

УДК 536.423

ШКЛЯР В.И., ДУБРОВСКАЯ В.В., ЗАДВЕРНЮК В.В.

Национальный технический университет Украины “КПИ”

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОМАССОБМЕНА ПРИ КОНДЕНСАЦИИ ПАРА ИЗ ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ В КОНТАКТНОМ КОНДЕНСАТОРЕ

Запропоновано критеріальне рівняння для визначення коефіцієнта ефективності тепломассообміну при конденсації пари з парогазової суміші в контактному конденсаторі теплоутилізаційного контуру парогазових установок. Визначено границю ефективного використання конденсатора.

Предложено критеріальное уравнение для определения коэффициента эффективности тепломассообмена при конденсации пара из парогазовой смеси в контактном конденсаторе теплоутилизационного контура парогазовых установок. Определена граница эффективного использования конденсатора.

Criterial equation for the efficiency factor of heat and mass transfer during steam condensation from steam-gas mixture in direct contact condenser of heat utilization system steam and gas generating units is offered. The limit of effective usage of condenser is determined.

d – влагосодержание;

$d_{\text{ЭКВ}}$ – эквивалентный диаметр;

$l/d_{\text{ЭКВ}}$ – геометрический фактор насадки;

E – коэффициент эффективности тепломассообмена;

G – плотность орошения;

G/W – коэффициент орошения;

I – энтальпия греющего теплоносителя;

l – высота насадки;

ПГУ – парогазовая установка;

W – скорость;

ПГС – парогазовая смесь.

Индексы

1 – вход;

2 – выход;

ОХЛ – охлаждение;

НАГР – нагревание.

Одним из перспективных направлений получения тепловой и электрической энергии является использование парогазовых установок (ПГУ). Повышение эффективности работы установок можно достичь путем использования в качестве теплообменного оборудования в теплоутилизационном контуре контактных конденсаторов с сетчатыми насадками для охлаждения и конденсации пара из парогазовой смеси. Применение контактного аппарата позволяет снизить температурный перепад в конденсаторе, что приводит к уменьшению габаритов и металлоемкости теплообменника. При этом в контактном конденсаторе генерируется дополнительная вода, образующаяся при сжигании водорода, находящегося в топливе, и происходит абсорбционная очистка входящих газов от оксидов азота и углерода.

При проектировании и эксплуатации теплоутилизующего контура с контактными теплообменниками необходимо иметь зависимость, которая позволяет определять условия достижения максимальной эффективности процессов тепломассообмена при заданных начальных параметрах теплоносителей. В литературных источниках рассматривается большое количество технико-экономических показателей, анализ которых свидетельствует об отсутствии в них единого методологического подхода к оценке эффективности теплообменников.

В контактном конденсаторе одновременно протекают два процесса: охлаждение парогазовой смеси и нагрев охлаждающей жидкости. Учитывая это, коэффициент эффективности тепломассообмена определяется произведением

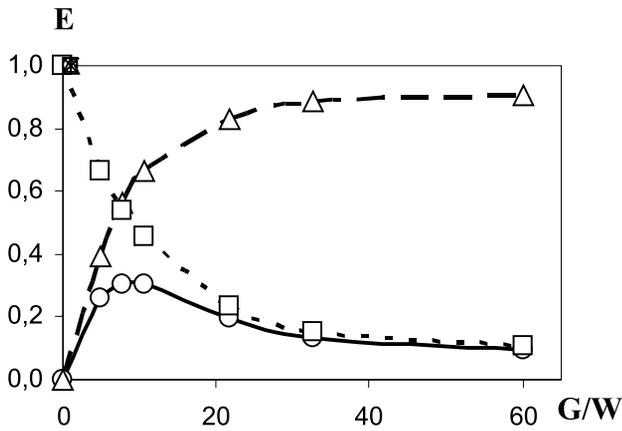


Рис. 1. Зависимость коэффициентов интенсивности теплообмена от коэффициента орошения.

○ – E ; △ – $E_{\text{НАГР}}$; □ – $E_{\text{ОХЛ}}$;

коэффициента эффективности охлаждения парогазовой смеси и коэффициента эффективности нагрева охлаждающей жидкости [1]:

$$E = E_{\text{ОХЛ}} \cdot E_{\text{НАГР}}, \quad (1)$$

где $E_{\text{ОХЛ}} = (I_1 - I_2) / (I_1 - I_{(1)})$, $E_{\text{НАГР}} = (i_2 - i_1) / (i_{(1)} - i_1)$;

I_1 , I_2 и i_1 , i_2 – энтальпии греющего и воспринимающего теплоносителей на входе и выходе; $I_{(1)}$ и $i_{(1)}$ – энтальпии греющего теплоносителя при начальной температуре воспринимающего и воспринимающего при начальной температуре греющего.

Целью данной работы являлось определение коэффициента эффективности теплообмена в контактном конденсаторе в зависимости от геометрических характеристик и геометрического фактора насадки $l/d_{\text{ЭКВ}}$, параметров парогазовой смеси и коэффициента орошения G/W .

Для решения данной задачи были обработаны экспериментальные данные, полученные на модели контактного конденсатора теплоутилизационного контура парогазовой установки. Рассмотрен противоточный режим движения парогазовой смеси и воды в сетчатых насадках различной геометрии и при различных параметрах рабочих сред [2].

В процессе подготовки и проведения опытов было определено, что на процесс теплообмена в контактных конденсаторах существенно влияют: параметры горячего (скорость W , влагосодержание d и теплофизические свойства вещества) и холодного (плотность орошения G , тепло-

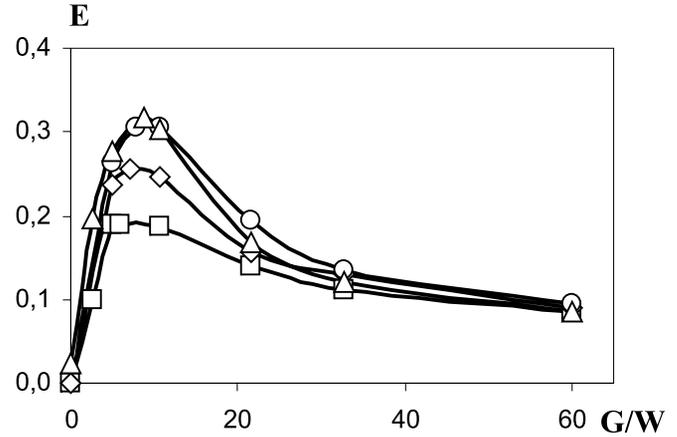


Рис. 2. Зависимость коэффициента интенсивности теплообмена E от коэффициента орошения при различных высотах насадки l :

○ – $l = 0,11$ м; □ – $l = 0,04$ м;

△ – $l = 0,155$ м; ◇ – $l = 0,08$ м.

физические свойства вещества) теплоносителей, а также геометрические характеристики насадки (эквивалентный диаметр $d_{\text{ЭКВ}}$ и высота l).

Скорость сухих газов W относили к пустому сечению контактной камеры конденсатора и определяли по температуре газов на входе в аппарат. Плотность орошения G определяли как отношение начального расхода воды к площади поперечного сечения контактной камеры.

Зависимости коэффициентов эффективности теплообмена, охлаждения парогазовой смеси и нагрева жидкости при контактной конденсации парогазовой смеси от коэффициента орошения при $W = 1,7$ м/с, $d = 0,61$ кг влаги / кг сух. возд, $l = 0,11$ м, $d_{\text{ЭКВ}} = 0,043$ м представлены на рис.1. При рассмотрении только охлаждения парогазовой смеси эффективность определяется коэффициентом $E_{\text{ОХЛ}}$, при нагреве воды – $E_{\text{НАГР}}$. В случае, когда необходимо обеспечить эффективное охлаждение газов при оптимальном нагреве воды, определяется коэффициент E .

Из рис.1 видно, что существует оптимум коэффициента орошения, при котором E имеет максимальное значение. Справа и слева от оптимума располагаются коэффициенты E с одинаковым значением, при этом коэффициенты орошения различны.

На рис. 2 представлена зависимость E от G/W для различных значений высот насадки l при $d_{\text{ЭКВ}} = 0,043$ м. Из рисунка видно, что увеличение

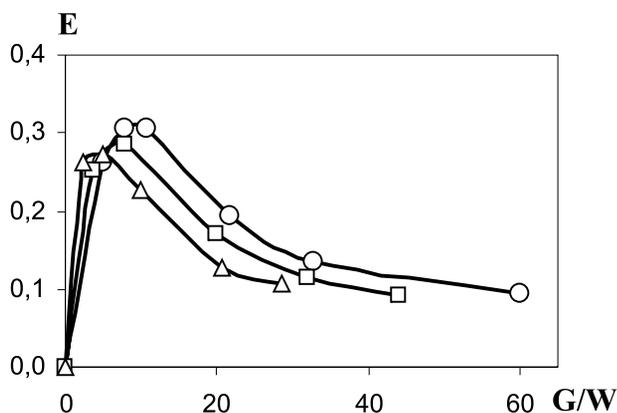


Рис. 3. Зависимость коэффициента интенсивности теплообмена E от коэффициента орошения при различных скоростях W :

- \triangle – $W = 3,4$ м/с; $d = 0,6$ кг/кг;
- \square – $W = 2,3$ м/с; $d = 0,6$ кг/кг;
- \circ – $W = 1,7$ м/с; $d = 0,6$ кг/кг.

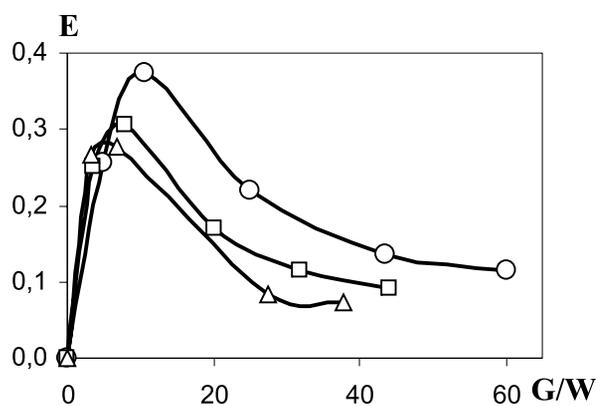


Рис. 4. Зависимость коэффициента интенсивности теплообмена от коэффициента орошения при различном влагосодержании d .

- \circ – $W = 3,4$ м/с; $d = 1,1$ кг/кг;
- \square – $W = 2,3$ м/с; $d = 0,6$ кг/кг;
- \triangle – $W = 1,7$ м/с; $d = 0,43$ кг/кг.

высоты насадки приводит к росту коэффициента эффективности процесса теплообмена E . При этом максимальные значения E при высотах $l = 0,11$ м и $l = 0,155$ м практически одинаковы. Это свидетельствует о существовании максимального коэффициента эффективности теплообмена при оптимальном отношении $l/d_{\text{ЭКВ}}$, после которого значение E начинает падать.

Влияние влагосодержания и скорости ПГС на коэффициент эффективности теплообмена показано на рис. 3 и рис. 4. Увеличение d и W приводит к возрастанию максимального значения E на всем промежутке изменения их значений. Кроме этого, возрастает и коэффициент орошения, т.к. требуется большее количество охлаждающей жидкости для протекания процесса охлаждения и конденсации ПГС.

По графическим зависимостям рис. 2–4, имеющим явно выраженные максимумы, были определены значения коэффициента орошения (G/W), соответствующие максимальному значению коэффициента эффективности теплообмена при различных начальных параметрах.

Обобщение полученных данных позволило получить графическую зависимость коэффициента эффективности теплообмена в контактном конденсаторе с сетчатой насадкой теп-

лоутилизационного контура ПГУ от коэффициента орошения, влагосодержания парогазовой смеси и геометрического фактора насадки для всего диапазона изменения $l/d_{\text{ЭКВ}}$ (рис. 5) и функциональную зависимость для возрастающей области кривой при $l/d_{\text{ЭКВ}} \leq 32$.

$$E = \left(\frac{G}{W}\right)^{0,3} \cdot d^{0,15} \cdot \left(\frac{l}{d_{\text{ЭКВ}}}\right)^{0,388} \quad (2)$$

Из полученных зависимостей видно, что интенсивность теплообмена возрастает с увеличением геометрического фактора и достигает максимума при его величине около 30, а затем уменьшается. Граница эффективного использования конденсатора лежит в пределах изменения $l/d_{\text{ЭКВ}} = 28-32$. Дальнейшее увеличение геометрического фактора приводит к увеличению массогабаритных показателей аппарата при той же эффективности, что и при низких значениях $l/d_{\text{ЭКВ}}$.

В обобщенной зависимости отсутствуют величины, характеризующие теплофизические свойства контактирующих веществ и температурный фактор [3]. Это объясняется тем, что в эксперименте использовались только смесь водяного пара с воздухом и для охлаждения водопроводная вода. Начальные температурные параметры на входе теплоносителей не изменялись согласно

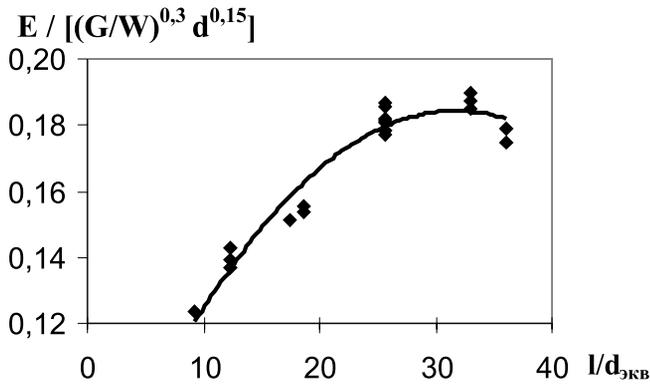


Рис. 5. Обобщающая зависимость коэффициента теплообмена от геометрического фактора насадки.

условиям моделирования процессов, происходящих в конденсаторе работающей ПГУ.

В отличие от работы [1] в обобщающую формулу было введено начальное влагосодержание парогазовой смеси. В наших опытах оно изменялось в диапазоне $d = 0,29 - 1,5$ кг влаги/кг сух. возд. при $W = 1,2 - 3,4$ м/с, $G = 0,9 - 175$ т/(м²ч), а в работе [1] $d = 0,11 - 0,13$ кг влаги /кг сух. возд. $W = 1,1 - 2,3$ м/с, $G = 8 - 15$ т/(м²ч). Более высокие скорости парогазового потока и плотности орошения объясняются использованием регулярных сетчатых насадок с малым гидравлическим сопротивлением, у которых более высокие скорости захлебывания по сравнению с насыпными. Кроме этого, сетчатые насадки обладают большей смоченной поверхностью при тех же геометрических факторах, что способствует повышению интенсивности теплообменных процессов, и тем самым смещается оптимум про-

цесса в сторону меньших значений геометрического фактора ($l/d_{\text{экв}} = 35$ [1]).

По результатам представленной работы можно сделать следующие выводы:

1. На интенсивность процесса теплообмена существенное влияние оказывают факторы: W , G , d .

2. Имеется оптимальное значение $l/d_{\text{экв}} = 30$, при котором E имеет самое большое значение.

3. Получена обобщающая зависимость для определения E .

4. Подтверждено преимущество сетчатых насадок по сравнению с насыпными.

Полученная обобщенная зависимость для определения E может быть использована для проектирования и сравнения теплообменных аппаратов контактного типа. В дальнейшем планируется проведение исследований в различных температурных диапазонах, а также изменение геометрии насадки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дикий Н.А., Дубровская В.В., Шкляр В.И. Исследование контактного конденсатора для теплоутилизационного контура КГПТУ // Промышленная теплотехника. – 2001. – Т. 23. – № 4–5. – С. 81 – 83.

2. Пресич Г.А. Коэффициент эффективности теплообмена в контактных аппаратах // Промышленная теплотехника. – 1985. – Т. 7. – № 1. – С. 33–35.

Получено 03.10.2005 г.