

УДК 621.039.534.44

Экспериментальное исследование истечения воды с конденсацией образующегося пара в герметичной емкости

МАЙДАНИК В. Н., МИТРАКОВ Л. Н., ПРОШУТИНСКИЙ А. П., ТОЛМАЧЕВ А. Г., ФАВОРИН Ю. А., ШАНИН В. К.

Известно небольшое число опытных данных [1—7] по нестационарному истечению недогретой и насыщенной воды, причем измерения ее расхода проводились только в публикации [7]. Работы по совместному исследованию истечения теплоносителя и конденсации пара в герметичной емкости авторам неизвестны.

В НИО «Энергия» исследования проводили на экспериментальном стенде (рис. 1). В барабане устанавливали металлическую корзину высотой 1,5 м с «сухими» конденсаторами, представлявшими собой засыпку из керамических колец. Для уменьшения влияния стенок барабана на конденсацию пара их изолировали слоем оргалита и гетинакса. Быстродействующий клапан за 0,01—0,02 с полностью открывал всю площадь поперечного сечения патрубка для истечения воды. Патрубки диаметрами ($D_{\text{п}}$) 6, 10 и 15 мм и длиной 318 мм устанавливали так, что их входные участки находились непосредственно в напорном баллоне, а выходные — в камере смешения.

Начальные параметры теплоносителя устанавливались за счет нагрева электрическим нагревателем, размещенным внутри напорного баллона. Расход истекающей жидкости определяли тензометрическими весами по изменению массы баллона во времени $M(\tau)$.

В ходе опыта измеряли изменение во времени давления и температуры в напорном баллоне и барабане, а также температуры керамических колец по высоте корзины. Погрешность измерения давления составляла не более 3%, а температуры — не более 2%. Суммарная относительная погрешность измерения вытекающей массы теплоносителя в начальный момент ($\tau = 2,5$ с) составляла 11%, а в остальном диапазоне не превышала 5,5%. Исследования проводили при исходном давлении 12 МПа и температуре 200—300 °С для трех положений патрубков истечения по высоте напорного баллона. Начальный недогрев теплоносителя до насыщения составлял 25—125 °С.

На рис. 2 показана временная зависимость изменения давления в напорном баллоне при одинаковом диаметре патрубков истечения и одинаковой начальной температуре воды, но различных положениях отверстий. В начале истечения давление в баллоне падает ниже давления насыщения при данной температуре теплоносителя, так как имеет место некоторое запаздывание вскипания в баллоне из-за метастабильности процесса. Во всех опытах в определенный момент наблюдались характерные изломы в кривой зависимости давления от времени, после которых абсолютное значение градиента давления увеличивалось. Такой характер зависимости отмечался и в работах [1, 8].

Наличие четкого уровня раздела теплоносителя и пароводяной смеси в напорном баллоне подтверждается сравнительным анализом опытных данных по изменению $p(\tau)$ и $M(\tau)$. При истечении из нижнего патрубка было установлено, что излом кривой $p(\tau)$ наступает раньше,

чем уровень теплоносителя достигает патрубка. Такое несоответствие объясняется, по-видимому, тем, что восходящий поток пара разрушает уровень. Анализ измеренных $M(\tau)$ показывает, что с уменьшением диаметра патрубка истечения количество вынесенной массы уменьшается.

Проведено сравнение опытных $G(\tau)$, полученных из экспериментальных $M(\tau)$, с расходами насыщенной воды, рассчитанными по методике [9], а также с критическим расходом для сухого насыщенного пара через канал [10] (рис. 3).

В начале истечения измеренный расход насыщенной воды удовлетворительно согласуется с рассчитанным. С течением времени по мере возрастания паросодержания на входе измеренные расходы становятся много меньше рассчитанных. Оценить влияние входного паросодержания на расход насыщенной воды оказалось невозможным, так как не было проведено измерений паросодержания в баллоне. Сравнение измеренного расхода с рассчитанным для сухого насыщенного пара показывает, что с увеличением времени истечения расходные кривые сближаются, а это свидетельствует об увеличении паросодержания во времени. Для расчета скорости конденсации пара необходимо знать его расход при поступлении в герметичную емкость. Он был определен по тепловому балансу в предположении равновесного и изоэнтальпийного процесса с использованием опытных зависимостей $M(\tau)$, $p(\tau)$.

На рис. 4 показано изменение во времени давления в барабане. Опыты проводили при одинаковых начальных условиях. Кривая 1 показывает изменение давления при истечении в пустой барабан из средней части напорного баллона, а кривая 3 — в барабан с засыпкой из керамических колец. Засыпка существенно снижает макси-

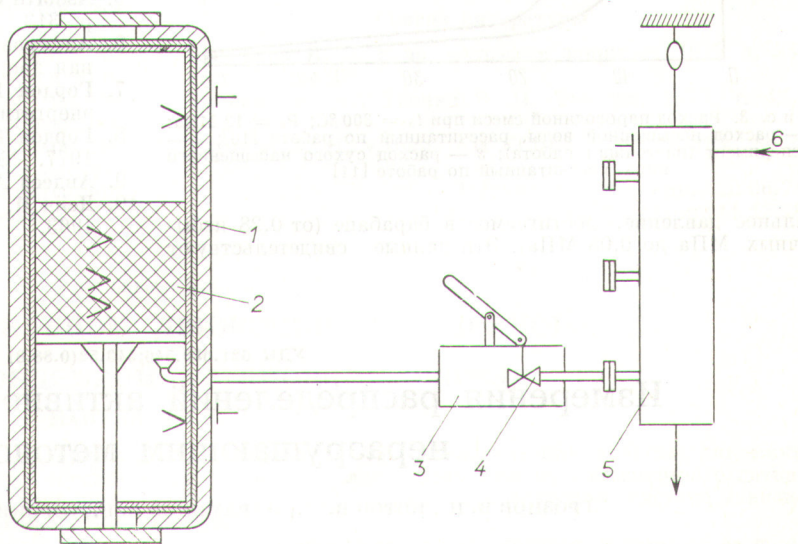
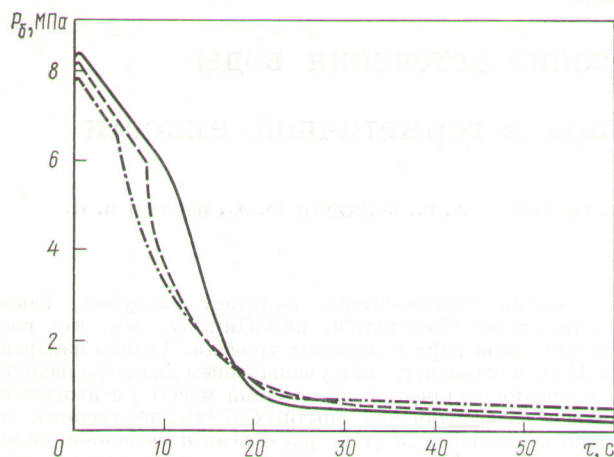
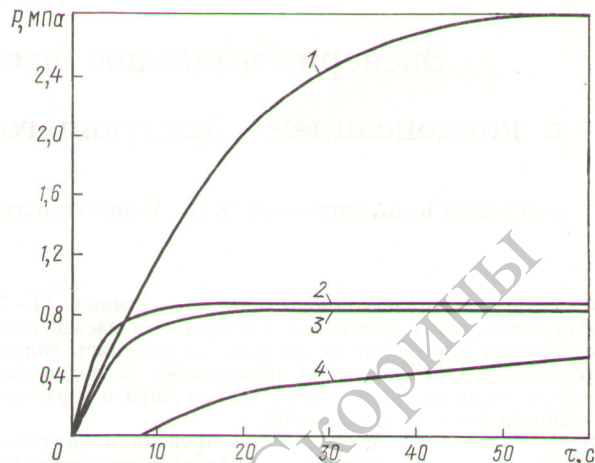


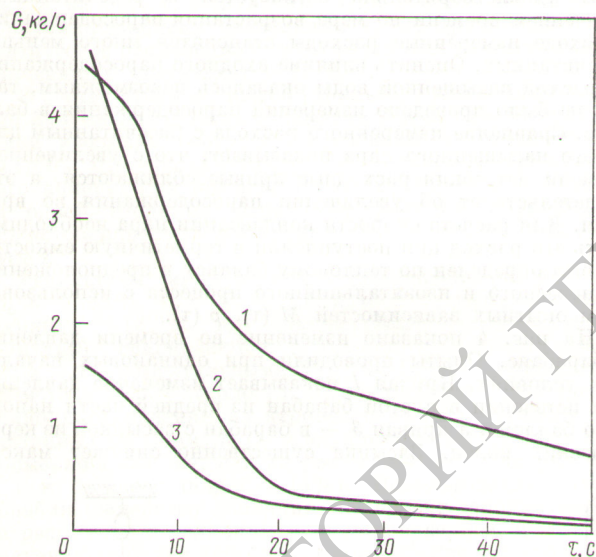
Рис. 1. Схема стенда: 1 — приемный барабан объемом 3,4 м³; 2 — корзина с сухими конденсаторами; 3 — камера расширения объемом 20 л; 4 — быстродействующий клапан; 5 — напорный баллон объемом 80 л; 6 — питьевая вода ($P = 12,5$, $t = 104$ °С)



Р и с. 2. Изменение давления в напорном баллоне при $t_0 = 300^\circ\text{C}$; $P_0 = 12$ МПа и $D_y = 15$ мм для нижнего (—), среднего (---) и верхнего (-·-) положения патрубков



Р и с. 4. Изменение давления во времени в приемном барабане при $P_0 = 12$ МПа и $t_0 = 300^\circ\text{C}$



Р и с. 3. Расход пароводяной смеси при $t_0 = 300^\circ\text{C}$; $P_0 = 12$ МПа: 1 — расход насыщенной воды, рассчитанный по работе [10]; 2 — эксперимент (настоящая работа); 3 — расход сухого насыщенного пара, рассчитанный по работе [11]

мальное давление, достигаемое в барабане (от 0,28 избыточных МПа до 0,08 МПа). Эти данные свидетельствуют

о дополнительной конденсации пара при прогреве керамических колец.

Кривые 2—4 (см. рис. 4) показывают изменение давления в барабане для одинаковой температуры и диаметров 15, 10 и 6 мм соответственно. Запоздывание начала подъема давления в барабане (особенно заметное для $D_y = 6$ мм) связано с прогревом подводящих к барабану трубопроводов.

Список литературы

1. Дементьев Б. А., Кузнецов В. Л., Ионов Б. А. В кн.: Труды Моск. энерг. ин-та. Вып. 81. М., изд. МЭИ, 1971, с. 100.
2. Дементьев Б. А., Кузнецов В. Л., Ионов Б. А. Там же, вып. 200, 1974, с. 74.
3. Гордон Б. Г., Мальцев Б. К. «Теплоэнергетика», 1975, № 8, с. 62.
4. Leisther G., Rudiger B., Zimmerman M. «Atomwirtschaft», 1970, Bd 15, N 5, S. 235.
5. Ashorth G., Barton D. «Nucl. Engng», 1962, v. 7, N 75, p. 313.
6. Алферов А. В., Фисенко В. В., Щербань А. Д. «Атомная энергия», 1976, т. 41, вып. 6, с. 413.
7. Гордон В. Г., Мальцев Б. К., Богдан С. Н. «Теплоэнергетика», 1975, № 10, с. 81.
8. Гордон Б. Г., Мальцев Б. К., Богдан С. Н. Там же, 1977, № 2, с. 22.
9. Авдеев А. А. и др. Там же, № 4, с. 28.
10. Дейч М. Е. Техническая газодинамика. М., «Энергия», 1963.

Поступило в Редакцию 05.06.78

УДК 621.039.546:543.52(0.88.8)

Измерения распределений активности источников неразрушающим методом

ГРОЗНОВ В. Н., КОТОВ В. М., ПАРАМОНОВ В. В., СОРОКИН Б. В., ЧЕРЕПНИН Ю. С.

Измерения распределений активности различных источников неразрушающими методами необходимы при решении многих практических задач реакторной и радиационной техники, радиологии, скважинной радиометрии.

В работе [1] описано применение γ -сканирования коллимированным детектором без учета составляющей «натекания» и формы распределения измеряемой активности. Учет «натекания» приводит к необходимости решения интеграль-