

УДК 621.039.526:621.039.58

ИМИТАЦИЯ ИМПУЛЬСНОГО АВАРИЙНОГО ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ В АКТИВНОЙ ЗОНЕ РЕАКТОРА

*Рыжанский В.А., Иванов А.Г., Усков А.А., Харламов М.В.,
Новиков В.В., Пожариский А.Н. (ВНИИЭФ)*

В настоящее время прочность несущих конструкций ВВЭР и быстрых реакторов при гипотетической аварии исследуется обычно в модельных опытах [1]. При этом вспышка аварийного ядерного энерговыделения имитируется с помощью неядерной экзотермической реакции в заполняющей модель воде, имитирующей теплоноситель. Проблема состоит в корректном выборе имитатора аварийного энерговыделения как эффективного (т.е. достаточно работоспособного) источника опасных нагрузок, соответствующих условиям аварии. Какие же факторы и параметры энерговыделения при этом являются определяющими? Как известно авторам, ответы на этот вопрос противоречивы.

Поскольку ядерное энерговыделение является «чистым» (в смысле отсутствия дополнительного рабочего тела, кроме паров), для его имитации естественно применять чистые неядерные виды импульсного энерговыделения, например, электровзрыв. Однако использование последнего сопряжено с серьезными техническими и методическими трудностями, поэтому «нечистое» энерговыделение может оказаться более доступным и даже предпочтительным, если оно не менее эффективнее чистого. Так, долгое время считалось [2—4], что для моделирования худших последствий аварии наиболее эффективной имитацией аварийного энерговыделения является детонация в воде компактного заряда конденсированного взрывчатого вещества, в результате которой генерируется мощная ударная волна и образуется высокотемпературный пузырь, состоящий в отличие от пузыря при ядерном энерговыделении из газообразных продуктов детонации, не конденсирующихся при остывании, оказывающих наряду с ударной волной квазистатическое давление и являющихся, таким образом, дополнительным рабочим телом. Как известно, эти факторы обуславливают сильный удар по окружающей среде, причем максимальные деформации и разрушения конструкции происходят вблизи взрывчатого вещества, например, в средней зоне цилиндра, нагруженного взрывом в центре [5].

Однако существенные потери энергии ударной волны вследствие резких перепадов давления и скорости во фронте снижают ее эффективность, и поэтому можно ожидать большого воздействия при использовании зарядов взрывчатого вещества из медленно воспламеняющихся составов, не дающих резкого фронта давления [6]. В исследованиях [7, 8] при замедлении химического превращения взрывчатого вещества в 2 раза и более эффективность энерговыделения, оцениваемая по пластической деформации конструкции, существенно возрастала. При этом распределение деформаций может кардинально измениться: например, при энерговыделении в центре модели цилиндрического корпуса реактора максимум деформации сместился от ближайшей к взрывчатому веществу средней зоны к удаленной от него крышке [7]. Вместе с тем в работе [6] указано, что эффективность волны сжатия без резкого фронта зависит от параметров импульса давления, требуемых для решения конкретной задачи. При этом важно, чтобы энергия взрыва передавалась окружающей среде оптимальным путем. Резонная оговорка — ведь таким путем может быть, например, кумуляция взрыва при этой же детонации взрывчатого вещества. Но как бы то ни было, консервативность оценки прочности корпуса реактора по данным опытов с детонацией взрывчатого вещества ставится под сомнение.

Итак, очевидно, задача корректной имитации импульсного аварийного энерговыделения актуальна, и целью настоящего исследования было изучение реакции макета корпуса реактора на импульсное нагружение при энерговыделении разной природы и длительности.

Эксперимент проводился на заполненных водой стальных макетах корпуса реактора в виде установленных вертикально герметичных сосудов с тонкой цилиндрической оболочкой и плоскими дном и крышкой (рис. 1). Для нагружения макетов использовали электровзрыв, детонацию взрывчатого вещества и горение пороха или пиросмеси. Соответственно в первом случае в центр макета помещали мостик из двух параллельно соединенных медных проволочек диаметром 0,1, длиной 4 мм для разряда мощной конденсаторной батареи, во втором — заряд взрывчатого вещества, в прочих — легкоплавкую пленочную капсулу с энергоносителем. Энерговыведение регулировали зарядом батареи или массой и калорийностью Q энергоносителя. Время энерговыведения при электровзрыве регулировали индуктивностью разрядной цепи, горения порохового заряда — плотностью заряда капсулы, детонации взрывчатого вещества (шар с инициированием детонации в центре) и горения пиросмеси (шар, поджигаемый в центре раскаленной проволочкой) — радиусом заряда, так как скорость этих процессов постоянна. Применяли пиросмеси на основе перхлората калия с добавлением бора (смесь КБ) или алюминия (смесь ПА), уравнения реакций горения которых следующие: $3\text{KClO}_4 + 8\text{B} \rightarrow 4\text{B}_2\text{O}_3 + 3\text{KCl}$, $3\text{KClO}_4 + 8\text{Al} \rightarrow 4\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{KCl}$.

Каждый макет нагружали один раз, после чего его измеряли в разных сечениях (погрешность не более 0,1 мм) и определяли соответствующую остаточную относительную деформацию ϵ (в дальнейшем деформацию), принятую в качестве меры эффективности энерговыведения. По исходным данным некоторых опытов проведены численные расчеты, энерговыведение в которых при электровзрыве было принято экспоненциальным, для взрывчатого вещества использовано уравнение состояния [9], для воды — [10, с. 640], для стали — модель упругопластического тела [10, с. 506].

Основные исходные данные и результаты опытов приведены в таблице, где $\sigma_{0,2}$ — предел текучести стали; r_0 , h — внутренний радиус и толщина оболочки (длина $L \sim 4r_0$); E_0 , τ — количество и время энерговыведения; V — объем выделившихся газов (после охлаждения); ϵ_m — максимальная деформация оболочки. На рис. 2 приведены эпюры распределения окружных деформаций оболочки макета $\epsilon(x)$ вдоль его оси ($0 \leq x \leq L$, см. рис. 1).

Эксперимент показал, что почти всегда (кроме опытов с пиросмесью КБ) наблюдалось расширение оболочки на всей длине, исключая концы, где этому препятствовали дно и крышка. Расширение обычно происходило с явно выраженным максимумом в ближайшем к очагу энерговыведения среднем поперечном сечении. Пластическая деформация оболочки была одноосной — окружной, так как длина образующей не изменялась. Вместе с тем природа и параметры импульсного энерговыведения, а иногда и погрешности методики опыта существенно сказывались на реакции макета. Так, на начальной стадии эксперимента с электровзрывом при отработке методики наблюдалось выпучивание оболочки больше на краях, чем в средней зоне. Изучение данного явления, обусловленного, по-видимому, несовершенством оборудования, выходит за рамки настоящего исследования, и эти результаты не приведены в таблице. Но и в зачетных опытах с электровзрывом в отличие от иных видов энерговыведения оболочка расширялась с некоторой асимметрией (в таблице и на рис. 2 приведены средние значения ϵ для диаметрально противоположных точек оболочки). Причина заключается, вероятно, в своеобразии физических процессов при разных видах энерговыведения.

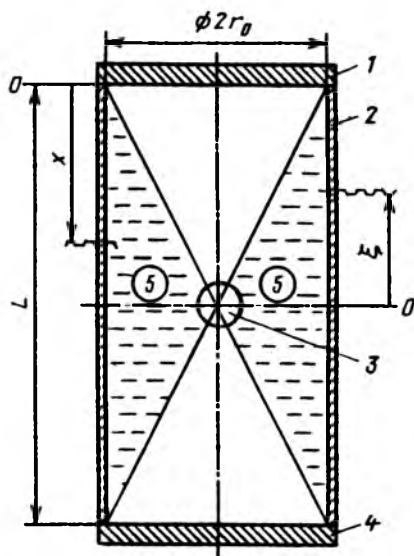
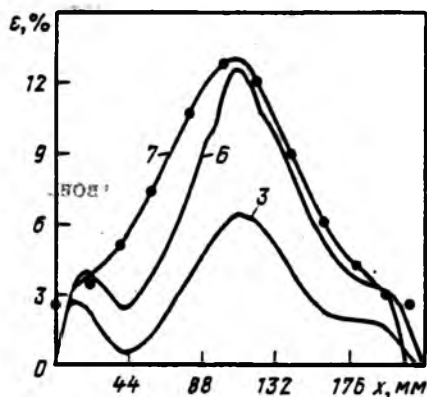


Рис. 1. Схема постановки опытов: 1, 2, 4, 5 — крышка, оболочка, дно и сектор нагружения оболочки макета соответственно; 3 — очаг энерговыведения

Основные исходные данные и результаты опытов

Номер опыта	Марка стали	$\sigma_{0,2}$, МПа	$r_0 \times h$, мм	Вид энерговыделения	E_0 , кДж	τ , мкс	V , см ³	ε_m , %
1	Сталь 20	220	52×1	Электровзрыв	2,4	26	0	2,9
2	»	220	52×1	»	7,0	128	0	7,1
3	»	220	52×1	»	7,0	133	0	6,6
4	»	220	52×1	»	12,7	100	0	12,7
5	»	220	52×1	»	15,6	310	0	8,9
6	»	220	52×1	»	16,2	152	0	12,7
7	»	220	52×1	Детонация взрывчатого вещества	3,8	0,6	1530	13,1
8	»	220	52×1	То же	7,5	0,8	2430	27,4
9	12X18H10T	340	1190×30	»	$3,28 \cdot 10^5$	25,8	$1,24 \cdot 10^8$	37,5
10	То же	330	594×16	»	$5,12 \cdot 10^4$	14,3	$1,98 \cdot 10^7$	40,8
11	»	315	149×4	»	365,4	2,9	$1,44 \cdot 10^5$	18,9
12	»	330	37×1	»	4,9	0,7	1900	17,0
13	»	330	37×1	»	5,5	0,7	2150	21,0
14	»	330	37×1	Горение пороха	11,3	400	2700	7,8
15	»	330	37×1	То же	11,3	2900	2700	2,9
16	»	330	37×1	»	11,3	6500	2700	2,0
17	»	330	37×1	Горение КБ	10,0	4530	70	0,0
18	»	330	37×1	»	10,0	4530	70	0,0
19	»	330	37×1	Горение ПА	10,0	2000	55	1,8
20	»	330	37×1	»	10,0	2000	55	2,0



Р и с. 2. Эпюры $\varepsilon(x)$ при разных видах энерговыделения. Номер кривой соответствует номеру опыта в таблице. ● — расчет

ме того, форма и ориентация канала были изменчивы, и он случайным образом непрерывно перемещался в пространстве (под действием электродинамических сил), отклоняясь от центра макета. Энергетические затраты на данном этапе относительно невелики, и в первом приближении ими можно пренебречь.

На второй существенно более длительной стадии реализуется почти полное энерговыделение. При этом пары в канале интенсивно разогреваются, канал резко расширяется, трансформируясь в перегретый пузырь овальной формы, и в окружающей

В опыте с электровзрывом процессы, приводящие к генерированию импульсных нагрузок, протекают в три стадии.

На первой, самой кратковременной стадии ($\leq 0,1$ мкс) под действием мощного электроимпульса происходит взрыв проволочного мостика. Так как длина мостика мала ($\sim 0,1r_0$), взрыв можно считать точечным. При этом в разрядном промежутке возникает высокотемпературный дуговой канал, что генерирует в воде вследствие ее малой сжимаемости первую относительно слабую ударную волну. Расширяясь и быстро переходя в акустическую волну, она движется к стенкам макета. Как показало специальное исследование, взрывы проволочек происходили асинхронно (устранить этот недостаток не удалось), поэтому центр взрыва мостика немного смещался от центра макета. Кроме

воде генерируется вторая наиболее сильная ударная волна. Расширяясь на пути к стенкам макета, она догоняет и поглощает первую волну. Поскольку время движения к оболочке (~ 20 мкс) меньше τ , давление за ее фронтом снижается незначительно, так как поддерживается квазистатическим давлением от пузыря.

На третьей стадии пары остывают, конденсируются и пузырь коллапсирует. В результате при его схлопывании генерируется третья слабая ударная волна, вскоре переходящая в акустическую.

Все ударные волны, независимо от формы их источника — дугового канала или пузыря, расширяясь, быстро принимают сферическую форму. Их интенсивность и начальная скорость распространения неодинаковы и обусловлены соотношением параметров энерговыделения. В частности, эффективность энерговыделения зависит от времени: чем меньше τ , тем меньшая его доля успевает перейти в неэффективную внутреннюю энергию воды, следовательно, тем больше доля кинетической энергии и соответственно больше деформация оболочки (опыты 4—6). Это противоречит данным [7, 8], где, однако, в отличие от электровзрыва энерговыделение не было чистым.

Деформация макета — результат сложных процессов, но благодаря численным расчетам можно представить приблизительно следующую картину. Воздействие третьей волны несущественно, а первая поглощается второй ударной волной, которая нагружает оболочку сначала в средней зоне (она ближе к очагу энерговыделения), сообщает ей часть своей кинетической энергии и отражается в виде ослабленной волны сжатия, движущейся в общем направлении по радиусу к центру. Позже ударная волна нагружает края макета (они дальше от очага энерговыделения, чем средняя зона) и, отразившись, движется вдоль оси тоже к центру. Взаимодействие отраженных волн приводит к образованию новых, движущихся в направлении действия более сильных первичных волн. Циркулируя в макете, ударная волна и вторичные волны сжатия локально деформируют его. Отклонения дугового канала и пузыря от центра обуславливают эксцентриситеты ударной волны и в конечном счете асимметрию деформации макета. В дальнейшем вследствие интенсивной диссипации энергии все волны быстро затухают.

О сложности процессов при электровзрыве свидетельствуют экспериментальные данные (см. рис. 2) — в зависимости от соотношения параметров энерговыделения локальные максимумы деформации могут располагаться в разных зонах оболочки, хотя абсолютный максимум реализуется все-таки в средней зоне.

В опыте с детонацией взрывчатого вещества импульсная нагрузка генерируется в две стадии. На первой стадии со скоростью детонации $\sim 7\text{--}8$ км/с выделяется большое количество энергии ($Q \sim 4\text{--}6$ МДж/кг), и взрывчатое вещество превращается в высокотемпературный сферический пузырь из находящихся под высоким давлением газов, малорастворимых в воде и неконденсирующихся при остывании. В результате выхода сильной детонационной волны на поверхность взрывчатого вещества и воздействия резко расширяющихся продуктов детонации на окружающую воду в ней возникает мощная сферическая ударная волна. Расширяясь, она уносит до 75% энерговыделения, в том числе до 40% кинетической энергии [10, с. 590], и пузырь резко остывает.

На второй стадии в процессе затухающих пульсаций пузырь генерирует значительно более слабые по сравнению с ударной волной волны сжатия.

Макет нагружается примерно следующим образом. Вначале ударная волна взаимодействует с ним, как при электровзрыве. Отраженные ударные волны интерферируют, и образовавшиеся волны сжатия повторно нагружают макет, расширение которого поэтому происходит с пульсацией. К этим нагрузкам добавляется квазистатическое давление от пузыря. В дальнейшем все эти процессы быстро затухают.

Таким образом, в отличие от электровзрыва в данном случае полное энерговыделение происходит уже на первой стадии, когда генерируется единственная, но существенно более мощная ударная волна и образуется дополнительное рабочее тело

— газообразные, не конденсирующиеся при остывании продукты детонации. Заполненный ими пузырь не исчезает по окончании энерговыделения и оказывает квазистатическое давление. Все эти факторы приводят к деформации макета в виде выпучивания дна, крышки и особенно оболочки с явно выраженным максимумом в средней зоне (опыты 7—13; см. рис. 2, кривую 7).

Вследствие малой сжимаемости вода почти не перетекает и макет испытывает секторное нагружение (см. рис. 1, к оболочке относится сектор «5»). Поэтому деформация оболочки следует закону [11]

$$\varepsilon(\xi) = \varepsilon_m / [1 + (\xi/r_0)^2], \quad (|\xi| \leq L/2),$$

где ξ — координата от среднего сечения вдоль образующей (см. рис. 1). Это подтверждается экспериментально: на рис. 2 расчетные точки лежат на кривой 7 (за исключением концов оболочки, расширение которых заблокировано жестким дном и крышкой).

При одинаковом с электровзрывом энерговыделении абсолютный максимум деформации оболочки макета в 10 раз выше (см. опыты 2, 3 и 8). Для достижения при электровзрыве той же деформации, что и при детонации взрывчатого вещества, требуется резкое повышение параметров энерговыделения (см. опыты 4, 6 и 7).

В опыте со сгоранием пороха ($Q \sim 4$ МДж/кг) процессы генерирования нагрузок и их воздействия на макет во многом сходны с таковыми при детонации взрывчатого вещества. Отличия обусловлены тем, что химическое превращение энергоносителя происходит в слабой и медленной волне сжатия, а не в сильной детонационной волне. Поэтому доля кинетической энергии в полном энерговыделении уменьшается, и генерируется волна менее интенсивная, чем ударная при детонации. В результате деформация макета существенно снижается, и максимум ее выражен слабее, чем при детонации, несмотря на значительно большее энерговыделение, при прочих равных условиях (см. опыты 12, 13 и 14—16). Увеличение τ способствует росту квазистатической составляющей нагрузки за счет импульсной составляющей, что приводит к снижению эффективности энерговыделения и соответственно деформации оболочки (опыты 14—16).

В опыте со сгоранием пиросмеси ($Q \sim 10$ МДж/кг) процесс химического превращения энергоносителя подобен сгоранию пороха, но пузырь содержит в основном перегретые пары соли и оксида. Примесь газов, нерастворимых в воде и неконденсирующихся при остывании, незначительна и ею можно пренебречь (это обстоятельство сближает данное энерговыделение с электровзрывом). Расширяясь, пузырь генерирует в воде плавную волну сжатия и в дальнейшем оказывает квазистатическое давление. При взаимодействии пузыря с водой пары соли, растворяясь, теряют энергию, которая переходит во внутреннюю энергию воды, что не способствует эффективности энерговыделения. Поскольку это явление свойственно в равной мере обоим пиросмесям, а эффективность энерговыделения при их сгорании резко отличается (судя по ε_m в опытах 17—20), остается предположить, что энергия волны сжатия и квазистатическое давление зависят в основном от скорости теплоотдачи оксида. Если оксид растворим в воде (B_2O_3), теплообмен идет быстрее и доля энерговыделения, переходящая во внутреннюю энергию воды, возрастает, а кинетическая энергия соответственно снижается. В результате эффективности энерговыделения может не хватить на пластическое деформирование макета. Так это, по-видимому, и случилось в опытах со смесью КБ, где нет остаточной деформации (опыты 17, 18). Если же оксид нерастворим (Al_2O_3), теплообмен замедляется, доля энерговыделения, перешедшая в кинетическую энергию, соответственно возрастает, и энерговыделение может быть таким же эффективным, как и при сжигании пороха (см. опыты 15 и 19, 20).

Обобщение полученных результатов начнем, исходя из того, что интенсивное импульсное энерговыделение с параметрами E_0 и τ вызывает пластическую деформацию

макета, главным образом, его оболочки. Попытаемся найти эту связь. Зная размеры оболочки, пренебрегая ее упругой деформацией и считая в первом приближении материал жесткопластическим без упрочнения, предположим, что в системе вода—оболочка между энерговыделением и работой при деформации единицы объема оболочки существует зависимость вида

$$\sigma_{0,2} \varepsilon_m r_0^2 h = E_0 F(\tau/t_0), \quad (1)$$

где $F(\tau/t_0)$ — неизвестная функция; $t_0 = r_0/C$ — характерное время системы; $C \sim 1,5$ км/с — скорость звука в воде. Математическая обработка опытных данных показывает, что $F(\tau/t_0)$ может быть представлена в виде экспоненты

$$F(\tau/t_0) \sim A \exp[-\alpha (\tau/t_0)^\beta], \quad (2)$$

где A, α, β зависят от вида энерговыделения: при электровзрыве и горении пиромесеси $A \sim 1,35 \cdot 10^6$, $\alpha \sim 0,64$, $\beta \sim 1/3$, детонации взрывчатого вещества и горении пороха $\sim 4,1 \cdot 10^6$, $\sim 1,6$ и $1/6$ соответственно.

Из соотношения (1) с учетом (2) получаем обобщенную формулу для оценки эффективности энерговыделения (размерность параметров та же, что в таблице):

$$\varepsilon_m \sim AE_0 \exp[-\alpha (\tau/t_0)^\beta] / (\sigma_{0,2} r_0^2 h). \quad (3)$$

Функция (2), будучи безразмерной, удобна для анализа эффективности энерговыделения в зависимости от его вида и длительности независимо от прочих исходных данных (рис. 3). Очевидно, на всем диапазоне изменения τ/t_0 значения $F(\tau/t_0)$ при детонации взрывчатого вещества и горении пороха выше, чем при электровзрыве и горении пиромесеси. При $\tau/t_0 < 1$ эта разница тем больше, чем ближе τ к времени детонации, т.е. на данном интервале значений τ/t_0 влияние дополнительного рабочего тела на эффективность энерговыделения усиливается. При $\tau/t_0 > 1$ значения $F(\tau/t_0)$ для энерговыделения разной природы, уменьшаясь, значительно сближаются, следовательно, на данном интервале влияние дополнительного рабочего тела, постепенно снижаясь, может стать несущественным. Это означает, что при больших значениях τ/t_0 влиянием природы энерговыделения на его эффективность можно пренебречь. Отметим, что если для гипотетической аварии в реакторе типа БН-600 (параметры его корпуса: $r_0 = 6430$ мм, $h = 30$ мм, $\sigma_{0,2} \sim 300$ МПа) принять, например, $\tau \geq 0,1$ с, соответствующие значения $\tau/t_0 \geq 23$. Этот интервал (он заштрихован на рис. 3) попадает как раз в область существенного сближения $F(\tau/t_0)$ для разных видов энерговыделения, что в данном случае оправдывает возможность проведения испытаний корпуса реактора при энерговыделении любой природы.

Итак, результаты эксперимента однозначно свидетельствуют о существенном влиянии природы и длительности энерговыделения в воде на его эффективность. При этом зависимость эффективности от времени близка к экспоненте, а влияние природы определяется по существу отсутствием (при электровзрыве и горении пиромесеси) или наличием (при детонации взрывчатого вещества и горении пороха) дополнительного (кро-

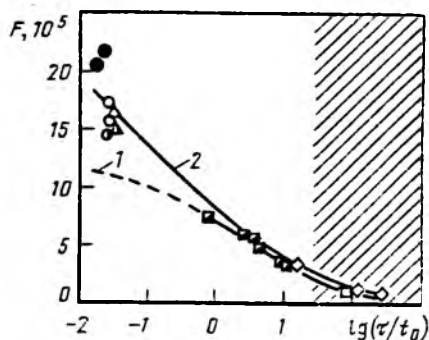


Рис. 3. Зависимость $F(\tau/t_0)$ при электровзрыве и горении пиромесеси (1), детонации взрывчатого вещества и горении пороха (2) в опытах 1—6 (■), 7, 8 (●), 9 (△), 10 (▲), 11 (⊙), 12, 13 (○), 14—16 (◇), 19—20 (□)

ме паров) газообразного рабочего тела. Роль этого фактора зависит от длительности энерговыделения. При выборе вида для большей корректности эксперимента предпочтение следует отдать, очевидно, чистому энерговыделению, например, электровзрыву или горению пиромесели, а при большой длительности его природа не имеет большого значения. Если же смоделировать требуемый интервал времени энерговыделения невозможно или не удастся, может оказаться полезной зависимость вида (3).

Однако, по нашему мнению, в любом случае в комплекс исследований целесообразно включать опыты с детонацией взрывчатого вещества для определения взрывостойкости корпуса реактора. Эту характеристику мы считаем необходимой при общей оценке динамической прочности корпуса как локализирующей реакторной структуры, ибо, во-первых, действие ударной волны и продуктов детонации может перекрыть весь спектр возможных факторов эффективности аварийного энерговыделения и, во-вторых, значения моделируемых параметров аварийного энерговыделения (E_0 и τ) нельзя считать надежными, так как они зависят от той или иной гипотезы, положенной в основу развития аварии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Минеев В.Н., Тюняев Ю.Н., Рыжанский В.А., Иванов А.Г. Использование ВВ и техники взрывного эксперимента при оценке динамической прочности элементов ядерных энергетических установок. — Физика горения и взрыва, 1987, т. 23, № 4, с. 104—113.
2. Bohannon J., Baker W. Simulating nuclear blast effects. — Nucleonics, 1958, v. 16, № 3, p. 75—77.
3. Wise W., Proctor J., Walker L. Enrico Fermi shield-plug response to a 1000-lb TNT accident. — Experimental Mechanics, 1963, v. 3, № 10, p. 245—252.
4. Proctor J. Explosion containment for nuclear reactor vessels. — Nucl. Safety, 1966, v. 7, № 4, p. 459.
5. Proctor J. Containment of explosions in water-filled right-circular cylinders. — Experimental Mechanics, 1970, v. 10, № 11, p. 456—458.
6. Коул Р. Подводные взрывы. М.: Изд-во иностр. лит., 1950, с. 161—163.
7. Generini R., Curioni S., Million G. — In: 2-nd SMIRT Conf., Paper E 2/9. San-Francisco, USA, 1973.
8. Holtbecker H. — In: Nucl. Engng Design, 1977, v. 42, № 1, p. 75—87.
9. Жерноклетов М.В., Зубарев В.Н., Телегин Г.С. Изэнтропы расширения продуктов взрыва конденсированных ВВ. — Журн. прикл. мех. и техн. физ., 1969, № 4, с. 127—132.
10. Физика взрыва. Изд. 2-е под ред. К.П. Станюковича. М.: Наука, 1975.
11. Ryzhanski V.A., Ivanov A.G., Timonin L.M. Steel shell response to misaligned HE charge explosion. — In: Proc. of X Intern. Conf. HERF-89, Sept. 18—22, 1989, Ljubljana, Yugoslavia, p. 246—255.

Поступила в Редакцию 29.12.93

УДК 531.787(088.8)

АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГАЗА В ТВЭЛАХ РЕАКТОРОВ

Пастушин В.В., Бибилашвили Ю.К., Шарапа А.И. (ВНИИНМ им. А.А. Бочвара)

Надежность твэлов остается наиболее приоритетным аспектом современной ядерной индустрии. Фирмы-производители имеют на вооружении программы, направленные на достижение бездефектной эксплуатации топлива [1, 2]. Программы контроля качества топлива предусматривают, как правило, контроль качества готовой продукции на заводе-изготовителе и детальное обследование облученных ТВС для выявления негерметичных оболочек.

В странах с развитой ядерной энергетикой в течение последних 15—20 лет разработан достаточно широкий класс методов и устройств всестороннего неразрушающего обследования ТВС и твэлов в условиях как промышленного производства, так и бассейна выдержки и защитных камер. Это позволило сократить сроки реализации крупных научно-исследовательских программ по повышению степени выгорания топлива, надежности твэлов, улучшению конструкции [2—6].