

УДК 621.039.5

Экспериментальный двухтвэльный канал для реактора Первой в мире АЭС

БУЛЬКАНОВ М. Г., КУРОВ В. А., ЛАЗАРЕВСКАЯ В. Д., ПОТоловский В. Г., СЕВЕРЬЯНОВ В. С.

Создание новых типов твэлов требует проведения реакторных испытаний как топливных композиций, так и экспериментальных полномасштабных твэлов. Описываемый канал предназначен для проверки в условиях реактора Первой в мире АЭС новых технических решений по твэлам реакторов Белоярской АЭС и Билибинской АТЭЦ. Накопленный положительный опыт на основании испытаний одиночных экспериментальных твэлов позволил создать экспериментальный канал, который по загрузке делящегося материала идентичен штатному топливному каналу и может использоваться вместо него.

Канал спроектирован для штатной ячейки реактора Первой в мире АЭС и имеет те же подсоединительные размеры. В конструкции канала учтены некоторые усовершенствования, принятые в каналах Белоярской АЭС и Билибинской АТЭЦ и направленные на увеличение их надежности.

Экспериментальный канал (рис. 1) состоит из двух твэлов, опускных и подъемных труб, расположенных в металлических и графитовых втулках, которые образуют цилиндр диаметром 64 мм по графитовым втулкам и 63 мм по стальным деталям. Длина канала 6,6 м.

Теплоноситель из трубопровода через соединительную трубу и входной центральный штуцер поступает в раздающий коллектор и по двум опускным трубам диаметром $12 \times 0,6$ мм попадает в напорную камеру, расположенную в нижней части канала. Из камеры через спиральные трубчатые компенсаторы, воспринимающие разность температурных удлинений между опускными и подъемными трубами, теплоноситель проходит вверх, омывая при этом внутренние поверхности труб твэлов. Далее теплоноситель попадает в собирающий коллектор и через боковой штуцер выводится из канала. Размеры твэла: диаметры наружной оболочки $20 \times 0,2$ и внутренней трубки $12 \times 0,6$ мм*.

Компенсаторы выполнены из трубы диаметром $9,4 \times 0,6$ мм с шагом навивки 30 мм.

Ниже раздающего и собирающего коллекторов набраны металлические пробки биологиче-

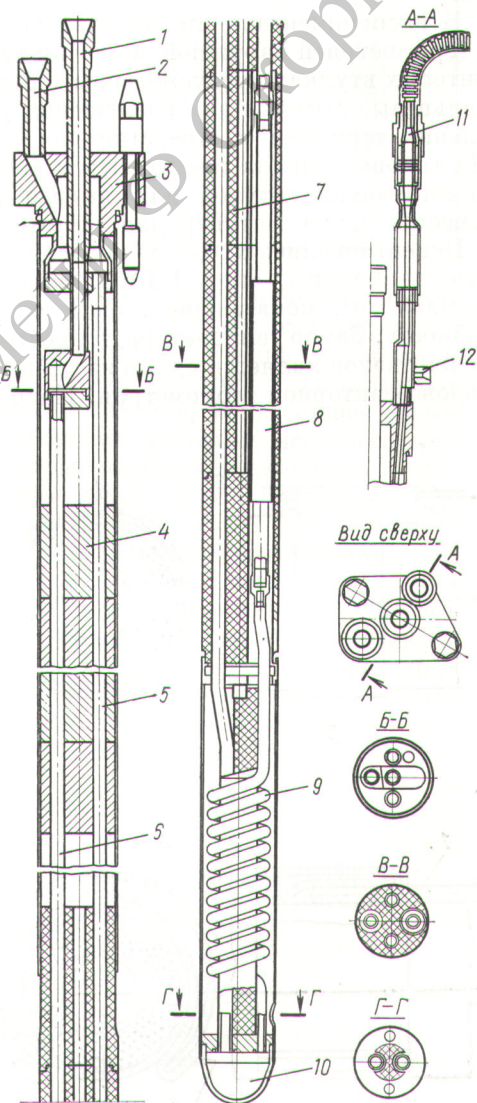


Рис. 1. Экспериментальный двухтвэльный канал:

1, 2 — штуцеры входа и выхода теплоносителя первого контура; 3 — головка канала; 4 — стальные втулки; 5, 6 — подъемные и опускные трубы; 7 — графитовые втулки; 8 — твэл; 9 — компенсатор; 10 — поворотная камера; 11 — узел вывода термопар; 12 — штуцер отбора давления

* Каналы данной конструкции позволяют испытывать в штатных ячейках реактора (диаметр 65 мм) твэлы с максимальным наружным диаметром до 25—26 мм.

ческой защиты с отверстиями под трубы диаметром $12 \times 0,6$ мм. Нижняя пробка крепится к наружному чехлу, выполненному из трубы $63 \times 1,5$ мм. Чехол связан с головкой канала и является несущей конструкцией для пробок биологической защиты. Нижняя часть опускных труб и твэлы заключены в графитовые втулки. Отверстие в центре втулок диаметром 10 мм предназначено для аварийного извлечения канала из ячейки реактора. В зоне компенсаторов для их центровки размещены графитовые втулки.

В экспериментальном двухтвэльном канале с термометрией наружной оболочки твэла в графитовых втулках предусмотрены дополнительно кольцевые выточки для размещения узлов крепления термопар и отверстия для их вывода. На головке канала предусмотрен специальный уплотняющий штуцер для вывода термопар. Имеется также штуцер для отбора давления.

Использовались хромель-алюмелевые кабельные термопары типа КТМС размером $2 \times 0,06$ мм², показавшие хорошую работоспособность. Замер температуры тонкостенных оболочек твэлов является одним из самых сложных видов реакторной термометрии. Наиболее часто

используемое крепление горячих спаев термопар с помощью пружинных или биметаллических колец — это единственный способ избежать повреждения оболочки твэла (рис. 2). Существенным недостатком этого метода является потеря с течением времени пружинящих свойств колец, что приводит к нарушению контакта между оболочкой и горячим спаем термопары и появлению погрешности в показаниях термопар.

Детали канала выполнены из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т. Во избежание щелей тонкостенные трубы диаметром $12 \times 0,6$ и $9,4 \times 0,6$ мм сваривались только стыковыми швами. Для создания необходимого пространства под радиальные расширения твэлов в процессе распухания и надежного контроля герметичности твэлов зазоры между ними и графитовыми втулками составляют 0,5—0,7 мм (на сторону). Тепло от графитовой кладки отводится преимущественно через опускные трубки, размещенные в графитовых втулках с минимальным зазором около 0,15 мм. Часть тепла из графита передается также твэлам.

Для уменьшения коррозионного воздействия реакторной среды на оболочку твэла и трубы водяного тракта канала предусмотрен обдув канала азотом. Чтобы обеспечить надежную продувку всей полости канала, зона компенсаторов снаружи закрыта трубой диаметром $63 \times 1,5$ мм, имеющей три отверстия диаметром 20 мм для выхода газа. Газовые зазоры используются также и для контроля герметичности наружной оболочки твэлов и трубок канала, осуществляемого прокачкой газа по зазорам и измерением его радиоактивности. Для подачи газа используется штуцер, размещенный на головке канала. В каналах с замером температуры наружной оболочки твэла такой штуцер расположен на узле вывода термопар.

Ниже приведены основные технические данные и условия работы штатного топливного и экспериментального каналов [1, 2]:

Рабочее давление, кг/см ²	100; 100
Температура воды, °С	
на входе	180—190; 180—190
на выходе	270—309; 270—309
Расход теплоносителя, т/ч	1,9—2,4; 1,2—1,5
Средний тепловой поток от твэла к воде, ккал/м ² ·ч	$(0,8—1,8) \cdot 10^6$, $(1—1,7) \cdot 10^6$
Максимальная температура наружной оболочки твэла, °С	450; 450
Загрузка урана в канале, кг	4; 4
Число твэлов, шт.	4; 2
Активная длина твэла, мм	1700; 1700

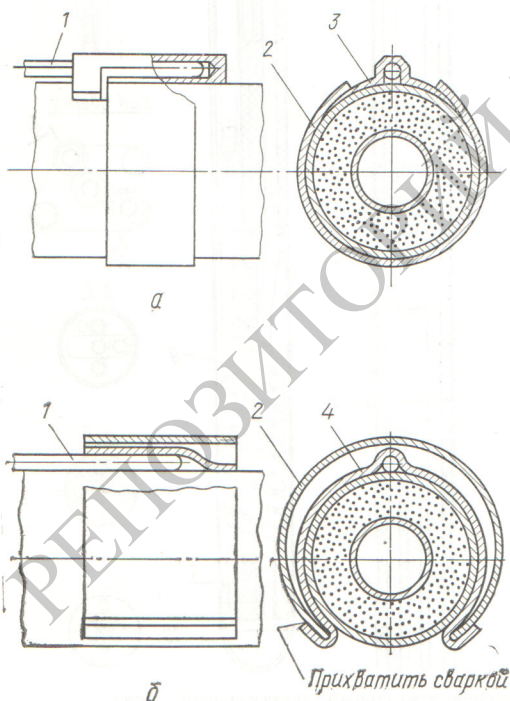


Рис. 2. Способы крепления королька термопары с помощью колодки (а) и полоски фольги (б):

1 — термопара; 2 — пружинное кольцо; 3 — колодка; 4 — полоска из фольги

Результаты испытаний твэлов в экспериментальных каналах

Ячейка	Обозначение канала	Дата установки (1970 г.)	Дата извлечения	Выгорание, кг/т	Средний тепловой поток, 10 ⁶ ккал/м ²	Температура оболочки твэла, °С
05-14	ДТМ-87	22.V	12.I.74 г.	20,3	1,31	400
05-08	ДТМ-88	10.VI	12.I.74 г.	18,5	1,13	380
05-18	ДТМ-90	6.IX	12.I.74 г.	17	1,36	420
09-16	ДТМ-92	29.VI	12.I.74 г.	17,1	1,56	430
12-19	ДТМ-93	10.VIII	12.I.74 г.	16,4	1,16	390
08-15	ДТМ-95	10.VIII	12.I.74 г.	18,1	1,7	440
11-12	ДТМ-96	3.X	12.I.74 г.	17,2	1,3	400
09-18	ДТМ-86	21.V	15.III.72 г.	6,5	1,5	430
04-11	ДТМ-85	21.V	7.X.73 г.	17	1,23	390
01-12	ДТМ-84	21.V	7.IV.72 г.	5,1	1,19	390
06-13	ДТМ-94	13.VII	6.IV.72 г.	5,3	1,5	430
13-10	ДТМ-91	28.VI	7.X.73 г.	13,1	1,1	380
08-19	ДТМ-89	18.VII	7.X.73 г.	16,5	1,0	360
02-11	ДТМ-99	11.IX	Испытывается	15	1,21	390
10-05	ДТМ-100	8.IX	То же	14,5	1,16	390
03-20	ДТМ-97	8.IX	6.IV.72 г.	4,95	1,35	410
05-04	ДТМ-98	11.IX	Испытывается	16,7	1,17	390

Наружный диаметр твэла, мм . . . 14 × 0,2; 20 × 0,2
 Размеры центральной трубки твэла, мм . . . 9 × 0,4; 12 × 0,6
 Количество стали в канале, см³/см . . . 1,05; 1,2

Конструкция канала позволяет проводить испытания твэлов в режиме объемного кипения, который достигается при установке канала в экспериментальную петлю ПВ-2 [2].

Ниже показаны параметры работы экспериментального канала в режиме кипения:

Давление, кг/см² 130
 Температура воды на входе, °С 250
 Расход теплоносителя, т/ч 1,2
 Мощность канала, кВт 170
 Паросодержание на выходе из канала, % 7
 Максимальная температура наружной оболочки твэла, °С 470

Испытания каналов в режиме объемного кипения проводились при весовом паросодержании на выходе до 7%, что соответствовало целям эксперимента. Допустимое паросодержание на выходе из канала до 20%.

Основная часть экспериментальных двухтвэльных каналов (см. таблицу) была загружена в реактор Первой в мире АЭС в 1970 г. Как видно из таблицы, выгорание горючего в твэлах, большие тепловые потоки, высокие температуры оболочки твэлов свидетельствуют о рабо-

те экспериментальных каналов в более жестких условиях по сравнению со штатными топливными каналами. Двухтвэльные каналы работали в реакторе около четырех лет и продолжают использоваться до сих пор. В настоящее время в экспериментальных каналах испытываются твэлы с интенсификаторами теплообмена, увеличенными диаметрами и большей загрузкой горючего.

Двухтвэльные каналы зарекомендовали себя как удобное устройство для массовых испытаний экспериментальных твэлов в реакторе без значительного уменьшения запаса реактивности. Сравнение показало, что вклады в реактивность штатного и экспериментального каналов с водой и обогащением урана 6,5% составляют 26,5 и 25,8 линейных сантиметров соответственно.

«Взвешивание» каналов проводилось в ячейке 09—12 в январе 1972 г.

Поступила в Редакцию 7/X 1974 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ушаков Г. Н. Первая атомная электростанция, М.—Л., Госэнергоиздат, 1959.
2. 10 лет Первой в мире атомной электростанции СССР. М., Атомиздат, 1964.