

Н. П. Саевич, доц., канд. техн. наук;  
Д. Г. Калишук, доц., канд. техн. наук;  
Ы. А. Усманов, магистрант; Ж. Р. Ниезов, магистрант;  
И. С. Рахматуллаев, магистрант (БГТУ, г. Минск)

## **ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАБОТЫ ЦИРКУЛЯЦИОННОГО КОНТАКТНОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ**

Контактные теплообменники достаточно широко применяются в химической, горноперерабатывающей и пищевой промышленности, в сельском хозяйстве для нагрева острым паром чистых жидкостей, а также растворов, суспензий и т. д.

Нагрев жидких сред острым паром имеет следующие преимущества по сравнению с их нагревом глухим паром: отсутствует термическое сопротивление стенки, разделяющей теплоносители; движение и конденсация паровых пузырей в жидкости вызывает ее дополнительное перемешивание и активную турбулизацию, что интенсифицирует теплопередачу; процесс эксплуатации оборудования более стабилен во времени, т. к. требуется меньше остановок аппаратуры на ее очистку.

В большинстве случаев при нагреве острым паром используются контактные подогреватели жидких сред барботажного и струйного типов. Струйные теплообменники-подогреватели по сравнению с барботажными компактны и легко встраиваются в технологическое оборудование (реакторы, растворители и т. д.) и трубопроводы. Однако установка и эксплуатация их внутри емкостных или колонных аппаратов во многих случаях нежелательна из-за динамических воздействий высокоскоростной струи пара на элементы конструкции, а также из-за негативных эффектов, сопряженных с явлением кавитации, возникающем при конденсацией острого пара в нагреваемой жидкой среде. При указанных обстоятельствах применим вариант использования вынесенного контактного теплообменника с вводом струи пара в жидкость. Он не требует установки насоса для организации циркуляции жидкости и, следовательно, дополнительного расхода энергии на его привод. В учебной и в фундаментальной научной литературе [1-4] информация по расчетам, конструированию и режимах работы подобных струйных контактных теплообменников смешения отсутствует.

Авторами был разработан образец циркуляционного контактного подогревателя, а также экспериментальная установка для его исследований [5]. Установка включает емкость (аппарат), соединенную циркуляционными трубами (холодной и горячей) с корпусом теплообмен-

ного аппарата. Внутри корпуса теплообменника устанавливалось эжекционное устройство через которое в жидкость подавался острый пар. Эжекционный эффект в зоне взаимодействия фаз обеспечивал при работе аппарата активную направленную циркуляцию жидкости по замкнутому контуру «емкость – холодная труба – корпус теплообменного аппарата – горячая труба – емкость».

В ходе эксперимента определялась динамика изменения температуры среды в различных точках установки и теплообменника. Также проводилась видеосъемка зоны взаимодействия пара с жидкостью и картины течения трассера в холодной циркуляционной трубе при измерении скорости циркуляции. Визуальными наблюдениями оценивался характер взаимодействия пара и жидкости в аппарате.

При выполнении опытов поддерживалось избыточное давление пара на входе в сопло от 15 до 40 кПа. При этом скорость истечения пара составляла от 20 до 125 м/с.

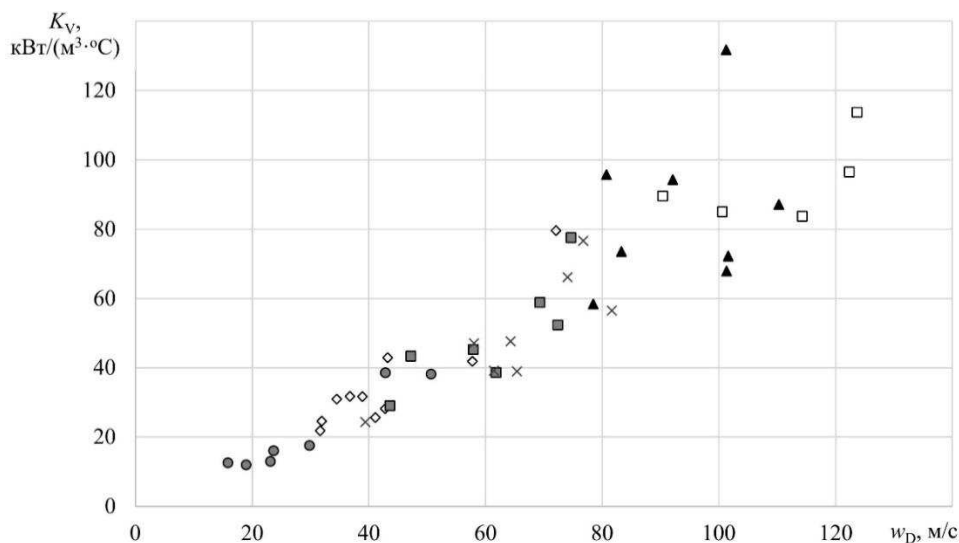
В ходе обработки опытных данных определялись: количество тепла на нагрев жидкости; скорость циркуляции жидкости в холодной трубе; скорость пара на выходе из сопла (скорость истечения); удельный объемный теплосъем и объемный коэффициент теплопередачи.

На рис. 1 представлена зависимость объемного коэффициента теплопередачи  $K_V$ , кВт/(м<sup>3</sup>·град), от скорости истечения острого пара  $w_D$ , м/с, для различных вариантов исполнения узла ввода острого пара (с эжектором и без него).

Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы:

- эффективность работы теплообменника зависит от скорости истечения острого пара в нагреваемую жидкость;
- интенсивность теплообмена скачкообразно возрастает при скоростях истечения пара из сопла 65–80 м/с;
- при скорости истечения пара более 80 м/с достижимы объемные коэффициенты теплопередачи свыше 70 кВт/(м<sup>3</sup>·град), при этом удельный теплосъем может превышать значений 2 МВт/м<sup>3</sup>.

Исследованный контактный подогреватель имеет простую конструкцию, легко встраивается в существующие емкостные или колонные аппараты и не требует установки насоса. Выносная конструкция теплообменника позволяет исключить влияние динамических воздействий высокоскоростной струи острого пара на элементы конструкции основного аппарата, а также минимизировать негативное влияние кавитационных эффектов.



**Рисунок 1 – Зависимость объемного коэффициента теплопередачи  $K_v$  от скорости истечения острого пара  $w_D$**

Скорость циркуляции нагреваемой жидкости в циркуляционных трубах, при избыточном давлении греющего пара на входе в сопло 30–40 кПа составляла от 0,3 до 0,6 м/с. Это позволяет сделать вывод о применимости исследованного контактного выносного теплообменника для нагревания жидкости с включениями в виде твердых частиц.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Контактные теплообменники / Е. И. Таубман [и др.]. – М.: Химия, 1987. – 256 с.
2. Соколов, Е. Я. Струйные аппараты / Е. Я. Соколов, Зингер Н. М. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.
3. Цегельский, В. Г. Двухфазные струйные аппараты / В. Г. Цегельский. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 408 с.
4. Соснин, Ю. П. Контактные водонагреватели / Ю. П. Соснин. – М.: Стройиздат, 1974. – 359 с.
5. Саевич, Н. П. Теплообмен и гидродинамика в струйном циркуляционном контактом теплообменнике-подогревателе / Н. П. Саевич [и др.] / В сб. НЕФТЕХИМИЯ– 2020: материалы III Междунар. науч.-техн. форума по хим. технологиям и нефтегазоперераб., Минск, 2–3 декабря 2020 г. – Минск: БГТУ, 2020. – с. 219 – 223