

2. Соколов, Е. Я. Струйные аппараты / Е. Я. Соколов, Н. М. Зингер. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.

УДК 621.1.016

## МОДЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЕМКОСТНОГО СТРУЙНОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ

Д. Г. Калишук, к. т. н., доцент; Н. П. Саевич, к. т. н.;  
Д. И. Чиркун, к. т. н.; А. Э. Левданский, д. т. н., доцент;  
Е. В. Опимах, аспирант

*Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет» г. Минск, Республика Беларусь*

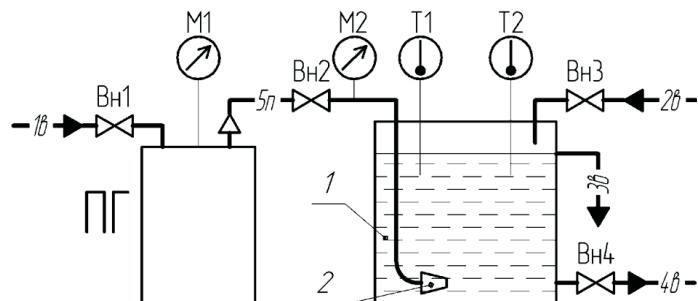
Емкостные теплообменники смешения нашли широкое применение в пищевой промышленности и сельском хозяйстве, как для нагрева чистых жидкостей, так и растворов, суспензий и т. д.

В емкостных теплообменниках смешения используют барботажные и струйные устройства для подвода острого пара. Барботажным устройствам присущи следующие недостатки: неравномерность распределения пара, низкая интенсивность теплообмена, значительный проскок острого пара на свободную поверхность нагреваемой среды. Барботажные устройства не следует использовать для нагревания агрессивных жидкостей из-за их быстрого выхода из строя, вызываемого коррозионным разрастанием малых отверстий для выхода пара. Также нежелательно применение барботеров для нагрева жидких продуктов, содержащих твердые включения, так как усугубляется неравномерность распределения пара, возможны забивка отверстий и возникновение слоя отложений.

Струйные устройства представляются в современных патентах, статьях рекламного характера и проспектах фирм-производителей как перспективные, надежные и эффективные [1, 2]. Однако данные о режимах их работы, методики расчета и конструирования в литературе отсутствуют.

Нами проведены поисковые экспериментальные исследования по определению основных характеристик емкостного теплообменника смешения со струйными устройствами для подвода острого пара. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

При выполнении опытов вода подвергалась нагреванию острым паром в цилиндрической емкости диаметром 0,38 м, выполненной из органического стекла. Выполнение емкости из прозрачного материала позволяло в ходе эксперимента вести визуальные наблюдения за картиной взаимодействия пара с жидкостью, а также за его движением и распределением. Уровень жидкости в емкости при проведении опытов поддерживался постоянным. Устройства для подвода острого пара устанавливались на заглублении 0,34 м от свободной поверхности жидкости. Использовалось два устройства: сопло диаметром 7,6 мм и коллектор с четырьмя соплами диаметром 3,8 мм. Температура нагреваемой воды при проведении опытов измерялась двумя электронными термометрами в точках, расположенных в одной диаметральной плоскости. Также образцовым манометром с точностью  $\pm 1$  кПа измерялось давление пара на входе в сопла. Расход пара, его скорость на выходе из сопел и подводимая в аппарат тепловая мощность определялись расчетным путем при решении уравнений материального и теплового баланса.



*Рис. 1. Схема экспериментальной установки:*  
 1 – емкость; 2 – устройство для ввода острого пара; Вн1–Вн4 – вентили;  
 М1 и М2 – манометры; ПГ – парогенератор; Т1 и Т2 – термометры. Потоки:  
 1в – вода на подпитку парогенератора;  
 2в – вода на заполнение емкости; 3в – линия перелива воды;  
 4в – слив воды; 5п – пар

Установлено, что при скорости пара на выходе из сопла до 50 м/с теплообменник работает неустойчиво и неэффективно из-за проскара крупных пузырей пара и их конгломератов на свободную поверхность жидкости. При скорости пара, превышающей 60 м/с, в жидкости на выходе из сопел, образуются устойчивые парожидкостные факелы, и ра-

бота аппарата стабилизируется. При этом в исследованных диапазонах изменения режимов работы достигалась полная конденсация острого пара в воде. Отмечено, что скорость нагрева воды (интенсивность теплообмена) не зависит от разности температур теплоносителей, а зависит только от расхода острого пара. Указанное проиллюстрировано рис. 2, на котором представлена динамика изменения температуры нагреваемой воды при различных давлениях пара на входе в сопла (соответственно при различных расходах пара). Также визуально выявлено, что использование многосоплового устройства предпочтительно из-за уменьшения вертикального размера зоны активного теплообмена. Как активная зона теплообмена нами идентифицировалась область существования парожидкостных факелов.

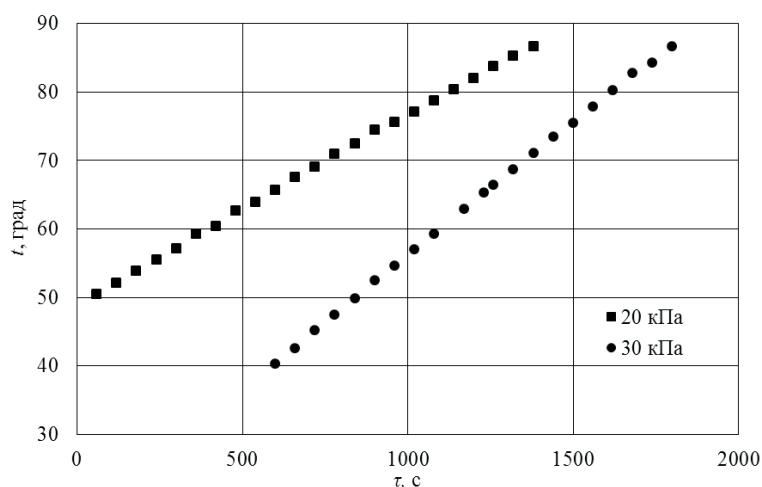


Рис. 2. Динамика изменения температуры жидкости (устройство для ввода острого пара с четырьмя соплами)

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Соснин, Ю. П. Контактные водонагреватели / Ю. П. Соснин. – М.: Стройиздат, 1974. – 359 с.
2. Белевич, А. И. О применении паровых инжекторов в теплоснабжении / А. И. Белевич, А. В. Крупцов, В. А. Малофеев // Энергетик. – 2001. – № 11. – С. 20-22.