

УДК 536.24

Н.П. Саевич, Д.Г. Калишук, А.П. Кравчук
(УО БГТУ, г. Минск)**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ
ЗА СЧЕТ ИНТЕНСИФИКАЦИИ УТИЛИЗАЦИИ
НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА ПРИ КИПЕНИИ ЖИДКОСТИ**

При проведении многих производственных процессов избыточная тепловая энергия от оборудования, технологических потоков не рекуперирована, а отводится оборотной водой, воздухом, что вызывает тепловые выбросы в окружающую среду. Кроме того, в таких случаях повышается энергоемкость производства. В настоящее время, как правило, не утилизируется тепловая энергия при низкой температуре ее носителей. Сдерживают широкое внедрение процессов утилизации энергии низкотемпературных теплоносителей их большие капитальные затраты, отсутствие экономической эффективности. Перечисленные негативные факторы обусловлены отсутствием потребителей низкопотенциального тепла по месту их выброса, необходимостью проведения процессов утилизации при малых температурных напорах между теплоносителями. Последнее требует использования дорогостоящих, с большими поверхностями теплообмена аппаратов.

Возможными потребителями энергии низкопотенциальных вторичных теплоносителей могут являться кипящие среды, например, в многоколпных ректификационных установках для разделения сложных смесей, в многокорпусных выпарных установках. Нами была проведена технико-экономическая оценка возможности использования вторичного тепла паров флегмы и дистиллята в испарителях ректификационных установок производства капролактама [1]. Установлено, что безоговорочно такие процессы целесообразны при температурном напоре выше 20...22 К. При меньших температурных напорах гарантированно достичь положительных результатов можно лишь при интенсификации теплообмена. Лимитирует в таких случаях теплоотдача со стороны кипящей жидкости, интенсивность которой очень сильно снижается при уменьшении температурного напора, особенно в области так называемого свободно-конвективного режима [2,3].

В литературе упоминается метод интенсификации кипения за счет турбулизации жидкости острым паром [4]. Однако результатов исследований этого метода нами не выявлено. Поэтому авторы провели ряд экспериментальных исследований интенсификации кипения жидкости в вертикальной трубе при вводе острого пара на экономайзерном участке. Материалы поисковых исследований представлены нами в [5, 6]. Из них следу-

ет, что при кипении воды интенсификация теплообмена за счет ввода острого пара существенна при температурных напорах между теплоносителями $\Delta T = 4...12$ К. Увеличение удельного теплового потока при этом составляло до 60 %. Однако были получены лишь величины интегральной характеристики интенсивности теплообмена (коэффициента теплопередачи) в зависимости от ΔT и соотношения расходов острого и генерированного паров β при их кипении.

С целью более детального изучения процесса интенсификации теплообмена при кипении с получением значений коэффициентов теплоотдачи, температурного напора в кипящей жидкости ΔT_{cm} , скорости ее циркуляции нами создана экспериментальная установка и отработана методика проведения исследований [7]. К настоящему времени получены характеристики кипения двух модельных жидкостей – воды и раствора сахара, без интенсификации и с интенсификацией процесса при различных уровнях светлого слоя в трубе, ΔT_{cm} и β . Некоторые результаты исследований представлены ниже и соответствуют проведению эксперимента при высоте светлого слоя 75 % от высоты обогреваемого участка трубы и $\beta = 0,25$. Данные табл.1 получены при использовании в качестве модельной жидкости воды, табл.2 – 40%-ного водного раствора сахарозы.

Обозначения в таблицах: α, α^{on} - коэффициенты теплоотдачи без ввода острого пара и с вводом его соответственно; $\Delta \bar{q}$ – относительное приращение удельного теплового потока при вводе острого пара по сравнению с кипением без ввода острого пара.

Таблица 1

$\Delta T_{cm}, \text{K}$	3	4	5	6	7	8	9	10
$\alpha, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	2400	3200	4000	4700	5350	6000	6600	7150
$\alpha^{on}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	2800	5600	6800	7700	8500	9300	9400	8900
$\Delta \bar{q}$	0,00	0,77	0,65	0,61	0,52	0,51	0,42	0,26

Таблица 2

$\Delta T_{cm}, \text{K}$	5	6	7	8	9	10	11	12
$\alpha, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	1730	1900	2240	2550	2850	3280	3750	4250
$\alpha^{on}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	-	2500	3750	3900	3900	3950	4000	4000
$\Delta \bar{q}$	-	0,40	1,00	0,91	0,70	0,56	0,40	0,23

Из представленного в таблицах материала видно, что максимум интенсификации достигается при $\Delta T_{cm} = 4...9$ К. Для более вязкой, с меньшей теплопроводностью жидкости (раствор сахарозы) он смещается в об-

ласть больших температурных напоров. Кроме того, при кипении жидкостей такого рода эффекты интенсификации выше. Более детальное определение параметров, влияющих на интенсификацию кипения при вводе острого пара, а также разработка методики инженерного расчета α^{on} будут осуществлены авторами после проведения эксперимента еще на нескольких модельных средах и комплексного анализа их результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калишук Д.Г., Саевич Н.П., Коротков М.В. Техничко-экономическая оценка утилизации низкопотенциального тепла // Энергоэффективность. - 1999. - № 9. - С.21.
2. Теория теплообмена / С.И. Исасв, И.А. Кожинов, В.И. Кофанов и др. / Под ред. А.И.Леонтьева. - М.: Высшая школа, 1979.
3. Михеев М.А. Основы теплопередачи. - М.: Госэнергоиздат, 1956.
4. Таубман Е.И. Выпаривание. - М.: Химия, 1982.
5. Ершов А.И., Саевич Н.П., Калишук Д.Г. Влияние диспергирования пара в жидкость на интенсивность теплообмена при малых температурных перепадах между теплоносителями // Теплообмен ММФ-96: Труды III Минского международного форума (20-24 мая 1996 г.). - Мн.: ИТМО им. А.В. Лыкова НАНБ, 1996. Т.7. - С.54-59.
6. Калишук Д.Г., Саевич Н.П. Исследование теплообмена при малых температурных перепадах между теплоносителями и аспекты его применения в энергосберегающих технологиях // Труды Белорусского государственного технологического университета. Вып. VIII. Химия и технология неорганических веществ. - Мн.: БГТУ, 2000. - С.228-236.
7. Калишук Д.Г., Саевич Н.П., Ершов А.И., Особенности теплообмена, рекуперации и утилизации тепла при малых температурных перепадах между теплоносителями // Теплообмен ММФ-2000: Труды IV Минского международного форума по теплообмену (22-26 мая 2000 г.) - Мн.: ИТМО им. А.В. Лыкова НАНБ, 2000. Т.11. - С.104-108.