

диапазоне от 0,38 до 0,72 млн. м³ в год. Зависимость $W = f(V_{\text{ср.г}})$ представляет собой уравнение прямой линии $W = (-0,56 + 0,3 V_{\text{ср.г}}) \cdot 10^6$, теснота связи переменных в котором характеризуется коэффициентом корреляции $K = 0,967$. Учитывая, что по условиям охраны природы забор воды из нижнего бьефа не должен превышать 20% от расхода воды в реке, используя несколько ветроагрегатов ВУ-5,5, можно увеличить объем используемого на ГЭС речного стока до 20%, что обеспечит примерно такое же увеличение выработки электроэнергии ГЭС. При этом использование дополнительно вырабатываемой электроэнергии возможно как равномерно в течение суток (в базисе графика нагрузки системы), так и нескольких часов, участвуя в покрытии пиковых нагрузок в энергосистеме, что может потребовать корректировки гарантированной и установленной мощности ГЭС в сторону их увеличения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Современное состояние и возможные пути развития гидроэнергетики Беларуси / А. Н. Альферович, П. М. Богославчик, Л. А. Гриневиц, Г. Г. Круглов, Н. В. Сеницын // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объед. СНГ). — 1993. — № 3—4.

2. Шефтер Э. И. Использование энергии ветра. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 200 с.

3. Справочник по климату СССР. Вып. 7. Белорусская ССР. Часть III. Ветер. — Л.: Гидрометиздат, 1966. — 156 с.

Представлена кафедрой
гидротехнического
и энергетического строительства

Поступила 27.04.1994

УДК 621.1.1.7:66.023

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗА В МНОГОТРУБНЫХ АППАРАТАХ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ДВУХФАЗНЫХ СИСТЕМ

Докт. техн. наук, проф. ЕРШОВ А. И., инженеры САЕВИЧ Н. П., КАЛИШУК Д. Г.

Белорусский государственный технологический университет

В химической и смежных отраслях промышленности широко используются вертикальные трубчатые аппараты с восходящими газожидкостными потоками, включая теплообменники, реакторы, абсорберы и др. [1,2]. Их важным узлом является распределитель газа (пара), обеспечивающий равномерную подачу его во все трубки трубного пучка. Для этих целей в некоторых конструкциях [1] применяют патрубки с калиброванными отверстиями, выступающими под трубной доской.

Согласно данным [3,4], при вводе острого пара на начальном участке труб в трубчатых испарителях и выпарных аппаратах достигается интенсификация теплоотдачи со стороны кипящей жидкости. С учетом изложенного в Белорусском технологическом институте разработана установка [5], в которой предусматривается утилизация тепла паров дистиллята одной ректификационной колонны в испарителе другой. Так как теплообмен осуществляется при малых температурных напорах между

теплоносителями, для его интенсификации в кипящую жидкость предусмотрена подача острого пара. Ввиду ограниченной информации об интенсифицирующем воздействии ввода острого пара на теплообмен конденсация-кипение при малых температурных напорах нами ранее [6] были проведены экспериментальные исследования, которые позволили установить, что удельный тепловой поток может быть увеличен на 20—50 %. Однако из-за того, что максимальный эффект достигается в узком диапазоне соотношения расходов образующегося при кипении пара и острого, необходимо четкое распределение последнего по трубному пучку.

Конструкции с калиброванными отверстиями [1,2] малопригодны для распределения острого пара из-за чувствительности к загрязнениям и воздействию агрессивных сред, а также из-за больших габаритов вследствие необходимости поддержания значительного уровня паровой подушки. Дырчатые листы [3] не обеспечивают хорошего распределения пара, и при их монтаже и изготовлении необходима высокая точность.

Авторами предложено и испытано новое конструктивное решение, отличительной особенностью которого является наличие двух ступеней газораспределения. Предварительная оценка равномерности газораспределения предложенной конструкции выполнена на основе сравнительного анализа ее работы и базового варианта с одной ступенью газораспределения, представляющего собой дырчатый лист с обечайкой [3].

Настоящие экспериментальные исследования по газораспределению проводились на модели промышленного масштаба: сечение трубного пучка составляло 300 мм, где была установлена 61 трубка диаметром 18x1,5 мм. Испытываемые модели газораспределителей имели сечение, равное сечению трубного пучка с диаметром отверстий для прохода газа 6 мм. Общая высота газораспределителей не превышала 130 мм.

Равномерность распределения газа в трубном пучке определялась для нескольких модификаций газораспределителей при расходах жидкости и газа от 0,2 до 1,2 и от 2 до 12 м³/ч соответственно. Модельными средами служили вода и воздух. Во время опытов имитировались также перекосы газораспределителей относительно трубного пучка.

Учитывая симметричность потока, равномерность газораспределения оценивалась по гистограммам объемных газосодержаний (в дальнейшем — газосодержаний) в трубках, расположенных в радиальной плоскости трубного пучка. Газосодержание измерялось по уровню светлой жидкости.

Схема ячейки для измерения уровня светлой жидкости в трубке трубного пучка представлена на рис. 1. От глубины погружения линейных электродов в жидкость зависело падение напряжения в измеритель-

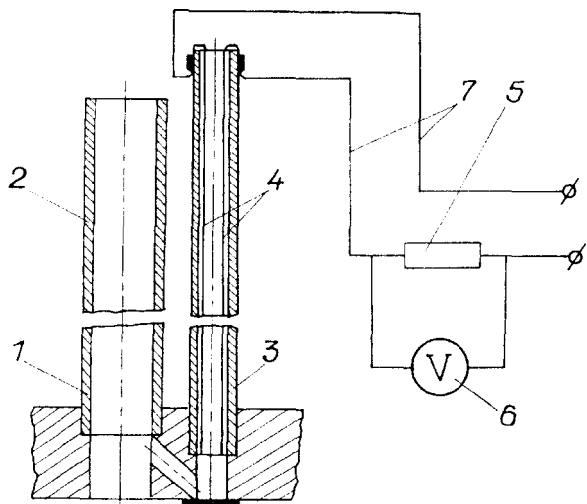


Рис. 1. 1—трубная решетка; 2—трубка; 3—измерительная трубка; 4—линейные электроды; 5—сопротивление; 6 — милливольтметр; 7 — соединительные провода

ной сети. В соответствии с данной информацией проводилась тарифовка каждой из пяти измерительных ячеек и определялся уровень светлой жидкости в трубках и соответственно газосодержание в них.

Гистограммы газосодержаний для различных конструкций газораспределителей представлены на рис. 2 для разных режимов работы.

Количественная оценка характера газораспределения осуществлялась коэффициентом неравномерности K , который определялся по зависимостям:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n |1 - \bar{\alpha}_i|}{n}; \quad (1)$$

$$\bar{\alpha}_i = \frac{|\alpha_i - \alpha_{cp}|}{\alpha_{cp}}, \quad (2)$$

где $\bar{\alpha}_i$ — относительное газосодержание i -й точки измерения;

n — количество точек измерения;

α_i — газосодержание в i -й точке измерения;

α_{cp} — среднее газосодержание.

Полученные после обработки экспериментальных данных по газосодержанию коэффициенты K сведены в табл. 1. Кроме того, в табл. 1 включены четные значения Δ_{max} , вычисленные по формуле

$$\Delta_{max} = \frac{\alpha_{max} - \alpha_{min}}{\alpha_{cp}} 100, \quad (3)$$

где α_{max} и α_{min} — максимальное и минимальное газосодержание в трубках.

Таблица 1

Расходы		Объемное газосодержание	Дырчатый лист [3]		Двухступенчатый распределитель	
Газ	Жидкость		$K \cdot 100$	$\Delta_{max}, \%$	$K \cdot 100$	$\Delta_{max}, \%$
0,2	2	0,41	2,34	11,67	0,62	2,93
	4	0,53	2,42	9,94	1,06	4,00
	8	0,62	2,60	8,15	0,62	1,94
	12	0,64	2,54	10,87	0,66	2,13
0,4	2	0,34	3,12	14,67	0,67	4,68
	4	0,46	2,70	10,71	0,33	1,28
	8	0,56	1,45	7,38	1,06	2,88
	12	0,60	1,32	7,46	0,79	2,40
0,8	2	0,26	2,79	12,34	1,92	9,65
	4	0,38	1,82	11,33	0,49	2,28
	8	0,50	2,35	9,14	0,60	1,89
	12	0,55	2,42	9,52	0,71	2,05
1,2	2	0,21	4,45	26,34	2,52	9,53
	4	0,33	1,82	10,86	1,35	5,17
	8	0,45	1,36	9,27	0,31	1,22
	12	0,50	1,97	6,76	0,74	1,84

Сравнительный анализ гистограмм газосодержаний показывает более равномерное распределение газа по трубному пучку новой конструкции газораспределителя по отношению к базовому варианту во всем исследованном диапазоне нагрузок по жидкости и газу. При этом значения Δ_{\max} для двухступенчатого газораспределителя оказались меньшими, чем у одноступенчатого и не превышали 10 %.

Полученные результаты свидетельствуют, что предложенная конструкция распределителя обеспечивает стабильное распределение потока в трубном пучке. Двухступенчатое газораспределение с образованием на нижней тарелке распределителя газовой подушки достаточной высоты позволяет снизить требования к горизонтальности при монтаже. Отсутствие калиброванных отверстий малого диаметра гарантирует данному газораспределителю малую чувствительность к загрязнению и воздействию агрессивных сред. Кроме того, установка данной модели газораспределителя в аппарат не требует конструктивных изменений трубного пучка и распределительной камеры стандартного вертикального кожухотрубного испарителя.

Разработанная конструкция газораспределителя может быть рекомендована для использования не только в теплообменных аппаратах, но и в реакторах, абсорберах с восходящими газожидкостными потоками, особенно при работе с загрязненными жидкостями.

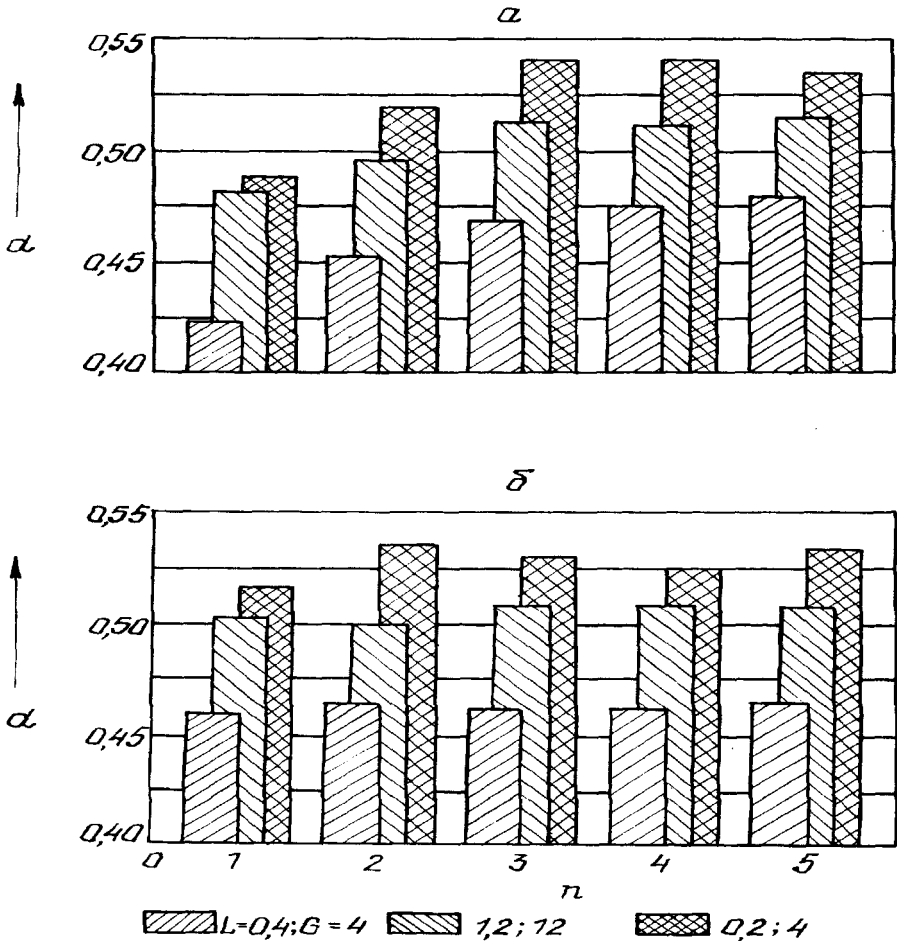


Рис. 2. а—дырчатый лист; б—двухступенчатый газораспределитель; L и G —расходы жидкости и газа соответственно, $\text{м}^3/\text{ч}$; n —номер измерительной ячейки (5 — соответствует центру)

1. Соколов В. Н., Доманский И. В. Газожидкостные реакторы. — Л.: Машиностроение, 1976. — 216 с.
2. Рамм В. М. Абсорбция газов. — М.: Химия, 1976. — 656 с.*
3. Кутепов А. М., Стерман Л. С., Стюшин Н. Г. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании. — М.: Высшая школа, 1986. — 448 с.
4. Таубман Е. И. Выпаривание. — М.: Химия, 1982. — 382 с.
5. А.с. 1386217 СССР. Установка для ректификации многокомпонентных смесей/ А.И. Ершов, М.Ф. Шнайдерман, Д.Г.Калишук и др. // Бюл. изобр. — 1988. — № 13.
6. Калишук Д. Г., Саевич Н. П., Шнайдерман М. Ф. Исследование теплообмена в испарителях при малых температурных напорах: Матер. юбил. науч.-техн. конф. по итогам научно-исследовательских работ. — Мн.: БТИ, 1990. — С. 197.

Представлена кафедрой процессов и аппаратов химических производств

Поступила 9.02.1994

УДК 621.311.22

О ПРИМЕНЕНИИ РЕГЕНЕРАТИВНОГО НАГРЕВА ВОДЫ В УТИЛИЗАЦИОННЫХ ПГУ ПРИ СЖИГАНИИ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ ГАЗОТУРБИННЫХ ТОПЛИВ

Кандидаты техн. наук, доценты МОШКАРИН А. В., ШЕЛЫГИН Б. Л.

Ивановский государственный энергетический университет

В теоретических исследованиях [1,2] показано, что регенеративный нагрев питательной воды в паровом цикле снижает тепловую экономичность парогазовых установок утилизационного типа. Эти выводы справедливы при использовании топлив, не содержащих серу.

При сжигании серосодержащих топлив температура уходящих газов ограничена температурой точки росы продуктов сгорания, которая равна [3]

$$t_p = t_k + \Delta t,$$

где t_k — температура конденсации водяных паров при их парциальном давлении в газах, °С;

Δt — возрастание температуры точки росы из-за содержания в газах SO_3 , °С.

В продуктах сгорания природного газа отечественных месторождений [4,5] температура точки росы равна температуре конденсации водяных

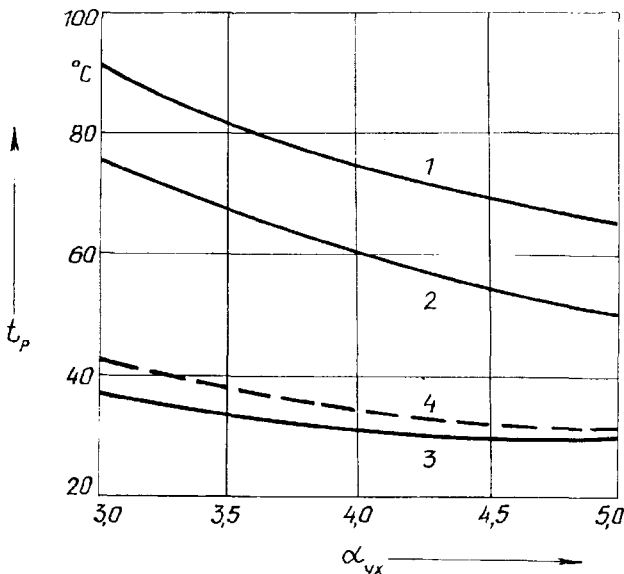


Рис.1. Зависимость температур конденсации водяных паров и точки росы от коэффициентов избытка воздуха и вида сжигаемого топлива: — — — — природный газ (4); — — — — газотурбинное топливо; 1 — $S^p = 2\%$; 2 — $0,9\%$; 3 — 0