

**К РАСЧЕТУ ХАРАКТЕРИСТИК В ПОТОКЕ
ПРИ ИСТЕЧЕНИИ КИПЯЩЕЙ ВОДЫ С УЧЕТОМ
ОТНОСИТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ПАРОВОЙ ФАЗЫ**

А. А. ГУРЧЕНОК

(Представлена научным семинаром кафедры АТППП)

Обозначения, не поясненные в тексте:

ξ — степень завершения процесса парообразования, %,

ω — скорость пароводяной смеси, *м/сек.*,

g — расход удельный, *кг/см² сек.*,

V — расход объемный, *м³/сек.*,

μ — кинематическая вязкость, *кгсек/м².*,

σ — сила поверхностного натяжения, *кг/м.*

При расчете процесса истечения кипящей воды встречаются с рядом особенностей, изучение и учет которых позволяют приблизить результаты теоретических расчетов к опытным данным [1, 2]. Имеющиеся сведения по скорости относительного движения пара в парожидкостной смеси позволяют уточнить метод расчета процесса истечения кипящей воды [3, 4, 5].

В данной статье на основе имеющихся сведений по процессу истечения кипящей воды и относительному движению паровой фазы дается метод расчета характеристик потока кипящей воды с учетом указанного явления.

1

Поток пароводяной смеси может быть условно разграничен на два объема: по одному проходит вода, по другому — пар.

Условие запишется в виде

$$f = f_n + f_v, \quad (1)$$

где f — полное сечение потока.

Отсюда доля сечения, занимаемого паром,

$$\varphi_n = f_n/f, \quad (2)$$

водой

$$\varphi_v = f_v/f = 1 - \varphi_n \quad (3)$$

Значение приведенной скорости запишется в виде:
для паровой фазы

$$\omega_0'' = V_n/f, \quad (4)$$

для водяной части

$$\omega_0' = V_v/f. \quad (4-a)$$

Из (4) можно записать

$$V_n = \omega_0'' \cdot f, \quad (5)$$

$$V_v = \omega_0' \cdot f. \quad (5-a)$$

Значения действительной скорости паровой и жидкостной частей потока получим в виде:

$$\omega_{\text{п}}^{\lambda} = \omega_0'' / \varphi_{\text{п}}, \quad (6)$$

$$\omega_{\text{в}}^{\lambda} = \omega_0' / 1 - \varphi_{\text{п}}. \quad (6-a)$$

При равенстве скоростей обеих фаз расходное и объемное паросодержания будут одинаковы, т. е. $\varphi_{\text{п}} = \beta$.

Отсюда значение расходного паросодержания может быть определено из (6) и (6-a)

$$\beta = \omega_0' / \omega_0' + \omega_0''. \quad (7)$$

После преобразования (7) с учетом наличия разных значений скорости пара и воды, получим

$$\varphi_{\text{п}} = \beta \cdot \omega_{\text{см}}^{\lambda} / \omega_{\text{п}}^{\lambda}. \quad (8)$$

Это выражение показывает степень отклонения реального потока от условного, получаемого при равенстве скоростей фаз. По данным [3], зависимость между $\varphi_{\text{п}}$ и β имеет линейный характер

$$\varphi_{\text{п}} = c\beta, \quad (9)$$

где c — коэффициент пропорциональности. Численное значение c может быть определено из графика рис. 1.

В [4] приведены результаты опытного определения относительной скорости пара в парожидкостной смеси в вертикальных трубах. Результаты опытов обработаны в виде зависимости

$$\omega_0 = f(\omega_0'', \omega_0', v', v'', \mu', \sigma). \quad (10)$$

На основе анализа размерностей получено критериальное уравнение

$$\omega_0'' / \omega_0' = 3,0 \cdot (\omega_0'' / \omega_0')^{0,5} \cdot (\omega_0' \cdot \mu' / \sigma)^{0,1} \cdot (v' / v'')^{0,33}. \quad (11)$$

Указанные результаты были использованы в нижеприводимых расчетах

2

В [2] исследовался случай истечения кипящей воды через цилиндрические насадки при начальном давлении $P_1 \neq 9,8$ бар в район с противодавлением $P_2 = 0,98-9,0$ бар при различных степенях завершения процесса парообразования.

В табл. 1 приведены характеристики потока парожидкостной смеси при истечении кипящей воды при указанных выше условиях, определенные без учета возможности скольжения паровой фазы.

По приведенным данным ниже проведено определение относительной скорости паровой фазы. Для определения скорости и расхода были составлены замыкающие уравнения баланса кинетической энергии потока. Расчет проводился в следующей последовательности.

По данным [2] определялись: величина паросодержания

$$\varphi_{\text{п}} = x v'' / v_{\text{см}}, \quad (12)$$

и объемная доля воды

$$\varphi_{\text{в}} = 1 - \varphi_{\text{п}}. \quad (13)$$

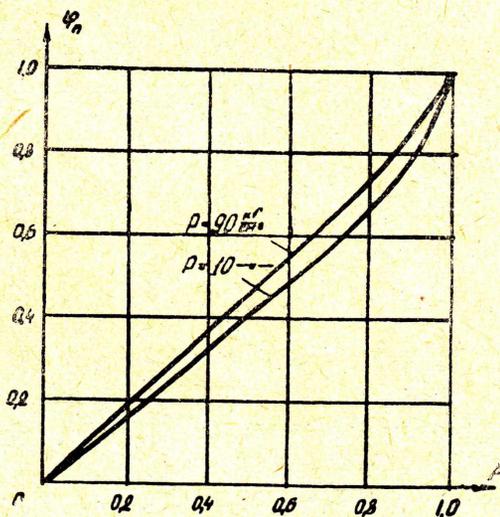


Рис. 1

Здесь: v'' , $v_{см}$ — соответственно удельный объем пара, пароводяной смеси при параметрах в потоке.

Весовые содержания пара и воды определялись через объемные по соотношениям:

для пара

$$g_{п} = \varphi_{п} \cdot v_{см}/v'' \quad (14),$$

для воды

$$g_{в} = \varphi_{в} \cdot v_{см}/v' \quad (15).$$

Т а б л и ц а 1

№ режима	ξ , %	p_2 , бар	w , м/сек	g , кг/см ² сек
1		0,98	50,0	2,4
2	1,1	3,53	38,0	2,8
3		6,02	29,7	2,44
4		0,98	57,2	1,44
5	3,33	2,45	42,1	1,85
6		5,24	33,7	2,17
7		7,15	24,4	1,85
8		0,98	78,9	0,72
9	11,8	3,92	64,0	1,05
10		7,84	21,5	1,44
11		0,98	162,5	0,31
12		1,96	134,0	0,36
13	100	4,9	77,4	0,62
14		7,84	33,4	0,66

Увеличение скорости пара получается за счет его ускорения во время истечения потока. Уравнение баланса кинетической энергии парожидкостного потока будет иметь вид

$$g_{п} (\rho_{п} w_{п}^2/2 - \rho_{п} w_{см}^2/2) = g_{в} (\rho_{в} w_{см}^2/2 - \rho_{в} w_{в}^2/2) \quad (16)$$

После преобразования (16) получим

$$w_{в}^2 = w_{см}^2 - g_{п} \rho_{п} / g_{в} \rho_{в} (w_{п}^2 - w_{см}^2). \quad (17)$$

Значение действительной величины объемного паросодержания будет равно

$$\varphi_{п}^* = \frac{x v'' / w_{п}}{x v'' / w_{п} + (1 - x) v' / w_{в}}, \quad (18)$$

соответственно, для воды

$$\varphi_{в}^* = 1 - \varphi_{п}^*. \quad (19)$$

Применяя уравнение неразрывности потока, получаем значение расхода в виде

$$g^* = f_{п} w_{п} / v'' + f_{в} w_{в} / v' \text{ кг/см}^2 \text{сек}. \quad (20)$$

Результаты расчетов по данным [2] приведены в табл. 2. Из данных табл. 2 видно:

а) для исследуемых режимов истечения кипящей воды значения относительной скорости пара равны 0—24,3 м/сек при определении по [3], 9,6—97 м/сек — [4];

б) значение величины действительной объемной доли паровой фазы при определении с учетом относительной скорости ее движения ока-

зывается меньше на 0—25% при расчете по [3], меньше на 1—47% при расчете по [4].

Таблица 2

№ режима	$\varphi_{п}$	$\varphi_{п}^*$		w_0'' м/сек	w_0 м/сек		$w_{п}^*$ м/сек		g^* кг/смсек ²	
		по [3]	по [4]		по [3]	по [4]	по [3]	по [4]	по [3]	по [4]
1	0,465	0,365	0,246	26,8	12,5	89,5	62,5	132,5	2,64	3,38
2	0,182	0,150	0,097	7,0	9,5	37,8	47,5	75,8	2,87	3,04
3	0,086	0,070	0,052	2,6	7,3	20,7	37,0	50,4	2,46	2,50
4	0,720	0,545	0,508	41,0	24,3	84,5	71,5	141,7	2,06	2,52
5	0,507	0,445	0,304	21,4	10,4	58,0	52,5	100,1	2,05	2,62
6	0,280	0,236	0,153	9,6	8,5	38,5	42,2	72,2	2,39	2,54
7	0,152	0,127	0,087	3,7	6,1	21,6	30,5	46,0	1,90	1,98
8	0,90	0,89	0,82	71,0	8,1	86,5	87,0	165,4	0,79	1,30
9	0,633	0,576	0,595	20,2	16,0	9,6	80,0	73,6	2,21	2,31
10	0,289	0,240	0,169	6,4	5,4	19,2	26,9	40,7	1,49	1,60
11	0,983	0,963	0,975	203,0	0	97,0	162,5	259,5	0,3	0,41
12	0,974	0,963	0,961	130,0	3,5	73,0	137,5	207,0	0,51	0,53
13	0,918	0,912	0,873	70,6	6,4	61,5	83,8	138,9	0,70	0,92
14	0,788	0,760	0,650	26,4	6,0	37,0	39,4	70,4	0,74	1,07

в) значение величины расхода оказывается увеличенным на 0—110% при расчете по [3], на 3—120% при расчете по [4].

Заключение

При исследовании процесса истечения кипящей воды необходимо учитывать наличие относительной скорости паровой фазы, изменяющей значение характеристик в потоке и увеличивающей значения расхода.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Гурченко. Изв. ТПИ, т. 110, 1962.
2. А. А. Гурченко. Настоящий сборник.
3. М. А. Стырикович. Котельные агрегаты. 1959, с. 212—218.
4. А. Л. Болотов. Теплоэнергетика, № 11, 1967.
5. Д. А. Лабунцов. Теплоэнергетика, № 4, 1968.