УДК 621.6.03
DOI: 10.25206/2310-4597-2023-1-85-90

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТЕПЛООБМЕНА В НАНОЖИДКОСТЯХ

FEATURES OF CREATING AN EXPERIMENTAL FACILITY FOR STUDYING HEAT TRANSFER IN NANOFLUIDS

Е. Н. Слободина, И. А. Степашкин, Д. В. Коваленко, А. Г. Михайлов
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

E. N. Slobodina, I. A. Stepashkin, D. V. Kovalenko, A. G. Mikhailov
Omsk State Technical University, Omsk, Russia

Аннотация. В статье рассмотрены методы исследования наножидкостей, применяемые при изучении свойств теплообмена при использовании наножидкостей. Приведены схемы экспериментальных установок, используемые в опытах по изучению тепловых процессов при течении модифицированных теплоносителей – наножидкостей.

***Ключевые слова*:** наножидкость, теплообмен, экспериментальный стенд.

Abstract. The article considers methods for studying nanofluids used in studying the properties of heat transfer when using nanofluids. Schemes of experimental equipment used in experiments on the study of thermal processes in the flow of modified heat carriers - nanofluids are presented.

***Keyword*:** nanofluid, heat transfer, experimental equipment.

I. Введение

Одним из перспективных способов интенсификации теплообменных процессов является повышение теплопроводности теплоносителя (жидкости) путем добавления в него твердых частиц с высокой теплопроводностью. При этом величина повышения зависит от материала наночастиц, их объемной доли, а также многих других факторов.

Первые эксперименты по измерению теплопроводности наножидкостей показали прекрасные результаты: добавление наночастиц в небольших концентрациях, порядка долей процента, вызывает значительный рост теплопроводности теплоносителя. Что в свою очередь приводит к росту коэффициента теплоотдачи. Данный процесс определяет высокоэффективную работу теплоэнергетической установки.

Изучением свойств наножидкостей занимаются во многих странах, при этом используются различные экспериментальные установки для получения необходимых результатов.

II. Постановка задачи

Экспериментальное изучение теплообмена наножидкостей предъявляет дополнительные требования к установкам и технологии проведения эксперимента по сравнению с чистыми средами.

При исследовании коэффициентов теплопроводности (теплоотдачи) в стационарном режиме тепловой поток создается при помощи внешних источников теплоты (электрических нагревателей), они служат для создания равномерного теплового потока, распределенного по всей поверхности нагрева [1]. Опытные данные по коэффициентам теплоотдачи представляются в виде зависимостей от критериев подобия.

В данной работе представлен обзор экспериментальные установки, которые используются при изучении процессов теплообмена в жидкостях и предложена модель установки для изучения особенностей теплобмена в наножидкостях.

III. Теория

Большинство экспериментальных методов основывается на наблюдении за температурным полем, возникающим от теплового потока, и далее рассчитывается коэффициент теплоотдачи.

Существуют различные экспериментальные установки, которые используются при изучении процессов теплообмена в жидкостях.

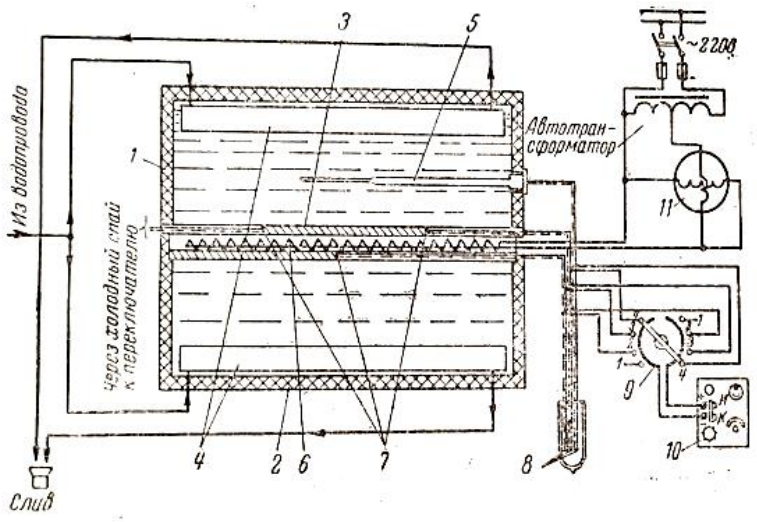

Рис. 1. Схема опытной установки для исследования теплоотдачи в потоке капельной жидкости:
1 – металлический бак; 2 – тепловая изоляция бака; 3 – опытная труба; 4 – холодильник;
5 – термопара; 6 – электрический нагреватель; 7 – термопары; 8 – холодные спаи термопар;
9 – переключатель; 10 – потенциометр; 11 – ваттметр

Исследование теплоотдачи в потоке капельной жидкости (воде) проводится на измерительном участке состоящем из бака 1, покрытого изоляцией 2, опытной горизонтальной трубы 3, и холодильников 4. Опытная труба выполняется из меди диаметром 30 мм и длиной 210 мм. Внутри трубы закладывается электрический нагреватель 6. Холодильники расположены параллельно оси опытной трубы. Они воспринимают теплоту, выделяемую опытной трубой. Термопара 5 для измерения температуры жидкости помещается в латунную тонкостенную трубку и устанавливается в среднем сечении между опытной трубой и холодильником. Для измерения температуры поверхности в стенке трубы заделаны четыре термопары 7. Каждая термопара имеет свой холодный спай 8. Все они подключены к двухполюсному переключателю 9. Термо - э. д. с. термопар измеряется потенциометром 10.

Опытный горизонтальный теплообменник типа «труба в трубе» представлен на рис. 2. Основным элементом его является цилиндрическая медная труба 1 диаметром 16 мм и длиной 2100 мм с толщиной стенки 2 мм, коаксиально помещенная во второй трубе 2, служащей кожухом, или канал прямоугольного сечения 3,3Х17 мм длиной 750, мм. По опытной трубе движется нагретая вода, а внутри опытного канала прямоугольного сечения – масло. Объектом исследований является теплообмен между нагретой жидкостью и стенкой. Между опытной трубой и кожухом движется охлаждающая вода. Вход в опытную трубу выполнен плавным, перед входом находится камера 3, обеспечивающая равномерное распределение скорости жидкости на входе. После опытной трубы жидкость поступает в камеру смешения 4, которая гарантирует хорошее перемешивание жидкости перед измерением ее температуры. Для уменьшения потерь теплоты в окружающую среду входная и смесительные камеры, патрубки для термопар изолируются. Циркуляция жидкости в системе осуществляется центробежным насосом 5, который забирает воду из сборного бака. После насоса она поступает в опытный теплообменник, оттуда в измерительную диафрагму или в мерные сосуды для измерении расхода, а затем сливается в сборный бак 6. Расход жидкости регулируется вентилем 7. Второй насос служит для хорошего перемешивания и обеспечения равномерности распределения температуры жидкости в сборном баке. В сборном баке имеется электрический нагреватель 8, мощность которого регулируется путем включения разного количества секций.

Одна из секций регулируется автоматическим трансформатором 9. Для автоматического поддержания температуры жидкости на входе в теплообменник постоянной используется терморегулятор. Температура стенки опытной трубки изменяется, как и тепловой поток, по длине трубы и измеряется термопарами 10, заделанными в стенке.

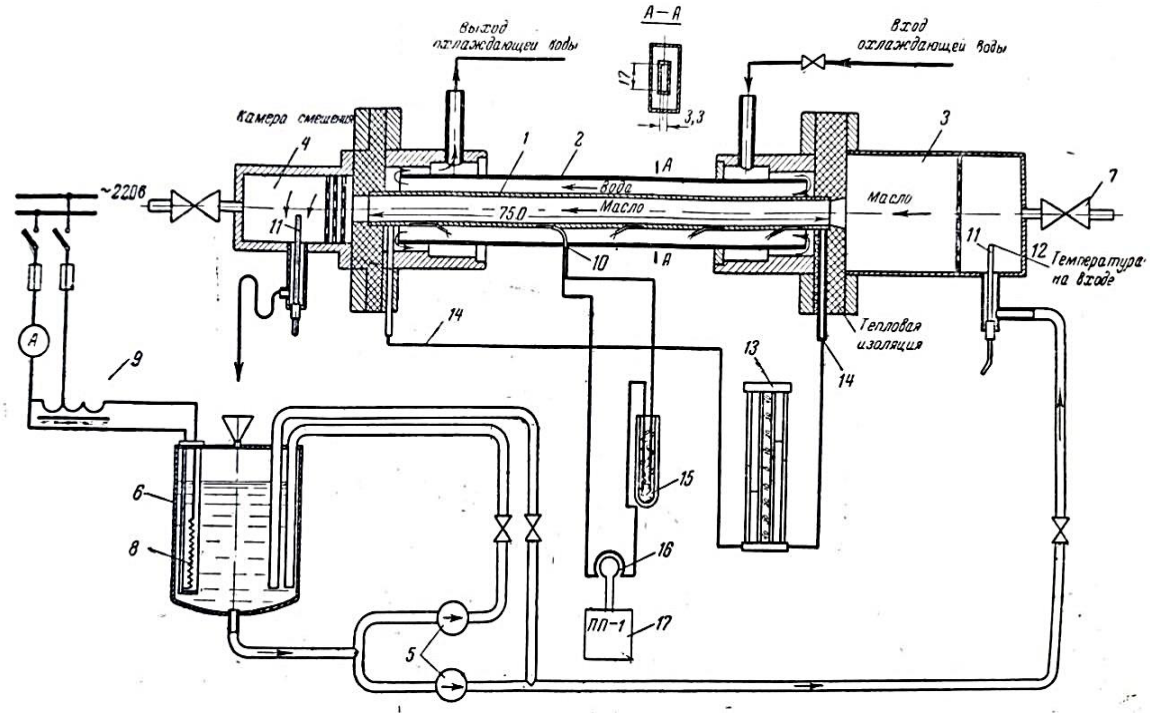

Рис. 2. Схема опытной установки при исследовании теплоотдачи методом энтальпии
1 – опытная труба; 2 – кожух; 3,4 – камеры смешения; 5 – насосы; 6 – сборный бак;
7 – вентили; 8 – электрический нагреватель; 9 – трансформатор; 10 – термопары в стенке;
11 – дифференциальная термопара; 12 – термопара; 13 – дифманометр; 14 – отбор статического давления;
15 – сосуд для холодного спая; 16 – переключатель термопар; 17 – потенциометр

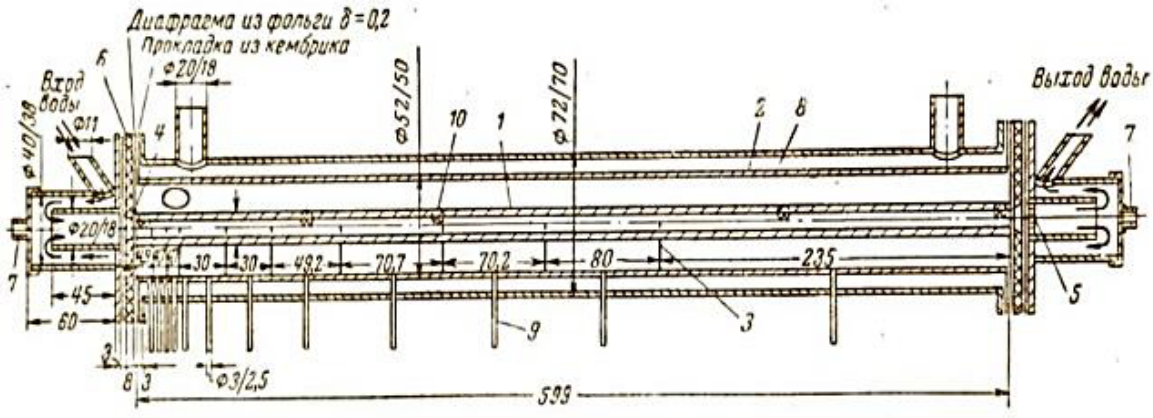

Рис. 3. Схема измерительного участка при исследовании теплоотдачи методом конденсации

Рабочий участок (рис. 3) представляет собой горизонтально расположенную трубу 1 с внутренним диаметром 10.2 мм и длиной 600 мм. В качестве исследуемой жидкости применяется дистиллированная вода в условиях турбулентного движения. Вода подается насосом из сборного бака большой емкости через напорный бачок в рабочий участок. По выходе из рабочего участка вода поступает в уравнительный бачок, а из него через измерительный сосуд снова попадает в сборный бак. Греющий пар подается в зазор между трубой 11 ко-

жухом 2, к нижней половине которого припаяно 11 перегородок 3, образующих 12 отсеков для сбора и отвода конденсата через штуцера 9. Для обеспечения отвода конденсата, образовавшегося на данном участке опытной трубы, в соответствующий отсек применяются специальные направляющие из тонкого листового материала, припаянные к поверхности опытной трубы и соединенными перегородками. Длина отсеков различна. На начальном участке опытной трубы, где наблюдается значительное изменение коэффициента теплоотдачи, перегородки ставятся чаще.

Для предотвращения, тепловых потерь в окружающую среду кожух опытной трубы имеет защитную паровую рубщику 8. Входной участок обеспечивает равномерное распределение температуры. Вода поступает из относительно большого объема через входной участок 4, имеющий плавное очертание. Специальный смеситель 5 в выходном сечении обеспечивает хорошее перемешивание жидкости и, следовательно, надежное измерение ее температуры. Для уменьшения аксиальных утечек теплоты за счет теплопроводности между опытной трубой и арматурой устанавливаются текстолитовые шайбы 6. Температура поверхности трубы измеряется шестью термопарами. Спаи термопар 10 располагаются по одной образующей.

Перепад между температурами воды на выходе и входе в опытный участок измеряется многослойной дифференциальной термопарой. Для установки термопар во входном и выходном сечениях опытной трубы предусматриваются соответствующие штуцера 7. Холодные спаи термопар помещаются в тающий лед [2].

Указанные измерения позволяют определить из опыта, как местные, так и средние значения коэффициента теплоотдачи в зависимости от скорости движения жидкости.

В отличии от рассмотренных экспериментальных стендов для установок по изучению наножидкостей требуется выполнение требований – наличие резервуара с рабочей жидкостью. Также необходимо сохранять стабильные рабочие параметры жидкости перед проведением эксперимента.

Для экспериментальных установок по изучению теплообмена при течении наножидкостей необходимо предусмотреть блок, предназначенный для создания стабильных технологических характеристик теплоносителя [3, 4].

На рис. 4 показана схема типичной установки, используемой для исследования теплоотдачи при течении наножидкости в трубе.

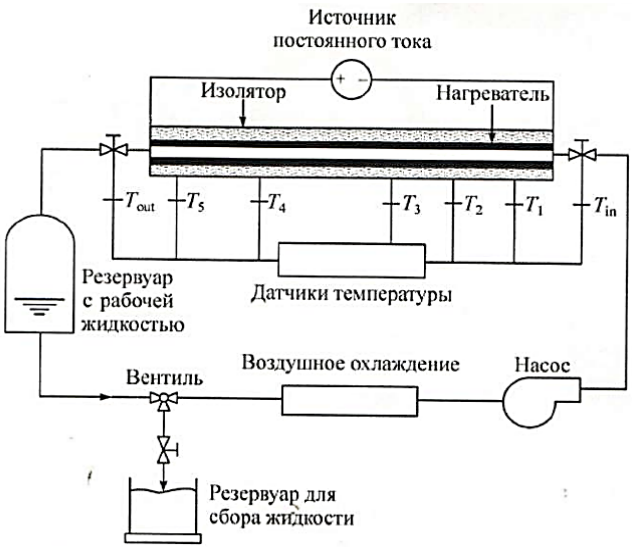

Рис. 4. Схема экспериментальной установки
для исследования вынужденной конвекции

Основные элементы установки для исследования теплоотдачи в конвективном потоке: гидродинамический контур, насос, с помощью которого осуществляется движение жидкости, оборудованный термопарами опытный теплообменный участок и участок восстановления, где температура потока возвращается к изначальному значению. Резервуар с рабочей жидкостью предназначен для сбора теплоносителя со стабильными технологическими характеристиками [5, 6].

IV. Результаты экспериментов

Для изучения теплообмена при использовании наножидкостей в качестве теплоносителей в Омском государственном техническом университете на кафедре «Теплоэнергетика» разработана экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 5.

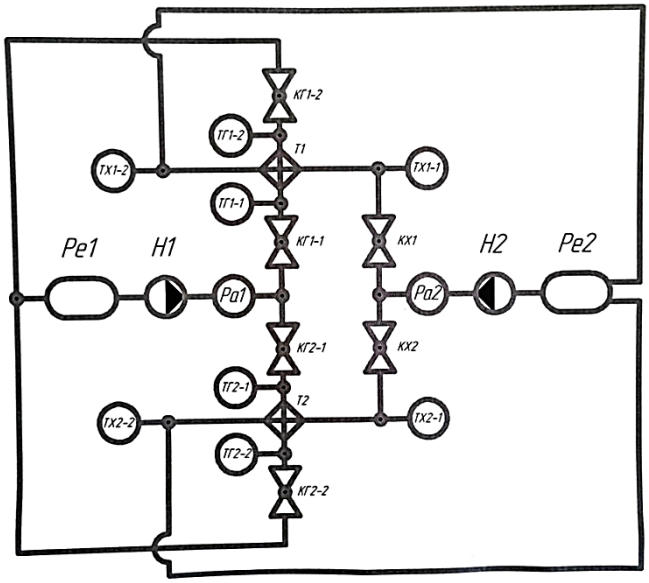

Рис. 5. Экспериментальная установка для исследования параметров наножидкости
Ре1 – бак горячего контура; Ре2 – бак холодного контура; Н1 – насос горячего контура; Н2 – насос холодного контура; Ра1 – расходомер горячего контура; Ра2 – расходомер холодного контура; Т1 – 1–й теплообменник; Т2 – 2–й теплообменник; КГ1–1 – кран горячего контура ветви 1–го теплообменника (вход); КГ1–2 – кран горячего контура ветви 1–го теплообменника (выход); ТГ1–1 – термометр горячего контура ветви 1–го теплообменника (вход); ТГ1–2 – термометр горячего контура ветви 1–го теплообменника (выход); КГ2–1 – кран горячего контура ветви 2–го теплообменника (вход); КГ2–2 – кран горячего контура ветви 2–го теплообменника (выход); ТГ2–1 – термометр горячего контура ветви 2–го теплообменника (вход); ТГ2–2 – термометр горячего контура ветви 2–го теплообменника (выход); КХ1– кран холодного контура ветви 1–го теплообменника; ТХ1–1 – термометр холодного контура ветви 1–го теплообменника (вход); ТХ1–2 – термометр холодного контура ветви 1–го теплообменника (выход); КХ2– кран холодного контура ветви 2–го теплообменника; ТХ2–1 – термометр холодного контура ветви 2–го теплообменника (вход); ТХ2–2 – термометр холодного контура ветви 2–го теплообменника (выход)

Особенностью установки является – наличие двух теплообменников: «труба–в–трубе» и пластинчатый теплообменник. Для визуализации процессов течения жидкостей используется – стеклянный теплообменник типа «труба–в–трубе». Бак горячего контура с рабочей жидкостью, ультразвуковая ванна.

Принципиальная схема установки показана на рис. 5. Насосы нагнетают воду в магистрали холодной и горячей воды. Расход холодной воды не регулируется, измеряется расходомером. После расходомера холодная вода поступает в экспериментальный участок, теплообменник типа труба–в–трубе” – горизонтальную стеклянную трубу с внутренним диаметром d = 22 мм и длиной L =300 мм.

Обогрев экспериментального участка производится горячей водой, предварительно нагретой при помощи электрического нагревателя. Горячая вода из емкости с нагревателем поступает в кожух теплообменного устройства типа «труба в трубе», нагревает стенку рабочего участка и выходит в емкость, где при помощи насоса горячего контура цикл повторяется. Температура воды измеряется четырьмя датчиками температурами. Время выхода на стационарный режим измеряется секундомером.

Данная экспериментальная установка позволит исследовать теплообмен при течении наножидкостей в различных теплообменниках.

V. Обсуждение результатов

Установлено, что классические стенды не подходят для изучения теплообмена в модифицированных теплоносителях, так как необходимо создать блоки оборудования для подготовки наножидкостей (Al_2O_3, CuO).

VI. Выводы и заключение

Рассмотрены варианты экспериментальных установок для изучения процессов теплообмена при использовании классических и модифицированных теплоносителей. В качестве теплоносителей используются наножидкости на основе оксидов металлов и углеродных нанотрубок.

Предложена схема экспериментального стенда для изучения теплообмена при течении наножидкости, греющая среда – вода.

Список литературы

1. Muhammad Awais, Arafat A. Bhuiyan, Sayedul Salehin, Mohammad Monjurul Ehsan, Basit Khan, Md. Hamid Ur Rahman. Synthesis, heat transport mechanisms and thermophysical properties of nanofluids: A critical overview // International Journal of Thermofluids. 2021. Vol. 10. P. 100086. ISSN 2666–2027.

2. Осипова В. А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена. М.: Энергия. Издание 3-е, перераб. и доп. 1979. 320 с.

3. Михайлов А. Г., Вдовин О. В., Слободина Е. Н. Процессы теплообмена в объеме жаротрубного котла с водяным теплоносителем // Омский научный вестник. 2018. № 3 (159). С. 37–40. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-159-37-40.

4. Михайлов А. Г., Вдовин О. В., Слободина Е. Н. Теплообмен в элементах жаротрубного котла с изменением теплофизических свойств теплоносителя // Омский научный вестник. 2018. № 4 (160). С. 73–78.

5. Терехов В. И., Калинина С. В., Леманов В. В. Механизм теплопереноса в наножидкостях: современное состояние проблемы. Часть 2. Конвективный теплообмен // Теплофизика и аэромеханика. 2010. Т. 17, № 2. С. 173–188.

6. Рудяк В. Я., Минаков А. В., Краснолуцкий С. Л. Физика и механика теплообмена в течениях наножидкостей // Физическая мезомеханика. 2016. Т. 19, № 1. С. 75–83.