

# Радиационный контур реактора ИРТ Томского политехнического института

Е. С. САХАРОВ, И. П. ЧУЧАЛИН, А. Г. СКОРИКОВ,  
Р. И. АКИМОВА, В. В. КАРНАУХОВ

УДК 621.039.573

Радиационный контур (РК) на реакторе ИРТ Томского политехнического института введен в эксплуатацию в 1967 г. На основании результатов разработки и эксплуатации предыдущих подобных установок в конструкцию контура были внесены существенные изменения, которые позволили повысить эффективность использования нейтронов и этим повысить выходную мощность по  $\gamma$ -излучению. Как и в РК Института физики АН ЛатвССР, в качестве  $\gamma$ -носителя здесь применен сплав индия с галлием и оловом следующего состава (вес. %): индий — 20,5, галлий — 67,0, олово — 12,5. Технологическая схема РК представлена на рис. 1.

В рабочем режиме  $\gamma$ -носитель непрерывно циркулирует между генератором активности в отражателе активной зоны и облучателем, размещенным на рабочем столе в специальной «горячей» камере, расположенной в защите реактора.

Основная особенность РК реактора ИРТ — применение двухслойного генератора активности. Он представляет собой два плоских параллельно включенных и параллельно установленных между собой и гранью активной зоны змеевика, разделенных слоем воды, толщина которого может меняться до оптимальной с помощью специальных приспособлений. Кожух генератора активности, в котором заключены оба змеевика, открыт сверху и на 2/3 высоты со стороны активной зоны для свободной циркуляции воды бассейна реактора.

Генератор активности может быть установлен в различных плоскостях, параллельных грани активной зоны, на расстоянии 15—40 мм от топливных кассет. Для этого кожух генератора снабжен шасси, перемещаемым по рельсам за коммуникационные линии, подвижный и герметичный проход которых через стенку бассейна реактора в «горячую» камеру обеспечивается сиффонами. Все перемещения генератора относительно активной зоны осуществляются с помощью дистанционного управления.

Другая особенность РК — подвижный облучатель. Он представляет собой полый цилиндр, связанный с остальными узлами контура гибкими трубками, уложенными в виде спирали. С помощью привода облучатель может быть убран в защитный бокс, расположенный под рабочим столом. В полу горячей камеры, в специальном колодце, размещены циркуляционный насос, хранилище с фильтром и гребенка электромагнитных клапанов.

В нерабочем состоянии  $\gamma$ -носитель находится в хранилище под вакуумом до  $5 \cdot 10^{-2}$  торр или в атмосфере гелия. Перед пуском РК сплав с помощью сжатого гелия через фильтр, расположенный в нижней части хранилища, выдавливается в рабочую часть контура а хранилище отсекается. При остановках  $\gamma$ -носитель самотеком возвращается в хранилище, а рабочая часть контура продувается сжатым гелием.

В рабочем режиме непрерывно контролируется расход и температура носителя в различных точках РК,

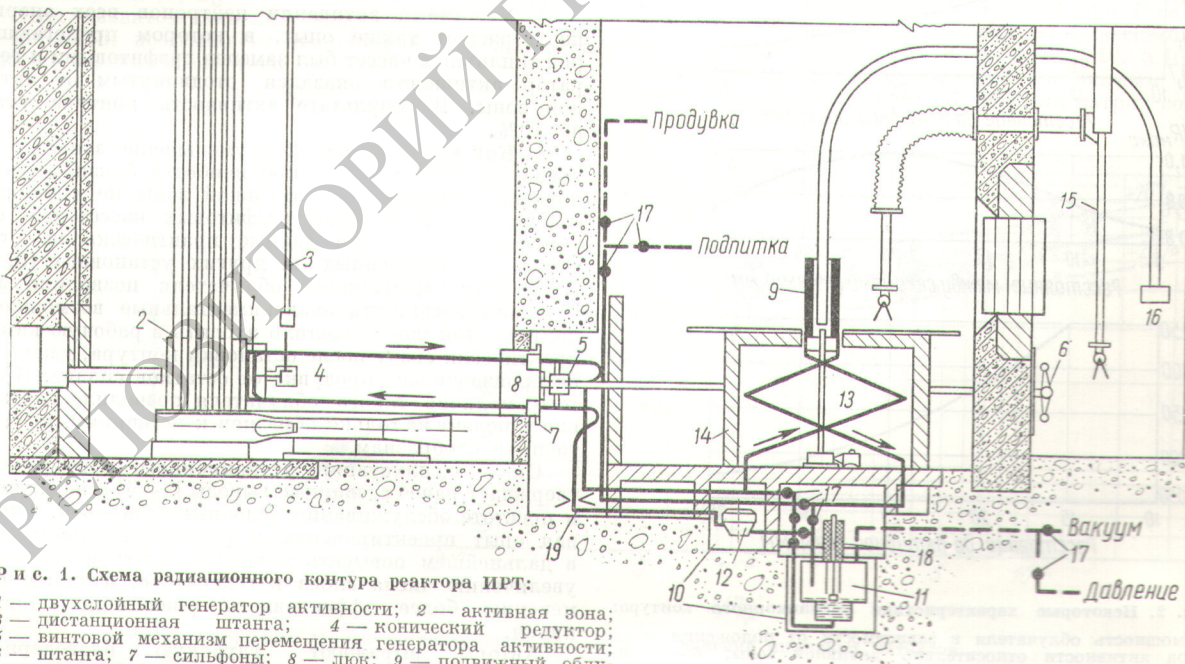


Рис. 1. Схема радиационного контура реактора ИРТ:

- 1 — двухслойный генератор активности; 2 — активная зона;
- 3 — дистанционная штанга; 4 — конический редуктор;
- 5 — винтовой механизм перемещения генератора активности;
- 6 — штанга; 7 — сиффоны; 8 — люк; 9 — подвижный облучатель;
- 10 — колодец; 11 — хранилище с фильтром;
- 12 — электромагнитный насос; 13 — привод облучателя; 14 — защитный бокс облучателя; 15 — манипулятор; 16 — пневмопочта; 17 — электромагнитные вентили; 18 — электромагнитный уровнемер; 19 — электромагнитный расходомер.

а также мощность дозы в облучателе. Предусмотрены предупредительная и аварийная сигнализация и защита. Контур обслуживает один человек.

Ниже приведены некоторые технические характеристики РК:

Мощность реактора . . . . .	2000 <i>квт</i>
Объем генератора активности	1550 <i>см<sup>3</sup></i>
Толщина $\gamma$ -носителя в каждом слое . . . . .	3,5 <i>мм</i>
Объем облучателя . . . . .	3100 <i>см<sup>3</sup></i>
Размеры облучателя:	
высота . . . . .	600 <i>мм</i>
наружный диаметр . . . . .	120 <i>мм</i>
внутренний диаметр . . . . .	80 <i>мм</i>
Мощность дозы в центре облучателя . . . . .	4000 <i>р/сек</i>
Общая активность контура . . . . .	$6 \cdot 10^4$ <i>г-эке Ra</i>
Объем подвижного облучателя	2450 <i>см<sup>3</sup></i>
Размеры облучателя:	
высота . . . . .	400 <i>мм</i>
наружный диаметр . . . . .	120 <i>мм</i>
внутренний диаметр . . . . .	80 <i>мм</i>
Мощность дозы в центре подвижного облучателя	
без отражателя . . . . .	1200 <i>р/сек</i>
с отражателем . . . . .	1500 <i>р/сек</i>
Расход $\gamma$ -носителя . . . . .	4 <i>см<sup>3</sup>/сек</i>
Максимальная температура $\gamma$ -носителя во время циркуляции	45° <i>С</i>

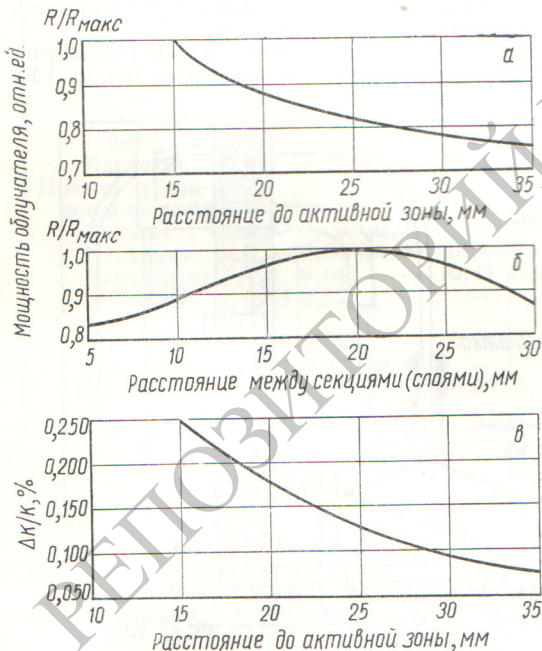


Рис. 2. Некоторые характеристики радиационного контура: а — мощность облучателя в зависимости от положения генератора активности относительно активной зоны; б — мощность облучателя в зависимости от положения секций генератора относительно друг друга; в — уменьшение запаса реактивности реактора в зависимости от положения генератора относительно активной зоны.

После пуска контура были проведены эксперименты по оптимизации режима его работы в зависимости от положения слоев генератора активности относительно друг друга и всего генератора в целом относительно активной зоны, а также оценено влияние контура на критичность реактора.

1. Было установлено, что повышение расхода  $\gamma$ -носителя выше 4 *см<sup>3</sup>/сек* не увеличивает мощность облучателя, так как при этом параметры  $\tau$ ,  $\nu$ ,  $\epsilon$  сильно уменьшаются [1, 2].

2. На рис. 2, а, б приведены результаты опытов по оптимизации режима работы контура. Как видно из рисунка, расстояние между слоями генератора активности имеет оптимум. Напротив, зависимость мощности облучателя от положения генератора активности относительно активной зоны имеет монотонный характер. Следует указать на различие однослойных и многослойных генераторов. В положении однослойного генератора активности относительно активной зоны имеется четкий оптимум, совпадающий с зоной всплеска потока тепловых нейтронов в отражателе [3, 4]. Для многослойного генератора мощность облучателя монотонно возрастает по мере приближения к активной зоне, причем характер роста кривой мощности совпадает с пространственным распределением полного потока нейтронов в реакторе. Это говорит о том, что в активации принимают участие нейтроны не только тепловой, но и более жестких энергий, замедляющиеся в прослойке воды между слоями  $\gamma$ -носителя. Таким образом, в многослойных генераторах достигается более полное использование утекающих из зоны нейтронов.

Кроме этого, достигается более полное участие ядер  $\gamma$ -носителя в поглощении нейтронов вследствие частичного уменьшения самоэкранирования из-за утоньшения слоев и уменьшения депрессии потока нейтронов в прилегающих слоях замедлителя.

3. Участие в активации нейтронов всех энергий подтверждает также опыт, в котором прилегающий ряд топливных кассет был заменен графитовыми и генератор активности оказался отодвинутым от активной зоны. В результате активность контура упала на 10%.

4. Как видно из рис. 2, в, уменьшение запаса реактивности реактора даже при наиболее близком расположении генератора от активной зоны не превышает 0,25%, а при наличии графитовых кассет оно еще меньше (0,17%). Эти данные практически не отличаются от полученных на других установках [3, 4]. Применение подвижного облучателя позволило значительно расширить экспериментальные возможности контура, так как позволило входить в рабочую камеру практически сразу после останковки контура, даже если не производилась продувка от остатков сплава. Кроме того, наличие такого облучателя позволило осуществлять подачу не только образцов к источнику, но и источника к образцам.

Опыт эксплуатации радиационного контура подтверждает ранее сделанные выводы [2—4] о надежности и простоте обслуживания подобных установок. Учитывая опыт проектирования и расчета, предполагается в дальнейшем повысить мощность контура благодаря увеличению числа слоев в генераторе, а также применению более эффективного  $\gamma$ -носителя — чистого индия.

Авторы выражают глубокую благодарность А. Х. Брегеру, Ю. С. Рябухину, А. И. Диндуну, Е. Л. Ивантеру, В. В. Гавару, П. М. Егоренкову,

Г. И. Кикнадзе, Н. И. Рыбкину, а также Институту физики АН ГрузССР, Институту физики АН ЛатвССР и особенно филиалу Научно-исследовательского физико-химического института им. Л. Я. Карпова за большую помощь, оказанную ими в создании радиационного контура при реакторе Томского политехнического института.

Поступило в Редакцию 18/II 1969 г.  
В окончательной редакции 29/IX 1969 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. С. Рябухин, А. Х. Брегер. «Атомная энергия», 5, 533 (1958).
2. А. Х. Брегер и др. Основы радиационно-химического аппаратостроения. М., Атомиздат, 1967.
3. Г. И. Кикнадзе и др. «Атомная энергия», 19, 176 (1965).
4. Y. Ryabukin et al. Industrial Uses of Large Radiation Sources. Vol. 2. Vienna, IAEA, 1963, p. 189.

Обобщенная зависимость для расчета теплоотдачи при развитом кипении щелочных металлов

В. И. СУББОТИН, Д. Н. СОРОКИН, А. П. КУДРЯВЦЕВ

УДК 621.039.517.5

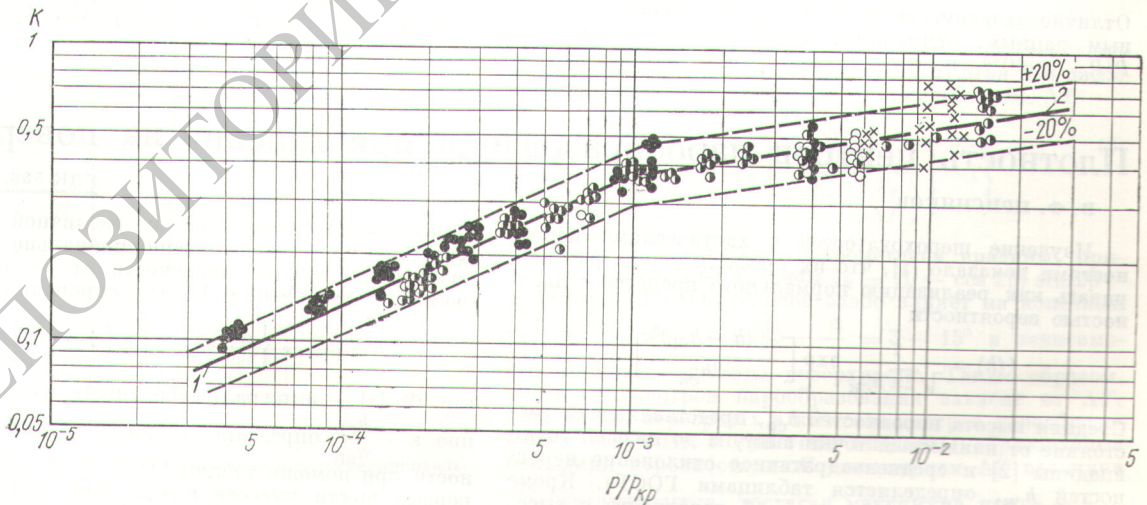
Начатые сравнительно недавно исследования по теплообмену при кипении металлов позволили получить данные по теплоотдаче и критическим тепловым потокам при кипении некоторых металлов. Это дает определенную возможность получить обобщенные зависимости для расчета теплообмена при кипении металлов.

Опубликованные обобщенные зависимости для расчета коэффициентов теплоотдачи при развитом кипении в большинстве своем получены в результате обработки экспериментальных данных по кипению неметаллических жидкостей и не описывают или лишь частично описывают экспериментальные данные по кипению металлов [1, 2]. Предложено несколько обобщенных формул, например в работах [3, 4], для расчета теплоотдачи при кипении металлов. Однако и эти формулы не согласуются с некоторыми экспериментальными зависимостями [1, 2].

При развитом кипении жидкостей, в том числе и металлов, коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  может быть описан зависимостью типа

$$\alpha = Aq^n P^m, \tag{1}$$

где  $A$  — коэффициент;  $q$  — удельный тепловой поток;  $P$  — давление. Чтобы получить обобщенную зависимость для расчета коэффициента теплоотдачи при развитом кипении щелочных металлов, необходимо найти выражение для коэффициента  $A$  через основные физические свойства теплоносителей, влияющие на теплообмен при кипении, поскольку значение показателя степени  $n$  может быть принято равным 0,7 или  $2/3$ , а зависимость  $\alpha$  от приведенного давления  $P/P_{кр}$  для термодинамически подобных веществ должна быть одинаковой [5]. В работе [6] отмечается, что по признаку термодинамического подобия такие щелочные металлы, как натрий, калий, рубидий и цезий, относятся к одной группе. Действительно, авторами ранее было показано, что для цезия [1]  $m = 0,4$  при  $P \approx 0,1$  *ата* и  $m = 0,1$  при  $P \approx 0,1 \div 3$  *ата*, а для натрия [2]  $m = 0,4$  при  $P \approx 0,3$  *ата* и  $m = 0,1$  при  $P \approx 0,3 \div 1$  *ата*. По расчетам работы [7], критическое давление для натрия, цезия и калия равно 357, 103 и 169 *ата* соответственно. Таким образом, абсолютным давлениям 0,1 *ата* для цезия и 0,3 *ата* для натрия соответ-



Экспериментальные данные по теплоотдаче при развитом кипении щелочных металлов:

● — натрий; ○ — калий; ● — цезия (данные авторов); × — калий [9];  $K = \frac{\alpha}{q^{2/3} \left[ \frac{\lambda \gamma}{\sigma T^2} \right]^{1/3}}$ ; 1 — по формуле (3); 2 — по формуле (4).