

ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕНА И ГИДРОДИНАМИКИ ЦИРКУЛЯЦИОННОГО ТЕПЛООБМЕННИКА СМЕШЕНИЯ

**Саевич Н.П., Калишук Д.Г., Бегматов Ш., Ковалевский А.С.
Белорусский государственный технологический университет
г. Минск, Республика Беларусь**

Как известно, теплообмен в теплообменниках смешения протекает более интенсивно, чем в поверхностных. Кроме того теплообменники смешения менее материалоемки и конструктивно проще. Однако они применимы лишь в тех случаях, когда допускается смешение взаимодействующих нагреваемой (охлаждаемой) технологической среды с греющим (охлаждающим) агентом.

Одним из распространенных видов теплообменников смешения являются аппараты для нагревания жидких сред острым паром. Они широко применяются, в том числе в пищевой промышленности и сельском хозяйстве, как для нагрева чистых жидкостей, так и растворов, суспензий и т. д. Наиболее распространены смесительные подогреватели жидких сред барботажного и струйного типов.

Струйные теплообменники-подогреватели компактны, легко встраиваются в технологическое оборудование (реакторы, растворители и т. д.) и трубопроводы. Однако установка и эксплуатация их внутри емкостных или колонных аппаратов зачастую нежелательна из-за динамических воздействий высокоскоростной струи пара на элементы конструкции, а также из-за негативного влияния кавитационных эффектов.

В таком случае применим вариант использования вынесенного теплообменника смешения с подачей струи пара в жидкость, не требующий установки насоса и дополнительного расхода энергии на его привод. Однако как в учебной [1], так и в фундаментальной научной литературе [2,3] информация по расчетам, конструированию и режимах работы подобных струйных теплообменников смешения отсутствует.

Нами были разработаны модель циркуляционного теплообменника смешения и экспериментальная установка для его исследований, схема которой представлена на рисунке. Установка включает емкость 4, соединенную циркуляционными трубами 2 и 3 с корпусом теплообменного аппарата 1. Внутри корпуса 1 устанавливалось эжекционное устройство 5. Для контроля текущих значений температуры в различных зонах теплообменника были установлены термометры $T1-T3$, для определения давления пара – манометры $M3$ и $M4$. Весь теплообменник был выполнен из прозрачного материала, что позволяло вести визуальные наблюдения в ходе эксперимента.

При проведении экспериментов емкость 4, корпус теплообменного аппарата 1, циркуляционные трубы 2 и 3 заполнялись водой. Через эжекционное устройство 5 в жидкость подавался острый пар. Эжекционный эффект в зоне взаимодействия фаз создает предпосылки для направленной циркуляции жидкости по контуру «емкость 4 – холодная труба 3 – корпус теплообменного аппарата 1 – горячая труба 2 – емкость 4».

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 циркуляционной трубе 3 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.

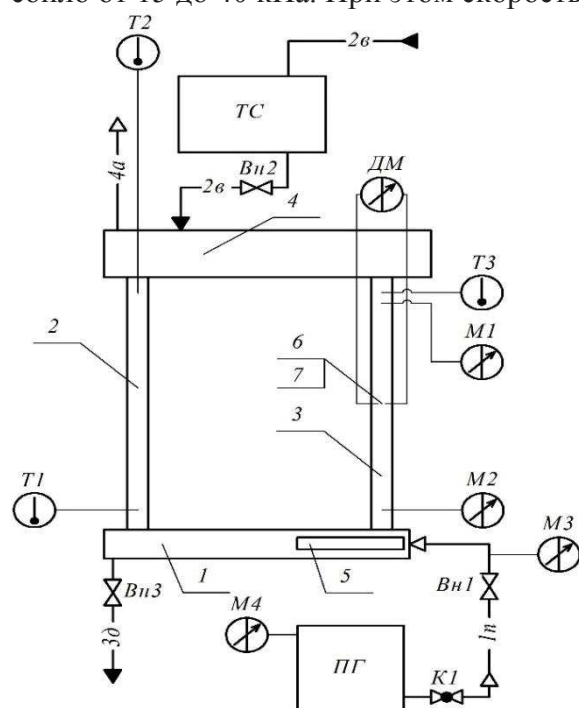


Рисунок — Схема экспериментальной установки:

1 — корпус теплообменного аппарата; 2 — горячая труба; 3 — холодная труба; 4 — емкость; 5 — устройство эжекционное; ПГ — парогенератор; ТС — термостат; М1 и М2 — пьезометры; М3 — манометр образцовый; М4 — манометр; Т1–Т3 — термометры; Вн1–Вн3 — вентили; К1 — кран. Обозначение потоков: In — греющий пар; 2в — вода; 3д — дренаж; 4а —общение с атмосферой

скоростях истечения 80–125 м/с составляет 70–130 кВт/(м³·К). Значение коэффициента теплопередачи при этом возрастает с ростом скорости истечения острого пара. Объемная плотность теплового потока в аппарате для подвода острого пара достигала 3,75 МВт/м³.

Скорость циркуляции нагреваемой жидкости, определенная методом трассирования, при избыточном давлении греющего пара на входе в сопло 30–40 кПа составляла от 0,3 до 0,6 м/с, что позволяет сделать вывод о применимости исследованного теплообменника для нагревания жидкости с механическими включениями.

Литература

1. Теплотехника: Учеб. для вузов / В. Н. Луканин, М. Г. Шатров, Г. М. Камфер и др.: Под ред. В. Н. Луканина — 2-е изд. перераб. — М.: Высш. шк., 2000. — 671 с.
2. Соколов, Е.Я. Струйные аппараты / Е.Я. Соколов, Н. М. Зингер. — 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.

При скорости истечения пара, не превышавшей 50 м/с наблюдалась нестабильная и малоинтенсивная работа теплообменника. В таких случаях пар из сопла зачастую выходил в виде крупных пузырей и их агломератов, которые не успевали сконденсироваться в аппарате для подвода острого пара и в горячей трубе циркуляционного контура. При высоких скоростях истечения пара из сопла образовывался устойчивый, отчетливо видимый парожидкостной факел, включавший в свой состав мелкие, диаметром не более 1,5 мм пузырьки пара. За пределами данного факела объемная концентрация пузырьков несконденсировавшегося пара была незначительной, и нагреваемая жидкость не теряла прозрачности. Проскок несконденсировавшегося пара на свободную поверхность жидкости в емкости 4 не наблюдался.

В ходе обработки опытных данных определялись количество тепла на нагрев жидкости, скорость циркуляции, скорость пара на выходе из сопла, удельный объемный теплосъем и объемный коэффициент теплопередачи и др. параметры.

По итогам проведенных исследований выявлено, что объемный коэффициент теплопередачи (в расчете на объем аппарата для подвода острого пара) при