

Журнал 'Энергия' № 4. 1996

Всякая тяжелая технологическая авария полна темных мест. У чернобыльской таких загадок особенно много, так как их охраняет ядерный Цербер — радиация. Одна из них — где же реакторное топливо? Сколько его «пущено по ветру», то есть выброшено в окружающую среду, а сколько и в каком виде похоронено в «Саркофаге»? Участник ликвидации аварии с сентября 1986 г. Анатолий Николаевич КИСЕЛЕВ пытается разобраться в этом. В разных должностях он работал в Комплексной экспедиции при ИАЭ им. И. В. Курчатова на 4-м блоке ЧАЭС. В Межотраслевом научно-техническом центре «Укрытие» был главным инженером отделения радиационных технологий и материаловедения.

ЧЕРНОБЫЛЬ:

МЕЖДУ ФАКТАМИ И ДОМЫСЛАМИ

Ночь, хорошая погода. Трое рыболовов, несмотря на запрет, ловят рыбу в пруде-охладителе Чернобыльской АЭС, в нескольких десятках метров от ее забора и в 1200 м от 4-го блока. За этим занятием в час ночи 26 апреля 1986 г. их застаёт милицейский патруль. Один из милиционеров садится в лодку и плывет разыскивать сети, другой остается на берегу.

Вдруг яркая вспышка осветила вентиляционную трубу между 3-им и 4-м блоками. Звука взрыва они не услышали, но над 4-м блоком увидели темно-фиолетовое пламя, по форме похожее на пламя свечи. Высота факела доходила до верха вентиляционной трубы (70 м от крыши здания). Пламя было ровным, широким и появилось не вдруг, а как-то постепенно. Затем быстро исчезло, но не оборвалось, а как бы ушло внутрь. В этот момент рыболовы услышали хлопок. Секунд через 15—20 появился второй факел. Цвет пламени тот же, что и в первый раз, но немного светлее. Пламя также медленно разрасталось и затем опять ушло внутрь блока. Раздался звук, похожий на выстрел пушки, гулкий и резкий. Затем над блоком поднялась черная туча куполообразного вида, которая разрасталась по мере утихания звука. По воде захлопали падающие предметы. Это напугало рыболовов и милиционеров, и они решили, что «пора сматывать удочки». Все вместе

сели в машину и поехали в г. Припять. Проезжая мимо 4-го блока, видели разрушенное здание, из которого шло темно-голубое свечение. Горела крыша машинного зала. Так виделась авария внешним наблюдателям. А как развивались события на «обреченном» блоке?

В ночь на 26 апреля, как рассказывал начальник вечерней смены Ю. Трегуб, был запланирован ряд экспериментов. Суть одного из них — определение времени выбега турбогенератора при прекращении подачи пара на турбину. Эксперимент проводился при сниженной мощности блока, который выводился в плановую остановку.

Вначале все шло нормально. Но потом сработала сигнализация СРВ, указывающая на снижение расхода воды. Зачастую это сигнал недостоверный, поскольку связан с дефектом приборов.

При переходе с локального автоматического регулятора выбило два автомата и мощность начала снижаться. Чтобы удержать мощность на должном уровне, начальник смены блока вытягивал ручки управления регуляторами, а старший инженер управления реактором стал поднимать стержни защиты. Когда мощность поднялась до 200 МВт, включили автоматическое регулирование мощности, хотя это не самый лучший режим для РБМК.

Начинался эксперимент. Для этого отключили турбину от пара и фиксировали время ее выбега. В первые секунды появился какой-то странный звук: как бы машина на полном ходу начала тормозить и пошла юзом. Он сменился звуком, переходящим в грохот. Завибрировало здание, задрожал блок щитового управления. Затем прозвучал удар. Сработала сигнализация главных предохранительных клапанов (ГПК).

Все были в шоке. Такой удар — настоящее землетрясение. «Открываю дверь — говорит Трегуб, — в машинном зале нет крыши, вижу небо и звезды. Под ногами какие-то обломки и черный битум. Только потом я понял, что это — реакторный графит. Такое мне даже в страшном сне не снилось».

Министерству руководство ЧАЭС сообщило, что произошел взрыв водорода, но реактор работает и находится в надежно контролируемом, управляемом состоянии.

Ядерный «заряд» РБМК

В активной зоне реактора на момент аварии стояло 1659 тепловыделяющих сборок (ТВС), в каждой из которых находилось 114,7 кг урана. Таким образом, всего в реакторе было 190287,3 кг урана, а по диоксиду урана (UO_2) — около 215006,4 кг. Суммарная радиоактивность в активной зоне превышала $4 \cdot 10^{19}$ Бк, то есть более 900 млн. Ки. Кроме того, в южном бассейне выдержки находились 103 отработавшие ТВС (по некоторым данным — 169), что добавляет еще 11,8—19,7 т облученного топлива.

В процессе работы реактора в ядерном топливе образуется в общей сложности более двухсот искусственных радионуклидов, обладающих различной скоростью распада и степенью радиоактивности. В их числе так называемые трансурановые элементы — плутоний, америций, кюрий, которые в естественном виде не встречаются и в «свежем» топливе их не бывает. Общая радиоактивность продуктов деления трансурановых элементов отно-

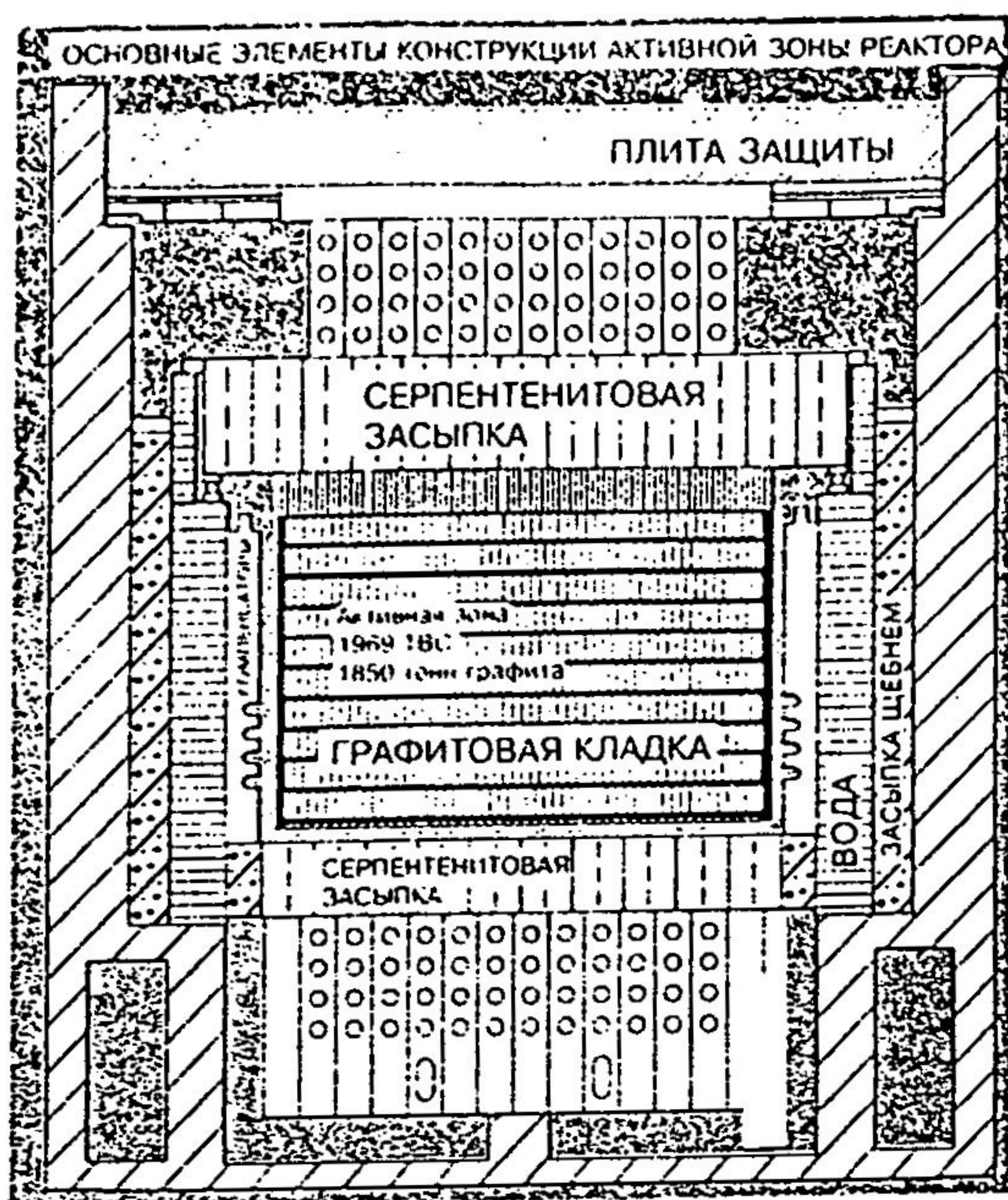


Рис. 1. Основные элементы конструкции активной зоны реактора

сительно невелика (менее 1 %), но их биологическая опасность, особенно долгоживущего изотопа плутония-239, исключительно велика. Поэтому ядерное топливо, отстоявшее кампанию в реакторе, может стать радиологическим оружием.

В 1986 г. было официально декларировано, что за пределы ЧАЭС выброшено $3 \pm 1,5$ % топлива, суммарный выброс радиоактивных веществ составил 50 млн. Ки, что соответствует 3,5 % общего количества радионуклидов в реакторе на момент аварии (табл. 1).

Первые часы и дни

Сразу после аварии в реактор стали закачивать воду. За 10 часов влили 3000 т. Высокоактивная вода заполнила все нижние помещения, проникла в помещения 3-го блока и стала вытекать на улицу. Тогда было принято решение прекратить подачу воды. Чтобы сократить вынос радиоактивности в окружающую среду, было принято решение забрасывать реактор тверды-

ми материалами. С 27 апреля по 10 мая 1986 г. на него было сброшено 5000 т различных материалов, в том числе: 40 т соединений бора, 600 т доломита, 1800 т песка и глины, 2400 т свинца.

Всего же до июля 1986 г., по данным бортовых журналов вертолетчиков, было сброшено: 42 т карбида бора, 140 т полимеризующих жидкостей, 489 т каучука, 1167 т доломита, 1500 т свинцовой дроби, 2536 т тринатрийфосфата, 3532 т песка и глины, 5220 т свинцовых чушек.

По телесъемкам сотрудников Научно-исследовательского и конструкторского института энерготехники (НИКИЭТ), в центральном зале было установлено два очага горения. Самый крупный, на который, сбрасывая груз, ориентировались вертолетчики, находился не в шахте реактора, а в 20 м от нее. В настоящее время на этом месте возвышается восьмиметровый холм из свинцовых чушек, песка и материалов разрушенного здания. В шахту реактора, перекрытую вертикально стоящей крышкой реактора и перепутанными трубами пароводяных коммуникаций, вертолетная засыпка не попала.

Тридцатого мая 1986 г. В. А. Легасов сообщил Л. А. Ильину о медленном движении активной зоны вниз, так как температура топлива достигла точки плавления.

Он же сообщил прибывшим в Чернобыль 2 мая 1986 г. Н. И. Рыжкову и Е. К. Лигачеву, что по мере повышения температуры остатков топлива горячая масса может проплавить железобетонную плиту основания реактора

и рухнуть в воду бассейна-барботера. В результате возможен паровой взрыв, который повредит соседний, 3-й блок.

Ситуация требовала срочного удаления воды из бассейна-барботера, что и было сделано 5 мая.

Для защиты от возможного проплавления и попадания топливной массы в грунт под здание блока с 3 по 28 июля 1986 г. под ним сооружалась охлаждаемая железобетонная плита размером 30x30,8 м и толщиной 2,5 м.

С целью защиты реки Припять проводились работы по обваловке берегов грунтом. Кроме того для локализации радиоактивности и предотвращения загрязнения подземных вод вокруг станции на глубине 29—32 м строилась противодиффузионная «стена в грунте» протяженностью 2113 м и толщиной 0,6 м.

Для изоляции развалин блока от окружающей среды с 15 июля 1986 г. стали сооружать «Саркофаг», позже получивший название «Укрытие». Среднесуточная укладка бетона составляла около 5000 м³, в отдельные дни достигала 6000 м³, а всего при сооружении «Укрытия» было уложено около 340 тыс. м³ бетона.

Строительство этого уникального сооружения было закончено в ноябре 1986 г. Работы велись круглосуточно, вахтами, численность рабочих достигала 10 тыс. человек.

Обследование блока

Первое время главной задачей исследователей был поиск мест нахождения ядерного топлива и определение его состояния. В отдельных его скоп-

Таблица 1

Динамика среднесуточного радиоактивного выброса

Месяц	Апрель					Май						
	26	27	28	29	30	01	02	03	04	05	06	09
Дата												
Число дней с момента аварии	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	13
Выброс, МКи	12	4	3,4	2,6	2	2	4	5	7	8	0,1	0,001

лениях не исключалась возможность возникновения самопроизвольной цепной реакции, или, проще, — ядерного взрыва.

То, что ядерного топлива в помещениях блока должно быть много, показывали первые результаты исследования окрестной территории. После полномасштабных тщательных исследований грунта с загрязненных мест подтвердилось, что из разрушенного реактора выброшено примерно $3,5 \pm 0,5$ % топлива от загрузки на момент аварии. Было установлено, что не менее 95 % его разгерметизировано.

Центральный зал. Его площадь на отметке 35,5 м составляет 1164 м². Он завален фрагментами реактора, строительными конструкциями разрушенного шатра, кусками железобетонных стен, материалами, сброшенными с вертолетов. Защитная крышка реактора массой более 2000 т взрывом поставлена в вертикальное положение. Разрушились основные конструкции реакторного здания и все технологические каналы, а горизонтальные трубопроводы оказались срезанными. В результате взрыва из шахты реактора была выброшена основная масса графитовых блоков.

В зале обнаружены также десятки ТВС (из 1659), торчащие из завалов, однако степень их разрушения, а также количество и состояние ядерного топлива в них неизвестны.

Шахта реактора. Перископические и телеобследования показали, что внутри шахты активной зоны нет. В 1991 г. исследователи проникли в нее и осмотрели. Корпуса реактора, графитовой кладки и ТВС внутри не было. «Дно» реактора диаметром 14,5 м и толщиной 2 м оказалось вмятым на 4 м.

В ходе аварии была выдавлена южная стена шахты реактора, и в образовавшийся пролом потекла лавообразная топливосодержащая масса, которая полностью залила ряд помещений, образовав «слоновьи ноги», «сталакти» и «натеки».

Бассейн-барботер, предназначенный для локализации аварии при разрыве пароводяных трубопроводов реактора и очистки водяного пара от продуктов

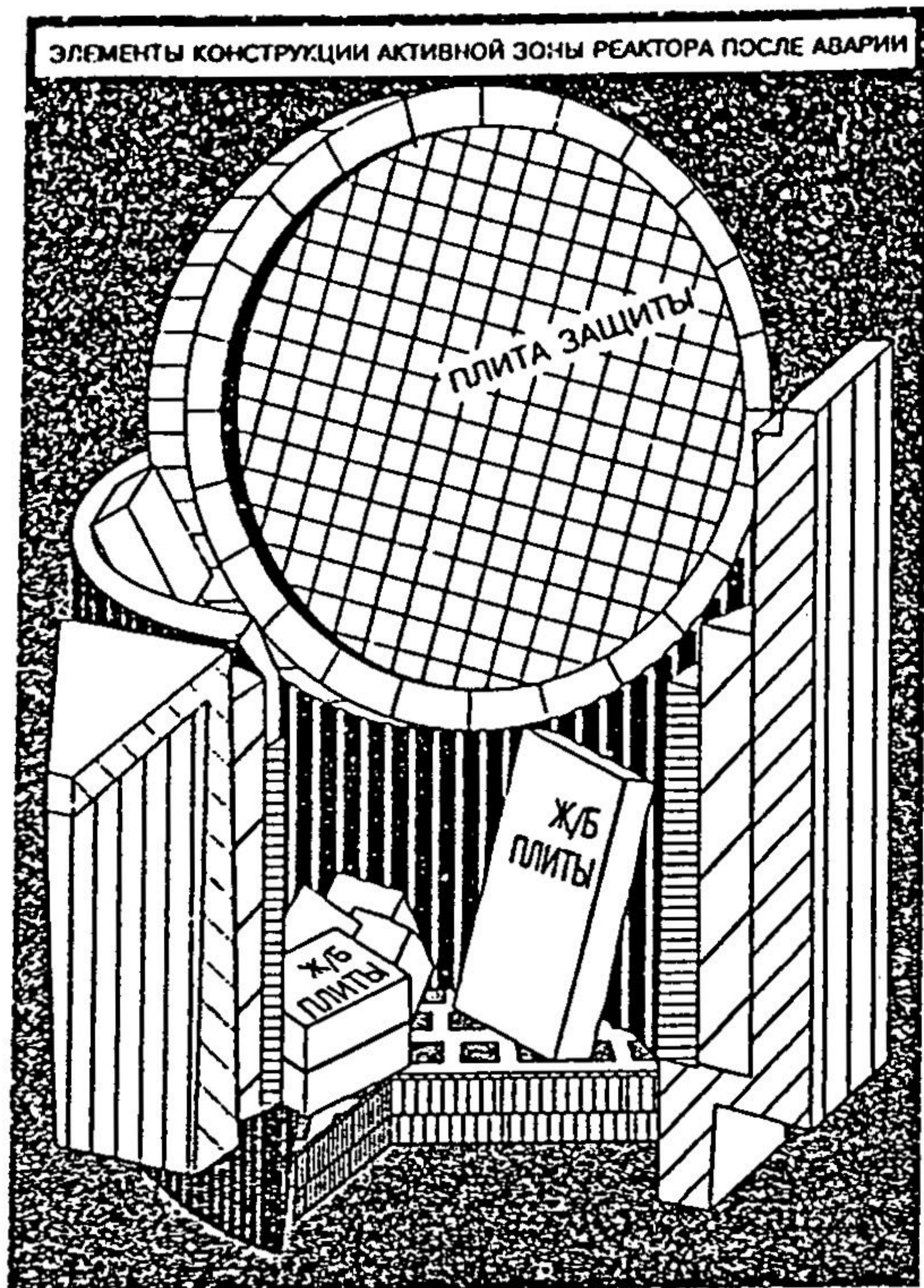


Рис. 2. Состояние активной зоны после аварии

деления, расположен на двух нижних этажах. В штатном положении бассейн заполнен водой до отметки 1,2 м.

Как показали обследования, ядерное топливо в виде расплава все-таки попало в него еще тогда, когда там находилась вода. Попал в бассейн и расплавленный высокоактивный металл.

Ядерное топливо: где, сколько?

С 1988 г. на ЧАЭС работала Комплексная экспедиция Института атомной энергии. Она выполняла не только научные исследования, но и строительные-монтажные работы. Перед Комплексной экспедицией была поставлена конкретная задача — определить, где находится ядерное топливо, сколько его и в каком оно состоянии. Решить эту задачу должна была лаборатория исследования топлива, которую возглавил К. П. Чечеров. В 1986 г. он

принимал непосредственное участие в проведении теплотеметрических и дозиметрических измерений в 4-ом блоке. Он лучше других знал, как с наименьшими доззатратами пройти в то или иное помещение разрушенного блока. Работа предстояла сложная, многие помещения были разрушены, к тому же имевшаяся проектная документация не соответствовала действительности.

Исследования показали, что ядерное топливо после аварии находится в трех основных модификациях: в первоначальном виде (то есть в виде таблеток диоксида урана); в диспергированном (в виде пыли или аэрозолей) и в расплавленном состоянии (в виде лавообразных топливосодержащих масс — ЛТСМ).

Перископическое обследование южного бассейна выдержки показало, что хранящиеся в зоне видимости ТВС находятся в пеналах, в штатном положении, но бассейн обезвожен.

Количество диспергированного топлива, которое находится практически во всех помещениях разрушенного блока, было экспертно определено в пределах 15—17 т урана.

В подаппаратном помещении и в парораспределительном коридоре теплотеметрическим методом в 1989 г. количество топлива в ЛТСМ оценено в 75^{+25} и 23^{-8} т соответственно.

Комплексной экспедицией при ИАЭ им. И. В. Курчатова были определены количества топлива в ЛТСМ, представленные в табл. 2. Если просуммировать данные таблицы, то итог получается другой: $134,5 \pm 42,5$ т урана.

В 1994 г. в журнале «Радиохимия» опубликована статья Э. М. Пазухина «Лавообразные топливосодержащие массы 4-го блока Чернобыльской АЭС». Количество топлива в ЛТСМ автором определено в $120,5 \pm 44,7 / -54,7$ т по урану. В статье говорится, что эти цифры подтверждаются расчетами, полученными по результатам теплотеметрических измерений, по балансу цезия и магния в составах ЛТСМ. В докладе К. П. Чечерова на Международном симпозиуме «Безопасность «Укрытия-94» утверждается, что эти

Количество топлива по помещениям блока

Помещение	Масса топлива по UO_2 , т
Бассейн-барботер 1 эт.	$1,5 \pm 0,5$
Бассейн-барботер 2 эт.	11 ± 3
Парораспределительный коридор	23 ± 8
Подаппаратное помещение 305/2	75 ± 25
Пом. вокруг шахты реактора	20 ± 5
Прочие помещения	4 ± 1
ИТОГО:	$135 + / - 30$

оценки следует признать необоснованными. Присутствовавший на симпозиуме Э. М. Пазухин не представил доказательств для опровержения этого вывода.

Результаты полевых измерений показывают, что в помещениях блока должно было остаться 96 % ядерного топлива, то есть более 180 т урана.

Из мест скоплений ЛТСМ отобраны более 200 образцов. По результатам исследования оценивается общее количество ядерного топлива в них. Результат таков: в ЛТСМ находится $23,45 \pm 4,4$ т UO_2 , что составляет 9—13 % от загрузки реактора на момент аварии.

Где может быть остальное топливо?

Неисследованным остался Центральный зал, где под вертолетной насыпкой могут находиться остатки активной зоны. К этому выводу приводит и тот факт, что из 1659 технологических каналов с тепловыделяющими сборками, в каждой из которых находилось 114,7 кг урана, найдено всего несколько десятков. Сколько топлива в них осталось и в каком состоянии оно там находится — такого исследования до настоящего времени не проводилось. Так что вопрос — где находится топливо — остается, по существу, открытым.