

Приращение теплоемкости за счет термической ионизации определяется так же, как и при диссоциации; в нашем случае $\Delta c_{pu} \approx 6,3 \times 10^{-4}$ кдж/кг·град, что составляет ~4% от рассчитанной величины теплоемкости диссоциирующей смеси идеальных газов.

В целом оценка погрешности показывает, что из-за недостаточности и неточности исходных данных точность полученных результатов оставляет желать лучшего, и для их уточнения нужны обширные экспериментальные работы.

Поступила в Редакцию 27/XII 1962 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. П. Вукалович, В. Н. Зубарев, Л. Р. Фокин. «Теплоэнергетика», № 8, 10 (1962).
2. Л. В. Гурвич и др. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. М., Изд-во АН СССР, 1962.
3. Thermodynamic Properties of the Elements. By D. Stull and G. Sinke. ACS, Washington, 1956.
4. K. Clusius, H. Stern. Z. angew. Phys., 6, 194 (1954).
5. T. Dauphinee, D. Martin, H. Preston-Thomas. Proc. Roy. Soc., A233, 214 (1955).
6. M. Rengade. Compt. rend., 156, 1897 (1913).
7. Ан. Н. Несмеянов. Давление пара химических элементов. М., Изд-во АН СССР, 1961.

8. J. Taylor, I. Langmuir. Phys. Rev., 51, 753 (1937).
9. A. Kröner. Ann. Physik, ser. 4, 40, 438 (1913).
10. M. Hackspill. Ann. Chim. Phys., ser. 8, 28, 613 (1913).
11. G. Herzberg. Molecular spectra and molecular structure. I. Spectra of diatomic molecules. 2-d ed. Toronto — N. Y.—London, 1950.
12. A. Gaydon. Dissociation energies and spectra of diatomic molecules, 2-d ed., London, 1953.
13. F. Loomis, P. Kusch. Phys. Rev., 46, 286 (1934).
14. W. Finkelburg. Phys. Zs., 39, 98 (1938).
15. W. Evans et al. J. Res. Nat. Bur. Standards, 55, 83 (1955).
16. G. Somaya julu. J. Chem. Phys., 33, 1544 (1960).
17. M. Hackspill. Compt. rend., 152, 259 (1911).
18. Eckhardt, Graefe. Z. anorgan. und allgem. Chem., 23, 378 (1900).
19. П. А. Андреев и др. Жидкометаллические теплоносители ядерных реакторов. Л., Судпромгиз, 1959.
20. E. Rink. Compt. rend., 189, 40 (1929); Ann. chim., 48, 435 (1932).
21. S. Cohen. Nucl. Sci. and Engng, 2, 530 (1957).
22. О. А. Тимофеечева и др. «Докл. АН СССР», 143, 618 (1962).
23. М. Ситтиг. Натрий (его производство, свойства и применение). М., Госатомиздат, 1961.
24. С. И. Задумкин. «Изв. АН СССР. Отд. техн. наук. Сер. металлургия и топливо», № 6, 119 (1960).

УДК 621.039.55

Укрупненная радиационно-химическая установка с облучателем из отработавших твэлов ядерного реактора

В. Л. Карнов, А. Х. Брегер, М. Е. Ерошов, В. Е. Дроздов, Г. Н. Лисов, С. Г. Стоенко, Д. М. Торговицкий, Б. И. Вайнштейн, Н. П. Сыркис

Приведены графики для определения зависимости мгновенной и средней мощности γ -излучения осколков в твэлах от режима их работы в ядерном реакторе и радиационно-химической установке, а также графики для определения зависимости от тех же параметров энергии γ -излучения, реализуемой в радиационно-химической установке.

Описана построенная укрупненная установка для осуществления радиационно-химических процессов с облучателями из твэлов (до 100 штук) ядерного реактора. Максимальная активность твэлов в установке в начальный период работы может достигать ~10⁶ з-эвв Ва.

Одним из наиболее перспективных источников γ -излучения для осуществления радиационно-химических процессов в крупных масштабах являются твэлы ядерных реакторов [1].

В последние годы создан ряд установок и разработаны проекты, в которых используется

γ -излучение твэлов различных ядерных реакторов (например, MTR (США), DIDO (Англия), NIFAR (Австралия); EL-3 (Франция), ВВР-Ц (СССР) [2—9]). Большая часть устройств с использованием твэлов — универсальные устройства, рассчитанные на облучение отдельных объектов.

Литературные данные показывают, что до сих пор при использовании твэлов режим работы этих источников γ -излучения выбирался в значительной мере случайно и определялся характером работы (кампанией) ядерного реактора и обычными условиями выдержки отработавших твэлов. В основном использовались старые твэлы, т. е. с выдержкой до шести месяцев после выгрузки их из реактора.

Вопрос о выборе наиболее рационального режима работы твэлов с точки зрения исполь-

зования мощности γ -излучения был поставлен и рассмотрен в работах [10—12]. Однако применение полученных в этих работах результатов ограничено значениями времени работы твэлов в реакторе t_p , равными 40 суткам. Для практических целей в ряде случаев, особенно когда требуется рассчитать мощность γ -излучения твэлов энергетических реакторов, обычно имеющих длительную кампанию, необходимы данные для значительно больших значений t_p . Поэтому на основании результатов работы [13]

нами была рассчитана средняя мощность γ -излучения отработавших твэлов за время их работы в радиационно-химической установке t_y , а также общая энергия γ -излучения, выделяемая в аппарате за это время для значений $0 \leq t_y \leq \leq 400$ суток и 10 суток $\leq t_p \leq 500$ суток при времени транспортировки твэлов из реактора в установку $t_{p,y} = 1$ сутки.

Расчет проводился следующим образом. Были построены графики зависимости мгновенной мощности γ -излучения продуктов деления U^{235} , выраженной в долях от тепловой мощности реактора ϵ , от времени t_p и $t_B = t_y + t_{p,y}$ (сутки) (рис. 1); затем графическим интегрированием кривых рис. 1 в пределах от времени $t_{p,y}$, равного 1 суткам, до t_B были получены значения энергии γ -излучения, выделяемой осколками за время t_y , т. е.

$$\epsilon^{(t_{p,y}=1)} = k \int_1^{t_B} \epsilon(t) dt, \quad (1)$$

где k — коэффициент размерности.

Результаты интегрирования приведены на рис. 2. Здесь по оси ординат — доли от тепловой

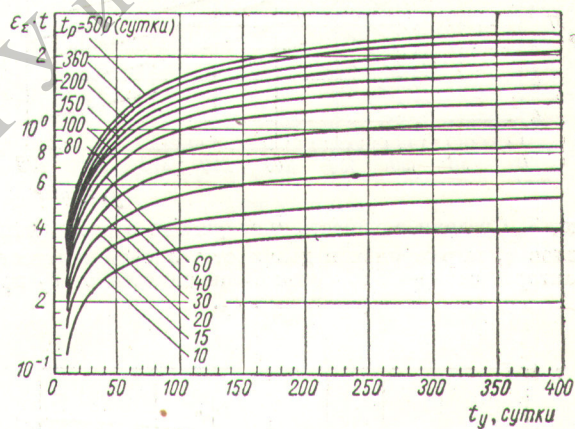
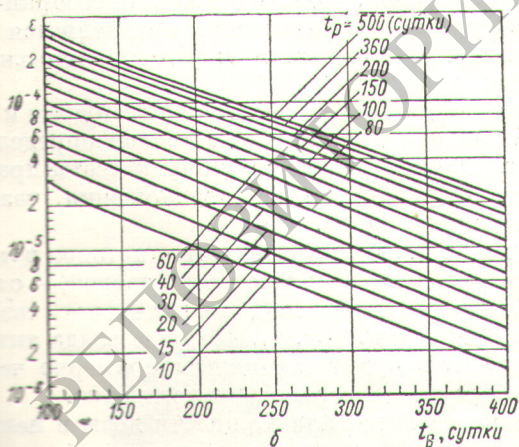
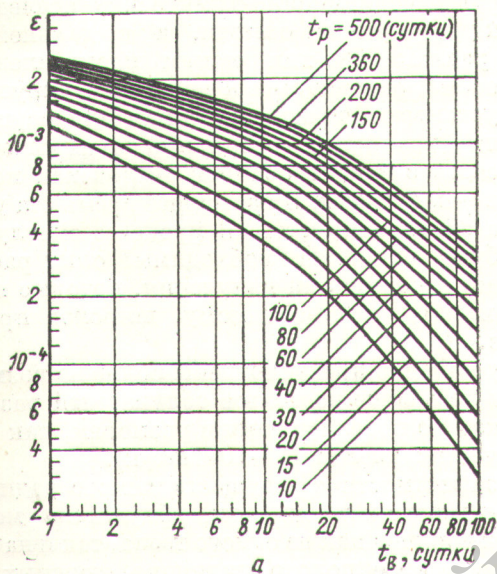


Рис. 2. Энергия γ -излучения отработавших твэлов ϵ_{Σ} , выделяемая за время t_y суток в зависимости от t_y при различных t_p .

мощности реактора, умноженные на время в часах. Чтобы получить ϵ_{Σ} при любом $t_{p,y} = n$ суток, необходимо по графику (см. рис. 2) найти разность числовых значений интегралов:

$$\epsilon_{\Sigma}^{(t_{p,y}=n)} = k \int_1^{t_B} \epsilon(t) dt - k \int_1^n \epsilon(t) dt. \quad (2)$$

Затем определяется средняя мощность γ -излучения твэлов ϵ за время их работы в радиа-

Рис. 1. Мгновенная мощность γ -излучения отработавших твэлов ϵ , выраженная в долях от тепловой мощности реактора, в зависимости от t_B при различных значениях t_p : а — для 1 суток $\leq t_B \leq 100$ суток; б — для 100 суток $\leq t_B \leq \leq 400$ суток.

ционно-химическом аппарате в долях от тепловой мощности реактора:

$$\bar{\epsilon} = \frac{1}{t_y} \int_{t_{p,y}}^{t_B} \epsilon(t) dt. \quad (3)$$

На рис. 3 приведены кривые зависимости $\bar{\epsilon}$ от t_y и t_p при $t_{p,y} = 1$ сутки. Определить $\bar{\epsilon}$ при любом $t_{p,y} = n$ суток можно с помощью формулы

$$\bar{\epsilon}(t_{p,y}=n) = \frac{\epsilon_{\Sigma}^{(t_{p,y}=n)}}{24 \cdot t_y}, \quad (4)$$

где t_y выражено в сутках.

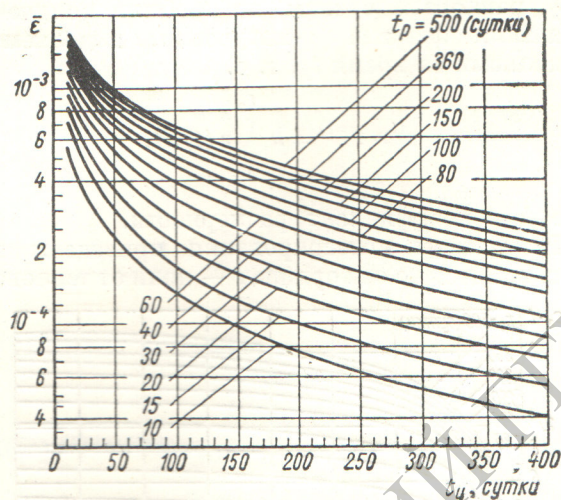


Рис. 3. Средняя мощность γ -излучения отработавших твэлов $\bar{\epsilon}$, выраженная в долях от тепловой мощности реактора, за время t_y суток в зависимости от t_y при различных t_p .

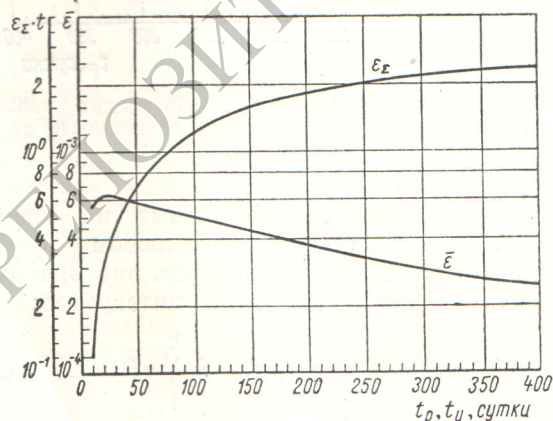


Рис. 4. Энергия и средняя мощность γ -излучения отработавших твэлов в зависимости от t_p и t_y (при $t_p = t_y$).

На рис. 4 показана зависимость ϵ_{Σ} и $\bar{\epsilon}$ от t_y и t_p для $t_y = t_p$ и $t_{p,y} = 1$ сутки, т. е. когда на радиационно-химическую установку поступают твэлы по окончании кампании реактора, причем они используются в аппарате до окончания следующей кампании.

Назначение и физические параметры установки

Учитывая необходимость перехода от лабораторных радиационно-химических исследований к укрупненным опытам, а в дальнейшем и к радиационно-химическим промышленным процессам, разработана и построена укрупненная установка, предназначенная для осуществления различных радиационно-химических процессов с использованием твэлов как источников γ -излучения. В настоящее время эта установка эксплуатируется. В процессе эксплуатации будет накоплен необходимый опыт работы с этими источниками излучения, которые в будущем найдут, по-видимому, широкое применение.

В установке предусмотрены большие возможности по сборке из твэлов облучателей различных как по конфигурации и размерам, так и по количеству твэлов (1—100 штук).

В зависимости от осуществляемого радиационно-химического процесса облучатель может быть выполнен как из одного твэла, так и набора твэлов в виде полого цилиндра, соосных цилиндров, параллельных плоскостей и т. д. Количество твэлов, необходимое для сборки соответствующего облучателя, определяется их активностью и конкретным радиационно-химическим процессом.

Для получения большей мощности дозы в облучателе при данном числе твэлов определенной активности в конструкции кассеты предусмотрена возможность расположения твэлов в несколько рядов.

Существенное обстоятельство, которое нужно учитывать при использовании твэлов, — относительно быстрый спад γ -активности твэлов со временем (см. рис. 1). По мере спада активности твэлы будут заменяться примерно через 100—200 дней их работы в установке.

Результаты расчета мощности дозы в центре полого цилиндрического облучателя для выбранных $t_p = 60$ суток и $t_y = 5 \div 200$ суток при тепловой мощности $W = 300 \text{ кетт}$ на один твэл приведены на рис. 5. Из графиков следует, что мощность дозы при изменении t_y от 5 до 200 суток уменьшится при внутреннем диамет-

ре облучателя $D_B = 12$ см от 2000 до 65 $p/сек$, а при $D_B = 70$ см от 1500 до 50 $p/сек$.

На первом этапе в установке используются твэлы с выдержкой 60 суток и общей активностью 270 000 $г-экв$ Ra. Это дает возможность реализовать в центре цилиндрического облучателя

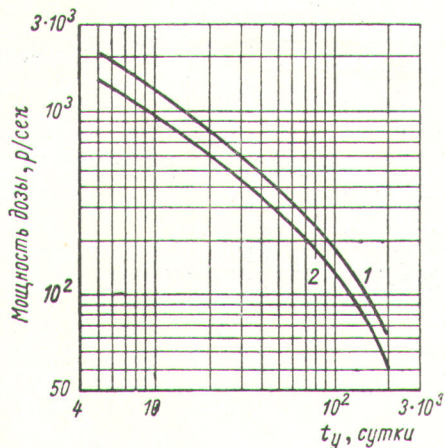


Рис. 5. Мощность дозы в центре цилиндрического облучателя, собранного из n твэлов, в зависимости от t_y :
1 — $D_B = 12$ см, $n = 40$; 2 — $D_B = 70$ см, $n = 100$.

мощности доз до 200 $p/сек$ при диаметре 70 см и до 800 $p/сек$ при диаметре 12 см.

Одновременно можно осуществлять некоторые радиационно-химические процессы и во внешней области облучателей. Габариты камеры позволяют располагать отдельные объекты на расстоянии до 3 м от центра облучателя. Уста-

новка рассчитана на использование отработавших твэлов различных реакторов.

Здание установки (рис. 6)

Основные части установки показаны на рис. 7. Конструкция установки позволяет проводить облучение тремя способами:

1) в облучателе (внутри и снаружи), поднятом в камеру облучения над баком-хранилищем;

2) внутри облучателя, находящегося в хранилище под слоем воды;

3) внутри облучателя, находящегося в хранилище, когда вода из него удалена.

Рабочая камера размерами $5 \times 6 \times 5,2$ м оснащена кран-балкой грузоподъемностью 3 т, манипулятором, смотровым окном и телевизионной установкой. Вход в камеру лабиринтный с дверью, оснащенной защитной блокировкой. Рабочая камера связана коммуникационными и экспериментальными каналами как с пультом управления, так и с лабораторными помещениями установки.

Водное хранилище представляет собой бак из стали 1X18H9T размерами $1,5 \times 1,5 \times 6,75$ м, в котором помещен бак-облучатель с трубчатыми гнездами для твэлов. Емкость хранилища 15 $м^3$. В баке-облучателе можно разместить до 100 твэлов с суммарной активностью, которая может достигать $\sim 10^6$ $г-экв$ Ra. Шаг трубчатых ячеек подобран из условия подкритичности, исключающей возникновение цепной реакции. Вдоль одной из стен бака-хранилища закреплены направляющие пере-

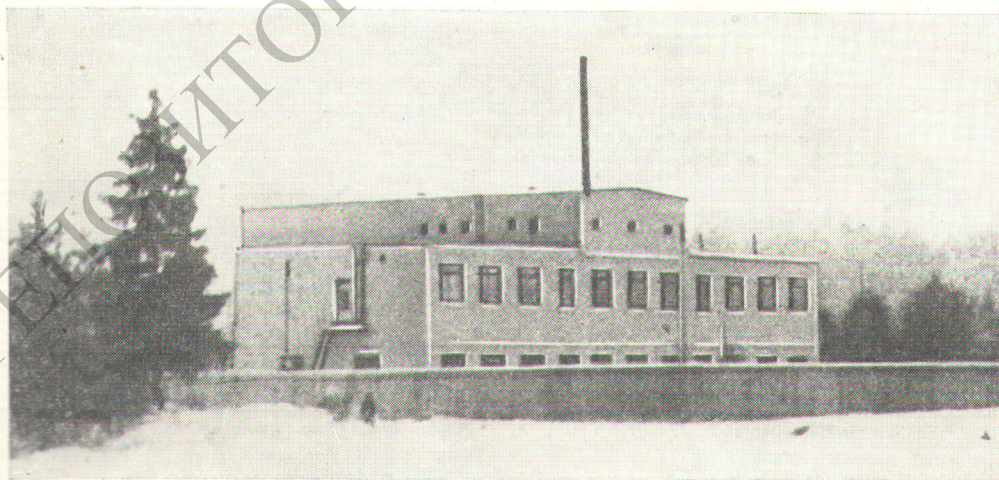


Рис. 6. Общий вид здания установки.

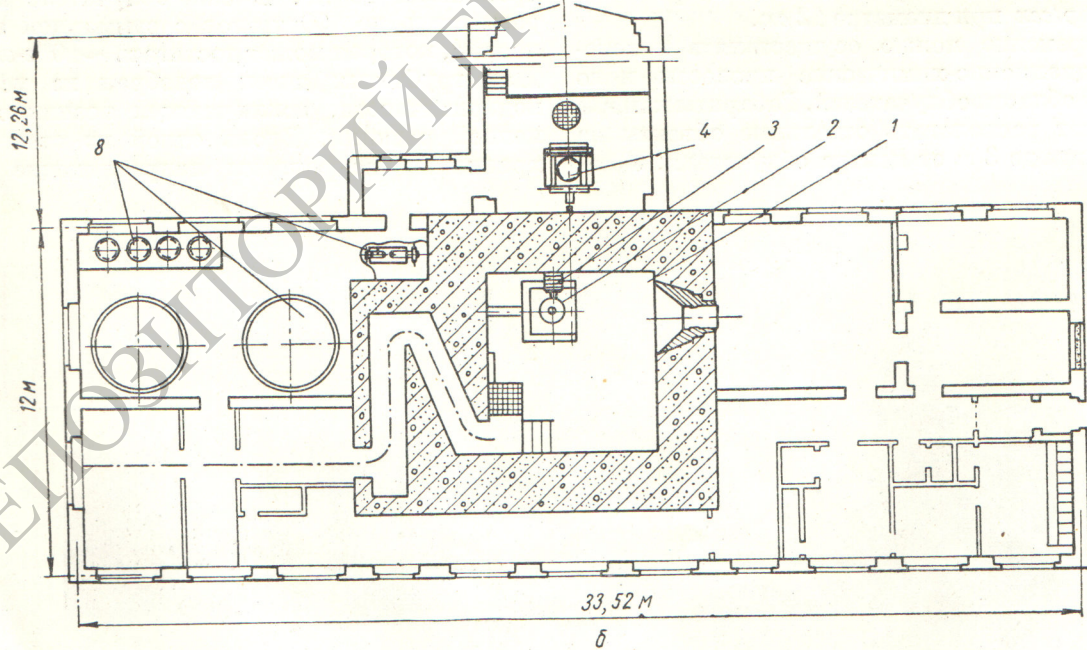
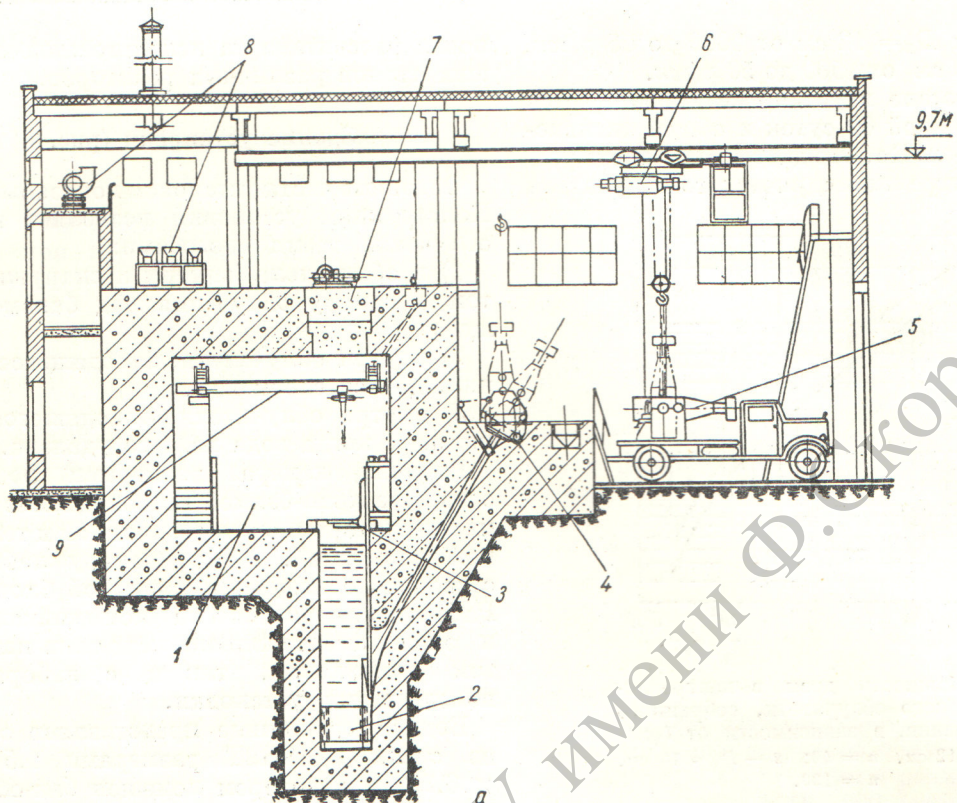


Рис. 7. Вертикальный (а) и горизонтальный (б) разрезы установки:

1 — рабочая камера со стенками из обычного бетона толщиной 200 см; 2 — водное хранилище-колодец с гнездами для установки твэлов; 3 — механизм перемещения рабочей каретки, к которой крепится собранный облучатель; 4 — поворотное загрузочное устройство; 5 — контейнер твэлов; 6 — тележка; 7 — съемная защитная пробка; 8 — вентиляционное оборудование; 9 — кран-балка.

движной каретки, позволяющей перемещать собранный на ней облучатель с твэлами в рабочую камеру и обратно. Механизм перемещения каретки обеспечивает как подачу облучателя (закрепленного на плите каретки) из хранилища в камеру облучения и обратно, так и подачу исследуемого объекта к баку-облучателю при подводном способе облучения. Управляется механизм перемещения дистанционно, его грузоподъемность 1,5 т.

Поворотное загрузочное устройство предназначено для совмещения канала контейнера с наклонным загрузочным каналом бака-хранилища. Твэлы в специальных контейнерах доставляются к установке автотранспортом; с помощью крановой тележки грузоподъемностью 10 т контейнер подается к поворотному загрузочному механизму. Перед опусканием твэла в загрузочный канал хранилища проверяется герметичность или поверхностное загрязнение твэла с помощью анализа пробы воды, взятой из контейнера. Исправные твэлы опускаются лебедкой контейнера в бак-хранилище под защитный слой воды. С помощью ручной штанги производится как подводная загрузка трубчатых ячеек бака-облучателя, так и подводная загрузка твэлами облучателя, собранного на каретке.

Предусмотрена возможность быстрой замены воды в колодце, а также прокачки ее по следующим схемам: 1) бак — фильтр — бак; 2) бак — фильтр — сток; 3) бак — фильтр — запасная емкость.

Для обеспечения безопасности условий работы в установке предусмотрено следующее:

1) размещение во всех помещениях контрольной и сигнальной аппаратуры, связанной с блокировочными устройствами, благодаря чему невозможно открыть дверь лабиринта в рабочую камеру, когда доза в ней больше допустимой или когда не работает вентиляция;

2) разделение помещений на чистую и условно чистую зоны; персонал проходит из одной зоны в другую через саншлюз и санпропускник;

3) две приточные и две вытяжные вентиляционные системы с очисткой подаваемого и выбрасываемого воздуха фильтрами;

4) отсосы воздуха над зеркалом воды в бак-хранилище, что предотвращает загрязнение воздуха в камере активными аэрозолями;

5) дистанционное управление механизмами подъема облучателей и кран-балкой в камере облучения;

6) использование твэлов, помещенных в ам-

пулы, и проверка герметичности и поверхностной чистоты ампул;

7) сбор всех специальных стоков в могильник-отстойник.

Вспомогательные помещения установки удовлетворяют санитарно-техническим требованиям и обеспечивают широкие возможности для экспериментов.

Здание установки в плане имеет Т-образную форму (см. рис. 7,б). Стены здания кирпичные, самонесущие на ленточных бетонных фундаментах. Перекрытия выполнены из многопустотных плит. Глубина колодца-хранилища, определенная условиями безопасности работы персонала, составляет от отметки пола рабочей камеры 7,7 м. Стены камеры выполнены из монолитного железобетона ($\gamma = 2,2 \text{ т/м}^3$). Толщина стен 2 м. Применение тяжелого бетона в данном случае оказалось нецелесообразным, так как при его использовании объем камеры уменьшается незначительно, а стоимость работ непропорционально возрастает.

Перекрытие камеры имеет ремонтный проем, закрывающийся составной пробкой общим весом 9 т. Строительство здания в связи с необходимостью иметь глубокий колодец потребовало специальной организации работ. Колодец-хранилище строился опускным способом. Особые требования были предъявлены к гидроизоляции подземной части установки.

В комплекс сооружений установки входит бак-отстойник (на 150 м³) со специальным узлом переключений трубопроводов, помещенным в рядом стоящей и заглубленной в землю до отметки пола бака-отстойника башне. Здание установки окружено санитарно-защитной зоной.

Общие характеристики здания:

Общий объем здания	4450 м ³
Площадь застройки	360 м ²
Объем земляных работ	5700 м ³
Объем бетонных и железобетонных работ	1200 м ³
Количество удаляемого воздуха	8900 м ³ /ч
Поверхность отопительных приборов	240 м ²
Потребляемая электрическая мощность	до 200 квт

К зданию подведена автомобильная дорога, рассчитанная на грузоподъемность транспорта до 20 т.

Транспортировка твэлов

Перед транспортировкой твэлы заключаются в специальные ампулы-оболочки. Это позволяет резко снизить загрязнение водного хранилища установки. Помещение твэлов в ампулы производится дистанционно, за защитой и может быть «сухим» или «мокрым» в зависимости от того,

где эта операция осуществляется: в «горячей» камере или водном бассейне.

Ампула представляет собой цилиндрический сосуд с завинчивающейся крышкой со специальным уплотнением из металлической и резиновых прокладок.

Ампулы с твэлами устанавливаются в контейнер в защитном гнезде над водным бассейном или в «горячей» камере. С помощью смонтированной на контейнере лебедки твэл в ампуле втягивается в контейнер. Конструкция контейнера предусматривает его герметизацию и заполнение внутренней полости водой. Контейнер перевозится на специально оборудованной автомашине. Во время транспортировки твэлов отвод тепла осуществляется через слой воды между ампулой и внутренней стенкой контейнера.

В здании установки контейнер с помощью крановой тележки снимается с автомашины и устанавливается в устройство, позволяющее совместить ось контейнера с осью наклонного загрузочного канала колодца-хранилища. После промывок с помощью циркуляционного контура с насосом, смонтированного на контейнере, когда достигнута максимально возможная чистота поверхности ампулы, она опускается по каналу в хранилище. Затем под защитным слоем воды ампула отделяется от держателя опускного троса и переставляется из загрузочного люка в гнездо кассеты хранилища.

Опыт проектирования, строительства и эксплуатации укрупненной установки может быть

использован при проектировании и строительстве других подобных сооружений.

Авторы считают своим долгом отметить участие в создании установки П. П. Моисеевского, Л. М. Дунаева, Л. М. Суроегина, Ю. Г. Савина и И. Г. Абрамова.

Поступила в Редакцию 11/1 1963

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Х. Брегер. «Хим. пром-сть», № 6, 12 (1959).
2. Nucleonics, 15, No. 7, 108; No. 8, 102; No. 11, 17 (1957).
3. J. Martens, F. Minuth. Selected Zist of Neutron and γ -irradiation Facilities in operation being built or planned. Washington, Govt. Printing Office, 1957.
4. H. Stockman et al. Nucleonics, 15, 94 (1957).
5. S. Jefferson, G. Murray, F. Rogers. Large Radiation Sources in Industry. Vol. I. Conference Proceedings. Warsaw, 8—12 September 1959. International Atomic Energy Agency, Vienna, 1960.
6. P. Leveque. Там же, 141.
7. D. George, J. Gregory. Там же, 95.
8. Б. И. Вайнштейн, А. Х. Брегер, Н. П. Сыркус. «Хим. пром-сть», № 7, 6 (1959).
9. А. Х. Брегер и др. «Каучук и резина», № 4, 17 (1960).
10. А. Х. Брегер. Радиоактивные изотопы и ядерные излучения в народном хозяйстве СССР. Т. I, М., Гостоптехиздат, 1961, стр. 169.
11. Ю. С. Рябухин, А. Х. Брегер. «Атомная энергия», 5, 533 (1958).
12. А. Х. Брегер, Ю. С. Рябухин, Ф. А. Махлис. «Докл. АН СССР», 136, 671 (1961).
13. E. Crauch. AERA C/M 324. Harwell, July, 1957.



УДК 543.53:546.65

Радиохимическое исследование выходов элементов редкоземельной группы при фотоделении U^{238}

К. А. Петряк, Р. В. Седлецкий

С использованием радиохимических методов выделения осколков без носителя и метода изотопного разведения (вариант «активное—активным») изучались элементы редкоземельной группы и другие осколки фотоделения U^{238} при максимальной энергии тормозного излучения 14 Мэв. Определена зависимость выхода продуктов деления от массового числа.

Введение

Изучение распределения осколков по массам при делении тяжелых ядер дает ценную информацию как о свойствах самого процесса

деления, так и о влиянии на него массы и заряда делящегося ядра и его энергии возбуждения. Фотоделение при низких энергиях возбуждения выгодно отличается от других видов деления тем, что поглощение γ -кванта не приводит к изменению заряда и массы исследуемого ядра. Полученные к настоящему времени результаты показывают, что при фотоделении элементов тяжелее тория при низких энергиях возбуждения образуются две группы осколков — легкая и тяжелая [1]. В случае асимметричного деле-