



НАН УКРАЇНИ МНТУ
"УКРИТТЯ"

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
МІЖГАЛУЗЕВИЙ
НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЦЕНТР
"УКРИТТЯ"

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE
INTERDISCIPLINARY
SCIENTIFIC AND TECHNICAL CENTRE
"SHELTER"



MNTTs

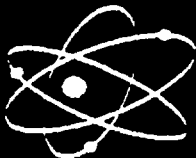
UA9800469

Препринт 97-7

А.А.Боровой, А.С.Лагуненко, Э.М.Пазухин

ПОДАППАРАТНОЕ ПОМЕЩЕНИЕ 305/2
4-ГО БЛОКА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС:
ЕГО СОСТОЯНИЕ, ОЦЕНКА КОЛИЧЕСТВА ТОПЛИВА

29 - 21



ЧОРНОБИЛЬ 1997

Подаппаратное помещение 305/2 4-го блока Чернобыльской АЭС: его состояние, оценка количества топлива / Боровой А.А., Лагуненко А.С., Пааухин Э.М.- Чернобыль, 1997.- 12 с.- (Препр./ НАН Украины. Межотрасл. науч.-техн. центр "Укрытие"; 97-7).

Обсужден вопрос о количестве отработанного ядерного топлива в подреакторном помещении 305/2 4-го блока ЧАЭС. Приведены результаты прямых визуальных наблюдений, теле- и фотосъемок в этом помещении и их связь с данными химического анализа кернов и измерений МЭД при бурении. На основе этих результатов разработана подробная модель взаимного расположения основных элементов в объеме пространства бывшей активной зоны реактора. Дана оценка минимального количества топлива в помещении 305/2.

Ил. 2. Табл. 1. Список лит.: с. 11 (10 назв.).

Under-reactor Room 305/2 of the Unit 4 of Chernobyl NPP: Its state, Fuel Quantity Evaluation / Borovoy A.A., Lagunencko A.S., Pazukhin E.M.- Chernobyl, 1997.- 12 p.- (Prepr./ NAS of Ukraine. Interdisciplinary Scientific and Tecnical Center "Shelfer"; 97-7).

The question of the quantity of the used up nuclear fuel in the under-reactor room is discussed. There are given the results of direct visual observation, TV-records and phtographing in this room and their connection with the date of chemical analysis of core samples and dose rate measurement. On the basis of these results the detailed model of relative positioning of the main elements in the volume spase of the former active zone of the reactor is developed. The minimum quantity evaluation of nuclear fuel in the room 305/2 is given.

2 figs., 1 table, 10 refs.

Утверждено к печати научно-техническим советом
Межотраслевого научно-технического центра МНТЦ "Укрытие" НАН Украины

1. Введение

Проблема количества топлива в разрушенном 26 апреля 1986 г. 4-м блоке ЧАЭС является одной из основных при определении состояния его ядерной, радиационной и экологической безопасности [1]. Этот вопрос не нов, дискутируется давно и до сих пор вызывает интерес по следующей причине.

В процессе многочисленных обсуждений и дискуссий 1986 - 1996 гг. выяснилось, что существуют, по крайней мере, три оценки количества топлива, удовлетворительно совпадающие между собой, и одна, резко отличающаяся от них в меньшую сторону.

В последнее время появляются все новые факты, которые убедительно подтверждают первые совпадающие оценки. Обсуждение этих фактов и есть цель предлагаемой работы.

2. История вопроса

После сооружения осенью 1986 г. "Саркофага" значительная часть топливосодержащих масс (ТСМ) оказалась залитой свежим бетоном. В этих условиях первые измерения количества топлива, оставшегося после аварии в нижних помещениях реакторного отделения (в основном, топливо находилось в составе своеобразной "лавы", протекшей в эти помещения), были сделаны с использованием интегрального теплотрического метода. Этот метод основывался на том, что полный поток тепла, выходящий из помещения, однозначно связан с мощностью тепловых источников внутри него и, следовательно, с величиной массы топлива, находящейся там.

В 1989 г. были проведены первые измерения и полуколичественные расчеты [2], согласно которым "...в помещении 305/2 находится не ме-

нее 90 т ядерного топлива, а в парораспределительном коридоре (ПРК) - не менее 21 т". В конце 1989 г. появились более точные оценки количества топлива в ПРК, а в начале 1990 г. - в помещении 305/2 [2 - 5]. Согласно им масса топлива в помещении 305/2 составляла с учетом погрешностей измерения 75 ± 25 т. Следующая оценка количества топлива была сделана по балансу Cs-137 в лаве.

Дело в том, что во время активной стадии аварии из нее интенсивно вылетали летучие компоненты, в том числе и цезий. Это дало возможность оценить интегральную массу топлива в составе лав подреакторных помещений по соотношению цезия, выброшенного из блока, и цезия, оставшегося в их составе.

Согласно последним данным, полный выброс Cs-137 составил по активности около 2 МКи (28 % от накопленного за время кампании реактора количества в 7 МКи) [6, 7 и др.].

Многочисленные данные анализов свидетельствуют о том, что в лаве осталось не более 40 % цезия, т.е. вылетело около 60 % от его первоначального количества. Это количество и составило активность в 2 МКи. Отсюда начальная активность Cs-137 в топливе, которое вошло в состав лав подреакторных помещений, была равной $(2 : 0,6) = 3,3$ МКи, а количество топлива в лаве составило $(3,3 : 7) = 47$ % от первоначальной загрузки, т.е. около 90 т.

Приводимая оценка достаточно грубая, но может только занижать количество топлива в подреакторных помещениях, поскольку часть вылетевшего цезия осталась в верхних помещениях блока, сконденсировавшись на относительно холодных конструкциях. Если это так, то из подреакторных помещений вылетело больше 3,3 МКи и топлива в лавах - больше 90 т.

Следующая оценка количества топлива в лавообразных ТСМ [8] была сделана по анализу содержания в них магния, средняя концентрация которого в лаве составляет 3 %.

Поскольку ни бетон, ни конструкционная сталь, вошедшие в расплав подреакторной магмы, магния практически не содержат, его присутствие можно связать лишь с серпентинитовой засыпкой плиты основания реактора (схема "ОР").

В процессе образования лавы был расплавлен сектор ОР, составляющий $100 - 110$ °. Отсюда следует, что полное количество серпентинита в лаве должно составлять около 140 т [8]. Серпентинит содержит 25,5 % магния. Следовательно, в процессе "разбавления" лавы другими

материалами во время плавления ее масса увеличилась в $(25,5 : 3) = 8,5$ раза и достигла приблизительно 1200 т.

Таким образом, при среднем содержании урана в пробах около 7 % [8] нижняя оценка его массы в лавах подреакторных помещений составляет около $(1200 \cdot 0,07) = 80$ т. Нижняя - поскольку не учтен серпентинит в азоре теплокомпенсаторов и возможное присутствие в лавообразных ТСМ фрагментов активной зоны.

Приведенные оценки хорошо совпадают между собой: теплотметрический метод - 75 ± 25 т, оценка по балансу цезия - 90 ± 27 т, по балансу магния - 80 ± 24 т.

В конце 1992 г. появилась работа [9], в которой количество топлива в лавах подреакторных помещений оценивалось так называемым визуальным методом. Эта оценка оказалась значительно меньше, чем приводимые выше величины. А именно: по мнению авторов, в подреакторных помещениях содержится не более 25 ± 5 т урана (1), в том числе в "п.305/2, "ОР", отм.15,5 - $(0,042 - 0,055)$ т, п.305/2, Ю-3, отм.10,0 - $(3,81 - 4,98)$ т" [9, с.92].

Эти данные были подвергнуты критике в работе [10], где справедливо указывалось на то, что визуальный метод определения геометрических границ существования лавообразных ТСМ в условиях их полной изоляции под бетоном ведет к произволу в оценках, а закон сообщающихся сосудов, на который ссылаются авторы работы [9], для вязких, быстро застывающих чернобыльских лав просто не успевал выполняться (по аналогии со стеарином горящей свечи).

Полученные нами новые данные подтверждают ошибочность выводов работы [9].

2. Визуально-аналитический метод

Для оценки количества топлива в подаппаратном помещении мы воспользовались комплексным методом, который условно можно назвать визуально-аналитическим. Он основан не только на сообщении прямых визуальных наблюдений многих исследователей, но и наложении этих наблюдений на объективные данные. Такие, как результаты элементного и радиохимического анализа приблизительно сотни проб материалов, взятых в подаппаратном помещении (более 30 проб взяты в 1995-1996 гг.), измерения мощности дозы гамма-излучения, а также на результаты всех (вплоть до 1997 г.) фото- и видеосъемок (только в 1996 г. такие, подробные съемки, проводились три раза).

Применение визуально-аналитического метода для изучения помещения 305/2 позволило получить альбом профилей его поперечных сечений через каждые 2 м (всего 13 сечений). На основе этих сечений была получена подробная компьютерная модель взаимного расположения основных элементов в изучаемом помещении (рис.1).

Кроме того, при детальном осмотре помещения 305/2 были установлены некоторые новые факты, на которые мы также хотели бы обратить внимание читателей, поскольку они важны для понимания черновыльской аварии в целом.

3. Некоторые новые факты, важные для понимания процессов, протекавших в помещении 305/2 при аварии 26 апреля 1986 г.

При детальном осмотре помещения 305/2 особенно обращают на себя внимание 3 факта:

- 1) оставшийся во многих местах неизменным салатно-зеленый цвет органосиликатной антикоррозийной защиты металлоконструкций;
- 2) размеры вертикально стоящей в шахте реактора железобетонной плиты и глубокие царапины на ней;
- 3) общий вид и расположение свешивающейся с верхнего края железобетонной плиты так называемой "сосульки" - нового вида лавообразных ТСМ.

Рассмотрим эти факты более подробно.

1. О том, что цвет стальной обшивки помещения 305/2 в северо-восточном квадранте сохранился в первоначальном виде, было известно ранее [1]. Этот факт дал возможность сделать предположение о том, что во время протекания аварии температура в объеме всех квадрантов, кроме расплавленного юго-восточного, не превышала 400-500 °С.

Такое предположение обосновывалось тем, что во время варыва юго-восточный сектор плиты схемы "ОР" был отбит ударной волной от основной массы, опустился ниже общей плоскости плиты основания и послужил своеобразной воронкой, через которую как по направляющей расплавленная лава стекала и сползала на пол помещения 305/2 [8].

Новые наблюдения подтверждают этот факт. Действительно, выяснилось, что салатно-зеленый цвет имеет и западная стена помещения 305/2, и - что особенно наглядно и важно - смятый металлический крест, на который опиралась схема "ОР", находящийся сейчас под завалами, и согнутые трубы нижних водяных коммуникаций.

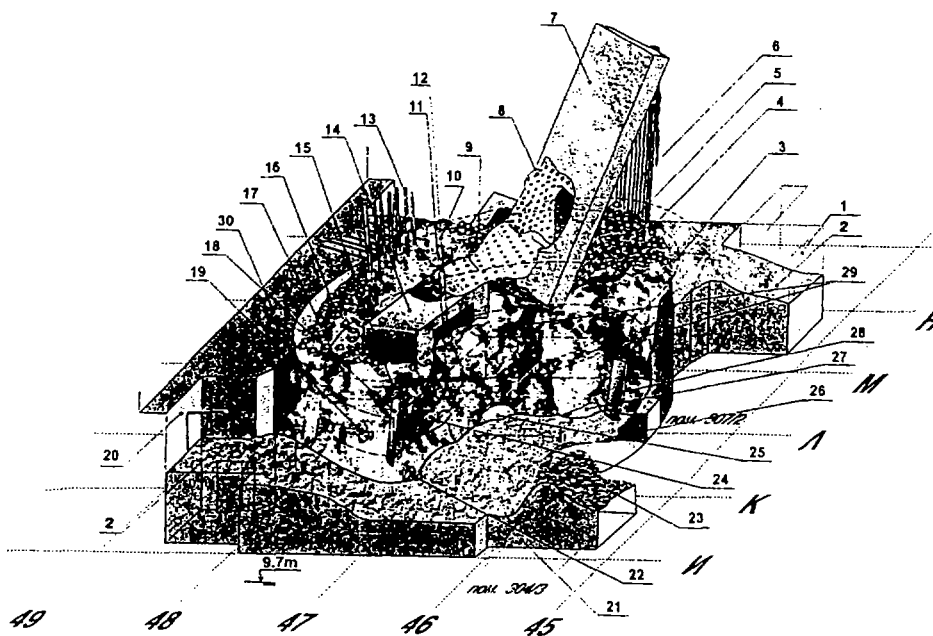


Рис. 1. Реконструкция общего вида подреакторного помещения 305/2:

1 - проем северных откатных ворот; 2 - поверхность залитого бетона; 3 - засыпка из межкомпенсаторного зазора; 4 - "сталагмит"; 5 - область, заполненная фрагментами активной зоны (отметка 15 м); 6 - каналы охлаждения; 7 - наклонно стоящая железобетонная плита; 8 - облицовка барабана-сепаратора; 9 - фрагмент завала (железобетонная конструкция -?), (отметка 17 м); 10 - "траншея"; 11 - схема "ОР"; 12 - провал (отметка 13 м); 13 - каналы охлаждения; 14 - железобетонная конструкция; 15 - фрагмент элемента завала (железобетонная конструкция -?), (отметка 17 м); 16 - сборки с сохранившимися твэлами; 17 - край схемы "ОР"; 18 - вжная дополнительная опора; 19 - фрагменты ТВС; 20 - западная стена помещения 305/2; 21 - пролом в стене; 22 - графитовые блоки и обломки труб (фрагменты ТВС -?); 23 - гравийная куча; 24, 25, 27 - бревна в стене из переплавленного вещества; 26 - прожог (пролом) в стене; 28 - колонна; 29 - стена из рыхлого переплавленного вещества; 30 - проекция бака "Б" на отметку 15,95 м.

Этот факт говорит и о том, что в процессе аварии крест не подвергался тепловым нагрузкам выше 500 °С, а следовательно, не мог деформироваться в результате высокотемпературных воздействий. Смятие креста, опускание и раскалывание схемы "ОР" произошло вследствие запредельной механической нагрузки, возникшей при практически одновременном разрыве почти всех тепловых каналов в их верхней части, когда накопленная энергия растяжения циркониевых труб мгновенно преобразовалась в кинетическую энергию обратного деформирования материала каналов (сила "отдачи") [8].

2. Визуальный осмотр вертикально стоящей железобетонной плиты в помещении 305/2 показал, что это - не стандартная строительная конструкция, а скорее всего часть стены северного барабан-сепаратора размером приблизительно 5 × 2 × 9 м. При изучении фотопанорамы центрального зала можно даже наметить место, где ранее находился обвалившийся участок. Но если это так, то подтверждается высказанное нами ранее предположение о том, что варыв в центральном зале во время аварии 26 апреля 1986 г. носил объемный характер (воздушно-водородная смесь), а обломок стены северного барабан-сепаратора попал в шахту реактора в тот момент, когда верхняя плита биологической защиты реактора (схема "Е") была еще в воздухе.

Глубокие следы царапин на железобетонной плите могут свидетельствовать о постепенном сползании этой плиты в шахту реактора - вероятнее всего, по мере расплавления материалов разрушенного реактора и освобождения объема бывшей активной зоны при стекании расплава в помещение 305/2.

При таком предположении возникает новая версия относительно первоначального положения схемы "Е". Действительно, если обломок стены северного барабан-сепаратора "сползал" в объем активной зоны реактора постепенно, то, следовательно, этот объем был изначально заполнен остатками реактора, а схема "Е" не могла занять вертикальное положение сразу. И лишь по мере образования чернобыльских лав в результате плавления шихты, проплавления юго-восточного квадранта плиты схемы "ОР" и освобождения объема активной зоны за счет стекания расплава лавообразных ТСМ в подаппаратные помещения схема "Е" провернулась и заняла ее нынешнее положение.

О факте начального горизонтального расположения схемы "Е" и ее развороте сообщил в 1986 г. академик В.А.Легасов, который, как он утверждал, наблюдал этот факт при облете горящего реактора на вертолете.

3. Как показали проведенные анализы, "сосулька" - это новый вид черномыльских лав, которые образовались в центральном зале. Рассмотрение результатов этих анализов позволяет сделать осторожное предположение о том, что в центральном зале находится не менее 25 т топлива. Однако это предположение нуждается в более тщательной проверке, что и делается в настоящее время.

4. Оценка количества топлива в помещении 305/2

4.1. Оценка количества топлива в завале на ОР.

Как уже указывалось, на основании полученных данных был создан альбом сечений помещения 305/2 и верифицированы практически все данные анализов керновых материалов и отобранных проб за 1986 - 1997 гг. После этого была сделана оценка количества топлива в завалах помещения 305/2, которая проводилась следующим образом.

Весь объем помещения был разбит на отдельные колонны-"квартиры" с площадью основания 2×2 м и высотой, определяемой соответствующими поперечными сечениями, взятыми из альбома. Таких квартир оказалось 144 (рис.2).

При сложном профиле "потолка" квартиры делались соответствующие упрощения. В каждой квартире вычислялся объем, приходящийся только на топливосодержащие массы, плотность и содержание урана в которых учитывались по обобщенным результатам ранее проведенных исследований.

В качестве примера в таблице приводятся результаты определения количества топлива в квартирах N 1 - 12.

Из полученных нами результатов следует, что общее количество топлива, содержащегося в завалах на "ОР" в помещении 305/2, не менее 52,4 т.

В качестве комментария необходимо отметить следующее.

При расчетах в том случае, когда для данной квартиры не было данных по содержанию топлива, принималось, что его в данном объеме вообще нет. Такими "условно-пустыми" мы посчитали квартиры N 14, 24, 32, 35, 36, 41, 44, 47, 48, 51 - 54, 56, 59, 60, 63 - 66, 71, 72, 75 - 78, 83, 84 (см.рис.2).

Подобное предположение кажется излишне жестким. Например, в районе квартир N 66 - 64 под "ОР" на отметке 9,7-11 м наблюдаются высокие значения мощности дозы, а наличие провала в схеме "ОР" в квар-

тире N 66 свидетельствует о возможном проплавлении, т.е. возможном наличии лавы. Существуют косвенные указания на наличие топлива и в квартирах N 32, 44, 56, 93, 94, 105, 106.

Отсутствие данных для квартир N 14, 24, 41, 54, 78 объясняется тем, что при бурении исследовательских скважин через эти квартиры из-за высоких значений мощности дозы от извлекаемых кернов (сотни Р/ч) бурение приходилось прекращать и данные анализов проб отсутствуют. Поэтому отсутствие данных для этих квартир парадоксально объясняется именно присутствием слишком большого количества топлива!

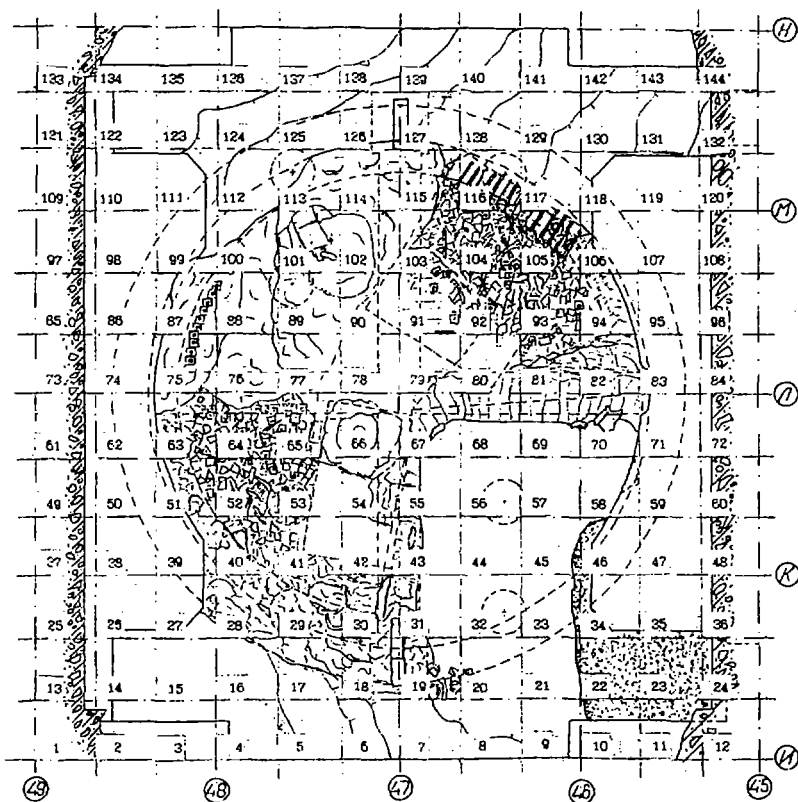


Рис. 2. Разбиение объема помещения 305/2 на отдельные квартиры.

**Масса топлива в рядах И - И-2000
(скважины: 3-9-В, 3-10-И, 3-11-А, Ю-9-В)**

№ квартиры	Объем квартиры, м ³	Объем ТСМ, м ³	Плотность, г/см ³	Концентрация UO ₂ , %	Масса, т	Примечание
1			-	-	0	
2	3,7	3,36	2,7	7	0,64	коричневая керамика
3	5,3	4,8	2,7	7	0,9	коричневая керамика
4	12,8	10,56	2,7	7	2,0	коричневая керамика
5	14,0	12,8	2,7	7	2,4	коричневая керамика
6	12,0	10,8	2,7	7	2,0	коричневая керамика
7,8,9,10,11	46,0	40,0	2,3	5	4,6	черная керамика (помещение 304/3)
12	-	-	-	-	0	
Сумма					12,54	

4.2. Оценка количества топлива в паросбросных клапанах.

При оценке количества топлива в паросбросных клапанах (ПСК) учитывалось, что оно имеется в трех местах: 4-й южный ПСК юго-западного квадранта (см. квартиру № 29), 3-й и 4-й южные ПСК юго-восточного квадранта (см. квартиры № 32 и 56).

В первом случае лава представляет собой коричневую керамику, среднее содержание урана - 10 %, средняя плотность - 2,7 г/см³, объем ПСК - 3,8 м³, количество топлива - около 1000 кг.

Во втором случае - это черная керамика, среднее содержание урана - 4 %, средняя плотность - 2,3 г/см³, суммарный объем клапанов - 7,6 м³, количество топлива - примерно 700 кг.

Т.о., общее содержание топлива в трех клапанах составляет примерно 1,7 т.

4.3. Оценка количества топлива в топливных сборках (ТВС).

При визуальных исследованиях помещения 305/2 было установлено, что в нем находится не менее 50 сборок. Не менее - т.к. вполне вероятно, что под завалами имеется еще некоторое, возможно, значительное количество ТВС.

Известно, что каждая ТВС содержит 114,66 кг топлива. Поэтому общее его количество в ТВС помещения 305/2 составляет не менее 5,7 т.

4.4. Оценка количества топлива в "сосульке".

"Сосулька" имеет форму бутылки с очень длинным и узким горлом. В свете прожектора ее цвет - сургучно-коричневый с крупными ярко-голубыми прожилками (лазурит?). Поверхность - блестящая, глянцевая, не подвергаясь разрушениям или ошелушиванию. Как показал проведенный анализ, ее плотность равняется $2,7 \text{ г/см}^3$, средняя концентрация урана - 6,5 %. По нашим оценкам в "сосульке" содержится приблизительно 125 кг топлива.

4.5. Общее количество топлива в помещении 305/2.

Исходя из всего вышеизложенного, предельно осторожная оценка количества топлива в помещении 305/2 составляет: 52,4 т (завал) + 1,7 т (ПСК) + 5,7 т (ТВС) + 0,13 т ("сосулька") = 60 т.

Этот результат еще раз подтверждает правильность сделанных нами ранее оценок и позволяет окончательно закрыть дискуссию о якобы малом количестве топлива в подреакторных помещениях 4-го блока ЧАЭС 20 - 30 т.

6. Выводы

1. Обобщены прямые визуальные наблюдения в подреакторном помещении 305/2 и проведена связь этих наблюдений с объективными данными - результатами элементного и радиохимического анализов проб, измерениями мощности дозы, а также с результатами теле- и фотосъемок.

2. Получен альбом профильных поперечных сечений помещения 305/2 через достаточно малые расстояния (2 м).

3. На основании профильных сечений разработана подробная модель взаимного расположения основных элементов в помещении 305/2.

4. Дана оценка общего количества топлива в помещении 305/2 с предельно консервативной позиции: 60 тонн. Полученный результат подтверждает правильность сделанных нами ранее расчетов и позволяет окончательно поставить точку в дискуссии о якобы малом количестве топлива в подреакторных помещениях 4-го блока ЧАЭС (20-30 т).

Список литературы

1. Боровой А.А. Разработка отчета по безопасности объекта "Укрытие": Анализ текущей безопасности объекта "Укрытие" и прогнозные оценки развития ситуации // Отчет МНЦ "Укрытие".- Арх.№ 3601.- Чернобыль, 1996.
2. Гринченко Г.П., Огородник С.С., Попов В.Д. и др.// Вopr. атом. науки. Сер.ядерно-физ. исслед.- 1990 - Вып. 11(19).- С. 32-35.
3. Результаты радиационных и тепловых измерений, выполненных на объекте "Укрытие" в 1989 г.: (Промежуточный отчет) / КЭ при ИАЭ им.И.В.Курчатова.- Инв.№ 11.07-06/189.- Чернобыль, 1989.
4. Боровой А.А., Огородник С.С., Попов В.Д. и др. Уточнение оценки количества ядерного топлива, находящегося в помещении ПРК объекта "Укрытие" реактора 4-го блока ЧАЭС: (Промежуточный отчет) / КЭ при ИАЭ им.И.В.Курчатова.- Инв.№ 11.07-06/188.- Чернобыль, 1989.
5. Боровой А.А., Огородник С.С., Попов В.Д. и др. Оценка количества топлива в скоплениях ТСМ в подаппаратном помещении: (Промежуточный отчет) / КЭ при ИАЭ им.И.В.Курчатова.- Инв.№ 11.07/26.- Чернобыль, 1990.
6. Borovoi A.A., Sich A.R., Dunbar G.A. Problems associated with the Chernobyl Unit-4 "Sarcophagus"// The 1994 International Symposium on Dcontamination and Decommissioning.- Knoxville, Tennessee, USA, 1994.
7. Borovoi A.A. Analytical Report (Post-Accident Management of Destroyed Fuel from Chernobyl) // IAEA, Work Material.- 1990.- P.1-99.
8. Пазукин Э.М. Лавообразные топливосодержащие массы 4-го блока Чернобыльской АЭС: топография, физико-химические свойства, сценарий образования // Радиохимия.- 1994. - Т.36, вып.2.- С.97-142.
9. Киселев А.Н., Ненагляднов А.Ю., Сурин А.И. и др. Экспериментальные исследования лавообразных топливосодержащих масс (ТСМ) на 4-м блоке ЧАЭС.- М.- 1992.- 120 с. (Препр./ ИАЭ им.И.В.Курчатова; № 5533/3).
10. Андерсон Е.Б., Богатов С.А., Боровой А.А. и др. Лавообразные топливосодержащие массы объекта "Укрытие".- Киев, 1993.- 40 с. (Препр./ АН Украины. Ин-т кибернетики им.В.М.Глушкова; № 93-17).

Рукопись поступила 18 августа 1997 г.

Наукове видання

БОРОВОЙ Олександр Олександрович
ЛАГУНЕНКО Олександр Степанович
ПАЗУХІН Едвард Михайлович

ПІДАПАРАТНЕ ПРИМІЩЕННЯ 305/2
4-ГО БЛОКА ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС:
ЙОГО СТАН, ОЦІНКА КІЛЬКОСТІ ПАЛИВА

Російською мовою

Редактор Л.М. Троян

Підп. до друку 27.10.97. Формат 60 × 90/16. Ум.-друк. арк. 0,7.
Обл.-вид. арк. 0,5. Тираж 130 прим. Зам. 1393
Ціна 14 к.

МНТЦ "Укриття" НАН України
255620, м. Чорнобиль, вул. Кірова, 36-а
