

Параметры формул утечки нейтронов для разных нейтронных источников

Таблица 2

Тип источника	Замедлитель	N_{Mn}/N_H	Параметры, характеризующие утечку		
			α	A	B
^{252}Cf	H_2O Водный раствор MnSO_4	0	$0,1439 \pm 0,0006$	$2,94 \pm 0,02$	1,4*
		0,02094	$0,1599 \pm 0,0003$	$2,77 \pm 0,02$	$1,17 \pm 0,02$
AmBe (αn)	H_2O Водный раствор MnSO_4	0	$0,1015 \pm 0,0005$	$2,35 \pm 0,04$	1,4*
		0,02094	$0,1162 \pm 0,0003$	$2,63 \pm 0,05$	$1,12 \pm 0,03$
RaBe (αn)**	H_2O Водный раствор MnSO_4	0	$0,1041 \pm 0,0004$	$1,96 \pm 0,02$	1,4*
		0,0238	$0,1073 \pm 0,0012$	$1,86 \pm 0,06$	—

* Взято из работы [2].

** Все значения для этого источника из работы [5].

Дополнительно были измерены пространственные распределения медленных нейтронов от источника спонтанного деления ^{252}Cf и AmBe(αn)-источника в воде и определены параметры экспоненты A и α , определяющие утечку нейтронов из сферы, заполненной водой (табл. 2).

Анализ данных работы [5] позволил вычислить параметры α и A экспоненты, определяющей утечку нейтронов для RaBe(αn)-источника в растворе сульфата марганца и проследить зависимость этих параметров от отношения числа атомов марганца к числу атомов водорода. В пределах погрешностей опыта эту зависимость можно представить линейной: $\alpha =$

$$= 0,1041 + 0,14 (N_{Mn}/N_H); A = 1,96 - 2,93 (N_{Mn}/N_H).$$

Поступило в Редакцию 3.IV.78

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петржак К. А., Бак М. А., В кн.: Труды Радиового ин-та им. В. Г. Хлопина. 1956, т. VII, вып. I, с. 61.
2. Hanna G., Runnalls O. «Canad. J. Phys.», 1956, v. 34, p. 959.
3. Davy D. «J. Nucl. Engng», 1966, v. 20, p. 277.
4. Feld B. In: Experimental Nuclear Physics. N.Y., Wiley, 1953, v. II, p. 490.
5. Петржак К. А. и др. [1], с. 31.

УДК 621.039.534.6

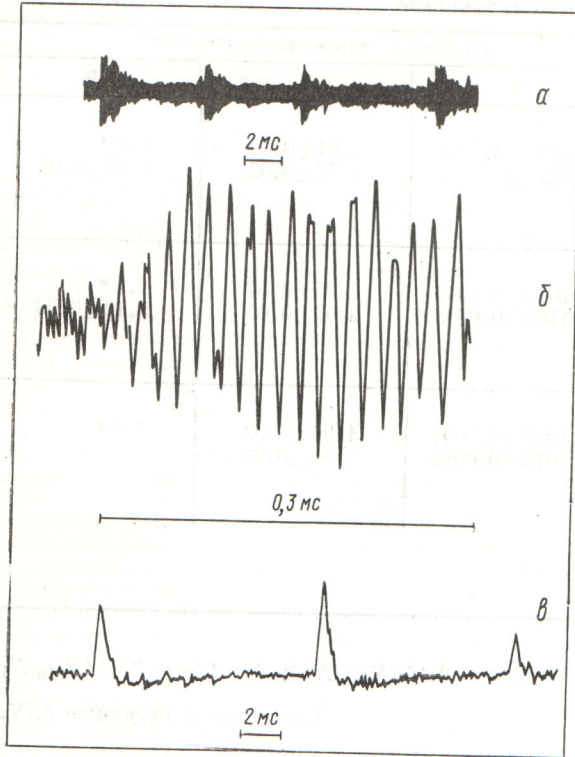
О возможности акустического обнаружения кипения натрия в быстром реакторе с помощью импульсной системы

КЕБАДЗЕ Б. В., АЛЕКСАНДРОВ К. А., ГОЛОВАНОВ В. В.

Основным источником акустического шума при кипении натрия является схлопывание паровых пузырей в недотронутой жидкости, что обуславливает импульсный характер сигналов. При спектральном анализе акустических сигналов, применяемом в большинстве экспериментальных работ по кипению, эти характерные особенности не учитываются, а задача обнаружения вскипания сводится к контролю дисперсии шума в некоторой полосе частот. Поскольку каких-либо специфических для кипения частот в спектре, как правило, не наблюдается, подобная система обнаружения оказывается чувствительной к изменению уровня фоновых шумов, например вследствие изменения расхода через

реактор. Цель настоящей работы — оценить возможности системы обнаружения, в которой используется импульсный характер сигналов.

Для изучения структуры акустических сигналов при экспериментах с кипением на реакторе БОР-60 (Афанасьев В. А. и др. «Атомная энергия», 1978, т. 45, вып. 5, с. 338) применялась статистическая обработка магнитофонной записи этих сигналов и регистрация ее на ленте шлейфового осциллографа. В некоторых режимах начальный период вскипания сопровождается интенсивным продолжительным (0,1 с), практически непрерывным акустическим шумом. Анализ сигналов акустических, температурных и нейтронных датчиков



Р и с. 1. Сигналы погружного акустического датчика в установленном режиме кипения:

a — последовательность всплесков; *б* — начальная фаза всплеска; *в* — импульсы «быстрой» огибающей сигнала

показывает, что такие режимы характеризуются бурным вскипанием натрия с последующим выбросом в область недогретой жидкости значительного объема паровой фазы и генерацией акустического шума в процессе его разрушения. Вслед за этим наступает установившийся режим кипения, при котором от парового объема отрываются и схлопываются отдельные пузыри сравнительно небольшого размера, образуя случайную последовательность акустических всплесков (рис. 1, *a*). Их суммарная продолжительность составляет небольшую долю общего времени наблюдения.

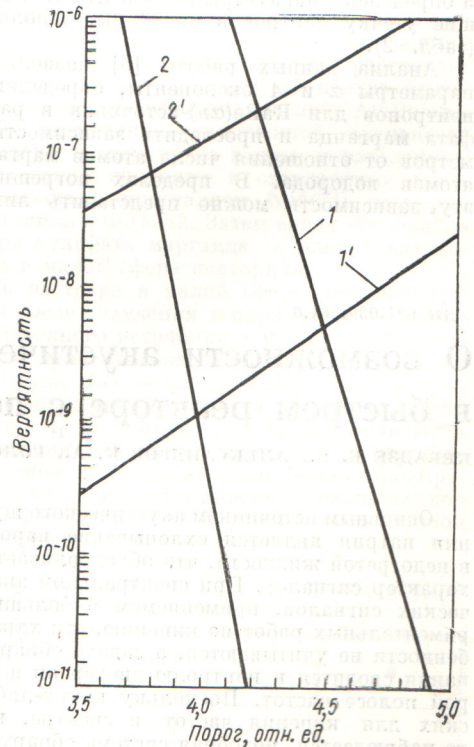
В режимах с более «мягким» выходом в кипение (например, при меньшей скорости подъема мощности) первоначальная длительная вспылка отсутствует, а характер сигналов с самого начала соответствует установившемуся режиму. Проанализируем особенности сигналов и системы обнаружения для такого режима кипения. Длительность кратковременных (порядка миллисекунд) всплесков значительно превышает длительность импульса давления при схлопывании пузыря размером, характерным для данной сборки (см. упомянутую статью В. А. Афанасьева и др.), что объясняется регистрацией датчиком как прямого, так и многократно отраженных импульсов. Благодаря резонансным свойствам датчиков импульсы преобразуются в серию перекрывающихся радиоимпульсов; при этом вспылка приобретает вид шумоподобного сигнала (рис. 1, *б*). Поскольку размеры пузырей и координаты места схлопывания статистически распределены, амплитуды и фор-

ма всплесков различны. В некоторых случаях возможно наложение импульсов от разных пузырей.

В процессе эксперимента с помощью диодного детектора формировалась огибающая акустического сигнала (рис. 1, *в*) с постоянной интегрирования, примерно соответствующей длительности вспылки (~1 мс). Из акустических всплесков образуется последовательность импульсов; анализ выборки из 2000 таких импульсов показал, что распределение амплитуд хорошо описывается статистикой Рэлея, а частота следования — распределением Пуассона.

Импульсная система обнаружения, использующая «быструю» огибающую, вырабатывает аварийный сигнал при наборе определенного числа импульсов, превышающих некоторый порог, в течение заданного интервала времени. Необходимо рассчитать вероятности ложного сигнала аварии и пропуска аварийной ситуации (вскипания). Если не учитывать пересечения порога фоновым шумом, вероятность «набора» импульсов и, следовательно, пропуска аварии несколько завышается, что идет в запас расчета статистической надежности системы. Предполагалось также, что распределения импульсов по амплитуде и интервалу следования не коррелированы между собой. Вероятность *r* превышения порога *S* определяется через функцию распределения амплитуд:

$$r = \int_S^{\infty} \frac{a}{\sigma_a^2} \exp(-a^2/2\sigma_a^2) da; \quad q = 1 - r,$$



Р и с. 2. Вероятности пропуска (*1'*, *2'*) и ложного срабатывания (*1*, *2*) импульсной системы при *m* = 3 (*1*, *1'*) и 5 (*2*, *2'*) [величина порога отнесена к стандарту огибающей фонового шума]

где σ_a — параметр распределения Рэлея. Пусть m — число импульсов, которое нужно зарегистрировать за время T для выдачи аварийного сигнала; λ — интенсивность появления импульсов сигнала. Вероятность несрабатывания системы определяется следующим соотношением:

$$P_{\text{нр}} = \sum_{k=0}^{m-1} P(k) + \sum_{k=m}^{\infty} P(k) \left[\sum_{i=0}^{m-1} C_k^i q^{k-i} r^i \right],$$

где $P(k) = (\lambda T)^k / k! [\exp(-\lambda T)]$ — распределение Пуассона.

Определим вероятность ложного срабатывания системы от фоновых шумов. Формирование огибающей представляет собой нелинейную операцию; можно представить, однако, детектированный фоновый шум в виде последовательности случайных импульсов, поступающих на интегрирующую цепочку. Поскольку $\tau_{\text{инт}} = 1 \text{ мс} \gg t_g$, где t_g — средний интервал между импульсами, флюктуации на выходе формирователя огибающей имеют распределение, близкое к нормальному, что подтверждается и экспериментом. Для случайного процесса с нормальным распределением среднее число превышений уровня S в единицу времени опре-

деляется известным соотношением

$$\lambda_{\text{эф}} = T_{\text{эф}}^{-1} \exp(-S^2 / 2\sigma_{\text{ф}}^2),$$

где $T_{\text{эф}}$ — эффективный период флюктуаций огибающей фонового сигнала. Принимая, что моменты превышения порога распределены по Пуассону, получаем оценку вероятности ложного срабатывания:

$$P_{\text{л}} = \sum_{k=m}^{\infty} \left[\frac{(\lambda_{\text{эф}} T)^k}{k!} \right] \exp(-\lambda_{\text{эф}} T).$$

Результаты расчета для параметров сигналов, взятых из эксперимента ($\sigma_a / \sigma_{\text{ф}} = 5,5$; $\lambda = 100 \text{ с}^{-1}$, $\lambda_{\text{ф}0}$ — интенсивность пересечения нулевого уровня (порога) фоновым шумом; $\lambda_{\text{ф}0} = 600 \text{ с}^{-1}$) при $T = 0,3 \text{ с}$ приведены на рис. 2. Соотношение между вероятностями пропуска аварии и ложного срабатывания должно определяться из экономических соображений. Видно, что выбором порога можно обеспечить приемлемую вероятность погрешностей при малом времени наблюдения.

Поступило в Редакцию 7.IV.78

Рефераты статей, опубликованных в настоящем выпуске

УДК 621.039.52.034.3

Легасов В. А., Пономарев-Степной Н. Н., Проценко А. Н., Чернилин Ю. Ф., Гребенник В. Н., Столяревский А. Я. Перспективы использования и основные проблемы внедрения ВТГР в технологические процессы и электроэнергетику. — «Атомная энергия», 1978, т. 45, вып. 6, с. 411.

Рассмотрены потенциальные возможности ВТГР в замене дефицитных нефти и газа в различных областях энергетики и оценены возможности и области внедрения ВТГР в структуру энергодолговесности страны. Сформулированы основные научно-технические проблемы и задачи развития, а также пути и этапы внедрения ВТГР (рис. 2, табл. 4, список литературы 10 наименований).

УДК 621.039.51

Воропаев А. И., Ваньков А. А., Цыбуля А. М. Сравнение расчетов стандартного быстрого реактора (модель Бейкера). — «Атомная энергия», 1978, т. 45, вып. 6, с. 419.

Сравниваются результаты расчетов стандартного быстрого реактора, полученные в нескольких лабораториях с использованием разных систем констант (ОСРАР-75, БНАБ-М, CARNAVAL-IV, FD-5, КФК-ИНР).

Уточнение систем констант показало, что расчетные оценки характеристик быстрых реакторов-размножителей очень сблизились, чего не наблюдалось ранее. Расхождения в расчетных оценках всех характеристик меньше, чем ожидаемые с учетом существующей точности ядерных данных, поскольку все страны располагают фактически одним и тем же набором экспериментальных данных о сечениях (табл. 6, список литературы 22 наименования).

УДК 621.039.54:621.311.2:621.039

Решетников Ф. Г., Бибилашвили Ю. К., Кушакowski В. И. Проблемы создания топлива для энергетических ядерных реакторов. — «Атомная энергия», 1978, т. 45, вып. 6, с. 426.

В докладе рассматриваются некоторые вопросы и требования, предъявляемые к ядерному топливу, не получившие пока должного решения и оценки. Высказываются соображения по направлению дальнейших исследований и усовершенствования топлива в целях повышения работоспособности твэлов, включая твэлы для энергетических реакторов, работающих в режиме резкопеременных нагрузок. Приводятся экспериментальные данные, характеризующие влияние отдельных факторов на

радиационное поведение топлива и работоспособность твэлов (список литературы 4 наименования).

УДК 546.831 + 621.039.5

Займовский А. С. Циркониевые сплавы в ядерной энергетике. — «Атомная энергия», 1978, т. 45, вып. 6, с. 430.

При разработке циркониевых сплавов для оболочек твэлов и канальных труб в Советском Союзе был избран оригинальный путь легирования циркония в отличие от широко распространенного за рубежом циркаллоя. В Советском Союзе разработаны и успешно применяются на АЭС с РБМК и ВВЭР циркониевые сплавы с 1% и 2,5% Nb — сплавы Н-1 и Н-2,5. Приводятся характеристики ниобия как легирующего элемента, рассказывается о свойствах сплавов Н-1 и Н-2,5, коррозионноустойчивых в условиях кипящего безкорректного режима РБМК, а также в условиях ВВЭР. Рассматриваются сплавы, перспективные для изготовления оболочек твэлов и канальных труб реакторов с ядерным перегревом пара. При этом впервые приводятся закономерности влияния состава сплавов на их окисляемость и наводороживание в перегревом паре. Овещаются результаты важных работ советских ученых по механизму коррозии циркониевых сплавов на основе диффузионных опытов и определению состава окисных пленок на сплавах, содержащих железо и олово, методом ЛТР. На этой основе дается систематизация влияния элементов на коррозию циркония (рис. 4, список литературы 9 наименований).

УДК 621.039.53.531

Агапова Н. П., Агеев В. С., Африканов И. Н., Будылкин Н. И., Красноселов В. А., Мирнова Е. Г., Онуфриев В. Д., Островский З. Е., Прохоров В. И., Сокурский Ю. Н. Исследование распухания сталей и сплавов, облученных в реакторе BOR-60 до флюенса $1,1 \cdot 10^{23}$ нейтр./см². — «Атомная энергия», 1978, т. 45, вып. 6, с. 433.

Методами электронной микроскопии и гидростатического взвешивания проведено исследование влияния структуры и химического состава на радиационное распухание аустенитных сталей типа X16Ni15 и некоторых сплавов с повышенным содержанием никеля.

Показано, что предварительная обработка оказывает сильное влияние на фазовый состав сталей и вакансионную пористость, образующуюся под облучением. При данных условиях