

ТКР по температуре топливной соли и положительный ТКР по температуре замедлителя. Причем последний действует с запаздыванием, обусловленным постоянной времени разогрева замедлителя.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блинкин В. Л., Новиков В. М. Жидкосольевые ядерные реакторы. М., Атомиздат, 1978.

2. Фейнберг С. М., Шихов С. Б., Троянский В. Б. Теория ядерных реакторов. Т. 1. Элементарная теория реакторов. М., Атомиздат, 1978.
3. Марчук Г. И. Методы расчета ядерных реакторов. М., Атомиздат, 1961.

Поступило в Редакцию 06.04.81

УДК 539.1.074.3

## Сцинтилляционные блоки детектирования для ядерно-физических исследований в глубоких скважинах

АРМ Е. М., ЛЕЙТЕЙЗЕН Л. Г., МЕЛЬНИКОВА К. М., ПЯТАХИН В. И., СМОЛИЦКИЙ В. А.

При создании информационно-измерительных систем для ядерно-физических исследований в глубоких скважинах одной из основных проблем является обеспечение работоспособности скважинных приборов в широком диапазоне температуры. Важными остаются требования получения максимальной чувствительности блока детектирования.

Разработанные к настоящему времени скважинные приборы для регистрации  $\gamma$ -излучения со сцинтилляционными блоками детектирования ДРСТ-3, СЭГ-С-ТК [1] работоспособны до температуры 150°С. При увеличении глубины исследуемых скважин необходимы приборы с блоками детектирования, работоспособными до температуры 200—250°С. Одним из возможных путей решения этой задачи является термостатирование. Однако применение сосудов Дьюара неизбежно приводит к усложнению конструкции скважинного прибора, сокращению полезных размеров детектора, а следовательно, и к уменьшению его чувствительности. Поэтому путь прямого повышения термоустойчивости сцинтилляционного блока детектирования актуален.

Сцинтилляционные монокристаллы NaI(Tl) при надежной их герметизации работоспособны до температуры 200—250°С [2]. Для обеспечения работы всего блока детектирования при этой температуре был создан фотоумножитель с достаточной термоустойчивостью (до 200°С); ФЭУ имеет диаметр фотокатода 40 мм, максимальный диаметр 52 мм, линейную ковшеобразную умножительную систему и SiBe-диоды. Для повышения термоустойчивости фотоумножителя слюда заменяется на фотоситалловые изоляторы и применяются безмасляные высоковакуумные средства очистки деталей и узлов, а также усовершенствуются режимы активирования эффективных поверхностей. Средняя чувствительность SbKNa фотокатода 50 мкА/лм, средний темновой ток при световой анодной чувствительности 100 А/лм составляет  $\sim 1,5$  нА. Нестабильность при выходном токе 1 мкА не превышает 4%.

Для оценки работоспособности фотоумножителя в режиме плато счетной характеристики блока детектирования при регистрации интегральных спектров  $\gamma$ -излучения необходимы сведения об изменениях амплитуды выходного импульса и энергетического эквивалента шумов в рабочем диапазоне температуры. При использовании фотоумножителя в блоке детектирования для регистрации дифференциальных спектров главным критерий — изменение собственного амплитудного разрешения. Результаты исследований этих параметров разработанных образцов фотоумножителей показали, что энергетический эквивалент собственных шумов  $E_{\phi}$  на уровне 2—3 имп./с составляет в среднем 1,23 и 51 кэВ при 20, 180 и 200°С соответственно. При этом энергия вспышки, по которой проводилась калибровка амплитуды выходного импульса фотоумножителя, оставалась неизменной. Если учесть, что световой выход детектора NaI(Tl) уменьшается при увеличе-

нии температуры, то энергетический эквивалент шумов блока детектирования  $E_{\phi}$ , включающего детектор и фотоумножитель, составит 35 и 100 кэВ для температуры 150 и 200°С соответственно\*. Собственное амплитудное разрешение при энергии вспышки, эквивалентной энергии излучения детектора NaI(Tl) при облучении  $\gamma$ -квантами  $^{137}\text{Cs}$ , составило в среднем 5; 6,7 и 8,7% при 20, 180 и 200°С. Амплитуда импульса уменьшалась (в среднем 50%) при изменении температуры от 20 до 200°С (рис. 1).

В работе [3] отмечается, что «при увеличении температуры происходит снижение чувствительности фотокатода и эффективности сцинтилляций кристалла. Термоэмиссия фотокатода возрастает до тех пор, пока при температуре  $\sim 200^{\circ}\text{C}$  полезный сигнал ( $E_{\gamma} = 661$  кэВ) не теряется в фоновом термическом шуме». Это означает, что энергетический эквивалент шумов блока детектирования с таким фотоумножителем составит при 200°С  $E_{\phi} = 600 \div 700$  кэВ. Энергетический эквивалент фотоумножителя, измеренный с вспышкой неизменной энергии, составит  $E_{\phi} = 300 \div 350$  кэВ при 200°С. Для получения плато  $\sim 100$  В в счетной характеристике сцинтилляционного блока детектирования при 200°С  $E_{\phi}$  не должен превышать 30—40 кэВ. Чтобы решить такую задачу, необходим отбор фотоумножителей по этому параметру. Для работы в режиме плато счетной характеристики отбирались фотоумножители с  $E_{\phi} < 40$  кэВ при 200°С. Этому условию удовлетворяло  $\sim 40\%$  из 75 изготовленных фотоумножителей. Для исследования работоспособности фотоумножителей при циклическом воздействии повышенной температуры измеряли фототок в пределах каждого цикла при температуре 20, 180 и 160°С. Один цикл включал нагрев до 180°С, выдержку при 180°С в течение 2 ч, выдержку при 160°С в течение 3 ч, и остывание до комнатной температуры. На рис. 2

\* Световой выход NaI(Tl) уменьшается на 35 и 50% при нагревании до 150 и 200°С.

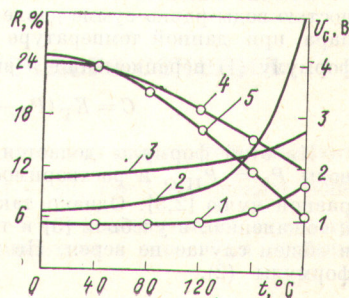
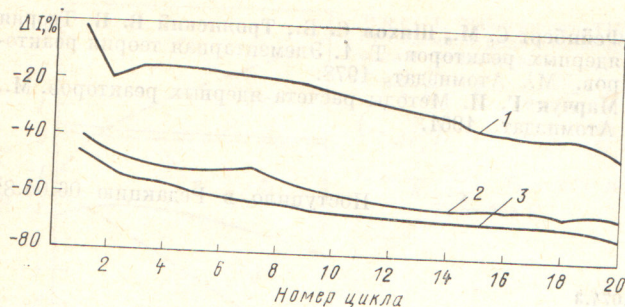


Рис. 1. Влияние температуры на разрешение и амплитуду сигнала: 1, 2 — собственные амплитудные разрешения разработанного фотоумножителя и ФЭУ фирмы RCA [3]; 3 — энергетическое разрешение сцинтилляционного блока; 4, 5 — амплитуды сигналов разработанного ФЭУ и ФЭУ фирмы RCA [3]; ○ — эксперимент



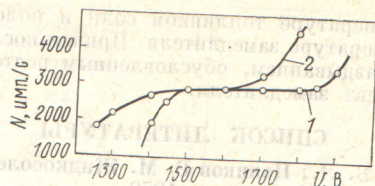
Р и с. 2. Изменение фототока при циклическом воздействии температуры 20 (1); 160 (2) и 180° С (3); ○ — эксперимент

показано изменение фототока  $\Delta I$ , рассчитанное по формуле

$$\Delta I = \frac{I_{ki} - I_n}{I_n} \cdot 100\%,$$

где  $I_n$  — фототок для всех циклов после 1 ч испытаний при комнатной температуре в начале первого цикла;  $I_{ki}$  — фототок в  $i$ -м цикле и при соответствующей температуре.

В настоящее время термоустойчивость существующих детекторов на основе NaI(Tl) счетной классификации ограничивается температурой 150° С, а спектрометрические детекторы 40° С. Ранее конструкции сцинтилляционных блоков детектирования, работоспособные до температуры 150° С, были созданы на основе фотоумножителей ФЭУ-78Б, ФЭУ-74А, ФЭУ-102 [4]. Использование описанных фотоумножителей позволило создать сцинтилляционные блоки, термоустойчивые до 200° С. При этом для сцинтилляционных блоков, предназначенных для работы в режиме плато, отбирались фотоумножители с  $E_{\text{ф}} = 30 \div 40$  кэВ. В них были использованы монокристал-



Р и с. 3. Счетная характеристика сцинтилляционного блока детектирования при 20 (1) и 200° С (2)

лы NaI (Tl) диаметром 40 × 40 и 40 × 80 мм (рис. 3). Для сцинтилляционных блоков, предназначенных для работы в скважинном термоустойчивом гамма-спектрометре, отбирались фотоумножители с минимальным изменением собственного амплитудного разрешения. В этих блоках применены монокристаллы NaI(Tl) диаметром 50 × 150 мм (см. рис. 2).

Разработанные высокотермоустойчивые фотоумножители, серийное производство которых намечено в 1982 г., по основным параметрам значительно превосходят ФЭУ-78Б. Изготовленные на основе этих фотоумножителей блоки детектирования помогут создать спектрометрические скважинные приборы радиоактивного каротажа для регистрации дифференциальных энергетических спектров  $\gamma$ -излучения при температуре до 200° С.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пятахий В. И. и др. — В кн.: Изотопы в СССР. М.: Атомиздат, 1978, № 54, с. 10.
2. Старцев В. И., Батуричева З. Б., Цирлин Ю. А. — Оптика и спектроскопия, 1960, т. 8, вып. 4, с. 541.
3. Butterwick G. — RCA Engineer, 1979, N 5, p. 62.
4. Арм Е. М., Пятахий В. И. — [1], с. 42.

Поступило в Редакцию 14.04.81

УДК 621.039.534.44

## О растворимости газов в водяном теплоносителе

АРНОЛЬДОВ М. Н.

Поведение газов в водяном теплоносителе в последнее время широко обсуждается в связи с тем, что в компенсаторах объема ВВЭР используется азот [1—4]. Кроме того, процессы растворения газов и дегазации воды имеют большое значение при водоподготовке [5].

Как известно, растворимость газов в воде, как и во многих других жидкостях, описывается законом Генри

$$C = K_{\Gamma} P, \quad (1)$$

где  $C$  — концентрация растворенного газа;  $K_{\Gamma}$  — постоянная Генри, зависящая от температуры;  $P$  — парциальное давление растворенного газа над поверхностью раздела фаз.

Обычно считается, что общее давление  $P_0$  над поверхностью воды равно сумме давления насыщенного водяного пара при данной температуре  $P_{\text{H}_2\text{O}}$  и газа  $P$ . Поэтому формулу (1) переписывают в виде

$$C = K_{\Gamma} (P_0 - P_{\text{H}_2\text{O}}). \quad (2)$$

Из этой формулы делается вывод, что при кипении воды  $P_0 = P_{\text{H}_2\text{O}}$  и растворимость газа в воде становится равной нулю [2,5]. Однако такой вывод, встречающийся, к сожалению, в учебной [5] и технической [2] литературе, в общем случае не верен. Не корректна также и запись формулы (2).

Давление смеси газа и водяного пара над поверхностью раздела равно сумме парциального давления газа и водяного пара. Давление водяного пара над водой, содержащей растворенный газ, в соответствии с законом Рауля

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = P_{\text{H}_2\text{O}}^0 (1 - C), \quad (3)$$

где  $P_{\text{H}_2\text{O}}^0$  — давление пара над чистой водой. Используя соотношения (1) и (3), получаем более корректное, чем формула (2), выражение

$$C = K_{\Gamma} (P_0 - P_{\text{H}_2\text{O}}^0) \frac{1}{1 - K_{\Gamma} P_{\text{H}_2\text{O}}^0}, \quad (4)$$

( $1/K_{\Gamma} \neq P_{\text{H}_2\text{O}}^0$ ).

Из него следует, что выражение (2) есть частный случай формулы (4), когда  $P_{\text{H}_2\text{O}}^0$  или  $K_{\Gamma} \ll 1$ . Для растворенного в воде кислорода, азота, водорода различие в формулах (2) и (4) не превышает нескольких процентов, для  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$  и других можно ожидать нескольких десятков и сотен процентов.

Обратимся к условиям обезгаживания воды. При любом значении давления насыщенного пара, в том числе и в точке кипения, соблюдается закон Генри. В соответствии с этим концентрация газа в воде при достижении точки