 7).

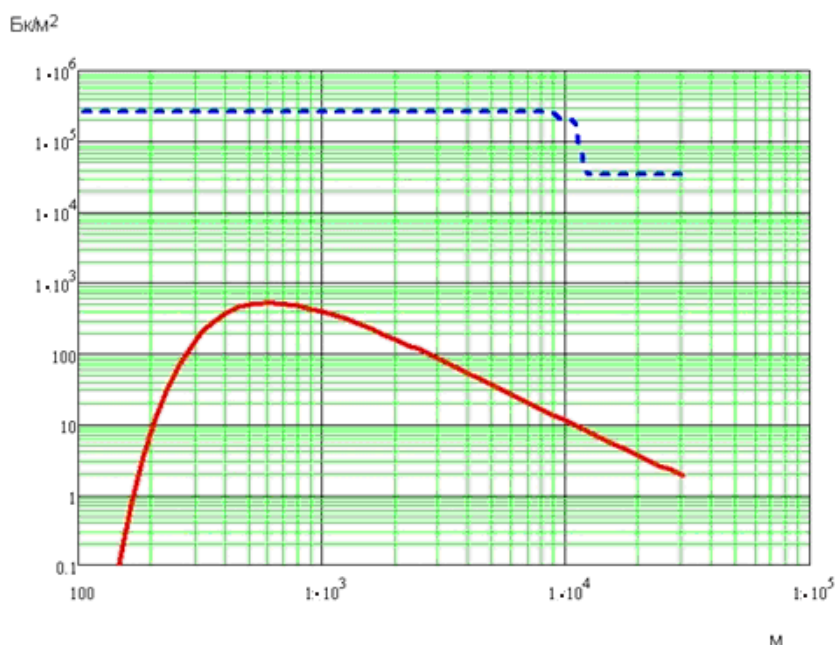


Рис. 7. Зависимость плотности поверхностного загрязнения почвенного покрова бета-активными радионуклидами ( $\text{Бк/м}^2$ ) от расстояния (м) при нормальной эксплуатации ХОЯТ-2: кривая - расчет загрязнения почвенного покрова при нормальной эксплуатации; ломаная пунктирная линия - КУ в I радиационно-режимной зоне (10-километровая зона ЧАЭС) и в III радиационно-режимной зоне (Чернобыль).

Указанные выше максимумы дополнительной плотности поверхностного загрязнения будут наблюдаться на расстоянии  $\sim 600$  м от здания УПОТХ, т.е. в пределах I радиационно-режимной зоны на территории зоны отчуждения, ближайшая граница которой удалена от хранилища на 9 км [10].

Для территорий, непосредственно прилегающих к промплощадке ХОЯТ-2 характерны наиболее высокие исходные уровни загрязнения почвенного покрова [13]. Так, плотность радиоактивного загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  этих территорий составляет от 18,5 до 37,0,  $^{90}\text{Sr}$  - от 18,5 до 26, а изотопами  $^{239+240}\text{Pu}$  - от 0,04 до 0,10  $\text{МБк/м}^2$ . Расчеты показывают, что указанные выше максимально возможные величины дополнительной плотности поверхностного загрязнения составят менее 0,1 % от реального загрязнения почвенного покрова, что является несущественным воздействием.

Диапазон изменения плотности загрязнения почвенного покрова  $^{137}\text{Cs}$  для 10-километровой зоны ЧАЭС (ближняя зона влияния ХОЯТ-2) составляет от 0,4 до 40  $\text{МБк/м}^2$ ,  $^{90}\text{Sr}$  - от 0,09 до 16  $\text{МБк/м}^2$ , а изотопами  $^{239+240}\text{Pu}$  - от 1 до 400  $\text{кБк/м}^2$  [12]. Сравнение максимальных значений дополнительного поверхностного загрязнения (за 10 лет эксплуатации УПОТХ) с наименьшими значениями

ми диапазона существующего загрязнения почвенного покрова показывает, что оно составит менее 0,2 % от существующего загрязнения.

Для остальной территории зоны влияния проектируемой деятельности (за пределами 10-километровой зоны ЧАЭС), значения плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  почвенного покрова находятся в интервалах от 20 до 260, от 2 до 190 и от 0,1 до 4  $\text{кБк}/\text{м}^2$  соответственно [12]. Учитывая то, что ближайшая граница 10-километровой зоны ЧАЭС расположена на удалении 9 км от хранилища, в условиях нормальной эксплуатации ХОЯТ-2 (за первые 10 лет работы УПОТХ) максимально возможная величина дополнительной плотности поверхностного загрязнения не превысит следующие значения:  $0,9 \text{ Бк}/\text{м}^2$  ( $^{137}\text{Cs}$ ),  $5 \cdot 10^{-4} \text{ Бк}/\text{м}^2$  ( $^{90}\text{Sr}$ ),  $0,04 \text{ Бк}/\text{м}^2$  (изотопы  $^{239+240}\text{Pu}$ ).

Таким образом, величина дополнительного загрязнения почвенного покрова не превысит 0,1 % от существующего загрязнения.

Следовательно, можно утверждать, что дополнительное радиоактивное загрязнение почвенного покрова не приведет к превышению радиационно-гигиенических регламентов загрязнения почв и не окажет существенного воздействия на почвенный покров.

### Радиационные воздействия на персонал и население

Параметры радиоактивного загрязнения большей части территории зоны отчуждения ЧАЭС, являющейся зоной влияния ХОЯТ-2, превышают предельные значения, установленные для селитебных территорий. В связи с этим эта территория имеет особый административно-правовой статус и относится к категории радиоактивно опасных земель, где запрещено постоянное проживание населения [14]. Однако в зоне отчуждения ЧАЭС выделена селитебная зона, на территории которой находится часть Чернобыля с общежитиями для межвахтового отдыха персонала и другими объектами обслуживающей инфраструктуры [10]. При этом территория селитебной зоны характеризуется определенным уровнем радиоактивного загрязнения, что требует проведения оценки дополнительных дозовых нагрузок, вследствие проектируемой деятельности, на персонал, находящийся на территории селитебной зоны. Особенностью территории зоны влияния ХОЯТ-2 является также проживание на ней «самоселов» - определенной группы населения (категория В), самостоятельно вернувшейся на место своего постоянного проживания до аварии 1986 года и ведущей приусадебное хозяйство.

Для повышения уровня радиационной безопасности персонала, работающего в зоне отчуждения ЧАЭС, ее территория разделена на три радиационно-режимных зоны [10]:

I зона (10-километровая зона) – территория в пределах 10-километрового радиуса вокруг ЧАЭС, где проводится постоянный строгий радиационный дозиметрический контроль;

II зона (буферная) – территория от границ 10-километровой зоны до внешней границы зоны отчуждения (кроме части территории Чернобыля), где проводится постоянный радиационный дозиметрический контроль;

III зона (селитебная) – занимает часть территории Чернобыля, на которой расположены общежития и административные сооружения вместе с прилегающими участками, объекты общественного питания и торговли, социально-культурного, медико-санитарного назначения, внутренние кварталные и подъездные дороги к ним.

Промплощадка ХОЯТ-2 находится в центральной части I радиационно-режимной зоны и характеризуется всеми регламентами, указанными для этой зоны в нормативном документе [10].

Радиационное воздействие на персонал предприятий, находящийся в селитебной зоне, при нормальной эксплуатации определяется в основном ингаляционной составляющей, обусловленной газоаэрозольными выбросами ХОЯТ-2. При расчете доз принималось, что продолжительность пребывания персонала в зоне составляет 4000 ч в год, средства защиты органов дыхания при пребывании в селитебной зоне не используются, темп дыхания  $1,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Объемная удельная активность в приземном слое воздуха корректируется с учетом процессов вторичного ветрового подъема радионуклидов, который выпал на поверхность почвы в результате работы ХОЯТ-2.

Дополнительная доза внутреннего облучения персонала, находящегося в селитебной зоне, при нормальной эксплуатации ХОЯТ-2 составит не более  $8 \cdot 10^{-3} \text{ мкЗв}$  в год. Персонал, проживающий в селитебной зоне, при оценке воздействий от ХОЯТ-2 приравнивается к населению. В этой зоне запрещено производство продуктов питания, поэтому единственный путь поступления радионуклидов в организм – это ингаляционный путь. Дополнительная индивидуальная доза внутреннего облучения персонала примерно на пять порядков меньше по сравнению с КУ дозы внутреннего облучения для II подгруппы персонала зоны отчуждения, равной  $0,7 \text{ мЗв}/\text{год}$  [10]. Дополнительная доза облучения



населения, проживающего за пределами зоны отчуждения, будет пренебрежимо малой по сравнению с квотой предела дозы облучения 40 мкЗв, установленной НРБУ-97 [9] для АЭС или предприятий по переработке радиоактивных отходов.

Таким образом, можно утверждать, что дополнительные радиационные воздействия на социальную среду при нормальной эксплуатации ХОЯТ-2 будут несущественными.

### Радиационные воздействия на техногенную среду

Из объектов техногенной среды на минимальном расстоянии (1,7 км) находится промплощадка ЧАЭС. Объект "Укрытие" находится на расстоянии 2,4 км, комплекс "Вектор" – 13 км, ПЗРО "Буряковка и ЦХОЯТ ВВЭР – 14 км. Из приведенных выше зависимостей уровней загрязнений от расстояния видно, что наибольшее воздействие будет на промплощадке ЧАЭС.

При этом под воздействием на техногенную среду понимается уровень дополнительных загрязнений территории смежных объектов и дополнительные дозы персонала, работающего на этих объектах.

В таблице приведено сравнение расчетных уровней объемного загрязнения воздуха, плотности поверхностного загрязнения и мощности дозы с КУ ЧАЭС [15]. Использовались КУ для территории свободного режима на территории промплощадки (консервативно).

Концентрации радионуклидов в воздухе и дополнительная доза внутреннего облучения персонала ЧАЭС на 5 - 7 порядков меньше КУ. Дополнительное поверхностное загрязнение на площадке ЧАЭС, накопленное за весь период эксплуатации ХОЯТ-2, почти на 3 порядка ниже КУ (при этом консервативно не учитывалось вымывание с поверхности и радиоактивный распад).

### Сравнение расчетных данных и контрольных уровней ЧАЭС

Критерий	Расчетное значение	КУ
Концентрации альфа-излучающих радионуклидов в воздухе рабочей зоны, Бк/м <sup>3</sup>	$3 \cdot 10^{-9}$	0,02
Концентрации бета-активных радионуклидов в воздухе рабочей зоны, Бк/м <sup>3</sup>	$2 \cdot 10^{-6}$	5,0
Годовая эффективная доза внутреннего облучения, мЗв	$7 \cdot 10^{-5}$	3
Плотности потока бета-частиц, част./(см <sup>2</sup> ·мин)	0,6	400

Таким образом, при нормальной эксплуатации ХОЯТ-2 воздействие на окружающую техногенную среду будет пренебрежимо мало.

### Выводы

Радиационные воздействия на окружающую среду при нормальной эксплуатации ХОЯТ-2 соответствуют критериям безопасной эксплуатации радиационно-ядерных объектов на территории Украины. Низкие значения величины активности расчетных выбросов свидетельствуют о высокой эффективности предложенной технологии в части противорадиационной защиты окружающей среды.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Предварительный отчет по анализу безопасности ХОЯТ 2. Проектные основы.*-Документ ISF2-SAR-SH01-V03-RUS.-ИПЭ АЭС,2009. – 99 с.
2. *Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности Украины (ОСПУ-2005).*- К., 2005. - 111 с.
3. *Техническая спецификация (№ ГУП ЧАЭС/С2/ТС/01 Редакция 3). Пункт работ С-2 Проектирование, лицензирование, изготовление, поставка и ввод в эксплуатацию промежуточного хранилища отработанного топлива РБМК на ЧАЭС. Дополнение № 2. Приложение. Приложение 5а. - 2006. – 23 с.*
4. *Промежуточное хранилище отработанного топлива. Синтез предположительных данных касательно отложений. Документ SDC-DC-2051R, rev. C, 2006.*

5. *Порядок* установления допустимых уровней сбросов и выбросов АЭС Украины (радиационно-гигиенические регламенты I группы). Методические указания. - К., 2002. - 58 с.
6. *Сизов А.А.* Воздействия выбросов радиоактивных веществ на окружающую среду и персонал при преобразовании объекта "Укрытие" ЧАЭС // Проблемы безопасности атомных станций и Чернобыля. - 2006. - Вып. 4. - С. 55 - 68.
7. *Ключников А.А., Щербин В.Н., Рудько В.М. и др.* Оценка дополнительных воздействий на окружающую среду в процессе реализации работ по стабилизации объекта "Укрытие" // Там же. - 2004. - Вып. 1. - С.14 - 23.
8. *Батий В.Г., Городецкий Д.В., Паскевич С.А. и др.* Экологическое обоснование целесообразности строительства централизованного хранилища отработавшего ядерного топлива реакторов типа ВВЭР в Чернобыльской зоне отчуждения // Сб. науч. тр. Севастопольского нац. ин-та ядерной энергии и промышленности. - Севастополь: СНИЯЭиП, 2004. - Вып. 12. - С. 197 - 203.
9. *Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97).* Державні гігієнічні нормативи ДГН 6.6.1.-6.5.001-98. - К., 1998. - 125 с.
10. *Основні контрольні рівні, рівні щодо звільнення та рівні дії щодо радіоактивного забруднення об'єктів зони відчуження і зони безумовного (обов'язкового) відселення.*- Утверждены МЧС Украины от 27.05.2008 г.- Согласованы с Главным санитарным врачом Украины от 28.05.2008 г.-К.,2008.- 11 с.
11. *Годун Б.О., Вишневський Д.О., Кіреєв С.І. та ін.* Радіаційний стан зони відчуження у 2006 році // Бюлетень екологічного стану ЗВіЗБ(О)В. - 2007. -№1(29). - С. 3 - 25.
12. *Бондаренко О.О., Вишневський Д.О., Годун Б.О. та ін.* Радіаційний стан зони відчуження у 2007 році // Там же. - 2008. -№1(31). - С. 3 - 22.
13. *Радиационно-экологический паспорт* ГСП «Чернобыльская АЭС». - ЦРБ ЧАЭС, 2004. - 160 с.
14. *Закон Украины* "Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи". - № 795-ХІІ от 28.02.1991 (ред. 06.05.2008).
15. *41П-С.* Контрольные уровни радиационной безопасности. - ГСП ЧАЭС, 2006. - 24 с.

**В. Г. Батий, Д. В. Городецкий, Ю. І. Рубежанський, В. М. Рудько, А. О. Сізов**

*Институт проблем безопасности НАН Украины, вул. Кірова, 36а, Чернобыль, 07270, Украина*

#### **ОЦІНКА РАДІАЦІЙНОГО ВПЛИВУ СХОВИЩА ВІДПРАЦЬОВАНОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА (СВЯП-2) ЧАЕС**

Виконано оцінки радіаційного впливу за нормальних умов експлуатації сухого сховища відпрацьованого ядерного палива (СВЯП-2) реакторів РБМК ЧАЕС, яке призначене для тривалого зберігання відпрацьованих тепловиділяючих збірок (ВТВЗ), що утворились унаслідок експлуатації енергоблоків ЧАЕС. Розрахунки показали, що викид для окремих радіонуклідів становить не більше  $10^{10}$  Бк/рік. При цьому сумарний прогнозний викид не перевищить 3 % від допустимого викиду. Показано, що максимальна концентрація радіонуклідів у повітрі поблизу СВЯП-2 істотно нижче від допустимої для населення, а додаткове забруднення навколишнього середовища є незначним. Так, максимально можливе додаткове забруднення води р. Прип'ять  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  буде не більше  $3,5 \cdot 10^{-3}$  та  $2,2 \cdot 10^{-6}$  Бк/м<sup>3</sup>, що є незначним у порівнянні із сучасним вмістом цих радіонуклідів у воді р. Прип'ять - 0,05 та 0,12 кБк/м<sup>3</sup> відповідно. Максимально можлива щільність додаткового забруднення поверхні прилеглих територій буде становити менше 0,1 % від існуючих рівнів забруднення ґрунтового покриву зони впливу.

*Ключові слова:* сховище, ядерне паливо, викид, навколишнє середовище

**V. G. Batiy, D. V. Gorodetskiy, Yu. I. Rubezhanskiy, V. M. Rud'ko, A. O. Sizov**

*Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants NAS of Ukraine, 36a, Kirova str., Chernobyl, 07270, Ukraine*

#### **EVALUATION OF RADIATION IMPACTS OF SPENT NUCLEAR FUEL STORAGE (ISF-2) OF CHERNOBYL NPP**

The estimation of radiation impacts during normal operation of dry spent fuel storage facility (ISF-2) for ChNPP RBMK reactors, designed for long-term storage of spent fuel assemblies (SFA), which originated from the operation 1, 2 and 3 units of ChNPP was made. Calculations have shown that the release of individual radionuclides is less than  $10^{10}$  Bq/year. At that, the total projected emissions will not exceed 3% of the allowable emissions. It is shown that the maximum concentration of radionuclides in the air near the ISF-2 well below allowable concentration for the population, and additional pollution is negligible in comparison with the existing one. The maximum possible additional specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in the water of the river Pripyat will be respectively not more than  $3.5 \cdot 10^{-3}$  and  $2.2 \cdot 10^{-6}$  Bq/m<sup>3</sup>, which is an insignificant amount compared to the current volume activity of 0.05 and 0.12 kBq/m<sup>3</sup> respectively. The maximum possible value of the additional density of surface contamination will be less than 0.1 % of the actual soil contamination.

*Keywords:* storage, nuclear fuel, emissions, environment.

REFERENCES

1. *ISF2-SAR-CH16-V02-RUS*. Preliminary report on ISF – 2 safety analysis. - Red. 2. - IPE` AES, 2009. (Rus)
2. *Main sanitary rules of radiation safety ensuring of Ukraine (OSPU-2005)*. - Kyiv, 2005. - 111 p. (Rus)
3. *Technical Specification (PMU ChNPP /C2/TC/01. Edition 3)*. Punkt rabot S-2. Proektirovanie, licenzirovanie, izgotovlenie, postavka i vvod v ekspluatatsiiu promezhutochnogo khranilishcha otrabotannogo topliva RBMK na CHAE`S. Dopolnenie № 2. Prilozhenie. Prilozhenie 5a. - 2006. - 23 p. (Rus)
4. *ISF-2*. Interim storage of spent fuel. The synthesis of data regarding deposits // Otchet SDC-DC-2051R, rev. C. – 2006. (Rus)
5. *Technique of setting acceptable levels of releases and discharges of Ukraine's NPPs (radiation – hygienic regulations of the first group)*. Methodological rules. - Kyiv, 2002. – 58 p. (Rus)
6. *Sizov A.A.* Impacts of radioactive releases to the environment and the personnel during the transformation of the "Shelter" of Chernobyl NPP// Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl). - 2006. - Iss. 4. - P. 55 - 68. (Rus)
7. *Cliuchnikov A.A., Shcherbin V.N., Rud`ko V.M. et al.* Evaluation of additional environmental impacts during the implementation of works to stabilize the "Shelter"// Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl). - 2004. - Iss. 1. - P.14 - 23. (Rus)
8. *Batiy V.G., Gorodetskiy D.V., Paskevich S.A. et al.* Ecological substantiation for the construction of a centralized storage facility for spent nuclear fuel of VVER reactors in Chernobyl Exclusion Zone // Sb. nauch. trudov Sevastopol`skogo nats. in-ta iadernoi` energii i promyshlennosti. - Sevastopol`: SNIIE`iP, 2004. - Iss. 12. - P. 197 - 203. (Rus)
9. *Radiation Safety Standards of Ukraine (NRBU-97)*. Public hygiene standards DHN 6.6.1-6.5.001-98. - Kyiv, 1998. - 125 p. (Rus)
10. *Basic control levels, levels on release and action levels concerning radioactive contamination of the Exclusion Zone and Zone of compulsory resettlement*. - Utverzhdeny` MChS Ukrainy` ot 27.05.2008 g. - Soglasovany` s Glavny`m sanitarny`m vrachom Ukrainy` ot 28.05.2008. - Kyiv, 2008. – 11 p. (Rus)
11. *Godun B.O., Vishnevs`kiy D.O., Kireev S.I. et al.* Radiation situation of exclusion zone in 2006 // Biuleten` ekologichnogo stanu ZViZB(O)V. - 2007. - № 1(29). - P. 3 - 25. (Rus)
12. *Bondarenko O.O., Vishnevs`kiy D.O., Godun B.O. et al* Radiation situation of exclusion zone in 2007 // Biuleten` ekologichnogo stanu ZViZB(O)V. - 2008. - № 1(31). - P. 3 - 22. (Rus)
13. *Radiation ecological passport of SSE "Chernobyl NPP"*. - TCRB CHAE`S, 2004. – 160 p. (Rus)
14. *Ukraine's Law "On the legal regime of the territories contaminated by the Chernobyl disaster"*. - № 795-XII ot 28.02.1991 (red. 06.05.2008). (Rus)
15. *4IP-S*. Control Levels of radiation safety. - GSP CHAE`S, 2006. - 24 s. (Rus)

Надійшла 13.02.2013  
Received 13.02.2013