

Рис. 3. Оптико-микроскопическая фотография поверхности утолщенного участка утоненного образца никеля, облученного ионами гелия с энергией 20 кэВ дозой  $8 \cdot 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup> при 400 °С ( $\times 1350$ ). Вакансионная пористость при исследовании утоненных участков этого образца на электронном микроскопе отсутствует

ких атомных процентов не влияет на величину распухания.

В соответствии с этим были выбраны предельные условия опытов, когда пробег иона был порядка обычной толщины  $\sim 1500$  Å исследуемых участков заранее утоненных образцов, которые после облучения просматривались на электронном микроскопе. Тем не менее электронно-микроскопические фотографии образцов никеля, облученных при 500 °С ионами гелия

с энергией 20 кэВ дозой  $8 \cdot 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup> (рис. 2а) и ионами углерода с энергией 80 кэВ дозой  $2 \cdot 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup> (рис. 2, б), дают в целом сходную картину, характерную для вакансионной пористости. При указанной дозе облучения гелием использование толстых (по сравнению с длиной пробега) образцов вообще недопустимо, так как в этом случае происходит интенсивный блистеринг (рис. 3). Характерно, что для вакансионной пористости температура 400 °С оказалась критической: среднее распухание было весьма незначительным ( $\sim 0,5\%$ ), причем на некоторых образцах вакансионная пористость вообще отсутствовала, хотя на всех толстых участках всех образцов наблюдалась практически одинаковый, интенсивный блистеринг.

В заключение авторы считают приятным долгом поблагодарить Г. Г. Гунина, Л. А. Жданову, Ю. В. Коровина и Л. П. Наумова, оказавших большую помощь при изготовлении, облучении и исследовании образцов и обработке результатов измерений.

Поступило в Редакцию 11/Х 1976 г.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кротов В. И., Лебедев С. Я., Панин С. Д. Препринт ФЭИ-652, 1976.
2. Лебедев С. Я., Панин С. Д., Руднев С. И. «Атомная энергия», 1975, т. 38, вып. 6, с. 426.
3. Кротов В. И., Лебедев С. Я., Быков В. Н. «Атомная энергия», 1974, т. 37, вып. 4, с. 343.
4. Лебедев С. Я. и др. «Приборы и техника эксперимента», 1968, № 4, с. 225.

УДК 621.039.526

## Опыты по тушению больших количеств горящего натрия

ВЫЛОВОМ В. В., ИВАНЕНКО В. Н., ИВАНОВ Б. Г., КАРПОВ А. В., КИРИЧЕНКО В. Н., КОЗЛОВ В. И., КРУТОВ В. А., МИХЕДОВ В. Г.

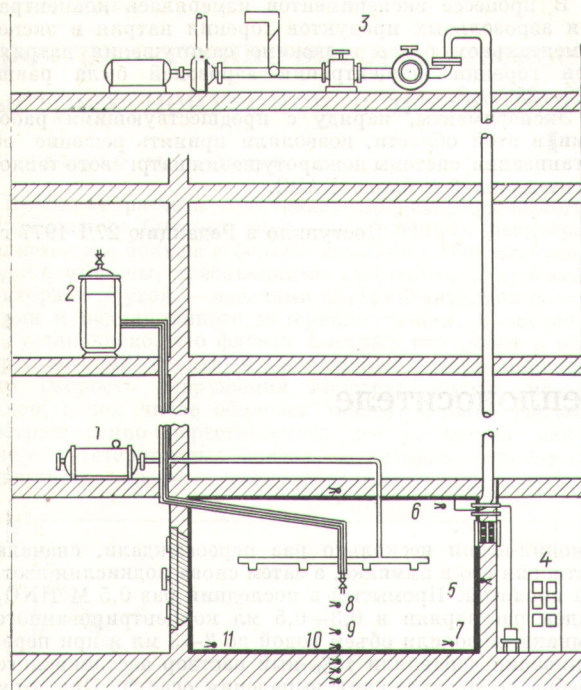
При проектировании быстрых натриевых реакторов с петлевой и интегральной компоновкой первого контура ведутся поиски наиболее эффективных способов противопожарной защиты. С этой целью на Белоярской АЭС (БАЭС) были проведены крупномасштабные эксперименты. Их проводили на стенде, сооруженном в одном из помещений 3-го блока, которое предназначалось для размещения узла вспомогательной системы с натриевым радиоактивным теплоносителем (рис. 1). Тем самым условия эксперимента приближались к условиям возможной аварии.

Помещение представляло собой бетонный бокс объемом  $\sim 100$  м<sup>3</sup> с площадью пола  $\sim 25$  м<sup>2</sup>. Пол помещения и стены на высоту 0,3 м были облицованы нержавеющей сталью толщиной 3 мм. Между облицовкой и бетоном не было специальной теплоизоляции. Во время проведения опытов штатного технологического оборудования в боксе не было. Вентиляция помещения проводилась временной системой вытяжной вентиляции. Воздух подавался либо через неплотности трубных проходов в стенах, либо через открытую дверь помещения. На тракте вытяжной вентиляции были смонтированы аэрозольный фильтр и шибер для регулирования расхода воздуха. Имелись устройства, позволявшие подавать в бокс расплавленный натрий, а также жидкий или газообразный азот.

Стенд был оборудован следующей контрольно-измерительной аппаратурой (см. рис. 1): а) термопарами для измерения температуры: воздуха в боксе (на высоте 0,7 и 1,8 м от пола над центром пола помещения) и на входе в трубопровод вытяжной вентиляции; натрия в различных точках пола; бетона стен и потолка на глубине 30 мм; бетона пола на глубине 20, 50, 100 мм; воздуха на входе и выходе из фильтра; б) водяным дифманометром для измерения давления в боксе; в) газоанализатором для измерения концентрации кислорода в боксе; г) расходомером для измерения расхода воздуха вытяжной вентиляции.

Эксперимент проводился так. При включенной вытяжной вентиляции и при открытой двери бокса (т. е. при полном расходе воздуха по системе) натрий в количестве 700—800 кг, предварительно разогретый до 400—550 °С, выливался на металлический пол бокса. Во всех опытах время выливания натрия составляло  $\sim 2$  мин. После загорания всей поверхности натрия дверь закрывалась, вследствие чего расход воздуха резко снижался, что имитировало изменение режима работы вентиляции при аварии. Далее исследовались процесс горения натрия и его тушение.

Были испробованы различные способы пожаротушения. Несколько опытов было посвящено проверке тушения натрия жидким азотом, который выливался



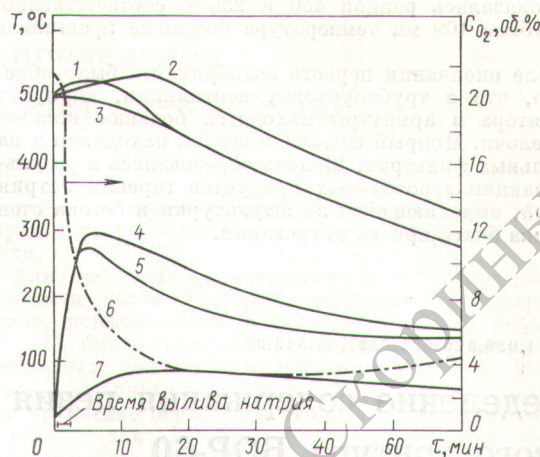
Р и с. 1. Схема установки для проведения экспериментов:

1 — бак с жидким азотом; 2 — установка для разогрева натрия в емкостях; 3 — вентиляционная установка; 4 — помещение контрольно-измерительной аппаратуры; 5 — экспериментальный бокс; 6—11 — термопары

непосредственно на горящий натрий. При отключенном вентиляторе и закрытой двери бокса, но открытых шибах на тракте вытяжной вентиляции на пол бокса было вылито натрия примерно 1000 л при температуре 405 °С. Натрий разлился по всей площади пола и загорелся. При этом в боксе повысилось давление, вследствие чего через неплотности в соседние помещения стали выходить аэрозольные продукты горения. Вскоре давление упало и интенсивный выход дыма в соседние помещения прекратился.

При максимальной температуре натрия 475 °С и воздуха 240 °С в бокс был подан жидкий азот. Контакт жидкого азота с горящим натрием привел к интенсивному испарению азота, в результате чего давление в боксе поднялось до 240 мм вод. ст. (по показаниям дифманометра). Это привело к интенсивному выходу аэрозолей в соседние помещения. Давление в боксе держалось выше атмосферного в течение 3—4 мин. Жидкий азот подавался в количестве 1,5—1,6 кг/с в течение 3 мин. Горение натрия прекратилось через 2 мин после начала подачи жидкого азота. По окончании подачи жидкого азота в бокс для поддержания огнегасительной концентрации кислорода подавался газообразный азот (расход 0,15—0,2 кг/с) до тех пор, пока температура натрия не понизилась до +50 °С (~4 ч).

В остальных экспериментах с жидким азотом наблюдалась аналогичная картина, в том числе и в опытах с включенной вентиляцией. В момент подачи на очаг горения жидкого азота давление в боксе резко возросло, что приводило к выбросу аэрозольных продуктов горения натрия из бокса в соседние помещения.



Р и с. 2. Самогашение натрия вследствие выгорания кислорода:

1, 3 — температура натрия на расстоянии 0,5 м от стенки (слева и справа, соответственно); 2 — температура натрия в центре поля бокса; 4, 5 — температура воздуха на высоте 0,7 и 1,8 м от центра пола бокса; 6 — концентрация кислорода; 7 — температура воздуха на входе в трубопровод вытяжной вентиляции

В связи с недопустимостью попадания аэрозолей натрия, особенно радиоактивного, в обслуживаемые помещения, способ пожаротушения натрия с помощью жидкого азота оказался неприемлемым.

Опыт по тушению горящего натрия газообразным азотом проводился так. Натрий при температуре 400 °С в количестве ~1000 л был вылит в бокс. При максимальной температуре натрия 480 °С в бокс был подан жидкий азот с расходом 0,2 кг/с. При таком расходе азот испарялся во время движения по трубопроводу и поступал в бокс в виде газа.

Перед проведением эксперимента бокс был герметизирован, вентиляция включена. Герметизация характеризовалась следующими параметрами: при создаваемом вытяжной вентиляцией разрежении в боксе 50 мм вод. ст. подсос воздуха в бокс был равен 100 м<sup>3</sup>/ч. Примерно через 5 мин после подачи азота концентрация кислорода в боксе достигла 4,5 об. % и горение натрия прекратилось. В ходе эксперимента давление в боксе не превышало атмосферного и выброса аэрозолей в соседние помещения не происходило.

При такой же степени герметизации бокса исследовалось горение натрия без применения каких-либо огнегасительных средств (рис. 2). Натрий выливался при температуре 495 °С. Работала вентиляция бокса с расходом приблизительно равным 100 м<sup>3</sup>/ч. Через 10—12 мин после начала горения концентрация кислорода в боксе стала менее 5 об. % и горение натрия прекратилось. В дальнейшем за счет подсосов воздуха концентрация кислорода стала медленно увеличиваться, однако через 1 ч после начала горения она оставалась все еще ниже 5 об. %. Температура натрия и воздуха достигала максимальных значений приблизительно через 5 мин после начала горения.

В ходе экспериментов исследовались некоторые эффекты горения. В частности, была измерена температура в бетоне при пожаре. Температура бетона пола бокса на глубине 20 и 50 мм приблизительно через 1 ч после начала свободного горения натрия без подачи

азота оказалась равной 450 и 230 °С соответственно. На глубине 100 мм температура бетона не превышала 100 °С.

После окончания первого эксперимента было обнаружено, что в трубопроводах вентиляции, корпусах вентилятора и арматуры находится большое количество щелочи. Мокрый щелочной осадок находился и на аэрозольных фильтрах. Щелочь образовалась в результате реакции аэрозольных продуктов горения натрия с влагой, выделяющейся из штукатурки и бетона стен и потолка бокса при их нагревании.

В процессе экспериментов измерялась концентрация аэрозольных продуктов горения натрия в экспериментальном боксе в режиме самотушения натрия. При горении концентрация аэрозолей была равна ~20—25 г/м<sup>3</sup>.

Эксперименты, наряду с предшествующими работами в этой области, позволили принять решение об организации системы пожаротушения натриевого теплоносителя на 3-м блоке БАЭС.

Поступило в Редакцию 27/I 1977 г.

УДК 621.039.526:621.039.534:546.32

## Определение содержания цезия в теплоносителе первого контура БОР-60

ПОЗНЯК Г. И., ПРИВАЛОВА П. А., ТИМОФЕЕВ Г. А.

Одним из перспективных направлений развития ядерной энергетики считается разработка быстрых реакторов с натриевым теплоносителем. Допускается возможность эксплуатации их с 0,4% негерметичных твэлов [1]. При разгерметизации твэлов теплоноситель загрязняется радиоактивными продуктами деления. Для уменьшения облучения персонала во время ремонтных и планово-предупредительных работ необходима разработка системы очистки теплоносителя от продуктов деления и в первую очередь от <sup>137</sup>Ba и <sup>137</sup>Cs, которые после распада <sup>24</sup>Na вносят основной вклад в  $\gamma$ -излучение теплоносителя. Необходимо при проектировании системы очистки учитывать общее (массовое) содержание изотопов цезия в теплоносителе.

В настоящей работе приведены результаты определения концентрации цезия в теплоносителе первого контура реактора БОР-60. Концентрацию цезия рассчитывали по экспериментальным данным об удельной активности <sup>137</sup>Cs в теплоносителе, полученном беспроботборным методом [2], и по измерениям изотопного состава цезия. Основная трудность заключалась в получении бессолевого препарата цезия, пригодного для количественного масс-спектрального анализа. После предварительной проработки была принята следующая методика выделения и очистки цезия\*.

Около 300 г натрия растворяли в этиловом спирте, добавляли азотную кислоту до 4M и вводили 50 мг фосфоромолибдата аммония. Выдерживали при постоянном перемешивании 6 ч, осадок отделяли и промывали 0,5M HNO<sub>3</sub>. Полученный фосфоромолибдат

аммония-цезия несколько раз пересаждали, сначала растворяя его в аммиаке, а затем снова подкисляя азотной кислотой. Промытый в последний раз 0,5 M HNO<sub>3</sub> осадок растворяли в 0,3—0,5 мл концентрированного аммиака, доводили объем водой до 2—3 мл и при перемешивании добавляли 10%-ный раствор азотнокислого серебра до прекращения выпадения осадка. При этом осаждались фосфаты и молибдаты серебра, которые отделяли центрифугированием и отбрасывали. Избыток серебра осаждали в виде хлорида действием соляной кислоты. Многократным упариванием с азотной кислотой удаляли ионы хлора, затем прокачивали аммонийные соли до полного их удаления (на дне стакана исчезал видимый осадок). Цезий переводили в раствор обработкой его 2 M HNO<sub>3</sub> и упаривали до объема 1—2 капель.

Эта методика позволила получить бессолевого препарат нитрата цезия, удовлетворяющий требованиям, предъявляемым к чистоте препаратов для масс-спектрального анализа. На приборе МИ-1311 был определен изотопный состав цезия, %: <sup>133</sup>Cs 40,0 ± 0,4; <sup>135</sup>Cs 32,0 ± 0,3 и <sup>137</sup>Cs 28,0 ± 0,3.

Активность <sup>137</sup>Cs в теплоносителе (2,0 ± 0,2) × 10<sup>-2</sup> Ки/кг. Содержание цезия в натрии, рассчитанное на основании наших экспериментальных данных, оказалось равным (8,2 ± 1,0) · 10<sup>-5</sup> мас. %.

Поступило в Редакцию 15/II 1977 г.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. General Recommendation Specialists Meeting on Fission and Corrosion Products Behaviour in Primary Circuits of LMBR' s. Dimitrovgrad, 5—11 Sept. 1975, p. 1.
2. Поляков В. И., Четочкин Ю. В. «Атомная энергия», 1976, т. 31, вып. 2, с. 139.

\* В данной методике для анализа применялись реактивы марок х. ч. или ос. ч.