

## **АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА ХРАНИЛИЩА ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА РЕАКТОРОВ ТИПА ВВЭР В ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ**

**В. Г. Батий, Д. В. Городецкий, С. А. Паскевич, В. М. Рудько, А. А. Сизов,  
А. И. Стоянов, В. Н. Щербин**

*Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль*

**Т. Ю. Байбузенко, Н. Е. Шевченко, В. Я. Шендерович**

*Киевский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Энергопроект», Киев*

Проведены прогнозные расчеты и анализ радиационных воздействий на компоненты окружающей среды для проектируемого хранилища отработавшего ядерного топлива реакторов типа ВВЭР для украинских АЭС. Показано, что в условиях нормальной эксплуатации хранилища с использованием модульной технологии хранения радиационные воздействия на окружающую среду незначительны. Однако от выбора площадки для строительства хранилища и применяемой технологии хранения зависит тяжесть последствий возможных радиационных аварий, что определяет необходимость размещения хранилища в малонаселенных районах Украины.

### **Введение**

На территории Украины с целью создания собственного ядерно-топливного цикла планируется строительство централизованного промежуточного хранилища отработавшего ядерного топлива (ХОЯТ) для реакторов типа ВВЭР-1000 и ВВЭР-440, эксплуатируемых на украинских АЭС. Хранилище рассчитано на временное (50 - 100 лет) хранение 20 тыс. т ОЯТ ВВЭР до наступления такого момента, когда его переработка будет экономически выгодной. Одной из важных проблем реализации этого проекта является выбор площадки для строительства ХОЯТ, наиболее безопасной для окружающей среды.

Согласно требованиям нормативного документа ДБН А.2.2.-1-2003 [1], на этапе технико-экономического обоснования инвестиций (ТЭОИ) были рассмотрены территориальные альтернативы проектируемой деятельности. В результате проведенного многокритериального сравнительного анализа альтернативных вариантов размещения ХОЯТ ВВЭР [2] была выбрана площадка на территории Чернобыльской зоны отчуждения (ЧЗО). Также в рамках ТЭОИ были подготовлены материалы по оценке радиационных воздействий проектируемого объекта на окружающую среду [3]. Как показали результаты государственной экспертизы материалов ТЭОИ, значительная часть вопросов и замечаний была посвящена экологической целесообразности размещения ХОЯТ ВВЭР именно в ЧЗО, что и послужило поводом для написания настоящей статьи.

### **Объекты и методы исследований**

Объектом исследований являются радиационные воздействия на окружающую среду при строительстве ХОЯТ ВВЭР на территории ЧЗО в случаях возникновения аварийных ситуаций при эксплуатации.

ЧЗО - радиоактивно загрязненная территория, где запрещено постоянное проживание гражданского населения. ХОЯТ ВВЭР планируется разместить в юго-западном секторе внутренней 10-километровой радиационно-режимной зоны, установленной с целью контроля за наиболее загрязненной территорией. Предполагается, что эта территория не будет заселена на протяжении всего срока эксплуатации хранилища [4].

© В. Г. Батий, Д. В. Городецкий, С. А. Паскевич, В. М. Рудько, А. А. Сизов, А. И. Стоянов, В. Н. Щербин, Т. Ю. Байбузенко, Н. Е. Шевченко, В. Я. Шендерович, 2004

Согласно рекомендациям МАГАТЭ [5], для моделирования и расчетов рассеяния радионуклидов в атмосфере применялась модель диффузии Пасквилла, основанная на статистическом (гауссовом) распределении примесей. Ниже приведено описание исходных условий для моделирования и оценки радиационных воздействий ХОЯТ ВВЭР на окружающую среду (консервативный подход).

*Строительство в нормальных условиях.* При подготовке строительной площадки предполагается проведение работ по дезактивации территории путем удаления верхнего 10-сантиметрового слоя грунта. При этом были приняты следующие исходные данные:

удельная активность верхнего 10-сантиметрового слоя грунта (воздушно-сухой песок)  
 $^{137}\text{Cs}$  -  $2,7 \cdot 10^4$ ,  $^{90}\text{Sr}$  -  $5,3 \cdot 10^3$ ,  $^{238-240}\text{Pu}$  - 280 и  $^{241}\text{Am}$  - 36 Бк/кг;

скорость движения бульдозера 1 м/с, ширина его ковша 2 м;

метеорологические условия 1 - категория устойчивости атмосферы D (по Пасквиллу), скорость ветра 3,3 м/с (95 % времени), скорость осаждения аэрозолей 0,8 см/с, осадки отсутствуют;

метеорологические условия 2 - категория устойчивости атмосферы F (по Пасквиллу), скорость ветра 1 м/с (5 % времени), скорость осаждения аэрозолей 0,8 см/с, осадки отсутствуют.

*Авария при строительстве.* Для подготовки строительной площадки под основные сооружения ХОЯТ ВВЭР и коммуникации планируется вырубка 8,6 га лесных насаждений. Наиболее вероятной аварией является низовой лесной пожар, который может возникнуть при проведении этих работ. Консервативно принималось, что скорость распространения пожара составит 1 м/мин при наиболее опасном юго-западном ветре (в направлении ЧАЭС), а точка возникновения пожара - наиболее радиоактивно загрязненный участок лесного массива. За 4 ч пожара лес выгорит на площади 72 тыс. м<sup>2</sup>, а расчетная суммарная активность выброса составит  $5,4 \cdot 10^{10}$  Бк  $^{137}\text{Cs}$ ,  $2,9 \cdot 10^{10}$  Бк  $^{90}\text{Sr}$  и  $5,8 \cdot 10^8$  Бк альфа-активных трансурановых элементов (ТУЭ).

*Нормальная эксплуатация.* Во время эксплуатации ХОЯТ ВВЭР возможен выход изотопов цезия за счет дефектов в оболочках ТВЭЛов. При этом выброс будет представлен в основном изотопом  $^{137}\text{Cs}$  (>94 %) и составит  $8,2 \cdot 10^8$  Бк/год. Источник выброса точечный и расположен на высоте 40 м (вентиляционная труба).

*Проектная авария с максимальными последствиями (МПА).* При подготовке материалов ТЭОИ было принято, что хранение ОЯТ будет осуществляться по модульной технологии, предполагающей перегрузку отработавшей тепловыделяющей сборки (ОТВС) из транспортного контейнера в железобетонный модуль для постоянного хранения. В качестве МПА принято падение (в момент перегрузки) одной ОТВС с разгерметизацией всех ТВЭЛов при одновременном отказе системы спецвентиляции. Высота выброса 40 м (вентиляционная труба). Выход активности при авариях из одной ОТВС (топливо ВВЭР-1000, трехгодичная кампания) следующий, Ки:  $^{103}\text{Ru}$  - 23,3,  $^{106}\text{Ru}$  - 3,6,  $^{134}\text{Cs}$  - 129,0,  $^{144}\text{Ce}$  - 50,3,  $^{140}\text{La}$  - 43,6,  $^{90}\text{Sr}$  - 2,0,  $^{137}\text{Cs}$  - 98,2,  $^{85}\text{Kr}$  - 51,1. Топливо поступает в ХОЯТ после пяти лет выдержки.

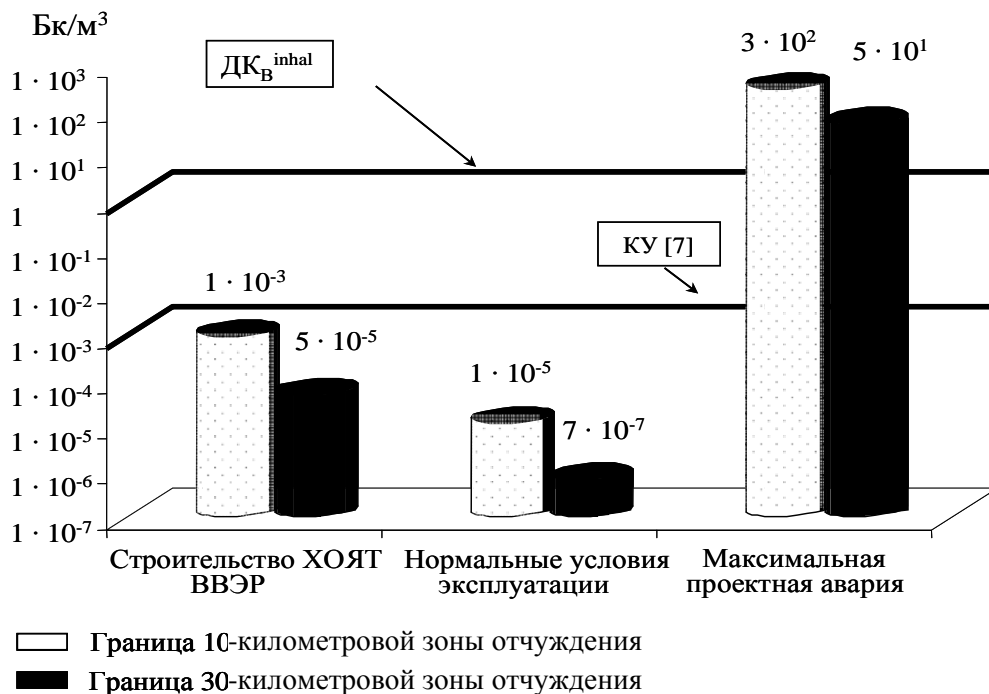
*Запроектная авария (ЗПА).* В качестве ЗПА принято падение тяжелого самолета (заправка топливом 50 %) непосредственно на железобетонные модули, полностью заполненные ОТВС, с последующим горением авиационного топлива. В связи с тем, что тяжесть радиационных воздействий при ЗПА не зависит от места строительства ХОЯТ ВВЭР, то в настоящей статье они не рассматриваются.

Методики расчета радиационных воздействий в полном объеме представлены в документах [2, 3].

### Радиационные воздействия при строительстве

Основным источником поступления радионуклидов в окружающую среду при строительстве будут земляные работы. Так, на ближайшей границе ЧЗО удельная активность  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и альфа-излучающих ТУЭ в приземном слое атмосферы составит  $5 \cdot 10^{-5}$ ,  $1 \cdot 10^{-5}$  и

$6 \cdot 10^{-7}$  Бк/м<sup>3</sup> соответственно. Эти величины примерно в  $10^3$  раз меньше установленных нормативами [6] допустимых концентраций данных нуклидов в воздухе ( $ДК_{В}^{inhal}$ ), поэтому радиационные воздействия на воздушную среду при строительстве ХОЯТ ВВЭР являются приемлемыми (рисунок). Также несущественным является и дополнительное загрязнение радионуклидов почвенного покрова прилегающих территорий.



Воздействия ХОЯТ ВВЭР на воздушную среду.

Так, на расстоянии 2000 м от места проведения работ дополнительное загрязнение составит всего 0,01 % от существующего фоновое загрязнение.

К существенному загрязнению окружающей среды может привести низовой пожар в лесу, вызванный техногенной деятельностью по подготовке площадки. При этом объемная активность <sup>134</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr и альфа-излучающих ТУЭ в приземном слое атмосферы в районе ближайшей границы ЧЗО составит 8, 4 и 1 Бк/м<sup>3</sup> соответственно. Таким образом, при низовом пожаре при подготовке площадки под строительство возможно кратковременное превышение контрольных уровней (КУ). Напротив, поверхностное загрязнение почвы этих районов, обусловленное пожаром, не превысит 0,1 - 0,2 % от фоновое загрязнение. Применение противопожарных мероприятий (минеральные полосы, дежурство пожарных расчетов и т.п.) в условиях относительно небольших объемов работ значительно уменьшит вероятность возникновения пожара.

Воздействие на поверхностные водоемы при строительстве, в связи с их значительной удаленностью, крайне мало и, по консервативным оценкам (при пожаре), приведет к увеличению годового выноса радионуклидов со стоком р. Припять на 0,2 %.

Строительство ХОЯТ ВВЭР, за исключением некоторых видов земляных работ, не окажет существенного влияния на условия эксплуатации предприятий, расположенных поблизости. Так, дополнительные дозовые нагрузки персонала вследствие строительства ХОЯТ ВВЭР не приведут к превышению величины КУ на этих предприятиях (табл. 1).

Расчет дополнительных дозовых нагрузок населения за пределами ЧЗО при строительстве ХОЯТ ВВЭР показывает, что при нормальных условиях строительства и в случае возникновения аварии (лесной пожар) они не превысят предела, установленного НРБУ-97 [6] (табл. 2).

Таблица 1. Дополнительные дозовые нагрузки на персонал объектов, расположенных на территории Чернобыльской зоны отчуждения, при строительстве ХОЯТ ВВЭР

Объект	КУ, мЗв/год	Существующие дозовые нагрузки, мЗв/год [7]	Дополнительные дозовые нагрузки	
			в нормальных условиях, мЗв/год	при пожаре, мЗв
ЧАЭС	17	3,01	$3,15 \cdot 10^{-5}$	0,050
ЗПЖРО, ПКОТРО	17	3,01	$3,04 \cdot 10^{-5}$	0,049
ХОЯТ-2	17	3,01	$2,90 \cdot 10^{-5}$	0,048
Комплекс «Вектор»	18	0,14	$0,70 \cdot 10^{-1}$	0,080
Предприятия в г. Чернобыль	2,3 – 15	0,1-3,9	$1,48 \cdot 10^{-5}$	0,031
ПЗРО «Буряковка»	18	1,64	$2,7 \cdot 10^{-3}$	0,013

Таблица 2. Дополнительные дозовые нагрузки на население территорий, прилегающих к Чернобыльской зоне отчуждения, при строительстве ХОЯТ ВВЭР

Расстояние от ХОЯТ ВВЭР, км	Пределы доз облучения, регламентируемые НРБУ-97 [6], мЗв/год	Дополнительные дозовые нагрузки на население	
		в нормальных условиях, мЗв/год	при пожаре, мЗв
30	1	$1,0 \cdot 10^{-5}$	0,022
40	1	$6,3 \cdot 10^{-6}$	0,016
100	1	$2,7 \cdot 10^{-6}$	0,007

### Радиационные воздействия в условиях нормальной эксплуатации

Анализ мирового опыта промежуточного сухого хранения ОЯТ показывает, что в безаварийных условиях хранения ОЯТ в контейнерах или модулях, при регулярном контроле их герметичности и изменений в твэлах, является практически безопасной технологией [9]. К аналогичному выводу приводят и результаты наших расчетов. Так, при консервативном подходе (постоянное направление ветра, естественный распад и миграция радионуклидов не учитываются) максимальное дополнительное загрязнение прилегающих территорий изотопами цезия за 100-летний период эксплуатации ХОЯТ ВВЭР не превысит  $12 \text{ Бк/м}^2$  [3], что является пренебрежимо малой величиной; т.е. при гарантированных условиях безаварийной эксплуатации ХОЯТ ВВЭР можно разместить в любом месте на территории Украины. Таким образом, главным критерием экологического обоснования целесообразности выбора площадки для ХОЯТ ВВЭР является возможность обеспечения минимального ущерба в случае возникновения радиационных аварий.

### Радиационные воздействия при максимальной проектной аварии

Расчет радиационных воздействий на воздушную среду при МПА показывает, что объемная активность изотопов цезия на ближайшей границе ЧЗО достигнет величины  $10 - 50 \text{ Бк/м}^3$ . Необходимо учитывать то, что повышение концентрации радионуклидов в воздухе будет кратковременным и не приведет к опасным воздействиям на окружающую среду. Однако при этом максимальное дополнительное поверхностное загрязнение почвенного покрова  $^{137}\text{Cs}$  достигнет величины  $500 \text{ кБк/м}^2$  и будет наблюдаться уже на расстоянии  $\sim 3000 \text{ м}$  от объекта; т.е. при размещении ХОЯТ ВВЭР не на территории ЧЗО, а в другом районе Украины, такое развитие событий привело бы к радиоактивному загрязнению селитебных территорий и значительному материальному и моральному ущербу. Напротив, на ближайшей границе ЧЗО ( $12 \text{ км}$  в юго-западном направлении) в зависимости от метеоусловий поверхностное загрязнение почвы  $^{137}\text{Cs}$  составит от  $10$  до  $90 \text{ Бк/м}^2$ , что соответствует  $30 - 50 \%$  от современного фонового уровня загрязнения почвенного покрова и не приведет к изменению статуса этих территорий.

Анализ радиационных воздействия при МПА на поверхностные воды показал, что при таком развитии событий, на территории затопляемой поймы р. Припять осядет около  $7,5 \cdot 10^9$  Бк изотопов цезия, что значительно меньше величины ее суммарного выноса с годовым стоком -  $10^{13}$  Бк [10].

Специфика производственных условий на предприятиях, расположенных на территории ЧЗО, способствует формальному «смягчению» радиационных воздействий на их персонал в случае возникновения МПА (табл. 3).

Таблица 3. Дополнительные дозовые нагрузки на персонал соседних объектов при нормальной эксплуатации и возможных авариях в ХОЯТ ВВЭР

Объект	КУ на предприятиях, мЗв/год	Существующие дозовые нагрузки [8], мЗв/год	Дополнительные дозовые нагрузки	
			в нормальных условиях, мЗв/год	при МПА, мЗв
Главные корпуса ЧАЭС	17	3,01	$7 \cdot 10^{-5}$	0,03
ЗПЖРО, ПКОТРО	17	3,01	$7 \cdot 10^{-5}$	0,03
ХОЯТ-2	17	3,01	$7 \cdot 10^{-5}$	0,03
Комплекс «Вектор»	18	0,14	$5 \cdot 10^{-3}$	1,00
Предприятия в г. Чернобыль	2,3-15	0,1-3,9	$3 \cdot 10^{-5}$	0,01
ПЗРО «Буряковка»	18	1,64	$2 \cdot 10^{-3}$	0,70

Величина индивидуальной эффективной эквивалентной дозы вследствие МПА на границе 10-километровой зоны ЧАЭС (на расстоянии 2 км от ХОЯТ ВВЭР) в зависимости от метеорологических условий составит от 0,3 до 0,8 мЗв. При этом на ближайшей границе ЧЗО (на расстоянии 12 км от ХОЯТ ВВЭР) индивидуальные эффективные эквивалентные дозы будут варьировать в интервале от 0,02 до 0,1 мЗв. Таким образом, в случае размещения ХОЯТ ВВЭР в другом (селитебном) районе Украины, существует высокая вероятность превышения годового предела дозы вследствие МПА населением - 1 мЗв [6], проживающим на границе санитарно-защитной зоны объекта (СЗЗ). Напротив, при строительстве ХОЯТ ВВЭР на территории ЧЗО дополнительное радиационное воздействие на население в случае МПА будет незначительным, так как безлюдная территория ЧЗО возьмет на себя функции СЗЗ (табл. 4).

Таблица 4. Дополнительные дозовые нагрузки на население в случае возможной проектной аварии с максимальными последствиями

Расстояние от ХОЯТ ВВЭР, км	Предел дозы облучения населения [5], мЗв/год	Дополнительные дозовые нагрузки на население	
		при нормальной эксплуатации, мЗв/год	при МПА, мЗв
30	1	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-3}$
40	1	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$
100	1	$4,0 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-3}$

### Выводы

1. Длительная (до 100 лет) безаварийная эксплуатация ХОЯТ ВВЭР, на котором применяется модульная технология хранения ОЯТ, практически не оказывает радиационных воздействий на окружающую среду.

2. Выбор площадки для строительства ХОЯТ ВВЭР на территории Украины определяется тяжестью последствий возможной максимальной проектной радиационной аварии.

3. Оптимальным вариантом размещения централизованного ХОЯТ ВВЭР на территории Украины является ЧЗО, что обусловлено наименьшими радиационными воздействиями на окружающую среду в случае возникновения проектной аварии с максимальными последствиями при использовании модульной технологии хранения ОЯТ.

4. Территория ЧЗО является перспективным районом для размещения радиационно-ядерных объектов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *ДБН А.2.2.-1-2003*. Склад і зміст матеріалів ОВНС при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд. Основні положення проектування. - Київ, 2004. - 21 с.
2. *ХОЯТ ВВЭР АЭС Украины. ТЭОИ.-Т.1*. Пояснительная записка. - Ч. 5. Выбор и сравнение площадок для сооружения ХОЯТ ВВЭР. Док. 57-204.201.001.ОЭ.01.05. - Киев: Киевский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Энергопроект», 2004. - 272 с.
3. *ХОЯТ ВВЭР АЭС Украины. ТЭОИ.-Т.3*. Оценка воздействия на окружающую среду. - Ч. 2. Источники воздействия ХОЯТ ВВЭР на окружающую среду. Оценка воздействия ХОЯТ ВВЭР на окружающую среду. Док. 57-204.201.001.ОЭ.03.02. - Там же. - 132 с.
4. *Концепція діяльності в зоні відчуження і зоні безумовного (обов'язкового) відселення на території України*. Проект. - Киев, 1998. - 36 с.
5. *Atmospheric Dispersion in Nuclear Power Plant Siting. Safety series No. 50-SG-S3*. - Vienna: IAEA, 1980. - 94 p.
6. *Нормы радиационной безопасности Украины. Государственные гигиенические нормативы. ГГН 6.6.1.-6.5.001-98. НРБУ-97*. - Киев, 1998. - 135 с.
7. *Основні контрольні рівні, рівні звільнення та рівні дії щодо радіоактивного забруднення об'єктів зони відчуження*. ГН 6.6.1. 076-01. - Київ, 2001.
8. *Справка о состоянии радиационной безопасности в ЗОиЗБ(О)В в 2002 г.* - Чернобыль: ГД АЗО, 2003. - 50 с.
9. *Халатов С.* Промежуточное хранение облученных топливных элементов // *Атомная техника за рубежом*. - 2004. - № 2. - С.17 - 21.
10. *Радіаційний стан зони відчуження. 15 років після аварії* / В.В. Деревець, С.І. Кіреєв, С.М.Обрізан та ін. // *Бюлетень екологічного стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення*. - 2001. - № 17. - С. 5 - 19.

Поступила в редакцію 08.11.04,  
после доработки - 17.11.04.