УДК 621.039.58

СКОЛЬКО ЖЕ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА НАХОДИТСЯ В ЛАВООБРАЗНОЙ ТОПЛИВОСОДЕРЖАЩЕЙ МАССЕ 4-ГО ЭНЕРГОБЛОКА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС?*

Киселев А.Н. (РНЦ «Курчатовский ин-т»)

На момент аварии реактора 4-го энергоблока Чернобыльской АЭС 26.04.86 в его активной зоне находилось 1659 ТВС. В каждой сборке 114,7 кг урана, следовательно, всего в реакторе было 114,7×1659 = 190287,3 кг урана. Если считать количество топлива по диоксиду урана, т.е. в том виде, в котором топливо загружалось в твэлы, его масса в каждом твэле составляла 3,6 кг. ТВС состоит из 36 твэлов, следовательно, всего в реакторе 3,6×36×1659 = 215006,4 кг диоксида урана.

Исследования, проведенные в разрушенных помещениях, показали, что ядерное топливо после аварии находится в трех основных модификациях: в виде таблеток диоксида урана, т.е. в том виде, в каком оно было загружено в реактор; в диспергированном виде, как пыль и аэрозоли; в переплавленном состоянии, т.е. в виде лавообразной топливосодержащей массы.

В конце 1989 г. для Технического обоснования ядерной безопасности объекта «Укрытие» Комплексная экспедиция при ИАЭ им. И.В.Курчатова представила данные о количестве топлива в 4-м энергоблоке АЭС. К этому времени (и на сегодняшний день) было обнаружено всего несколько десятков технологических каналов из 1659 находившихся в реакторе. Проверка наличия в них ТВС, а также их состояния не проводилась. Количество топлива в этой модификации неизвестно по настоящее время. Количество топлива, находившегося в диспергированном виде, было определено в 15-17 т. Расчеты и методики его определения не опубликованы.

Количество топлива в виде лавообразной массы в 1989 г. определялось теплометрическим методом. В подаппаратном помещении 305/2 на высотной отметке 10,0 м оно составило 75±25 т, в помещениях парораспределительного коридора на отметке 6,00 м — 23±8 т. В остальных помещениях количество топлива оценивалось визуальным методом.

Таблица 1. **Количество топлива в лавообразной топливосодержащей массе**

Наименование помещений	Высотная отметка, м	Масса топлива, т
Бассейн-барботер:		
1-й этаж	0,00	1,5± 0,5
2-й этаж	3,00	11± 4
Парораспределительный коридор, 3-й этаж	6,00	23±7
Помещение 305/2, 4-й этаж	10,0	75±25
Помещение 304/3, 301/5, 6, 303/3	9,30-9,00	20±7
Помещение 217/2	6,00	4±1
Всего 135±30 т, или, если просуммировать массу топлива, 134,5±44,5 т.		

В связи с тем, что основная масса топлива в соответствии с данными табл. 1 находилась в виде лавообразной топливосодержащей массы, приоритетность работ сместилась к проведению обследований мест его скопления, отбору проб и исследованию.

Полученные в 1989-1991 гг. результаты обследования мест скопления топлива, шахты реактора и исследования топливосодержащих проб вызвали сомнение в возможности нахождения 135±30 т ядерного топлива в виде лавообразной топливосодержащей массы.

* Журнальный вариант

После прямого обследования шахты реактора, которая оказалась пустой и в центре активной зоны γ-фон составлял 100-300 Р/ч, и состояния полов под полуметровым слоем лавообразной массы в помещениях 304/3 и 301/5, которые оказались целыми, не разрушенными, были сделаны расчеты по определению ее объема в местах скоплений. Концентрация ядерного топлива лавообразной массы и ее плотность были получены в результате исследования сотен образцов проб. Данные оказались неожиданными для исполнителей [1] (табл. 2).

Таблица 2. **Количество топлива в лавообразной топливосодержащей массе, определенное прямыми измерениями**

Наименование помещений	Высотная отметка, м	Масса диоксида урана, т
Бассейн-барботер:		
1-й этаж	-0,65	0,5±1
2-й этаж	2,20	6,1±0,8
Парораспределительный коридор, 3-й этаж	6,00	4,1±0,7
Помещение 305/2, 4-й этаж	10,00	11,6±1,9
Помещение 304/3, 301/5, 303/3, 301/6	9,00-9,30	5,2±1,4
Помещение 217/2	6,00	0,3±0,1
		Всего 27,8±5,9

Расчет проводился по диоксиду урана, что составляет 11-15% загрузки реактора на момент аварии.

В 1993 г. был выпущен препринт АН Украины [2], в котором отмечалось, что визуальный метод для точного определения объема лавообразной массы в местах скоплений не может быть применен, так как точному определению препятствует бетон, залитый в помещения разрушенного блока при строительстве объекта «Укрытие», нельзя измерить высоту этих скоплений, потому что лава, застывая, образовала «холмы» и «впадины», не учтен прожег перекрытий расплавленной массой и неточно очерчены границы лавообразной массы под бетоном (табл. 3). В препринте приведены еще две методики оценки количества ядерного топлива: по балансу ^{137}Cs, в результате количество урана оказалось больше 90 т, и содержанию магния, в результате нижняя оценка урана в лавообразной массе составляет 60 т.

Таблица 3. **Количество топлива в лавообразной топливосодержащей массе, определенное с использованием дополнительных методик измерения**

Наименование помещений	Количество, т	Метод определения урана
Помещение 305/2	75±25-35	Теплометрический
Парораспределительный коридор	25±11	Теплометрический с учетом топлива в клапанах
ББ-2	8±3	Визуальный
ББ-1	1,5±0,7	»
Помещение 304/3, 301/5, 303/3, 301/6, 217/2	11±5	»
Итого	125±44,7-54,7	

Полное количество топлива по урану — наиболее вероятный интервал от 70 до 150 т.

В 1994 г. опубликована работа [3], в которой приведены уточненные границы мест скопления лавообразной топливосодержащей массы, дополнительные измерения толщины ее слоев и мест в скоплениях, где обнаружены газовые пустоты. В итоге объем, следовательно, и количество ядерного топлива уменьшилось и составило 9-13% ядерного топлива загрузки реактора на момент аварии (табл. 4).

Таблица 4. Количество топлива в лавообразной топливосодержащей массе после проведения дополнительных измерений

Наименование помещений	Объем, $м^3$	Количество диоксида урана, т
ББ-1	2	0,4±0,1
ББ-2	10	2,2±0,3
Парораспределительный коридор	22,5	3,75±0,6
Помещение 305/2	74,5	11,6±1,9
Помещение 304/3, 301/5, 303/3, 301/6	57	5,2±1,4
Помещение 217/2	3	0,3±0,1
	Итого 169	23,45±4,4

Работа [4] в основном дублирует работу [2] и повторяет итоговую табл. 3. Количество урана в лавообразной топливосодержащей массе составляет 120,5±44,7-54,7 т, или 36-87% топлива, находившегося в реакторе на момент аварии.

Таким образом, в настоящее время имеются два мнения о количестве найденного и контролируемого ядерного топлива в разрушенном энергоблоке Чернобыльской АЭС. По первому в лавообразной топливосодержащей массе находится 61,5 ± 25%, по второму — 11,2 ± 2% загрузки реактора на момент аварии. Можно привести несколько аргументов в обоснование результата второго варианта.

1. В работе [5] сделано заключение о том, что, как показал анализ, оценки количества топлива на основании тепловых измерений базировались, во-первых, на предположениях, не отражающих реальной картины 4-го блока, во-вторых, опирались на эксперименты, основанные не на достоверных измерениях, а на волюнтаристских декларациях тепловых, расходных параметров, экспериментально зафиксированные вариации которых колеблются в диапазоне до двух порядков. Поэтому оценки количества топлива на основании таких тепловых измерений следует признать необоснованными.

2. Сопоставим два результата о количестве топлива в парораспределительном коридоре на отметке 6 м: 25±11 т [2, 4] или 3,75±0,6 т [3], где максимум расходится более чем в 8 раз. Скопление лавообразной топливной массы в помещениях с южной стороны открыто, следовательно, его граница распространения в этом месте находится точно. С западной и восточной стороны в любом случае граница растекания топлива ограничена стенами. С северной стороны, где топливная масса залита бетоном в 1986 г., граница растекания ограничена в результате бурений наклонных исследовательских скважин, в кернах которых нет лавообразной массы. Полы в помещениях металлические и прожегов в них не обнаружено. Плотность и концентрация ядерного топлива в лавообразной массе в обоих случаях одинаковая, следовательно, разность результатов должна отразиться только в толщине скопления. Толщина слоя измерялась линейкой и зафиксирована на фотоснимках, максимальная толщина слоя 0,5 м. По данным, полученным теплометрическим методом, толщина слоя лавообразной массы должна быть не менее 4 м, а высота помещений парораспределительного коридора всего 2 м. Нереально разместить такой объем лавообразной топливосодержащей массы в этих помещениях.

3. Сопоставим количество топлива в подаппаратом помещении 305/2 на отметке 10 м: 75±25-35 т [2, 4] и 11,6±1,9 т [3], разница между ними в 6,5 раз. В работе [4], где критикуется визуальный метод определения количества ядерного топлива в лавообразной топливосодержащей массе, представлен, возможно, максимальный вариант расчета его объема. Границы скопления лавообразной массы в обоих случаях одинаковые. Нижняя граница скопления за счет прожега двухметрового перекрытия должна быть ниже, так как в нижерасположенном помещении металлическая облицовка потолка провисла.

Дополнительное обследование виброакустическим методом (простукиванием)

показало, что под опустившейся металлической облицовкой пустота, а не деструктированный бетон, как предполагалось ранее. Облицовка расположена на высотной отметке 8,00 м, а исследовательская скважина, пробуренная в самой горячей зоне на отметке 8,80 м, имела в своих кернах литой бетон и только в зоне второго паросбросного клапана деструктированный бетон, а не лавообразную топливосодержащую массу.

Верхняя граница скопления в помещении 305/2 [4] должна быть выше, чем в помещении 304/3, так как эти помещения представляют собой сообщающиеся сосуды. В полу помещения 305/2 восемь открытых отверстий паросбросных клапанов диаметром 1,2 м, связывающих это помещение с нижерасположенным помещением парораспределительного коридора, следовательно, весь расплав мог оказаться внизу, что и произошло: в помещениях парораспределительного коридора и бассейна-барботера зафиксированы два вертикальных потока лавообразной массы. Можно добавить, что даже увеличенный объем такой массы в 3 раза дает только 35 т урана, а не 75 т, полученных при расчетах теплометрическим методом.

4. Дополнительные обследования 1992 г. мест скопления лавообразной массы топлива в помещениях бассейна-барботера дали точные границы, так как скопления оказались не залиты бетоном в 1986 г., и более точно была определена толщина этих скоплений. Виброакустическим методом было проверено наличие в паросбросных трубах бетона, металла и лавообразной топливосодержащей массы.

По результатам обследования следует считать количество ядерного топлива в лавообразной массе помещений бассейна-барботера 6,6±0,9 т диоксида урана [3], а не 9,5±3,7 т урана [2, 4].

ВЫВОДЫ

1. Количество топлива, находящегося в лавообразной массе, подсчитано разными методами. В одном случае оно составило 61,5±25,5% [2, 4] полной загрузки реактора на момент аварии, в другом — 11±2% [3].

2. Анализ теплометрического метода [5] по определению количества ядерного топлива в лавообразной топливосодержащей массе в помещениях 305/2 и парораспределительного коридора [2, 4] дает основание признать полученные результаты необоснованными.

3. Уточненные данные о местах скопления лавообразной массы в помещениях бассейна-барботера и парораспределительного коридора [3] опровергают результаты расчетов [2, 4].

4. Основная масса ядерного топлива, если считать, что в помещениях 4-го блока должно находиться 96% загрузки на момент аварии, в шахте реактора и нижерасположенных помещениях не обнаружена.

Необследованным остался центральный зал, заваленный в 1986 г. с вертолетов песком, свинцом, карбидом бора и другими материалами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Киселев А.Н., Ненаглядов А.Ю., Сурин А.И., Чечеров К.П.** Экспериментальные исследования лавообразных топливосодержащих масс на 4-м блоке Чернобыльской АЭС. (По результатам исследований 1986-1991 гг.): Препринт ИАЭ-5533/3, 1992. 120 с.
2. **Андерсон Е.Б., Богатов С.А., Боровой А.А. и др.** Лавообразные топливосодержащие массы объекта «Укрытие»: Препринт АН Украины, 93-17, 1993. 44 с.
3. **Киселев А.Н., Сурин А.И., Чечеров К.П.** Результаты дополнительных исследований мест скоплений лавообразных топливосодержащих масс на 4-м блоке Чернобыльской АЭС: Препринт ИАЭ-5783/3, 1994. 60 с.
4. **Пазухин 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.
5. **Чечеров К.П.** Анализ тепловых методов, используемых для определения количества ядерного топлива на объекте «Укрытие». Докл. на Межд. симп. «Безопасность «Укрытия-94», Украина, Зеленый мыс, 14-18.03.94 г.