

**К РАСЧЕТУ ПРОЦЕССА ИСТЕЧЕНИЯ КИПЯЩЕЙ ВОДЫ  
ЧЕРЕЗ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ НАСАДКИ С УЧЕТОМ  
ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ  
СООТНОШЕНИЙ**

А. А. ГУРЧЕНОК

(Представлена научным семинаром кафедры АТППП)

В [1] проведено опытное определение картины изменения давления по длине цилиндрических насадок разной длины и расхода при истечении кипящей воды и для сравнения результатов холодной воды. Ниже в абзаце а) даются сведения по опытам с холодной водой, в абзаце б) — с кипящей водой.

Картина изменения давления по длине насадка:

- а) Происходит полное снижение давления во входном сечении,
- б) не происходит полного снижения давления, а устанавливается давление  $p_{вх}$  (рис. 1).

Расход через цилиндрические насадки:

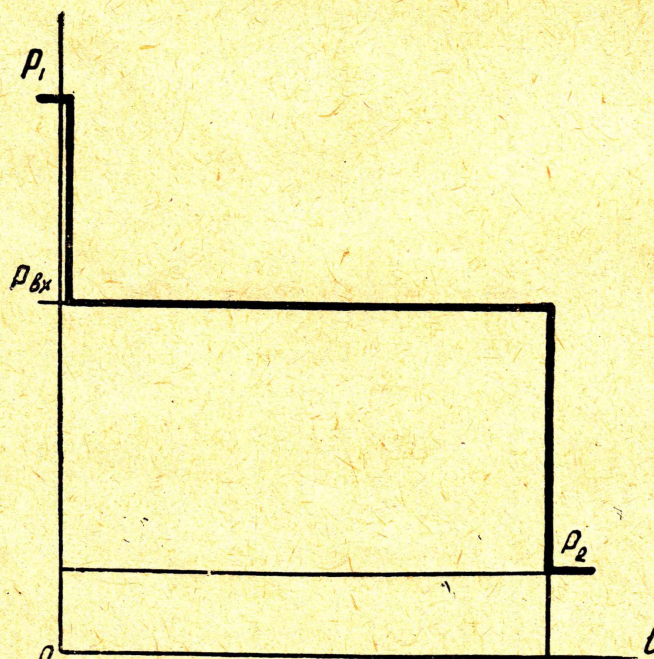


Рис. 1

- а) опытные данные получены для контроля правильности опытов. Результаты опытов согласуются с имеющимися в литературе данными;
- б) величина расхода меньше по сравнению с расходом холодной воды, но значительно больше, чем по термодинамическому расчету по формулам адиабатного расширения.



Анализ результатов опытов показал, что величина снижения давления до  $p_{\text{вх}}$  при истечении кипящей воды оказывается связанной с величиной опытного значения расхода известной формулой гидравлики

$$p_1 - p_{\text{вх}} = \frac{c_{\text{вх}}^2}{2 \cdot v' \cdot 10^5} \quad (1)$$

Здесь:  $p_1 - p_{\text{вх}}$  — величина снижения давления, бар,  
 $v'$  — удельный объем кипящей воды, м<sup>3</sup>/кг,  
 $c_{\text{вх}}$  — скорость потока во входном сечении, м/сек.

Значение скорости потока во входном сечении может быть определено из зависимости

$$c_{\text{вх}} = g_y \cdot v' \cdot 10^4 \text{ м/сек}, \quad (2)$$

где  $g_y$  — опытная величина удельного расхода, кг/см<sup>2</sup> сек.

Результаты по (1) и (2) согласуются между собой в пределах точности опытных результатов [1]. Следовательно, несмотря на то, что происходит процесс истечения кипящей воды, во входном сечении поток кипящей воды еще не содержит паровой фазы, хотя из-за снижения давления температура в потоке выше, чем температура кипения при данном давлении. Величина перегрева жидкости будет равна

$$\Delta t = t_{p_1} - t_{p_{\text{вх}}} \quad (3)$$

Для сохранения перегретого состояния в жидкости, как известно, требуются особые условия: спокойное состояние жидкости, наличие идеально чистой жидкости и др. В условиях истечения это не соблюдается, и поэтому внутри насадка должен возникать процесс образования паровой фазы. Для протекания процесса нужно время, поэтому во входном сечении насадка поток еще не содержит паровой фазы. По данным [1], процесс парообразования, возникнув внутри насадка, вследствие малого отрезка времени нахождения частиц жидкости внутри коротких насадков не успевает полностью завершиться. В этом случае температура потока  $t$  оказывается выше, чем температура насыщения  $t_{p_2}$  при противодействии  $p_2$ .

Отношение

$$\xi = \frac{t_{p_1} - t}{t_{p_1} - t_{p_2}} \quad (4)$$

характеризует степень завершения процесса парообразования.

В [2] показано, что процесс неравновесного истечения кипящей воды при неполной степени завершения процесса парообразования может быть построен в  $P$ — $Y$  диаграмме (рис. 2). Планиметрируя площадь процесса расширения 12<sub>д</sub>34 получаем величину кинетической энергии в потоке в масштабе диаграммы

$$- \int_{p_1}^{p_2} v dp = M_f \cdot S_{12\text{д}34} \quad (5)$$

Здесь:  $M_f$  — масштаб площади, кгм/см<sup>2</sup>,  
 $S$  — площадь, см<sup>2</sup>.

В силу условия

$$c_{\text{вых}} = \sqrt{2 \int_{p_1}^{p_2} (-v dp)} \text{ м/сек}, \quad (6)$$

из (5) получим

$$c_{\text{вых}} = \sqrt{2 M_f \cdot S_{12\text{д}34}} \text{ м/сек}, \quad (7)$$

откуда

$$g_y = \frac{c_{\text{вых}}}{v_{\text{вых}} \cdot 10^4} \frac{\text{кг}}{\text{см}^2 \cdot \text{сек}} \quad (8)$$



Таким образом могут быть подсчитаны значения скорости и расхода для различных режимов истечения при неполной степени завер-

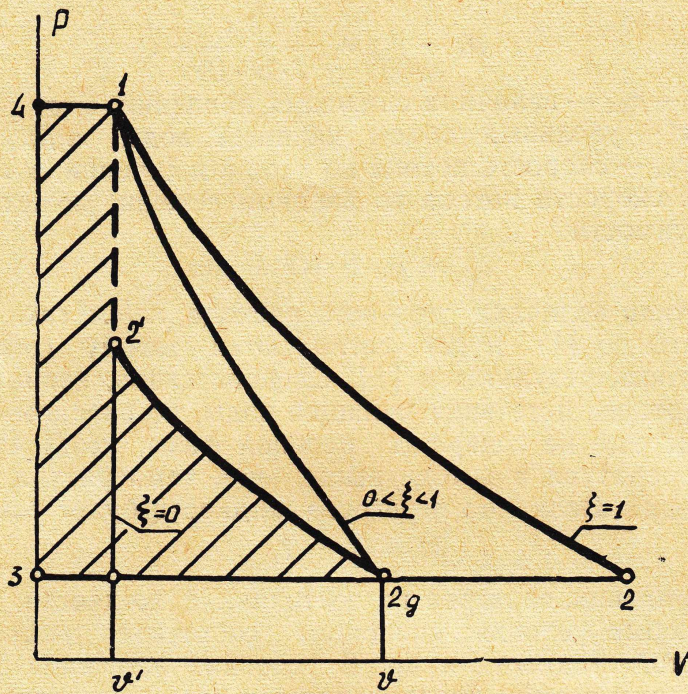


Рис. 2

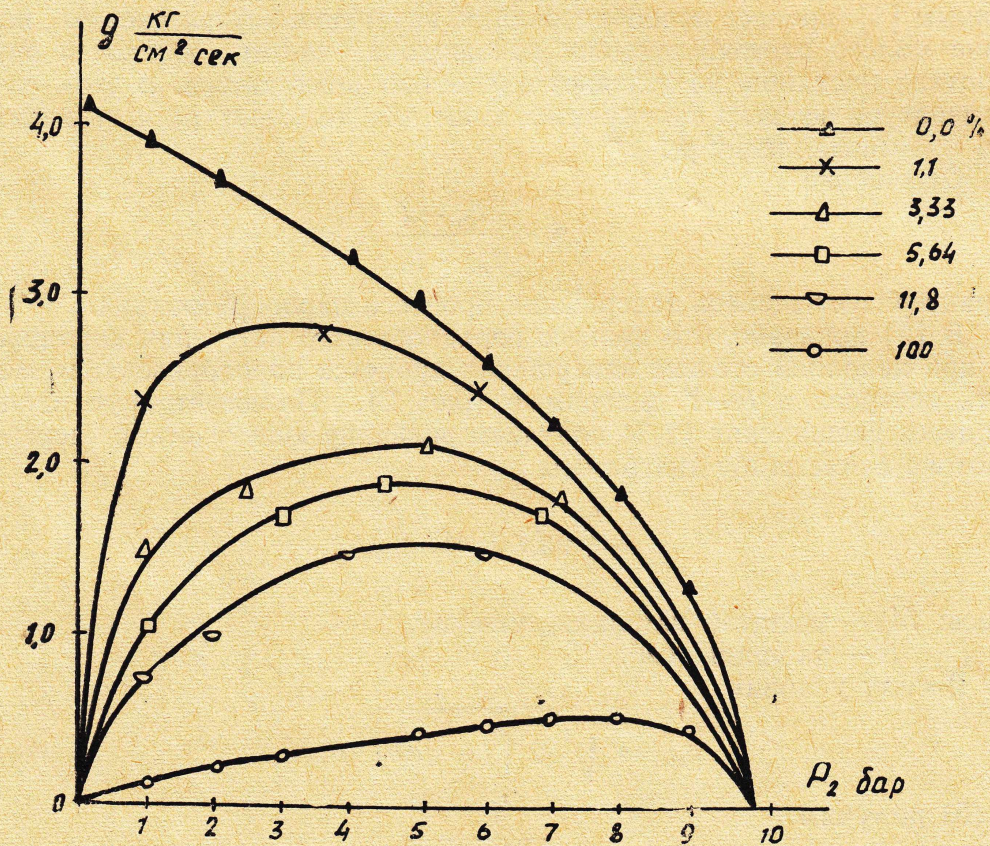


Рис. 3

шения процесса парообразования  $\xi$ , используя только термодинамические соотношения потока. В этом случае в графике процесса расшире-



ния не учитывается гидравлическое (без изменения объема) снижение давления во входном участке насадка. Для устранения этой погрешности в данной работе были проведены расчеты методом постепенного приближения процесса истечения кипящей воды с дополнительным учетом гидравлических соотношений во входном сечении участка насадка.

В силу неразрывности потока расход по длине не изменяется. Поэтому по найденным значениям из термодинамических соотношений параметров потока может быть определена величина снижения давления во входном сечении (формулы 1, 2). Нанеся линию падения давления в начальном участке насадка 1—2', строим действительный процесс расширения внутри насадка в первом приближении. По уточненной кривой процесса на  $P—Y$  диаграмме путем планиметрирования снова определяют величину скорости (7) удельного расхода (8). Найденные значения расхода будут меньше взятых за исходные данные в начале расчета. Поэтому поверочный расчет нужно провести вновь, взяв за исходные данные полученные после первого уточнения результаты. Затем расчет повторяется до получения совпадающих результатов.

На рис. 3 приведены результаты расчетов по указанному методу расхода кипящей воды через цилиндрические насадки с начальным давлением  $p_1 = 9,81$  бара в район с противодавлением  $p_2 = 0,98—8,8$  бара с различной степенью завершения процесса парообразования:  $\xi = 0,0\%$  — истечение холодной воды,  $\xi = 100\%$  — случай равновесного адиабатического истечения, случаи неполного завершения процесса парообразования — 1,1%, 3,33%, 5,64%, 11,8%.

Как видно из рис. 3, даже при небольших значениях степени завершения процесса парообразования ( $\xi = 3,33\%$ ), расход уменьшается более чем в два раза.

### Заключение

Предложен метод расчета процесса истечения кипящей воды, учитывающий особенности гидравлических и термодинамических зависимостей в потоке при истечении кипящей воды.

### ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Гурченко. Изв. ТПИ, т. 101, 1958.
  2. А. А. Гурченко. Изв. ТПИ, т. 110, 1962.
-