

УДК ???

В. В. Токаревский

*Институт проблем Чернобыля Союза Чернобыль Украины,
г. Киев, Украина*

Стратегия извлечения топливосодержащих материалов из объекта «Укрытие»

Топливосодержащие материалы (ТСМ), которые находятся в объекте «Укрытие», представляют собой радиационно-опасные материалы, содержащие остатки поврежденного ядерного топлива. Перевод ТСМ в контролируемое состояние путем их извлечения из объекта «Укрытие» является неотъемлемой частью преобразования объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему. Проанализированы современное состояние проблем, связанных с планированием извлечения ТСМ, а также стратегия, разработанная международным консорциумом «Техноцентр» в рамках Плана основных мероприятий на объекте «Укрытие».

Ключевые слова: радиация, ядро, безопасность, «Укрытие», радионуклид, конфайнмент, радиоактивность, отходы, извлечение, стратегия, план.

В. В. Токаревський

Стратегія вилучення паливовмісних матеріалів з об'єкта «укриття»

Паливовмісні матеріали (ПВМ), які знаходяться в об'єкті «Укриття», є радіаційно небезпечними матеріалами, що вміщують залишки пошкодженого ядерного палива. Переведення ПВМ у контрольований стан шляхом їх вилучення з об'єкта «Укриття» є невід'ємною частиною перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему. Проаналізовано сучасний стан проблем, пов'язаних з плануванням вилучення ПВМ, а також стратегію, розроблену міжнародним консорціумом «Техноцентр» в рамках Плану забезпечення заходів на об'єкті «Укриття».

Ключові слова: радіація, ядро, безпека, «Укриття», радіонуклід, матеріал, конфайнмент, радіоактивність, відходи, вилучення, стратегія, план.

© В. В. Токаревский, 2012

Политическое решение о приоритетном извлечении топливосодержащих материалов (ТСМ) и их надежной изоляции в течение жизни одного поколения было принято правительством Украины в 1996 г. Как будет показано ниже, извлечение ТСМ и других радиоактивных отходов (РАО) должно быть завершающей частью преобразования объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему. Стратегия преобразования объекта «Укрытие», принятая решением Правительственной комиссии по вопросам комплексного решения проблем Чернобыльской АЭС [1], получила свое дальнейшее развитие в Плана осуществления основных мероприятий на объекте «Укрытие» (далее ПОМ, английская аббревиатура — SIP) [2]. Предварительная стратегия извлечения ТСМ и других РАО из объекта «Укрытие» была разработана в рамках Задачи 19 Пакета D проекта ПОМ [3] и в конце 2000 г. утверждена эксплуатирующей организацией [4].

Целью настоящей работы является дальнейшее развитие утвержденной предварительной стратегии извлечения ТСМ с учетом реально существующей обстановки и появления новых экспериментальных данных о поведении ТСМ. Актуальность работы объясняется тем, что в течение последних лет наметился отход от ранее принятых решений под предлогом экономии средств на строительство нового безопасного конфайнмента (НБК). Сам по себе НБК [5], впрочем, как и полное (частичное) омоноличивание [6, 7, 8] существующего объекта «Укрытие» (ОУ), не являются окончательным решением проблемы преобразования ОУ в экологически безопасную систему. С полной ответственностью нужно сказать, что без извлечения ТСМ проблемы ОУ перекладываются на плечи будущих поколений, что является нарушением международных конвенций по использованию ядерной энергии. В то же время, преобразование объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему является частью снятия Чернобыльской АЭС из эксплуатации. Нельзя снять с эксплуатации ЧАЭС, если все ядерное топливо, в том числе поврежденное, не будет помещено в специальные хранилища, и на площадке станции останутся радиационно-опасные объекты. Дело в том, что ТСМ относятся к типу долгоживущих РАО, которые подлежат захоронению только в стабильных геологических формациях [9]. Следовательно, объект «Укрытие» не является и не может стать местом захоронения ТСМ.

В настоящее время объект «Укрытие» квалифицируется [10] как место временного сохранения РАО. После ввода в эксплуатацию НБК функция временного сохранения останется, т. е. в пределах НБК как инженерного сооружения должна быть обеспечена изоляция радиоактивных веществ от их проникновения в окружающую среду в количествах, превышающих установленные для НБК величины допустимых газоаэрозольных выбросов и водных сбросов. Накопленные до настоящего времени данные о физико-химических свойствах ТСМ однозначно свидетельствуют, что это требование не может быть выполнено без принятия специальных мер безопасности. Основанием для такого заключения является эффект саморазрушения ТСМ, который сперва был обнаружен в лабораторных условиях [11], а затем подтвержден путем проведения измерений непосредственно внутри ОУ [12]. Из-за накопления внутренних радиационных повреждений в сочетании с внешними воздействиями в последние годы увеличивается пылегенерирующая способность ТСМ объекта «Укрытие» за счет образования высокодисперсной (субмикронной) пыли. В будущем однозначно произойдет тотальное разрушение лабообразных ТСМ и превращение всего их объема

в мелкодисперсную пыль. Существующий объем знаний не позволяет в настоящее время предсказать момент их катастрофического разрушения. Удержание высокодисперсной пыли внутри НБК будет являться сложной технической проблемой.

Есть еще одно обстоятельство, связанное с образованием субмикронных аэрозолей, на которое не обращают должного внимания. Известно [13], что субмикронный аэрозоль, образованный в условиях повышенной радиации, способствует образованию азотной кислоты в атмосферном воздухе. Этот факт имеет не только санитарно-гигиенические последствия для персонала, но и может оказать существенное влияние на долговечность металлических конструкций НБК вследствие ускорения коррозии под действием азотной кислоты.

Таким образом, безопасное сохранение ТСМ не может быть достигнуто только за счет строительства новой ограждающей конструкции любого типа вокруг существующего ОУ. Меры сохранения ТСМ в безопасном состоянии на весь период их нахождения в ОУ должны быть разработаны в кратчайшие сроки. Среди таких мер следует отметить:

перевод части доступных ТСМ в контролируемое состояние путем их контейнеризации и перемещения в буферные хранилища (расположенные внутри ОУ и/или внутри НБК и/или внутри технологических помещений блока № 3 ЧАЭС);

контроль и учет ядерных материалов в упаковках с ТСМ;

создание локальных конфайнментов или инженерных барьеров вокруг известных, но труднодоступных ТСМ;

создание барьеров на пути поступления воды или на пути распространения аэрозолей (например, частичное омоноличивание, закрытие проемов и т. п.);

постоянный мониторинг состояния локальных барьеров безопасности и свойств ТСМ;

проведение дополнительной характеристики скрытых и пока неизвестных скоплений ТСМ с использованием горячих технологий.

Продолжительность хранения (сохранения) ТСМ и других неорганизованных РАО внутри НБК должна определяться скоростью саморазрушения ТСМ, долговечностью многобарьерной системы изоляции и защиты во время эксплуатации НБК, величиной эксплуатационных расходов и дозозатратами персонала, обслуживающего НБК.

Исходя из вышесказанного, можно сделать следующие выводы:

ни ОУ, ни НБК, не могут быть местом захоронения ТСМ и других долгоживущих РАО, потому что законодательство Украины запрещает [9] захоронение долгоживущих отходов (в том числе ТСМ) в хранилищах любых типов, кроме как в хранилищах, расположенных в стабильных геологических формациях;

вопрос о начале и масштабах извлечения должен быть решен на основе анализа затраты—выгода путем сопоставления эксплуатационных расходов для технического обслуживания ОУ или НБК, требуемых для безопасного хранения ТСМ, с расходами на реализацию стратегии извлечения;

вопрос о рисках, связанных с длительным сохранением ТСМ, из-за недостоверности прогноза изменения свойств ТСМ во времени остается открытым.

Как трактуется проблема извлечения ТСМ в плане осуществления основных мероприятий на объекте «Укрытие»?

Проблема извлечения ТСМ была одной из основных причин разработки ПОМ. Во время встречи делегации Большой семерки с делегацией Правительства Украины в Вашингтоне в начале 1997 г. Украина настояла на том, чтобы ПОМ «сформулировал задачи, относящиеся к топливосодержащим материалам (ТСМ), остающимся в Блоке 4, особенно чтобы обосновать осуществимость, стоимость и связанную с рисками пользу различных вариантов извлечения ТСМ» [2, р. 18].

Обоснование необходимости извлечения ТСМ изложено в приложении 5 ПОМ [2]. Как известно, основные краткосрочные риски объекта «Укрытие» предполагается уменьшить путем выполнения минимально необходимого объема стабилизационных работ и строительства НБК. Именно эти цели должны быть достигнуты в рамках ПОМ. Важно отметить, что ни извлечение ТСМ, ни захоронение любых других радиоактивных отходов ОУ не входят в объем работ ПОМ. Однако существующие характеристики части известных и доступных ТСМ, находящихся в бывшем здании реактора, таковы, что рекомендуется перевести их в более безопасное состояние. Это может быть достигнуто максимально возможным выборочным извлечением таких ТСМ, их переработкой и временным хранением внутри объекта. Степень извлечения ТСМ будет определяться техническими и финансовыми ограничениями, которыми будет характеризоваться реализация извлечения.

Извлечение ТСМ является целевой функцией четырех задач ПОМ (Т19, Т20, Т21 и Т22):

Т19. Стратегия и изучение извлечения ТСМ и обращения с РАО.

Т20. Разработка технологии извлечения ТСМ.

Т21. Стратегия безопасного конфайнмента.

Т22. Создание безопасного конфайнмента для поддержки разборки и извлечения ТСМ.

Таким образом, извлечение ТСМ очень тесно связано с проблемой создания НБК; выполнение этих четырех задач как раз и координируется ПОМ [2, р. 77]. К сожалению, в 2001 г. произошел отход от таких позиций, разработка стратегии и технологий извлечения ТСМ была практически остановлена. Центр тяжести работ в ПОМ сместился исключительно в сторону создания НБК как ограждающей конструкции.

Остановимся коротко на содержании ключевых для извлечения ТСМ задачах ПОМ.

Разрабатываемая в Задаче Т19 стратегия должна включать рекомендации относительно оптимального времени и полноты извлечения ТСМ, а также обеспечить исходными данными проектирование НБК. Работы были начаты в конце 1998 г. в усеченном варианте так называемых ранних тендерных проектов в составе Пакета D и завершились принятием предварительного соглашения П7 о стратегии извлечения ТСМ [4].

Целью задачи Т20 является разработка технологий для извлечения, сортировки, обработки, упаковки, транспортировки и захоронения или хранения ТСМ и сопутствующих радиоактивных и опасных материалов. Анализ технологий планировалось закончить в 1997 г., в 1998 г. принять решение об испытании прототипа извлечения ТСМ, в 1999 г. разработать и утвердить проект испытания прототипа и в 2001 г. завершить и документально оформить его испытания. В действительности работы начались в 2000 г. в рамках Пакета D и завершились выработкой рекомендаций о необходимости проведения демонстрации прототипа извлечения. После одобрения соответствующих

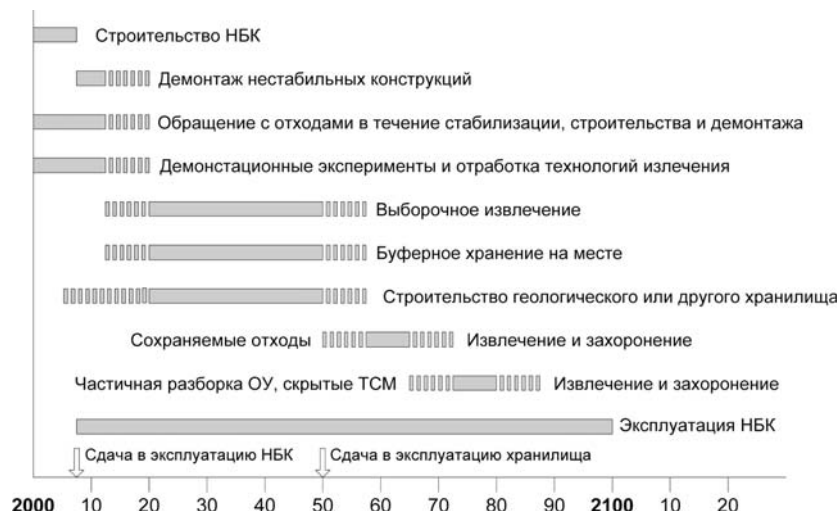


Рис. 1. Возможный предварительный график извлечения ТСМ и обращения с РАО

документов Администрацией ядерного регулирования Украины НАЭК «Энергоатом» утвердил решение П9 о проведении демонстрации прототипа извлечения ТСМ [14]. Однако это решение было заблокировано ЕБРР и не одобрено до сих пор.

Целью задачи T21 является разработка стратегии безопасного надежного конфайнмента за пределами краткосрочных мер. Среди функциональных требований к НБК, которые определяются ПОМ, отметим такие, которые относятся к извлечению ТСМ:

- обеспечить достаточное управление разборкой нестабильных верхних частей ОУ;

- обеспечить достаточное управление работами внутри ОУ, включая выборочное извлечение ТСМ;

- сделать возможным и облегчить разборку нестабильных частей;

- сделать возможным и облегчить выборочное извлечение ТСМ и отходов.

Целью задачи T22 является реализация стратегии для долгосрочного безопасного надежного конфайнмента. Это мероприятие позволит разобрать кровлю и нестабильные конструкции разрушенного блока 4 над реакторным залом. Безопасный конфайнмент необходим для того, чтобы работы по разборке были выполнены безопасным образом и не привели к неприемлемым радиологическим последствиям. Безопасный конфайнмент является последовательным шагом к извлечению ТСМ и другим мероприятиям по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему. Детальный проект НБК предполагалось закончить в 2000 г., его строительство — в 2004 г., завершить работы по демонтажу кровли и других нестабильных конструкций — в 2005 г. Исходя из этих требований был разработан возможный предварительный график извлечения ТСМ и обращения с РАО (рис. 1).

Рекомендуемая стратегия обращения с отходами и извлечения ТСМ [15] учитывает:

- обращение с отходами, возникающими при выполнении работ по стабилизации, строительству НБК и демонтажу нестабильных конструкций в зоне производства работ внутри ОУ, на промплощадке во время земляных работы и в зонах производства работ внутри НБК;

- извлечение, упаковку и сохранение в буферном хранилище доступных ТСМ из помещений, расположен-

- ных ниже отметки +9 м, центрального зала, реакторного и подреакторного пространства;

- извлечение сохраняемых отходов из буферного хранилища и их захоронение вне объекта;

- разборку и извлечение ТСМ из северной каскадной стены, пионерных стен и их захоронение вне объекта.

Относительно сроков извлечения ТСМ в ПОМ различают две возможности: раннее извлечение и отсроченное извлечение. Под ранним подразумевается выборочное извлечение ТСМ в течение ближайших 50 лет. Отсроченное извлечение ТСМ предполагает отложить извлечение ТСМ на несколько сотен лет. Раннее извлечение связано со сбором, хранением и захоронением высокоактивных отходов и обращением с большим количеством низко- и среднеактивных РАО. Считается, что при отсроченном извлечении количество РАО будет намного меньшим вследствие распада короткоживущих нуклидов. Однако эта точка зрения ошибочна, так как часть короткоживущих нуклидов превращается в долгоживущие. Количество долгоживущих радионуклидов в течение ближайших ста лет увеличится примерно в два раза вследствие накопления изотопа ^{241}Am с периодом полураспада 432,7 года [16]. С другой стороны, отсроченное извлечение требует наличия конфайнмента в течение сотен лет и соответствующих эксплуатационных расходов до тех пор, пока ТСМ не будут извлечены. По этой причине необходима оптимизация сроков и полноты извлечения ТСМ для минимизации финансовых и дозовых затрат.

Важность проблемы извлечения ТСМ для ПОМ подчеркивается также и тем, что два из трех ключевых программных решений ПОМ, определяющих успех проекта в целом, связаны с извлечением ТСМ:

Решение П8. Решение о стратегии извлечения ТСМ, которое определяет методы и время для оптимального извлечения ТСМ, основанные на технико-экономическом обосновании и анализе затраты—выгода.

Решение П10. Решение о стратегии создания конфайнмента, которое определяет конструкцию и функции конфайнмента, основанные на стратегии извлечения ТСМ.

Решение П8 не принято до сих пор, его рассмотрение постоянно откладывается. Что же касается решения П10, оно было утверждено НАЭК «Энергоатом» и одобрено ЕБРР [17].

Каким должен быть НБК, чтобы обеспечить извлечение ТСМ? В соответствии с Законом Украины [18] конфайнмент является защитным сооружением, которое:

включает в себя комплекс технологического оборудования для извлечения из разрушенного четвертого энергоблока Чернобыльской АЭС материалов, содержащих ядерное топливо;

включает обращение с РАО и другие системы;

предназначено для осуществления деятельности по преобразованию четвертого энергоблока в экологически безопасную систему;

предназначено для обеспечения безопасности персонала, населения и окружающей природной среды.

Таким образом, по требованиям Закона Украины [18] сооружение конфайнмента создает только предпосылки для безопасного извлечения ТСМ и не является решением всех проблем ОУ. На основании действующих нормативных документов, а также результатов работ по Пакетам А и D можно сформулировать следующие основные требования к проекту НБК.

Статус НБК. Новый безопасный конфайнмент должен иметь статус объекта, предназначенного для обращения с радиоактивными отходами в соответствии с [9] и [18].

Состав НБК. Внутри нового безопасного конфайнмента как объекта, предназначенного для обращения с РАО, находятся:

оборудование для сбора, перевозки и переработки РАО (ТСМ);

специально оборудованные помещения для предварительной обработки РАО (ТСМ), включая дезактивацию, сбор и сортировку;

специально оборудованные помещения для буферного хранения РАО (ТСМ), в которых обеспечиваются сохранение РАО (ТСМ), физическая защита, радиационный мониторинг и возможность последующего изъятия;

инженерные сети и системы контроля для обеспечения безопасности персонала, работоспособности оборудования и технологических процессов, а также безопасности окружающей объект среды;

персонал в разрешенных помещениях.

Стратегическая цель НБК. Новый безопасный конфайнмент должен обладать всеми необходимыми техническими средствами и возможностями для разборки нестабильных конструкций и в последующем обеспечить условия для полного извлечения ТСМ и других долгоживущих радиоактивных отходов из ОУ.

Требования обеспечения безопасности. НБК должен обеспечить защиту окружающей природной среды от выбросов радиоактивной пыли и аэрозолей, от сбросов жидких технологических сред и от миграции радионуклидов за пределы промышленной площадки ОУ. НБК должен предусмотреть создание барьеров безопасности для каждой зоны извлечения ТСМ. При планировании защитных экранов внутри НБК должно быть предусмотрено радиационное зонирование в соответствии с требованиями [19], а именно:

зоны горячих технологий для выполнения работ первого класса (реакторный зал и пространство над ним, помещения для фрагментации крупногабаритных загрязненных конструкций, каскадная стена и пространство над ней, пионерные стены и пространство над ними);

промежуточные зоны (помещения дезактивации и ремонта оборудования, транспортные коридоры и пути, помещения для фрагментации, компактирования и кондиционирования отходов);

зоны обслуживания (пультовые помещения, помещения для монтажа оборудования, технологические помещения инженерного обеспечения).

Проект НБК должен учитывать создание интегрированной системы мониторинга, объединяющей модернизированные системы контроля и мониторинга ОУ и новые системы НБК.

Конструктивные требования. Срок службы строительных конструкций НБК, оборудования, систем инженерного обеспечения и контроля должен быть достаточным для завершения работ по преобразованию ОУ в экологически безопасную систему. НБК необходимо оборудовать крановыми системами, перекрывающими в плане все зоны извлечения, как по площади, так и по высоте. Транспортные пути и грузоподъемные механизмы в совокупности должны обеспечить возможность доставки оборудования и перевозки РАО внутри зон и между зонами извлечения, включая технологические помещения для дезактивации, фрагментации крупногабаритных конструкций и буферного хранения РАО (ТСМ).

Эксплуатационные требования. С учетом проектного срока эксплуатации НБК (до 100 лет с возможностью продления) чрезвычайно актуальной является оценка ежегодных эксплуатационных расходов как на содержание самой строительной конструкции, так и на обеспечение безопасности находящихся в ней радиоактивных материалов. Необходимо обосновать структуру и штатную численность эксплуатационного персонала, а также динамику изменения эксплуатационных расходов на всех этапах жизненного цикла НБК.

Использование инфраструктуры НБК. Инфраструктура, включая оборудование, механизмы, транспортные пути, помещения, системы контроля, безопасности и инженерного обеспечения, созданные для выполнения работ по стабилизации, строительству НБК и демонтажу нестабильных конструкций, после завершения этих работ должна без капитальных дополнительных затрат использоваться для перевода доступных ТСМ в контролируемое состояние, а также последующего извлечения ТСМ, в том числе путем частичной разборки конструкций ОУ.

Выводы

Обсуждаемая стратегия извлечения ТСМ и обращения с РАО имеет, к сожалению, ряд открытых вопросов.

1. Отсутствует достоверный прогноз изменения физико-химических свойств ТСМ, в частности скорости саморазрушения, для оценки количественных характеристик пылеобразования в течение ближайших десятилетий.

2. Отсутствует долгосрочный прогноз динамики изменения взаимодействия ТСМ с бетоном и другими омоноличивающими веществами, что затрудняет использование технологией цементирования скоплений ТСМ.

3. Отсутствуют экспериментальные данные о количестве и свойствах ТСМ, скрытых под слоем бетона или других материалов, а также в необследованных помещениях ОУ, что не позволяет обоснованно утверждать о глубокой подкритичности всех ТСМ.

4. Отсутствует официально принятая оценка радиологического риска для населения Украины вследствие миграции радионуклидов с промышленной площадки ОУ в грунтовые, подземные воды и р. Припять.

Без однозначного решения перечисленных важнейших проблем нельзя получить ответ на основной вопрос: сколько еще у нас в запасе времени до начала работ по извлечению ТСМ?

Автор с признательностью отмечает, что материалы, обобщенные в статье, получены в международном консорциуме «Техноцентр», состоящем из ГСП «Техноцентр» (г. Чернобыль, Украина, лидер консорциума), General Atomics (г. Сан-Диего, США), Colenco (г. Баден, Швейцария), Preussag Noell (г. Вюрцбург, Германия) и UIT (г. Дрезден, Германия). В разработке вариантов стратегии извлечения ТСМ принимали также участие BNFL Instruments (г. Калдербридж, Англия), КАВ (г. Берлин, Германия), Kraftanlagen Nucleartechnik (г. Гайдельберг, Германия), Физико-энергетический институт им. А. И. Лейпунского (г. Обнинск, Россия), Радиевый институт им. В. Г. Хлопина (г. Санкт-Петербург, Россия), Государственное конструкторское бюро «Южное» им. М. Янгеля (г. Днепропетровск, Украина), Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова (г. Москва, Россия), Институт электросварки им. Е. О. Патона (г. Киев, Украина). Каждый из коллектива привлеченных 88 высококвалифицированных специалистов и экспертов (из Украины — 37, России — 21, от западных фирм — 30) заслуживает особой благодарности.

Список использованной литературы

1. Стратегія перетворення об'єкту «Укриття»: Рішення Урядової комісії з питань комплексного вирішення проблем Чорнобильської АЕС від 18 квітня 1997 року.
2. Chernobyl Unit 4 Shelter Implementation Plan, Published 31 May 1997 by TACIS services DG-1A, European Commission and US Department of Energy.
3. Токаревский В. В. Пакет D: топливосодержащие материалы / В. В. Токаревский // Проблемы Чернобыля. — 1999. — Вып. 5. — С. 46—58.
4. Решение П7 НАЭК «Энергоатом»: Стратегия извлечения ТСМ и обращения с РАО, SIP-PMU P7, 20.12.2000.
5. Інформаційно-аналітичний огляд матеріалів Концептуального проекту (техніко-економічного обґрунтування) нового безпечного конфайнменту // Ядерні та радіаційні технології. — 2004. — Т. 4, № 1. — С. 5—81.
6. Токаревский В. В. О новом конфайнменте для объекта «Укрытие» / В. В. Токаревский // Ядерні та радіаційні технології. — 2004. — Т. 4, № 1. — С. 82—94.

7. Melnikov A. The Monolith Project: An Alternative to the Chernobyl Shelter Implementation Plan. Radwaste Solutions / A. Melnikov, E. E. Purvis III, V. Tokarevsky. — 2004. — V. 11. — #4, July/August. — Pp. 34—38.

8. Abdulakhatov M. New Confinement for the Shelter Object: Arch or Monolith? / M. Abdulakhatov, I. Moiseev, V. Tokarevsky // Proceedings of the International Conference GLOBAL 2005 Nuclear Energy Systems for Future Generation and Sustainable Development, Tsukuba, Japan, Oct 9—13, 2005, Paper No 182.

9. Закон України «Про поводження з радіоактивними відходами» // Відомості Верховної Ради України (ВВР). — 1995. — № 27, ст.198.

10. Норми радіаційної безпеки України. Доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення (НРБУ-97/Д-2000). — К., 2000.

11. Radiation damages and self-sputtering of high-radioactive dielectrics: spontaneous emission of submicronic dust particles / V. Baryakhtar, V. Gonchar, A. Zhidkov, V. Zhydkov // Condensed Matter Physics. — 2002. — Vol. 5, No. 3(31). — P. 449—471.

12. Bondarenko O. A. Analysis of Aerosol Distribution Inside the Object “Shelter” at the Chernobyl Nuclear Reactor Site / O. A. Bondarenko, P. B. Artyasov, D. V. Melnichuk, S. Y. Medvedev // Health Physics. — 2001. — Vol. 81, No. 2. — P. 114—123.

13. Смирнов И. Н. Мониторинг фоновое загрязнение природной среды: Сб. / И. Н. Смирнов. — Л.: Гидрометеиздат, 1982. — С. 137—147.

14. Решение П9 НАЭК «Энергоатом»: Решение по прототипу извлечения ТСМ, SIP-PMU P9, 08.06.2001.

15. Strategy Study on the Removal of Fuel Containing Material from the Chernobyl Shelter and on the Related Waste Management / P. Leister, Colenco (Switzerland), W. R. Davison, J. F. Follin, J. McNair, General Atomics (USA), W. Lins, Kraftanlagen (Germany), Yu. A. Shybetzky, V. V. Tokarevsky, Technocentre (Ukraine) // WM'02 Conference, Tucson, Arizona, USA, 2002.

16. Time-dependent ²⁴¹Am activity in the environment from decay of ²⁴¹Pu released in the Chernobyl accident / A. V. Muravitsky, V. F. Razbudey, V. V. Tokarevsky, P. N. Vorona // Applied Radiation and Isotopes. — 2005. — Vol. 63. — P. 487—492.

17. Решение П10 НАЭК «Энергоатом»: Стратегия безопасного конфайнмента, SIP-PMU P10, 23.03.2001.

18. Закон України «Про загальні засади подальшої експлуатації і зняття з експлуатації Чорнобильської АЕС та перетворення зруйнованого четвертого енергоблока цієї АЕС на екологічно безпечну систему» / Відомості Верховної Ради (ВВР). — 1999. — № 4, ст. 33.

19. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України: Державні санітарні правила. — К., 2005.

Поступила в редакцию ?????????????????????????????????????