

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Северо-Осетинский государственный университет
имени Коста Левановича Хетагурова»**

А.В. Хмелевская, Б.М. Маркарян, И.К. Сатцаева

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ № 9-18

Учебно-методическое пособие

**Владикавказ
2023**

УДК 663.62

Хмелевская А.В., Маркарян Б.М., Сатцаева И.К. Процессы и аппараты пищевых производств. Лабораторные работы № 9-18.: Учеб.-метод. пособие. – Владикавказ: 2023. - 68с.

Приведены схемы экспериментальных установок с их подробным описанием, методики проведения экспериментальных исследований и порядок обработки полученных результатов, даны контрольные вопросы. Учебно-методическое пособие предназначено для самостоятельной работы студентов направления бакалавриата 19.03.02; 19.03.03.

Рецензент: доктор с.-х. наук, профессор кафедры технологии продуктов общественного питания ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ)» Р.Б. Темираев

Рекомендовано к печати учебно-методическим советом факультета химии, биологии и биотехнологии СОГУ

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум написан в соответствии с программами курсов кафедры технологии продуктов питания и охватывает основные процессы и аппараты пищевой промышленности. Предназначен для подготовки дипломированных специалистов направлений 19.03.02; 19.03.03.

Практикум поможет студентам в углубленном изучении теоретической базы процессов и аппаратов, овладении методами экспериментальных исследований, приобретении необходимых навыков обработки результатов экспериментов и их анализа, усвоении техники расчетов.

Конкретное наименование работ для студентов предусмотрено соответствующими рабочими программами читаемых на кафедре курсов.

В каждой работе изложена теоретическая часть, сущность процесса; цель работы; схема лабораторной установки и методика выполнения эксперимента; приведены таблица опытных данных и методика их обработки, таблица результатов расчета, контрольные вопросы для самостоятельной подготовки.

Студенты должны самостоятельно выполнить эксперимент на лабораторном стенде, обработать экспериментальные данные, проанализировать результаты и оформить отчет.

В отчет входят цель работы, схема установки со спецификацией, таблица измеряемых и рассчитываемых величин, необходимые расчеты и графики, выводы о результатах, соответствующие целям работы.

Структура пособия отвечает требованиям, предъявляемым к методике изложения учебного материала, обеспечивает условия для самостоятельной, творческой работы студентов.

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

До проведения лабораторных работ на установках студенты обязательно должны пройти инструктаж по технике безопасности согласно инструкции, которая включает в себя следующие основные положения:

Общего назначения

Все работы на установках должны проводиться только в присутствии и участии преподавателя или ответственного лица, прошедшего полный инструктаж по соблюдению правил техники безопасности.

Место, где размещена установка, запрещается загромождать посторонними предметами.

Перед включением установки произвести тщательный осмотр оборудования и приборов для определения их пригодности к работе. Электрические шнуры, вилки, розетки и выключатели не должны иметь видимых повреждений. Включать установку при наличии неисправностей запрещается.

Во время выполнения задания, студент не должен заниматься посторонними делами, не относящимися к выполнению данной работы.

Запрещается оставлять без наблюдения действующую установку.

Запрещается работать в лаборатории одному. Обязательно присутствие второго лица для оказания первой помощи в случае необходимости.

Студентам запрещается самостоятельно устранять неисправности лабораторных установок

По электрической части

Ввиду наличия на установке высокого напряжения 220 В для питания электродвигателей, ТЭНов и контрольно-измерительных приборов запрещается:

- a) Проникать за защитные ограждения присоединительных клемм;
- b) Открывать распределительный щит и защитные кожухи установок;
- c) Включать и отключать установку без разрешения преподавателя;
- d) Во избежание возможного поражения электрическим током, запрещается касаться при включенной установке:
 - одновременно к проводам измерительного прибора и к трубопроводу отопления, водопровода или замыкающему контуру;
 - одновременно к корпусу измерительного прибора и к трубопроводу отопления, водопровода или замыкающему контуру.
- i) Установка должна быть немедленно отключена, если обнаружено повреждение заземления, защитного ограждения и при внезапном прекращении подачи энергии.

При появлении дыма из электронагревателя или пускорегулирующей аппаратуры, поломки оборудования его перегрева сверх допустимой температуры и при других аварийных ситуациях, немедленно сообщить преподавателю, для последующего отключения от электросети.

При поражении электрическим током необходимо немедленно вызвать врача, а до его прибытия при необходимости оказать пострадавшему первую помощь.

По окончании работы, установка должна быть отключена в строгом соответствии с указаниями, приведенными в данном методическом указании.

Перед уходом студенты обязаны привести в порядок свое рабочее место и поставить в известность преподавателя об окончании работы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

Испытание различных конструкций теплообменных аппаратов

Введение

Теплообменными аппаратами (теплообменниками) называются устройства, предназначенные для передачи тепла от одного теплоносителя к другому. По принципу действия теплообменные аппараты подразделяются на три вида: рекуперативные, регенеративные и смешительные. В теплообменных аппаратах рекуперативного типа тепло передается от горячего теплоносителя к холодному через разделяющую их поверхность теплообмена (стенку). Основной характеристикой теплообменного аппарата является его тепловая нагрузка Q , Дж/с, которая показывает возможное количество тепла передаваемого в единицу времени и зависит от теплофизических свойств теплоносителей (вязкость, теплопроводность, плотность, теплоемкость), режима их движения. Важное влияние на величину тепловой нагрузки оказывают конструктивные особенности аппарата (размеры, материал, состояние поверхности нагрева) и средняя по поверхности разность температур между греющей и нагреваемой средой. При расчете теплообменных аппаратов изменение температур теплоносителей при их движении по теплообменнику учитывается введением в расчетную формулу среднего температурного напора t_{cp} . Влияние остальных факторов учитывается коэффициентом теплопередачи K , который по физическому смыслу представляет собой количество тепла, передаваемого в единицу времени через единицу поверхности при разности температур между теплоносителями в один градус.

Формула для расчета количества тепла, передаваемого в теплообменнике

$$Q = k \cdot F \cdot t_{cp} \quad (73)$$

Однако на практике расчет теплообменного аппарата, как правило, сводится к определению теплопередающей поверхности аппарата F в зависимости от возможной тепловой нагрузки.

$$F=Q/K \cdot t_{cp} \quad (74)$$

Тепловую нагрузку в этом случае определяют из теплового баланса аппарата без учета потерь

$$Q=M_1 \cdot c_{p1}(t_{1н}-t_{1к})=M_2 \cdot c_{p2}(t_{2к}-t_{2н}) \quad (75)$$

где M_1 и M_2 - соответственно массовый расход греющей (горячей) и нагреваемой (холодной) среды, кг/с;

C_{p1} и C_{p2} - соответственно теплоемкость греющей и нагреваемой среды, кДж/(кгК).

Значение среднего температурного напора t_{cp} зависит от начальных и конечных температур сред в теплообменном аппарате, а также от схемы его подсоединения. Если греющая и нагреваемая среда движутся в каналах аппарата в одном направлении, то такая схема движения называется прямоток, если в противоположных - противоток. Рассмотрим возможные схемы включения (рис. 32).

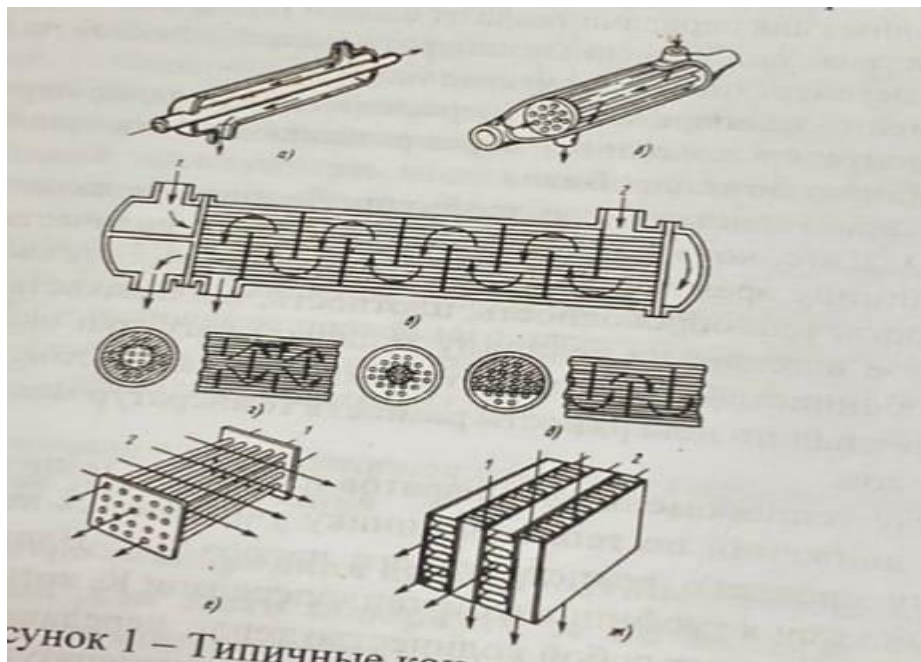


Рис. 32 - Типичные конструктивные схемы рекуперативных теплообменных аппаратов: а - «труба в трубе» противоток; б - кожухотрубный противоток; в, г, д - кожухотрубный многократный перекрестный ток; е - трубчатый перекрестный ток; ж - пластинчато-ребристый перекрестный ток; 1- горячий поток; 2 – холодный поток.

Необходимо отметить, что противоточная схема является наиболее эффективной по сравнению с прямоточной. Критерием для оценки эффективности служит как раз величина среднего температурного напора: в противоточной схеме она во многих случаях оказывается больше, чем в прямоточной. Следовательно, поверхность теплообмена при противоточной схеме движения будет меньше чем при прямоточной. Значит, при прочих равных условиях теплообменник будет более компактным, затраты материалов на его изготовление наименьшими. Кроме того, при осуществлении противоточной схемы можно получить более высокую конечную температуру. Номера позиций датчиков приведены в табл.26.

Таблица 26 – Номера позиций датчиков температуры

Наименование режима	Горячий контур				Холодный контур			
	Номер датчика на входе КТ	Номер датчика на выходе КТ	Номер датчика на входе ПТ	Номер датчика на выходе ПТ	Номер датчика на входе КТ	Номер датчика на выходе КТ	Номер датчика на входе ПТ	Номер датчика на выходе ПТ
Противоток	T2-t _{1н}	T3-t _{1к}	T4-t _{1н}	T5-t _{1к}	T6-t _{2н}	T7-t _{2к}	T8-t _{2н}	T9-t _{2к}
Прямоток					T7-t _{2н}	T6-t _{2к}	T9-t _{2н}	T8-t _{2к}

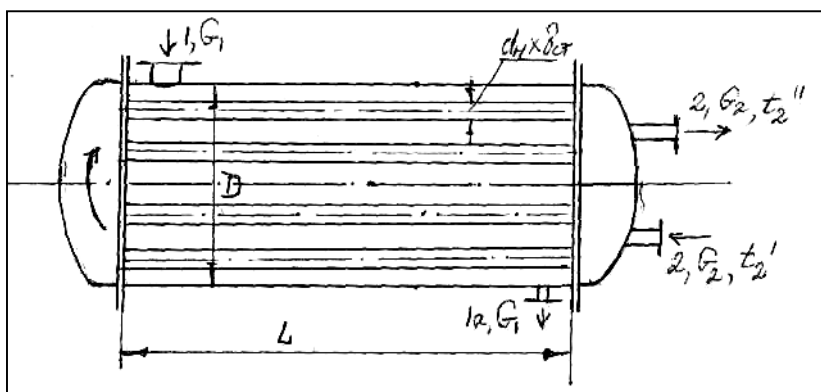


Рис. 33 Противоточный теплообменник

До проведения лабораторных работ на установках студенты обязательно должны пройти инструктаж по технике безопасности согласно инструкции, которая включает в себя следующие основные положения:

- Все работы на установках должны проводиться только в присутствии и участии преподавателя или ответственного лица, прошедшего полной инструктаж по соблюдению правил техники безопасности.

- Место, где размещена установка, запрещается загромождать посторонними предметами.

- Перед включением установки произвести тщательный осмотр оборудования и приборов для определения их пригодности к работе. Электрические шнуры, вилки, розетки и выключатели не должны иметь видимых повреждений.

Включать установку при наличии неисправностей запрещается.

Во время выполнения задания студент не должен заниматься посторонними делами, не относящимися к выполнению данной работы.

Запрещается оставлять без наблюдения действующую установку.

Запрещается работать в лаборатории одному. Обязательно присутствие второго лица для оказания первой помощи в случае необходимости

- Студентам запрещается самостоятельно устранять неисправности.

Ввиду наличия на установке высокого напряжения 220 В для питания электродвигателей, ТЭНов и контрольно - измерительных приборов запрещается:

а) проникать за защитные ограждения присоединительных клемм;

б) открывать распределительный щит и защитные кожухи установки;

в) включать и отключать установку без разрешения преподавателя;

г) во избежание возможного поражения электрическим током, запрещается касаться при включенной установке одновременно питающих проводов измерительных приборов, оборудования и трубопроводов отопления, водопровода или заземляющего контура. При поражении электрическим током необходимо немедленно вызвать врача, а до его прибытия оказать пострадавшему первую медицинскую помощь;

д) установка должна быть немедленно отключена, если обнаружено повреждение заземления, защитного ограждения и при внезапном прекращении подачи энергии.

При появлении дыма из электронагревателя, другого оборудования или пускорегулирующей аппаратуры и при других аварийных ситуациях, немедленно отключить установку аварийной кнопкой «Стоп» и сообщить преподавателю.

По окончании работы установка должна быть отключена в строгом соответствии с указаниями, приведенными в данном методическом пособии. Перед уходом студенты обязаны привести в порядок свое рабочее место и поставить в известность преподавателя об окончании работы.

Цель работы

Изучение конструкции и принципа работы кожухотрубного и пластинчатого теплообменных аппаратов.

Задачи работы

1. Закрепление сведений о физической сущности переноса тепла от горячего теплоносителя к холодному и анализ факторов, влияющих на оптимизацию.
2. Определение коэффициентов теплоотдачи в рекуперативных теплообменниках при прямоточной и противоточной схемах движения теплоносителя.
3. Экспериментальное исследование работы кожухотрубного и пластинчатого теплообменных аппаратов с определением их тепловой нагрузки.
4. Исследование влияния теплофизических свойств охлаждающей среды на процессы теплообмена.

Описание экспериментальной установки

Основными элементами лабораторной установки, рис. 34 являются теплообменный аппарат кожухотрубного типа КТ с движением горячего теплоносителя по внутренним трубам и холодного теплоносителя в межтрубном пространстве и пластинчатый теплообменник ПТ.

ПИН - проточный электронагреватель мощностью до 3,5 кВт с контролируемым по заданной температуре программным регулятором;

ЗУ - заливочное устройство и краном Маевского;

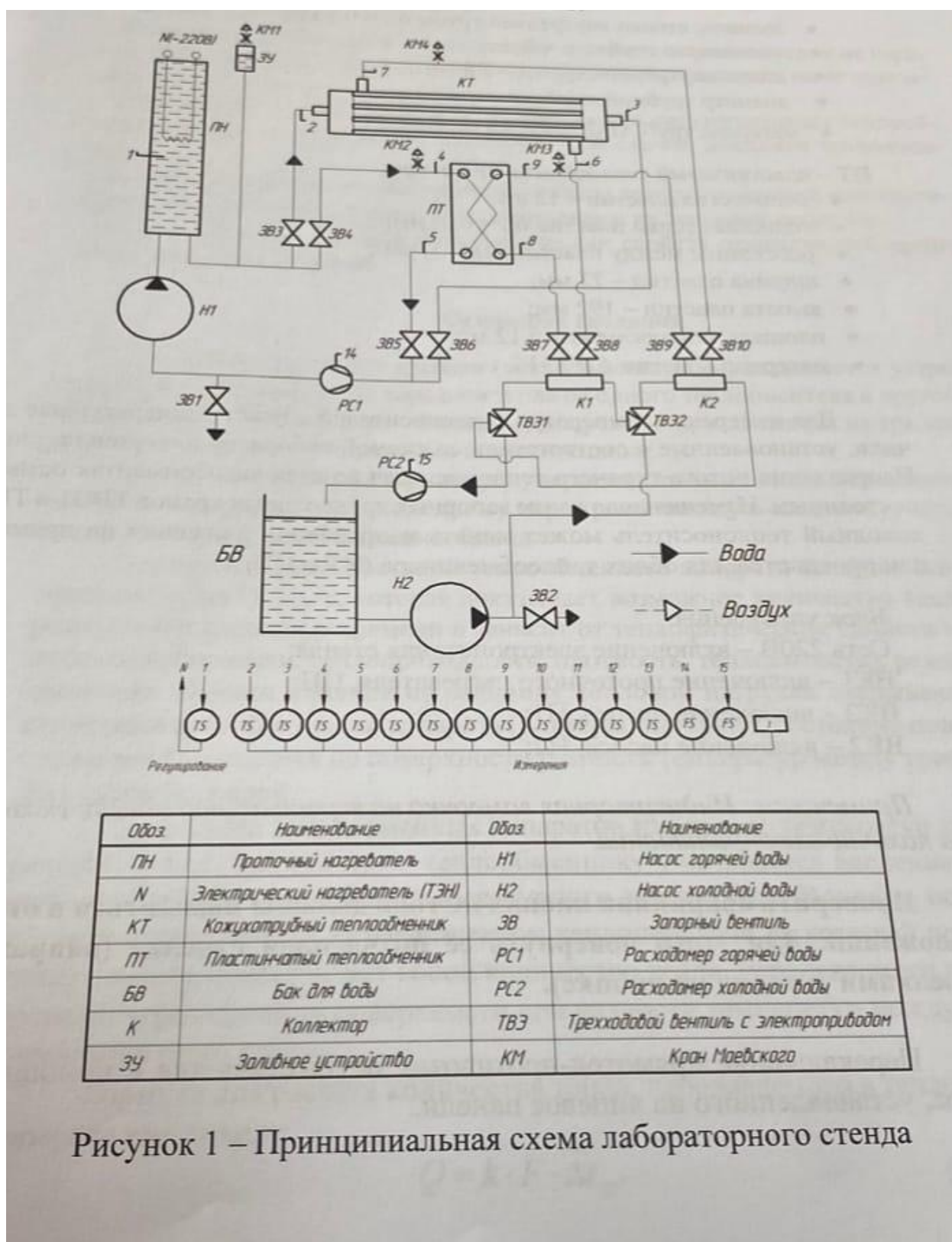
КТ - кожухотрубный теплообменный аппарат:

наружный диаметр внутренней трубы $d_i = 12$ мм; толщина стенки внутренней трубы $\delta_{ст} = 0,5$ мм; количество трубок $n = 4$ шт; длина внутренних труб $l = 280$ мм; диаметр трубной решётки $D_r = 50$ мм; материал труб AISI 304 (08X18H10);

ПТ- пластинчатый теплообменный аппарат: количество пластин - 12 шт;

- толщина стенки пластин $\delta_{ст} = 0,45$ мм; расстояние между пластинами - 1,4мм; ширина пластин-73мм;

- высота пластин - 192 мм; площадь теплообмена - $0,12 \text{ м}^2$; материал пластин AISI 316.



Для измерения температур теплоносителей служат температурные датчики, установленные в соответствии со схемой лабораторного стенда, рис. 34.

Направление потока горячего теплоносителя во всех экспериментах остается постоянным. Изменяя положение запорных трехходовых кранов ТВЭ1 и ТВЭ2 холодный теплоноситель может менять направление движения на прямоток или противоток для обоих теплообменников (КТ и ПТ).

Блок управления:

Сеть 220В - включение электропитания стенда;

ВК1 - включение проточного нагревателя, ПН;

ВК2 - включение насоса, Н1;

ВК2 - включение насоса, Н2;

Примечание: Индикаторная лампочка на вертикальной панели указывает на наличие электропитания.

Проверить аварийная кнопка «Стоп» должны находиться в отжатом положении. Для этого повернуть её по часовой стрелке (направление стрелками указано на кнопке).

Переключение прямоток-противоток осуществляется с помощью тумблера, установленного на лицевое панели.

Методика выполнения работы

1. Ознакомиться со схемой лабораторной установки и расположением приборов. Составить ее описание и заготовить таблицы для регистрации результатов испытаний.
2. Подготовить установку к испытаниям теплообменников. Удостовериться, что уровень воды наблюдается в заливочном устройстве, в противном случае долить жидкость в систему. В системе не допускаются подтеки.
3. Подключить стенд к сети 220 В.
4. Подключить автоматизированный стенд к USB разъему компьютера и запустить программу Пуск -> Программы -> MeasLAB -> «Испытание теплообменников».
5. Включить питание стенда кнопкой «Сеть».
6. Включить переключатель в положение «Прямоток».

7. Открыть вентили 3В3, 3В6, 3В8 и 3В10.
8. Кнопкой ВК2 запустить насос Н1.
9. При включении компьютерной системы измерения клавишей «Пуск» в программе на цифровых индикаторах лицевой панели отображаются мгновенные значения температур, измеряемых всеми датчиками или графики их изменения по времени.
10. Через 20-30 секунд кнопкой ВК1 включить нагреватель (ПН) в режим позиционного регулирования.
11. С помощью регулятора ТС4 на панели ПН установить температуру в пределах 40-60°C.

Внимание: Температура в системе не должна превышать 70 °С.

12. Запустить насос Н2, включив кнопку ВК3.
13. После выхода температуры на заданный режим и установления стационарного теплового режима провести испытания для кожухотрубного и пластинчатого теплообменных аппаратов, результаты занести в табл. 27 и 28.
14. Изменить расход воды методом переключения режимов работы насоса у регулированием положения соответствующих вентилей на распределительных коллекторах, рис.34. Снять показания в установившемся режиме, результаты занести в табл. 27 и 28.
15. Изменить направление подачи холодного теплоносителя. Переключить тумблер в положение «Противоток» и повторить эксперимент. Снять показания и занести их в табл. 27 и 28.
16. Провести расчеты по методике, приведенной в разделе «обработка данных», результаты занести в табл. 27 и 28.
17. Сделать выводы.

Обработка опытных данных и составление отчета

Площадь передающей поверхности кожухотрубного теплообменного аппарата

$$F = \pi d_n l n \quad (76)$$

где d_n - наружный диаметр внутренней трубы теплообменника, м;

n - количество трубок;

l - длина внутренней трубы, м.

Площадь поверхности пластинчатого теплообменного аппарата равна $0,12 \text{ м}^2$.

Массовый расход горячей и холодной воды определяется по следующему соотношению

$$M_1 = V_1 \rho_1, \quad M_2 = V_2 \rho_2 \text{ (кг/с)} \quad (77)$$

где V_1, V_2 - объемные расходы горячей и холодной воды, определяются с помощью соответствующего счетчика;

ρ_1, ρ_2 - плотность горячей и холодной воды, принимаются при средней температуре среды в аппарате, см. приложение.

Количество передаваемой теплоты определяется по формулам для каждого аппарата, при этом:

C_{p1}, C_{p2} - удельные теплоемкости горячей и холодной воды, принимаются при средней температуре среды в аппарате, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, см. приложение.

Средняя разность температур (температурный напор) определяется по формуле:

$$\Delta t_{cp} = (\Delta t_6 - \Delta t_m) : 2 \quad \text{при } \Delta t_6 : \Delta t_m \leq 2$$

$$\Delta t_{cp} = (\Delta t_6 - \Delta t_m) : \ln (\Delta t_6 / \Delta t_m) \quad \text{при } \Delta t_6 : \Delta t_m \geq 2$$

где $\Delta t_6, \Delta t_m$ - значения большего и меньшего температурных напоров в начале и в конце поверхности теплообмена, $^{\circ}\text{C}$.

Для прямотока $\Delta t_6 = t_{1n} - t_{2n}$, $\Delta t_m = t_{1k} - t_{2k}$

Для противотока $\Delta t_6 = t_{1n} - t_{2k}$, $\Delta t_m = t_{1k} - t_{2n}$

Коэффициент теплопередачи для каждого режима определяется по формуле

$$K = Q / F \cdot \Delta t_{cp}$$

Результаты измерений заносятся в таблицы 27, 28.

Таблица 27 - Результаты измерений и вычислений при испытаниях кожухотрубного аппарата

[illegible]

Таблица 28. Результаты измерений и вычислений при испытаниях
пластинчатого теплообменного аппарата

[illegible]

Контрольные вопросы

1. Назовите преимущества и недостатки испытанных теплообменных аппаратов.
2. Дайте определение коэффициента теплопередачи? Каков его физический смысл и единицы измерения?
3. Какие факторы и параметры теплообменных аппаратов влияют на величину коэффициента теплопередачи?
4. В чем заключаются преимущества противоточной схемы по сравнению с прямоточной?
5. Может ли температура горячего теплоносителя на выходе из теплообменника быть меньше температуры холодного теплоносителя на выходе из теплообменника?
6. В каких случаях при расчете теплообменника можно пользоваться средним арифметическим температурным напором?
7. В каких технологических процессах используются теплообменные аппараты?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10

Изучение конструктивных схем теплообменных аппаратов

Введение

Теплообменными аппаратами (теплообменниками) называются устройства, предназначенные для передачи тепла от одного теплоносителя к другому. По принципу действия теплообменные аппараты подразделяются на три вида: рекуперативные, регенеративные и смешительные. В теплообменных аппаратах рекуперативного типа тепло передается от горячего теплоносителя к холодному через разделяющую их стенку, которая называется поверхностью теплообмена. Рассмотрим возможные конструктивные схемы рекуперативных теплообменных аппаратов и схемы их подключения рис.

Основной характеристикой теплообменного аппарата является его тепловая нагрузка Q , Дж/с (Вт), которая показывает возможное количество тепла передаваемого в единицу времени и зависит от теплофизических свойств теплоносителей (вязкость, теплопроводность, плотность, теплоемкость) и режима движения. Важное влияние на величину тепловой нагрузки оказывают конструктивные особенности аппарата (размеры, материал, состояние поверхности нагрева) и средняя по поверхности разность температур между греющей и нагреваемой средой.

При расчете теплообменных аппаратов изменение температур теплоносителей при их движении по теплообменнику учитывается введением в расчетную формулу среднего температурного напора Δt_{cp} . Влияние остальных факторов учитывается коэффициентом теплопередачи K , который по физическому смыслу представляет собой количество тепла, передаваемого в единицу времени через единицу поверхности при разности температур между теплоносителями в один градус.

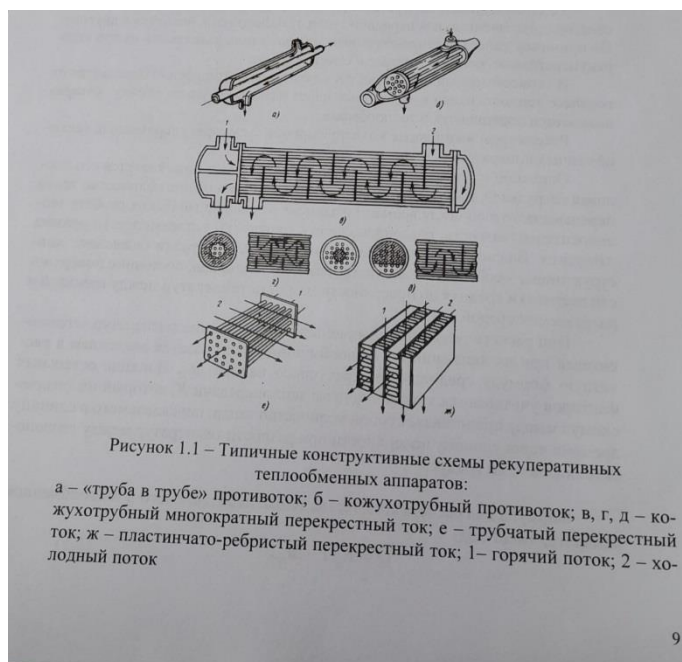
Формула для расчета количества тепла, передаваемого в теплообменном аппарате, имеет вид:

$$Q=K \cdot F \cdot \Delta t_{cp} \quad (78)$$

Циркуляция теплоносителей через аппараты в зависимости от подключения может быть прямоточной, противоточной или перекрестной. Значение среднего температурного напора $\Delta t_{\text{ср}}$ зависит от начальных $t_{1\text{н}}$, $t_{2\text{н}}$ и конечных $t_{1\text{к}}$, $t_{2\text{к}}$ температур сред в теплообменном аппарате, а также от схемы его подсоединения. Если греющая и нагреваемая среда движутся в каналах аппарата в одном направлении, то такая схема движения называется прямоток, если в противоположных – противоток.

Необходимо отметить, что противоточная схема является наиболее эффективной по сравнению с прямоточной. Критерием для оценки эффективности служит как раз величина среднего температурного напора: в противоточной схеме она во многих случаях оказывается больше, чем в прямоточной.

Следовательно, поверхность теплообмена при противоточной схеме движения будет меньше, чем при прямоточной. Значит, при прочих равных условиях теплообменник будет более компактным, затраты материалов на его изготовление наименьшими. Кроме того, при осуществлении противоточной схемы можно получить более высокую конечную температуру.



Однако на практике расчет теплообменного аппарата, как правило, сводится к определению теплопередающей поверхности аппарата F в зависимости от возможной тепловой нагрузки

$$F = \frac{Q}{K \Delta t_{cp}} \quad (79)$$

Тепловую нагрузку в этом случае определяют из теплового баланса аппарата без учета потерь

$$Q = M_1 c_{p1} (t_{1н} - t_{1к}) = M_2 c_{p2} (t_{2к} - t_{2н}), \quad (80)$$

где M_1 и M_2 -соответственно массовый расход греющей (горячей) и нагреваемой (холодной) среды, кг/с;

C_{p1} и C_{p2} - соответственно теплоемкость греющей и нагреваемой среды, кДж/(кг К).

Цель работы

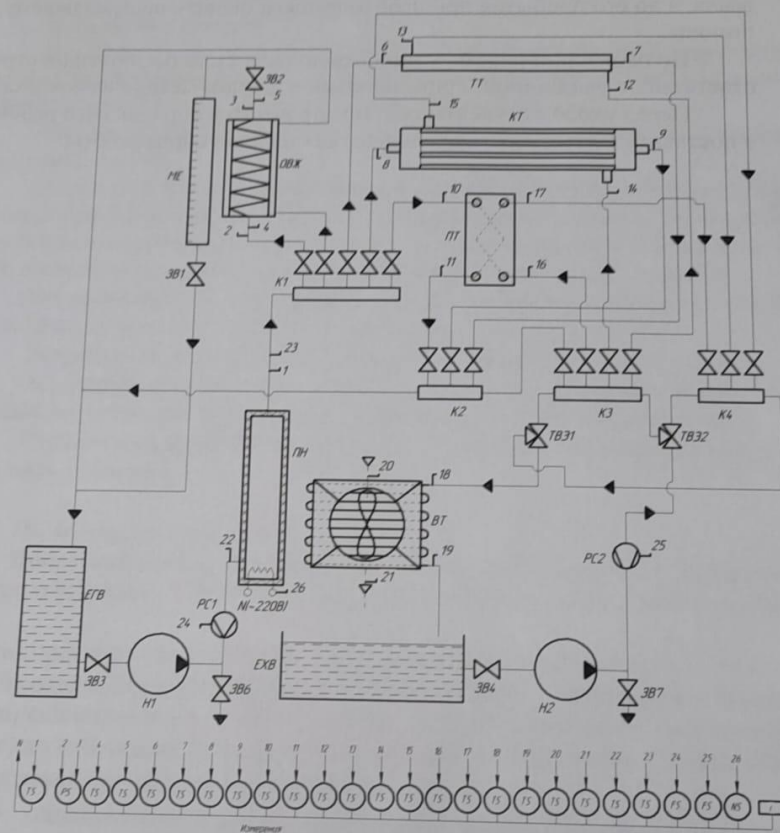
Изучение механизма теплоотдачи и установление критериев, определяющих теплообмен жидкости в трубах.

Задачи работы

1. Экспериментальное определение коэффициента теплоотдачи при течении жидкости в трубах при разных режимах движения.
2. Исследование влияния теплофизических свойств жидкости на процесс теплообмена.

Описание экспериментальной установки

Основными элементами лабораторного стенда, рис.36 являются теплообменные аппараты поверхностные теплообменные аппараты разных конструкция, блок определения вязкости жидкости и блок определения теплоемкости.



Обоз	Наименование	Обоз	Наименование
ЕГВ	Емкость горячей воды	Н1	Насос горячей воды
ЕХВ	Емкость холодной воды	Н2	Насос холодной воды
ТТ	Теплообменник "труба в трубе"	ЗВ	Запорный вентиль
КТ	Кожухотрубный теплообменник	РС1	Расходомер горячей воды
ПТ	Пластинальный теплообменник	РС2	Расходомер холодной воды
ВТ	Воздушный теплообменник	Н	Электрический нагреватель (ТЭН)
ПН	Проточный нагреватель	ТВЗ	Трехходовой вентиль с электроприводом
ОВЖ	Определитель вязкости жидкости	К	Коллектор
МЕ	Мерная емкость	ВТ	Вентиль тонкой регулировки

Рисунок 1 – Принципиальная схема лабораторного стенда

Рис. 36 Принципиальная схема лабораторного стенда

КТ- кожухотрубный теплообменный аппарат:

- наружный диаметр внутренней трубы $d_n=6\text{мм}$;
- толщина стенки внутренней трубы $\delta_{ст}=0,5\text{мм}$;
- количество трубок $n=19\text{шт.}$;
- шаг между трубками $S=8,5\text{мм}$;
- расположение шахматное;
- длина внутренних труб $l=330\text{мм}$;
- внутренний диаметр обечайки $D_{об}=56\text{мм}$;
- материал теплообменных труб медь МЗр.

ПТ-пластинчатый теплообменный аппарат:

- количество пластин-12шт;
- толщина стенки пластин $\delta_{ст}=0,45\text{ мм}$;
- расстояние между пластинами-1,4мм;
- ширина пластин-73мм;
- высота пластин-192мм;
- площадь теплообмена-0,12м²;
- материал пластин AISI 316.

ТТ-теплообменный аппарат типа «труба в трубе»:

- наружный диаметр внутренней трубы $d_n=12\text{мм}$;
- толщина стенки внутренней трубы $\delta_{ст} =0,5\text{мм}$;
- количество трубок $n=1\text{шт}$;
- длина внутренней трубы $l=750\text{мм}$;
- внутренний диаметр наружной трубы $D_{вн}=16\text{мм}$;
- материал внутренней трубы медь МЗр.

Для измерения температур теплоносителей служат температурные датчики, установленные в соответствии со схемой лабораторного стенда, рис. Направление потока горячего теплоносителя во всех экспериментах остается

постоянным. Изменяя положение запорных трехходовых вентилей ТВЭ1 и ТВЭ2 холодный теплоноситель может менять направление движения на

Сеть 220В- включение электропитания стенда; прямоток или приворот.

Блок управления:

ВК1 - включение нагревателя N;

ВК2 -включение насоса Н1;

ВК3 - включение насоса Н2;

ВК4 - включение вентилятора воздушного теплообменного аппарата ВТ;

Тумблер - включение прямоток/противоток;

Индикаторная лампочка - электропитание стенда включено.

С помощью регулятора можно изменять скорость вращения вентилятора ВТ.

Прибор производит подсчёт потреблённой электроэнергии. Позволяет установить временную метку (кнопка «Установить метку») и осуществлять подсчёт от этой метки. Отображение количества потреблённой электроэнергии выводится на дисплеи №1 (в кВт*ч) и №2 (в Вт*ч). При этом выбор режима отображения от временной метки или всего осуществляется соответствующими кнопками «От метки» и «Всего» с зажиганием соответствующего светодиода.

На дисплей №3 выводится текущая потребляемая активная мощность (в Вт).

На дисплей №4 выводится время в секундах, прошедшее с момента установки временной метки. Для включения секундомера необходимо нажать нижнюю кнопку. Для перезапуска нажать повторно.

Обработка опытных данных и составление отчета

1. Краткое описание лабораторной установки.
2. Схема установки.
3. Результаты измерений и расчеты.
4. Анализ результатов и выводы.

Контрольные вопросы

1. Назовите преимущества и недостатки испытанных теплообменных аппаратов.
2. Что называется коэффициентом теплопередачи? Каков его физический смысл и единицы измерения?
3. Какие факторы и параметры теплообменных аппаратов влияют на величину коэффициента теплопередачи?
4. Может ли температура горячего теплоносителя на выходе из теплообменника быть меньше температуры холодного теплоносителя на выходе из теплообменника?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11

Определение коэффициентов теплоотдачи в рекуперативных теплообменных аппаратах при различных режимах движения теплоносителя

Введение

В целом, конвективный перенос тепла, происходящий в движущихся средах, обусловлен совместным действием двух механизмов - собственно конвективным переносом контактирующей с телом среды и теплопроводности. Таким образом, он осуществляется перемещением текучей среды из области с одной температурой в другую температурную область и за счёт теплового движения микрочастиц в неизотермическом пограничном слое жидкости.

В технике теплообмен между двумя движущимися теплоносителями через разделяющую их твёрдую стенку называется теплопередачей и включает:

- отдачу тепла от движущейся горячей жидкости к стенке;
- теплопроводность в стенке;
- теплоотдачу от стенки к более холодной подвижной среде.

Интенсивность теплопередачи характеризуется коэффициентом K , численно равным количеству теплоты, которое передаётся через единицу поверхности стенки в единицу времени при разности температур между жидкостями в 1 К; размерность $\text{КВт}/(\text{м}^2\text{К})$. Величина R , обратная коэффициенту K , называется полным термическим сопротивлением. Например, для однослойной стенки

$$R = \frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}, \quad (81)$$

где α_1 и α_2 - коэффициенты теплоотдачи от горячей жидкости к поверхности стенки и от поверхности стенки к холодной среде;

δ - толщина стенки;

λ - коэффициент теплопроводности материала стенки.

Рассматривая процесс передачи тепла через многослойную стенку, необходимо отметить, что на каждом этапе теплообмена, будь то процесс теплоотдачи или теплопроводности будут имеет свое термическое сопротивление. Так, например, возможные отложения на поверхности труб образующиеся при эксплуатации будут создавать дополнительное термическое сопротивление значительно препятствуя передаче тепла.

Коэффициент теплоотдачи может быть отнесен к внутренней или наружной поверхности теплообмена, в данном выражении к внутренней.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{a_2} \times \frac{F_{\text{вн}}}{F_{\text{н}}}}, \quad (82)$$

где:

$$\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} = \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} - \text{термическое сопротивление многослойной стенки с}$$

учетом возможных загрязнений;

$\delta_{\text{ст}}$ - толщина стенки;

$\lambda_{\text{ст}}$ - коэффициент теплопроводности материала стенки трубы;

δ_3 - толщина слоя загрязнения;

λ_3 - коэффициент теплопроводности загрязнения;

$F_{\text{вн}}$ - внутренняя поверхность трубы;

$F_{\text{н}}$ - наружная поверхность трубы.

Обычно при проведении практических расчетах тяжело определить δ_3 и λ_3 поэтому рекомендуют принимать

$$\frac{\delta_3}{\lambda_3} = (1,7 \div 3,4) \times 10^{-4}, (\text{м}^2 \times \text{К})/\text{Вт}$$

Основной проблемой в расчётах процессов конвективной теплоотдачи является определения коэффициента α .

Современные методы расчета конвективного теплообмена, основаны на теории тонкого пограничного слоя движущейся жидкости у поверхности стенки. Они позволяют получить теоретические решения для наиболее простых случаев. На практике коэффициенты теплоотдачи определяют путем

использования безразмерных критериев подобия, полученных обобщением многочисленных экспериментальных данных [1]:

для турбулентного режима ($Re \geq 10000$)

$$Nu = 0,021 Re_{ж}^{0,8} \times Pr_{ж}^{0,43} \quad (83)$$

для переходного режима ($2300 \leq Re \leq 10000$)

$$Nu = f(Re_{ж}) \cdot Pr_{ж}^{0,48} \quad (84)$$

где Nu-критерий Нуссельта, в которой входит определяемый коэффициент теплоотдачи;

Re - критерий Рейнольдса;

Pr-критерий Прандтля.

Критерий Нуссельта

$$Nu = \frac{a \times d_{эКВ}}{\lambda_{ж}} = \frac{a \times d_{ВН}}{\lambda_{ж}}, \quad (85)$$

где $d_{эКВ} = d_{ВН}$ - для круглой трубы, внутренний диаметр трубы, м;

$\lambda_{ж}$ - коэффициент теплопроводности рабочей жидкости, Вт/(м×К);

$d_{эКВ}$ -эквивалентный диаметр

$$d_{эКВ} = \frac{4f}{\Pi}$$

f - площадь сечения по которому движется жидкость, м²;

Π-смоченный периметр, м.

Критерий Рейнольдса характеризует области ламинарного и турбулентного течений по соотношению сил инерции и внутреннего трения в потоке

$$Re = \frac{w \times d_{ВН}}{\nu}, \quad (86)$$

где w - характерная скорость движения среды, м/с;

ν - коэффициент кинематической вязкости, м²/с.

Значение f($Re_{ж}$) находим по табл.29.

Таблица 29 - Зависимость f($Re_{ж}$) от критерия Рейнольдса

$Re_{ж}$	2300	2500	3000	3500	4000	5000	6000	7000	8000	9000	>10000
f($Re_{ж}$)	3,6	4,9	7,5	10	12,2	16,5	20	24	27	30	$0,021 Re_{ж}^{0,8}$

Коэффициент Прандтля, определяет соотношение интенсивности теплотехнических и термодинамических процессов

$$Pr = \frac{\nu}{a_{\text{ж}}},$$

где $a_{\text{ж}}$, - коэффициент температуропроводности среды.

Таблица 30 -Коэффициент температуропроводности воды

t,°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$a_{\text{ж}}$	0,130	0,13	0,14	0,14	0,14	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
$\cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	56	61	16	72	72	55	11	11	38	66	94

Цель работы

Изучение механизма теплоотдачи и установление критериев, определяющих теплообмен жидкости в трубах.

Задачи работы

1. Экспериментальное определение коэффициента теплоотдачи при течении жидкости в трубах при разных режимах движения.
2. Исследование влияния теплофизических свойств жидкости на процесс теплообмена.

Описание экспериментальной установки

Смотри лабораторную работу №20.

Методика выполнения работы

1. Ознакомиться со схемой лабораторной установки и расположением приборов. Составить описание и заготовить таблицу для регистрации результатов испытаний.
2. Подготовить установку к испытаниям. Удостовериться, что уровень воды наблюдается в емкостях ЕГВ и ЕХВ, в противном случае долить воду в систему.

3. Подключить стенд к сети 220 В.
4. Подключить автоматизированный стенд к USB разьему компьютера и запустить программу Пуск→ Программы → MeasLAB → «Теплотехника жидкости».
5. Включить питание стенда кнопкой «Сеть 220В».
6. Включить переключатель в положение «Противоток».
7. Открыть вентиль подачи горячего теплоносителя в теплообменный аппарат «труба в трубе» на коллекторе К1 и соответствующий вентиль на обратном коллекторе К2.
8. Кнопкой ВК2 запустить насос Н1. Регулятор скорости установить в положение II.
9. При включении компьютерной системы измерения клавишей «Пуск» в программе на цифровых индикаторах лицевой панели отображаются мгновенные значения температур, измеряемых всеми датчиками, и графики их изменения по времени.
10. Кнопкой ВК1 включить нагреватель в режим позиционного регулирования.
11. Установить значение температуры 30°C. **Будьте внимательны температура в системе не должна превышать 60 °С.**
12. Открыть вентиль подачи холодного теплоносителя в теплообменный аппарат «труба в трубе» на коллекторе К3 и К4.
13. Запустить насос Н2, кнопкой ВК2. Регулятор скорости установить в положение II.
14. Включить и отрегулировать обороты вращения вентилятора воздушного теплообменного аппарата.
15. Если горячий теплоноситель не достигнет установленной температуры необходимо прикрыть вентиль на обратном коллекторе К2.
16. После выхода температуры на заданный режим и установления стационарного теплового режима провести испытания, результаты занести в табл.31.

17. Изменить расходы воды методом переключения режимов работы насосов Н1 и Н2 в положение I и III. Снять показания в установившемся режиме, результаты занести в табл. 31.

18. Выключить все оборудование и питание стенда автоматическим выключателем Сеть 220В.

19. Провести расчеты по методике, приведенной в разделе «обработка результатов испытаний», результаты занести в табл. 31.

20. Сделать выводы.

Обработка опытных данных и составление отчета

Расчет проводим для гладкой трубы:

Внутренняя труба теплообменника «труба в трубе»

внутренний диаметр $d_{\text{вн}} = 12$ мм.

1. Рассчитать скорость движения жидкости

$$W_{\text{ж}} = \frac{4v}{\pi d_{\text{вн}}^2} \quad (87)$$

2. Рассчитать среднюю температуру жидкости в аппарате

$$t_{\text{срж}} = \frac{t_{\text{н}} - t_{\text{к}}}{2} \quad (88)$$

3. Коэффициент теплопроводности жидкости ($\lambda_{\text{ж}}$) и коэффициент кинематической вязкости (ν) определяются по средней температуре в стандартных таблицах приложения.

4. Рассчитываем критерий Рейнольдса и коэффициент Прандтля по формулам.

5. Рассчитываем критерий Нуссельта в соответствии с режимом течения жидкости по формулам.

6. Из формулы выразить и определить коэффициенты теплоотдачи (α).

7. Определяем массовый расход воды

$$M = V \cdot \rho_{\text{ж}} , \quad (89)$$

$\rho_{\text{ж}}$ - плотность, принимается по таблице приложения 1, при средней температуре воды.

8. Рассчитываем тепловой поток со стороны воды

$$Q_{\text{ж}} = M \cdot c_{\text{ж}} \cdot (t_{\text{н}} - t_{\text{к}}) \quad (90)$$

9. Определяем коэффициент теплопередачи для гладкой трубы

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{ЭКЖ}}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{\text{ЭКВЗ}}} \cdot \frac{d_{\text{н}}}{d_{\text{вн}}}}, \text{ где} \quad (91)$$

δ – толщина стенки трубы;

λ - теплопроводность материала стенки, выбирается из таблицы, приложение 2.

10. Полученные результаты записываем в табл.

11. Сравнить полученные коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи.

Проанализировать результаты. Сделать выводы.

12. Ответить на контрольные вопросы.

Таблица 31 - Измеренные параметры

№ п.п	Режим движения	Параметры				
		V, л/мин	$t_{\Gamma}^{\text{H}}, ^\circ\text{C}(T6)$	$t_{\Gamma}^{\text{K}}, ^\circ\text{C}(T7)$	$t_{\text{X}}^{\text{H}}, ^\circ\text{C}(T13)$	$t_{\text{X}}^{\text{K}}, ^\circ\text{C}(T12)$
1	ламинарный					
2	переходный					
3	турбулентный					

Таблица 32 - Значения вычисленных параметров для горячего теплоносителя

№	$W_{\Gamma}, \text{м/с}$	$t_{\text{cp}}, ^\circ\text{C}$	$\lambda_{\Gamma}, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$	$V, \text{м}^3/\text{с}$	Re	$\alpha_{\Gamma}, \text{м}^2/\text{с}$	Pr	Nu	$\alpha_{\Gamma}, \text{Вт/(м}^2\cdot\text{K)}$
Для переходного (1) и турбулентного (2) режимов									
1									
2									

Таблица 33 - Значения вычисленных параметров для холодного теплоносителя

№	$w_{\text{X}}, \text{м/с}$	$t_{\text{cp}}, ^\circ\text{C}$	$\lambda_{\text{X}}, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$	$V, \text{м}^3/\text{с}$	Re	$\alpha_{\text{X}}, \text{м}^2/\text{с}$	Pr	Nu	$\alpha_{\text{X}}, \text{Вт/(м}^2\cdot\text{K)}$
Для переходного (1) и турбулентного (2) режимов									
1									
2									

Контрольные вопросы

1. Каков физический смысл коэффициента теплопередачи?
2. В чем заключается отличие коэффициента теплоотдачи, от коэффициента теплопередачи?
3. Какие дополнительные факторы и механизмы переноса тепла учитываются коэффициентом теплопередачи?
4. Какими способами можно повысить коэффициент теплоотдачи со стороны жидкости, движущейся в трубе?
5. Объясните почему на каждом отдельном участке теплопередачи удельный тепловой поток будет одинаков.
6. Что такое полное термическое сопротивление и что оно показывает?
7. Назовите режимы движения жидкости в трубах и чем они отличаются?
8. Что такое эквивалентный диаметр и как его определить?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №12

Изучение конструкции воздушного теплообменного аппарата

Введение

В целях экономии пресной воды все большее применение находят аппараты с воздушным охлаждением.

Конструктивно такие аппараты состоят из нескольких секций, соединенные последовательно калачами и параллельно - коллекторами. Секции представляют собой плоский оребренный змеевик из медных или стальных труб диаметром от 6 до 20 мм. Ребра стальные или алюминиевые, обычно прямоугольной формы. Шаг ребер не менее 1 мм, в противном случае происходит быстрое загрязнение теплопередающей поверхности. При расчете аппаратов с воздушным охлаждением возникает необходимость определения коэффициента теплопередачи от пучка оребренных труб. Здесь расчетные зависимости имеют более сложный характер, чем для гладкотрубных пучков. Это обусловлено влиянием формы, размеров, шага ребер, их тепловой эффективности.

Цель работы

Повышение уровня знаний в вопросах теплопередачи и приобретение навыков экспериментального исследования работы воздушного охладителя.

Задачи работы

1. Изучение конструкции воздушного охладителя.
2. Испытание воздушного охладителя.

Описание экспериментальной установки

Лабораторную работу проводим на универсальном стенде.

Воздушный охладитель с принудительной циркуляцией воздуха (с вентилятором) состоит из z секций, соединенных параллельно калачами. Секция представляет собой последовательно расположенные оребренные трубки диаметром d . Ребра алюминиевые прямоугольной формы с шагом u .

Площадь наружной поверхности воздушного конденсатора равна площади поверхности змеевика плюс суммарная площадь листов, выполняющих роль ребер.

Методика выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией воздушного охладителя, с помощью штангенциркуля и линейки измерить конструктивные параметры:

z - количество секций, шт;

N - количество трубок в секции, шт;

d - диаметр трубок, м;

D - средний диаметр изгиба калача, м;

L - длина трубок, м;

d_k - диаметр трубок калача, м

n - количество ребер, шт;

u - шаг ребер, м;

H - высота ребер, м;

B - ширина ребер, м;

$\delta = 0,0008$ м - толщина стенки трубки, м.

Обработка опытных данных и составление отчета

1. Наружная поверхность охладителя определяется с учетом оребрения, м²;

$$F_H = F_{тр} + F_p \quad (92)$$

где $F_{тр} = \pi \cdot d \cdot N \cdot L \cdot z$ – поверхность трубок,

$F_p = H \cdot B \cdot n - (\pi d^2/4) N \cdot z$ – поверхность ребер.

Внутренняя поверхность, м²

$$F_{BH} = \pi d_{BH} \cdot N \cdot L \cdot Z + (\pi^2 \cdot D \cdot d_{BH} \cdot N \cdot Z)/2 \quad (93)$$

где $d_{BH} = d_H - 2\delta$ – внутренний диаметр трубки, м.

Отношение оребренной поверхности к гладкой (внутренней) называется коэффициентом оребрения β

$$\beta = \frac{F_H}{F_{BH}}.$$

Таблица 34 - Протокол результатов измерений и вычислений

№ п/п	z, шт	N, шт	D, шт	D, м	L, м	d _к , м	n, шт	u, м	H, м	B, м	δ, м	F _р , м ²	F _{вн} , м ²	F _н , м ²	β

Контрольные вопросы

1. Что показывается коэффициент теплопередачи? Каков его физический смысл?
2. Для чего применяют наружное оребрение труб?
3. Что показывает коэффициент оребрения?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №13

Испытание воздушного теплообменного аппарата

Введение

В воздушных аппаратах основное термическое сопротивление сосредоточено, как правило, со стороны воздуха. Однако при высокой степени наружного оребрения и интенсификации внешнего теплообмена внутреннее охлаждающей стороны приближаться к наружному. Основными направлениями интенсификации теплообмена со стороны воздуха являются: применение оребренных поверхностей определенных форм и размеров и турбулизация потока воздуха. Повышение коэффициента теплоотдачи (и соответственно теплопередачи) со стороны воздуха можно получить путем уменьшения диаметра трубок и шага ребер. Первое для наружного теплообмена имеет меньшее значение, т.к. площадь поверхности труб составляет обычно 5-10% от общей площади наружной оребренной поверхности.

При передаче теплоты от капельной жидкости (α_1) через твердую стенку к газу (α_2) суммарное термическое сопротивление $1/K$ определяют по формуле

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (94)$$

где α_1 , α_2 , - коэффициент соответственно от капельной жидкости к внутренней поверхности трубы и от наружной поверхности трубы к газу (воздуху).

Наибольший вклад в суммарное термическое сопротивление вносит последний член $\frac{1}{\alpha_2}$ он на один, а иногда и на два порядка меньше первого члена $\frac{1}{\alpha_1}$.

Обычно повысить α_2 за счет увеличения скорости движения воздуха не удается, так как это приводит к значительному увеличению аэродинамическим сопротивлений и поэтому используют оребрение со стороны газа (воздуха).

Тогда коэффициент теплопередачи, приведенный к неоребреной внутренней поверхности, можно определить по формуле:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \times \frac{F_H}{F_{BH}}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \times \beta}, \quad (95)$$

где F_H , - наружная оребренная поверхность;

F_{BH} – внутренняя;

β - коэффициент оребрения.

Тепловую нагрузку на воздушный теплообменный аппарат можем определить из баланса теплообменного аппарата, без учета потерь по формуле (Вт)

$$Q = M_x \cdot c_{рх} (t_x^{BX} - t_x^{БЫХ}) = M_{вз} \cdot c_{рвз} (t_{вз}^{БЫХ} - t_{вз}^{BX}), \quad (96)$$

где M_x , $M_{вз}$ - массовые расходы теплоносителя и воздуха через аппарат, соответственно, кг/с;

$c_{рх}$, $c_{рвз}$ - теплоемкость теплоносителя и воздуха, соответственно, Дж/(кг· К).

Цель работы

Повышение уровня знаний в вопросах теплопередачи и приобретение навыков экспериментального исследования работы воздушного теплообменного аппарата.

Задачи работы

1. Испытание воздушного теплообменного аппарата.
2. Определение тепловой нагрузки на воздушный теплообменный аппарат.
3. Определение коэффициента теплоотдачи воздушного теплообменного аппарата.

Методика выполнения работы

1. Ознакомиться со схемой лабораторной установки и расположением приборов. Составить описание и заготовить таблицу для регистрации результатов испытаний.
2. Подготовить установку к испытаниям. Удостовериться, что уровень воды наблюдается в емкостях ЕГВ и ЕХВ, в противном случае долить воду в систему.
3. Подключить стенд к сети 220 В.

4. Подключить автоматизированный стенд к USB разъему компьютера и запустить программу Пуск → Программы → MeasLAB → «Теплотехника жидкости».
5. Включить питание стенда кнопкой «Сеть 220В».
6. Включить переключатель в положение «Противоток».
7. Открыть вентиль подачи горячего теплоносителя в пластинчатый теплообменный аппарат на коллекторе К1 и соответствующий вентиль на обратном коллекторе К2.
8. Кнопкой ВК2 запустить насос Н1. Регулятор скорости установить в положение II.
9. При включении компьютерной системы измерения клавишей «Пуск» в программе на цифровых индикаторах лицевой панели отображаются мгновенные значения температур, измеряемых всеми датчиками, и графики их изменения по времени.
10. Кнопкой ВК1 включить нагреватель в режим позиционного регулирования.
11. Установить значение температуры 40°C. **Будьте внимательны температура в системе не должна превышать 60 °C.**
12. Открыть вентиль подачи холодного теплоносителя в пластинчатый теплообменный аппарат на коллекторе К3 и К4.
13. Запустить насос Н2, кнопкой ВК2. Регулятор скорости установить в положение II.
14. Включить и отрегулировать обороты вращения вентилятора воздушного теплообменного аппарата.
15. Если горячий теплоноситель не достигнет установленной температуры необходимо прикрыть вентиль на обратном коллекторе К2.
16. После выхода температуры на заданный режим и установления стационарного теплового режима провести испытания, результаты занести в табл.35.

17. Изменить расход воды переключив режим работы насоса положение I и воздуха регулирую обороты вентилятора. Снять показания в установившемся режиме, результаты занести в табл.35.

18. Выключить все оборудование и питание стенда автоматическим выключателем Сеть 220В.

19. Провести расчеты по методике, приведенной в разделе «обработка результатов испытаний», результаты занести в табл.35.

20. Сделать выводы.

Обработка опытных данных и составление отчета

1. Определить тепловую нагрузку на воздушный теплообменный аппарат из формулы, Вт

$$Q = M_{\text{вз}} \cdot c_{\text{рвз}} (t_{\text{вз}}^{\text{вых}} - t_{\text{вз}}^{\text{вх}}), \quad (97)$$

где $M_{\text{вз}}$ - массовый расход воздуха через аппарат, кг/с;

$c_{\text{рвз}}$, - теплоемкость теплоносителя, Дж/(кг·К);

Массовый расход определяется по следующему соотношению

$$M_{\text{вз}} = V_{\text{вз}} \cdot \rho_{\text{вз}} \quad (\text{кг/с}) \quad (98)$$

где $V_{\text{вз}}$ - объемный расход воздуха, определяются с помощью анемометра, м³/с.

Все теплофизические свойства берутся при средней температуре среды в аппарате, см. приложение.

2. Коэффициент теплопередачи K определяется по формуле, Вт/(м²·К)

$$K = Q / (F_{\text{н}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}) \quad (99)$$

3. Если величины $\Delta t_{\text{б}} = t_{\text{х}}^{\text{вх}} - t_{\text{вз}}^{\text{вх}}$ и $\Delta t_{\text{м}} = t_{\text{х}}^{\text{вых}} - t_{\text{вз}}^{\text{вых}}$ незначительно отличаются друг от друга, а их отношение $\Delta t_{\text{б}} / \Delta t_{\text{м}} \leq 2$, то средний температурный напор можно определить из выражения

$$\Delta t_{\text{ср}} = (\Delta t_{\text{б}} + \Delta t_{\text{м}}) / 2, \quad (100)$$

Если, $\Delta t_{\text{б}} / \Delta t_{\text{м}} > 2$ температурный напор определяется по формуле

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}} \quad (101)$$

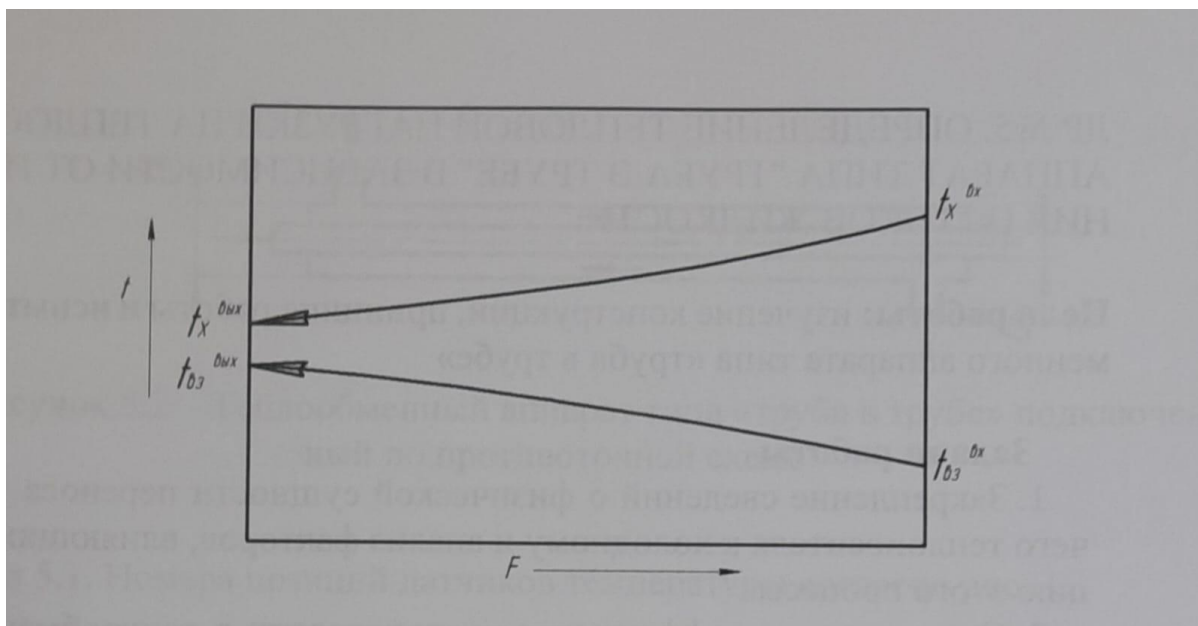


Рис.37 – Распределение температур по поверхности

Таблица 36 – Протокол результатов измерений и вычислений

№	$t_{X_{ВХ}}^{\circ C}$ (T18)	$t_{X_{ВЫХ}}^{\circ C}$ (T19)	$T_{ВЗ}^{\circ C}$ (T20)	$T_{ВЗ}^{\circ C}$ (T21)	$V_{ВЗ}$ $М^3/с$	Q Вт	F_H м ²	$\Delta t_{ер}$ $^{\circ}C$	K Вт/(м ² ·К)
1									
2									
3									

Контрольные вопросы

1. Что показывается коэффициент теплопередачи? Каков его физический смысл?
2. При какой температуре определяют термодинамические свойства теплоносителей?
3. Для чего применяют наружное оребрение труб?
4. В каких случаях для расчета коэффициента теплопередачи используют логарифмическую разность температур?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №14

Определение тепловой нагрузки на теплообменный аппарат типа «труба в трубе» в зависимости от направления потоков жидкости

Введение

Наиболее простым в конструктивном исполнении является теплообменный аппарат типа «труба в трубе», рис.38 – рис.39.

Аппарат состоит из внутренней трубы меньшего диаметра и наружной большего.

Циркуляция теплоносителей через аппарат может быть прямоточной или противоточной в зависимости от подключения. Необходимо отметить, что в большинстве случаев противоточная схема является более эффективной по сравнению с прямоточной. Критерием для оценки эффективности служит величина среднего температурного напора: в противоточной схеме она во многих случаях оказывается больше, чем при прямоточной. Следовательно, поверхность теплообмена при противоточной схеме движения будет меньше чем при прямоточной. Значит, при прочих равных условиях теплообменник будет более компактным, затраты материалов на его изготовление наименьшими. Кроме того, при осуществлении противоточной схемы можно получить более высокую конечную температуру.

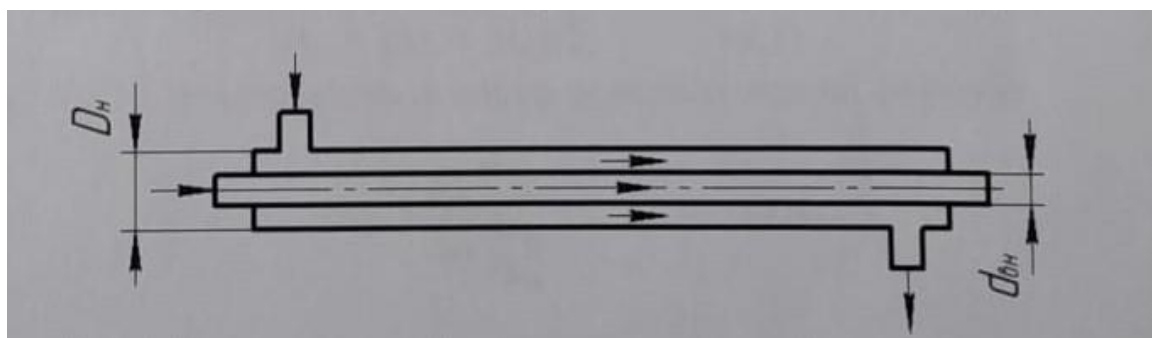


Рис. 38 -Теплообменный аппарат типа «труба в трубе» подключенный по прямоточной схеме

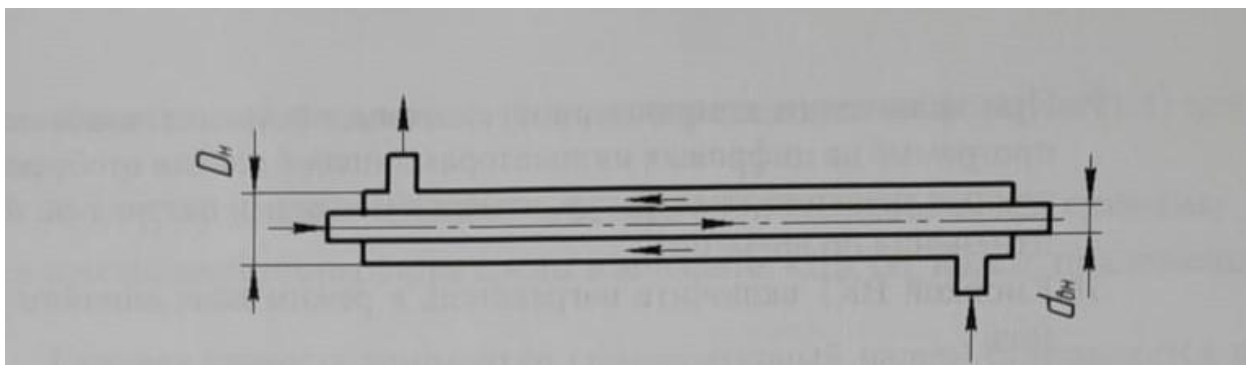


Рис. 39 – Теплообменный аппарат типа «труба в трубе» подключенный по противоточной схема

Таблица 37 - Номера позиций датчиков температуры

Наименование режима	Горячий контур			Холодный контур		
	Номер датчика на входе ТТ	Номер датчика на выходе ТТ	Расход	Номер датчика на входе ТТ	Номер датчика на выходе ТТ	Расход
Прямоток	Т6- t_{1H}	Т7- t_{1k}	$V_{24}-V_1$	Т12- t_{2H}	Т13- t_{2k}	$V_{23}-V_2$
				Т13- t_{2H}	Т12- t_{2k}	

ТТ-теплообменный аппарат типа «труба в трубе»;

- диаметр внутренней трубы $d=12\text{мм}$;
- количество трубок $n=1\text{шт}$;
- длина внутренних труб $l=600\text{мм}$;
- диаметр наружной трубы $D=22\text{мм}$

Цель работы

Изучение конструкции, принципа работы и испытание теплообменного аппарата типа «труба в трубе».

Задачи работы

1. Закрепление сведений о физической сущности переноса тепла от горячего теплоносителя к холодному и анализ факторов, влияющих на оптимизацию этого процесса.

2. Определение коэффициента теплопередачи в теплообменном аппарате типа «труба в трубе» при прямоточной и противоточной схемах движения теплоносителя.
3. Экспериментальное исследование работы теплообменного аппарата типа «труба в трубе» с определением тепловой нагрузки.
4. Исследование влияния теплофизических свойств охлаждающей среды на процессы теплообмена.

Методика выполнения работы

1. Ознакомиться со схемой лабораторной установки и расположением приборов. Составить описание и заготовить таблицу для регистрации результатов испытаний.
2. Подготовить установку к испытаниям. Удостовериться, что уровень воды наблюдается в емкостях ЕГВ и ЕХВ, в противном случае долить воду в систему.
3. Подключить стенд к сети 220 В.
4. Подключить автоматизированный стенд к USB разъему компьютера и запустить программу Пуск Программы → MeasLAB → «Теплотехника жидкости».
5. Включить питание стенда кнопкой «Сеть 220В».
6. Включить переключатель в положение «Противоток».
7. Открыть вентиль подачи горячего теплоносителя в теплообменный аппарат «труба в трубе» на коллекторе К1 и соответствующий вентиль на обратном коллекторе К2.
8. Кнопкой ВК2 запустить насос Н1. Регулятор скорости установить в положение II.
9. При включении компьютерной системы измерения клавишей «Пуск» в программе на цифровых индикаторах лицевой панели отображаются мгновенные значения температур, измеряемых всеми датчиками, и графики их изменения по времени.
10. Кнопкой ВК1 включить нагреватель в режим позиционного регулирования.

11. Установить значение температуры 40°C. Будьте внимательны температура в системе не должна превышать 60 °C.
12. Открыть вентиль подачи холодного теплоносителя в теплообменный аппарат «труба в трубе» на коллекторе К3 и К4.
13. Запустить насос Н2, кнопкой ВК2. Регулятор скорости установить в положение II.
14. Включить и отрегулировать обороты вращения вентилятора воздушного теплообменного аппарата.
15. Если горячий теплоноситель не достигнет установленной температуры необходимо прикрыть вентиль на обратном коллекторе К2.
16. После выхода температуры на заданный режим и установления стационарного теплового режима провести испытания, результаты занести в табл.
17. Изменить расходы воды методом переключения режимов работы насосов Н1 и Н2 в положение I. Снять показания в установившемся режиме, результаты занести в табл.
18. Включить переключатель в положение «Прямоток».
19. Провести опыты в соответствии с п. 14-16.
20. Выключить все оборудование и питание стенда автоматическим выключателем Сеть 220 В
21. Провести расчеты по методике, приведенной в разделе «обработка результатов испытаний», результаты занести в табл.
22. Сделать выводы.

Обработка опытных данных и составление отчета

Площадь передающей поверхности теплообменного аппарата типа «труба в трубе», м²

$$F = \pi d l \quad (102)$$

где d - наружный диаметр внутренней трубы теплообменника, м;

l - длина внутренней трубы, м

[illegible]

2												
3												
Противоток												
1												
2												
3												

Контрольные вопросы

1. Назовите преимущества и недостатки теплообменного аппарата «труба в трубе».
2. Что называется коэффициентом теплопередачи? Каков его физический смысл и единицы измерения?
3. Какие факторы и параметры теплообменного аппарата влияют на величину коэффициента теплопередачи?
4. В чем заключаются преимущества противоточной схемы по сравнению с прямоточной?
5. Может ли температура горячего теплоносителя на выходе из теплообменника быть меньше температуры холодного теплоносителя на выходе из теплообменника?
6. В каких случаях при расчете теплообменника можно пользоваться средним арифметическим температурным напором?
7. В каких технологических процессах используются теплообменные аппараты?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №15

Определение тепловой нагрузки на кожухотрубный теплообменный аппарат

Введение

Кожухотрубные аппараты имеют большую тепловую мощность по сравнению с аппаратами типа «труба в трубе».

По конструктивному исполнению кожухотрубные аппараты подразделяются на горизонтальные и вертикальные. В свою очередь, горизонтальные - с прямыми трубами (рис. 40) или U-образными (рис. 41).

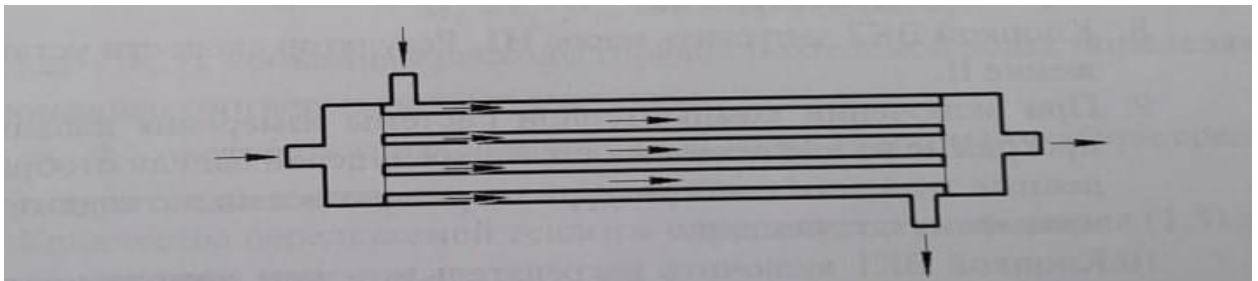


Рис. 40 Кожухотрубный теплообменный аппарат

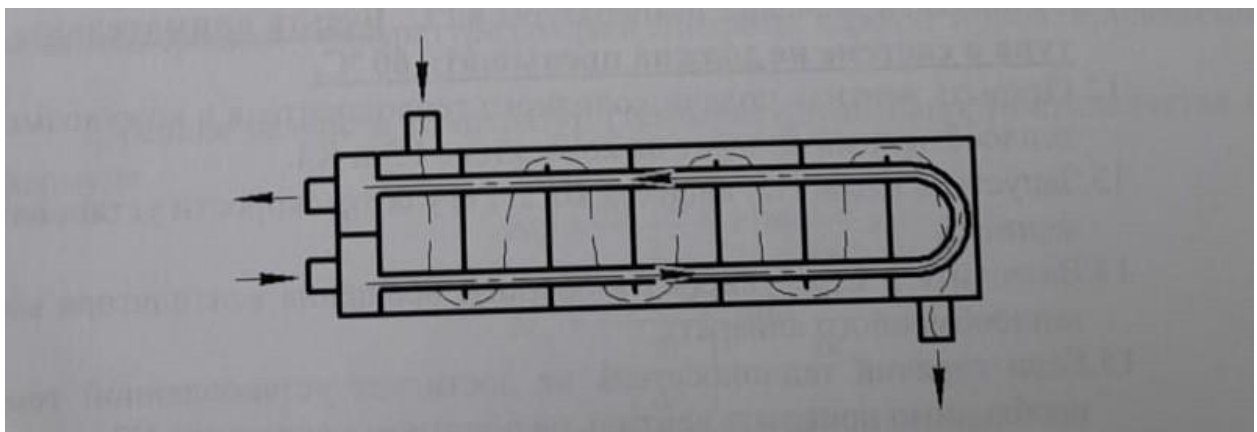


Рис. 41 Кожухозмеевиковый теплообменный аппарат

Таблица 39 - Номера позиций датчиков температуры

Наименование режима	Горячий контур			Холодный контур		
Противоток	Номер датчика на входе КТ	Номер датчика на выходе КТ	Расход	Номер датчика на входе КТ	Номер датчика на выходе КТ	Расход
Прямоток	Т8- $t_{1н}$	Т9- $t_{1к}$	$V_{24} - V_1$	Т14- $t_{2н}$	Т15- $t_{2к}$	$V_{23} - V_2$
				Т15- $t_{2н}$	Т14- $t_{2к}$	

Цель работы

Изучение конструкции, принципа работы и испытание кожухотрубного теплообменного аппарата.

Задачи работы

1. Закрепление сведений о физической сущности переноса тепла от горячего теплоносителя к холодному и анализ факторов, влияющих на оптимизацию этого процесса.
2. Определение коэффициента теплопередачи в кожухотрубном теплообменном аппарате при различных схемах движения теплоносителя.
3. Экспериментальное исследование работы кожухотрубного теплообменного аппарата с определением тепловой нагрузки.
4. Исследование влияния теплофизических свойств охлаждающей среды на процессы теплообмена.

Методика выполнения работы

1. Ознакомиться со схемой лабораторной установки и расположением приборов. Составить описание и заготовить таблицу для регистрации результатов испытаний.
2. Подготовить установку к испытаниям. Удостовериться, что уровень воды наблюдается в емкостях ЕГВХ И ЕХВ, в противном случае долить воду в систему.
3. Подключить стенд к сети 220 В.

4. Подключить автоматизированный стенд к USB разъему компьютера и запустить программу Пуск→ Программы→MeasLAB→ «Теплотехника жидкости».
5. Включить питание стенда кнопкой «Сеть 220В».
6. Включить переключатель в положение «Противоток».
7. Открыть вентиль подачи горячего теплоносителя в кожухотрубчатый теплообменный аппарат на коллекторе K1 и соответствующий вентиль на обратном коллекторе K2.
8. Кнопкой ВК2 запустить насос Н1. Регулятор скорости установить в положение II.
9. При включении компьютерной системы измерения клавишей «Пуск» в программе на цифровых индикаторах лицевой панели отображаются мгновенные значения температур, измеряемых всеми датчиками, и графики их изменения по времени.
10. Кнопкой ВК1 включить нагреватель в режим позиционного регулирования.
11. Установить значение температуры 40°C. **Будьте внимательны температура в системе не должна превышать 60 °C.**
12. Открыть вентиль подачи холодного теплоносителя в кожухотрубчатый теплообменный аппарат на коллекторе K3 и K4.
13. Запустить насос Н2, кнопкой ВК2. Регулятор скорости установить в положение II.
14. Включить и отрегулировать обороты вращения вентилятора воздушного теплообменного аппарата.
15. Если горячий теплоноситель не достигнет установленной температуры необходимо прикрыть вентиль на обратном коллекторе K2.
16. После выхода температуры на заданный режим и установления стационарного теплового режима провести испытания, результаты занести в табл.40.

17. Изменить расходы воды методом переключения режимов работы насосов Н1 и Н2 в положение 1. Снять показания в установившемся режиме, результаты занести в табл. 40.
18. Включить переключатель в положение «Прямоток».
19. Провести опыты в соответствии с п. 14-16.
20. Выключить все оборудование и питание стенда автоматическим выключателем Сеть 220В.
21. Провести расчеты по методике, приведенной в разделе «обработка результатов испытаний». результаты занести в табл.40.
22. Сделать выводы.

Обработка опытных данных и составление отчета

Площадь передающей поверхности кожухотрубчатого теплообменного аппарата, м²

$$F = \pi d_n l \cdot n \quad (109)$$

где d_n - наружный диаметр внутренней трубы теплообменника, м;

n - количество трубок;

l - длина внутренней трубы, м

Массовый расход горячей и холодной воды определяется по следующему соотношению

$$M_1 = V_1 \cdot \rho_1, \quad M_2 = V_2 \cdot \rho_2 \quad (\text{кг/с}) \quad (110)$$

где V_1, V_2 , - объемные расходы горячей и холодной воды, определяются с помощью соответствующего счетчика;

ρ_1, ρ_2 - плотность горячей и холодной воды, принимаются при средней температуре среды в аппарате, см. приложение.

Количество передаваемой теплоты определяется по формуле для каждого аппарата, при этом,

c_{p1}, c_{p2} - удельные теплоемкости горячей и холодной воды, принимаются при средней температуре среды в аппарате, кДж/(кг·К), см. приложение.

Средняя разность температур (температурный напор) определяется по формуле

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{2} \text{ при } \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m} \leq 2 \quad (111)$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln\left(\frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}\right)} \text{ при } \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m} > 2 \quad (112)$$

где Δt_6 , Δt_m - значения большего и меньшего температурных напоров в начале и конце поверхности теплообмена (определяются с учетом схемы подсоединения), °C;

$$\text{Для прямотока } \Delta t_6 = t_{1H} - t_{2H}, \Delta t_m = t_{1K} - t_{2K} \quad (113)$$

$$\text{Для противотока } \Delta t_6 = t_{1H} - t_{2K}, \Delta t_m = t_{1K} - t_{2H} \quad (114)$$

Коэффициент теплопередачи для каждого режима определяется по формуле:

$$K = \frac{Q}{F \cdot \Delta t_{cp}}, \left(\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right) \quad (115)$$

Таблица 40 - Результаты измерений и вычислений

Значения измеренных и вычисляемых параметров												
№№ п/п	t_{1H} °C	t_{1K} °C	t_{2K} °C	t_{2H} °C	M_1 кг/с	M_2 кг/с	Q_1 Вт	Q_2 Вт	Δt_6 °C	Δt_m °C	Δt_{cp} °C	K Вт/(м²·К)
Прямоток												
1												
2												
3												
Противоток												
1												
2												
3												

Контрольные вопросы

1. Назовите преимущества и недостатки кожухотрубных теплообменных аппаратов.
2. Что называется коэффициентом теплопередачи? Каков его физический смысл и единицы измерения?
3. Какие факторы и параметры теплообменных аппаратов влияют на величину коэффициента теплопередачи?
4. В чем заключаются преимущества противоточной схемы по сравнению с прямоточной?

5. Может ли температура горячего теплоносителя на выходе из теплообменника быть меньше температуры холодного теплоносителя на выходе из теплообменника?
6. В каких случаях при расчете теплообменника можно пользоваться средним арифметическим температурным напором?
7. В каких технологических процессах используются теплообменные аппараты?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №16

Ознакомление с конструкцией пластинчатого теплообменного аппарата и определение тепловой нагрузки в зависимости от направления движения потоков жидкости

Введение

Пластинчатые теплообменные аппараты состоят из пластин, объединенных в пакет, и могут выполняться разборными, полуразборными и неразборными (паянными). Наиболее широко применяются разборные пластинчатые теплообменники. Они состоят из отдельных пластин 15, рис. 42, собираемых в пакет по несколько штук с уплотнением между ними с помощью резиновых прокладок 5 и 13. Герметизация обеспечивается за счет стягивания пакета между массивными плитами 3 и 8 с помощью штанг 7. Такие аппараты

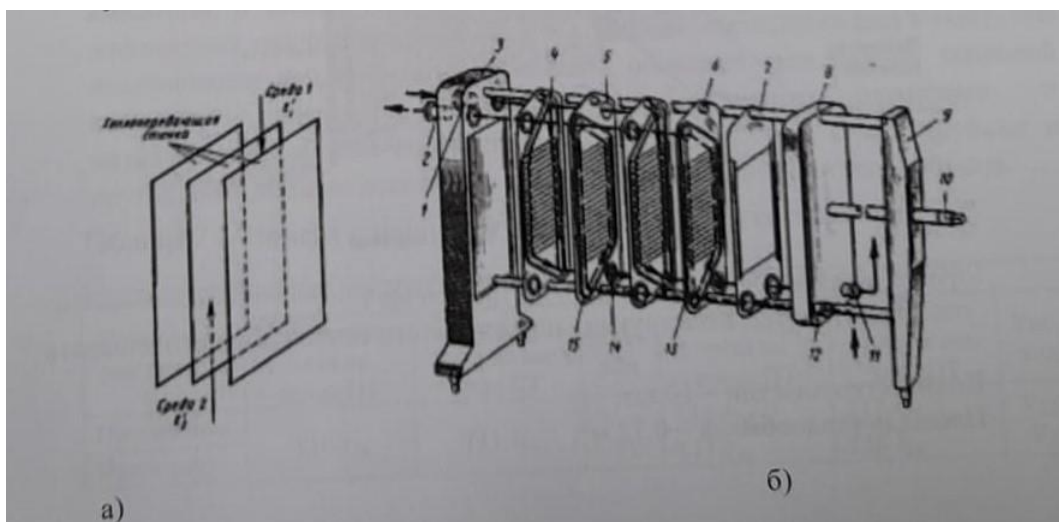


Рис. 42 Разборный пластинчатый теплообменный аппарат: а) схема теплопередающего элемента пластинчатого теплообменника; б) схема современного пластинчатого аппарата: 1,2,11,12-штуцера; 3-передняя стойка; 4- верхнее угловое отверстие; 5- кольцевая резиновая прокладка; 6-граничная пластина; 7-штанга; 8-нажимная плита; 9-задняя стойка; 10-винт; 13-большая резиновая прокладка; 14-нижнее угловое отверстие; 15-теплообменная пластина

приспособлены для быстрой разборки и сборки, и вся их теплообменная поверхность доступна для очистки. Эта особенность важна, например, для аппаратов, применяемых в пищевой промышленности, и позволяет проводить полную его санитарную обработку.

Простейший теплообменник должен иметь не менее трех пластин, образующих два канала, по одному из которых течет горячая рабочая среда, а по - другому – холодная. В промышленных аппаратах число пластин бывает больше и рабочие среды движутся по множеству параллельных каналов сразу, рис. 43.

Полу разборные, сварные блочные и сварные неразборные (паянные) теплообменники являются разновидностью аппаратов пластинчатого типа и предназначены для работы при более высоких давлениях рабочих сред. Так паяные рассчитаны на давление до 40 бар.

Рассмотрим конструкцию пластинчатого теплообменника, рис.43:

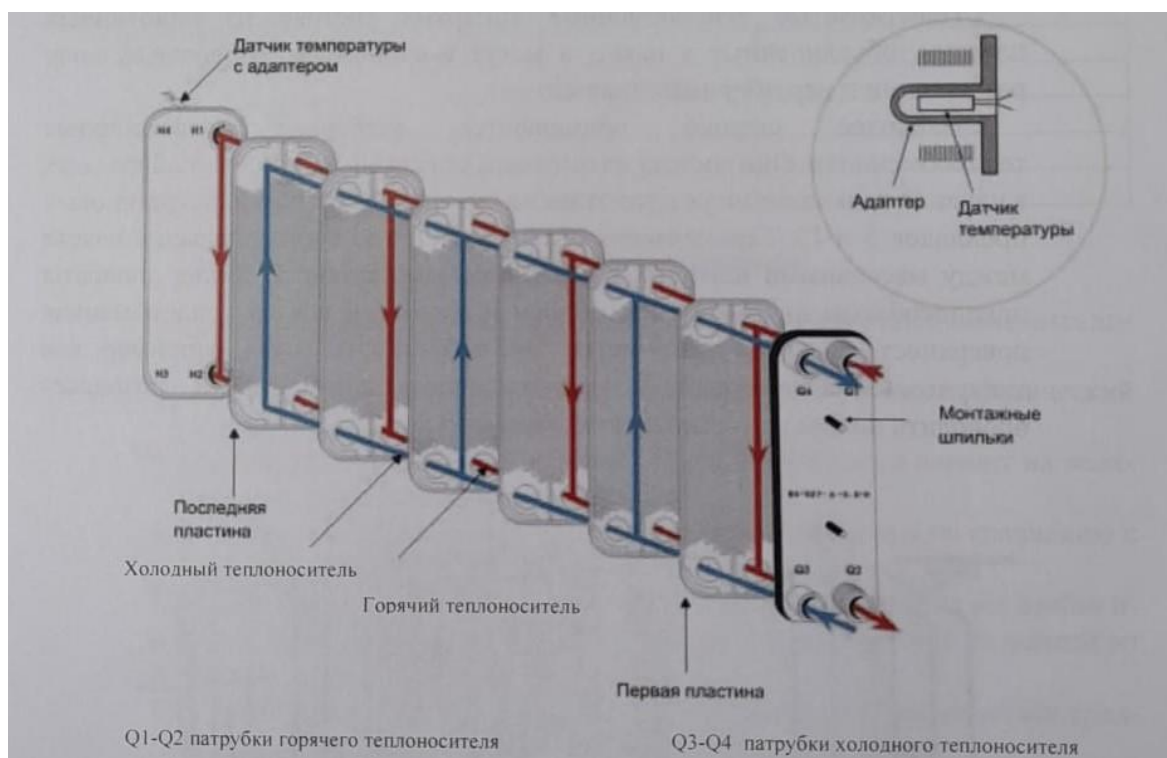


Рис. 43 Конструкция пластинчатого теплообменного аппарата

Количество пластин-10шт;

Площадь теплообмена-0,12м²;

Паяный теплообменный аппарат пластинчатого типа состоит из рифленых тонкостенных теплообменных пластин из нержавеющей стали, спаянных между собой с помощью медного или никелевого припоя. Между пластинами образуются каналы для прохода теплоносителя. Высокая турбулентность потока и принцип противотока обеспечивают эффективный теплообмен.

Типы пластин и профили их поверхности очень разнообразны. На рис. 44 представлены возможные варианты используемых пластин в пластинчатых теплообменных аппаратах.

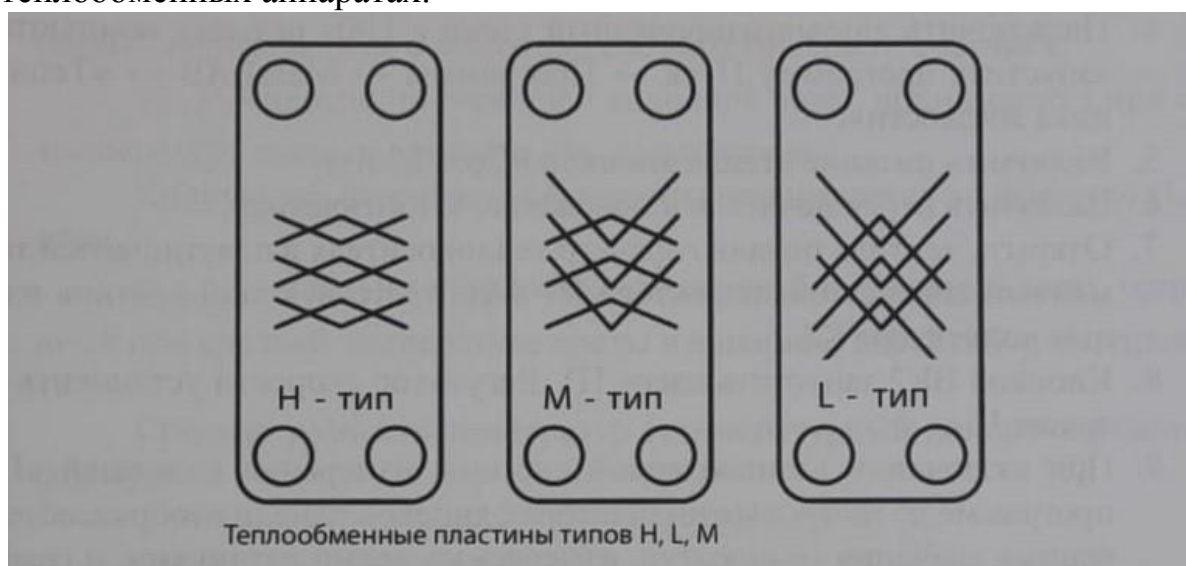


Рис. 44 Типы пластин теплообменных аппаратов

Уже на основании общего принципа конструирования пластинчатого теплообменника можно сделать заключение о некоторых его особенностях, весьма важных для практики. Малая толщина пластин и параллельная расстановка с малыми промежутками между пластинами позволяет разместить в пространстве рабочую поверхность теплообменника наиболее компактно с такой «плотностью», которая недостижима в других типах жидкостных теплообменников. Это, в конечном счете, приводит к тому, что пластинчатые теплообменные аппараты обладают при равной тепловой нагрузке значительно меньшими габаритными размерами и металлоемкостью, чем аппараты типа «труба в трубе», кожухотрубные и другие, обладающие достаточно высокой эффективностью теплообмена.

Таблица 41 - Номера позиций датчиков температуры

Наименование режима	Горячий контур			Холодный контур		
	Номер датчика на входе ПТ	Номер датчика на выходе ПТ	Расход	Номер датчика на входе ПТ	Номер датчика на выходе ПТ	Расход
Противоток	T10-t _{1н}	T11-t _{1к}	V ₂₄ -V ₁	T16-t _{2н}	T17-t _{2к}	V ₂₃ -V ₂
Прямоток				T17-t _{2н}	T16-t _{2к}	

Цель работы

Ознакомление с конструкцией пластинчатого теплообменного аппарата, повышение уровня знаний в вопросах теплопередачи и приобретение навыков экспериментального исследования работы холодильной установки.

Задачи работы

1. Изучение конструкций пластинчатых теплообменных аппаратов.
2. Испытание холодильной установки в действительном цикле работы.

Методика выполнения работы

1. Ознакомиться со схемой лабораторной установки и расположением приборов. Составить описание и заготовить таблицу для регистрации результатов испытаний.
2. Подготовить установку к испытаниям. Удостовериться, что уровень воды наблюдается в емкостях ЕГВ и ЕХВ, в противном случае долить воду в систему.
3. Подключить стенд к сети 220 В.
4. Подключить автоматизированный стенд к USB разъему компьютера и запустить программу Пуск→ Программы →MeasLAB→» Теплотехника жидкости».
5. Включить питание стенда кнопкой «Сеть 220В»
6. Включить переключатель в положение «Противоток».
7. Открыть вентиль подачи горячего теплоносителя в пластинчатый теплообменный аппарат на коллекторе К1 и соответствующий вентиль на обратном коллекторе К2.

8. Кнопкой ВК2 запустить насос Н1. Регулятор скорости установить в положение II.
9. При включении компьютерной системы измерения клавишей «Пуск» в программе на цифровых индикаторах лицевой панели отображаются мгновенные значения температур, измеряемых всеми датчиками, и графики их изменения по времени.
10. Кнопкой ВК1 включить нагреватель в режим позиционного регулирования.
11. Установить значение температуры 40°C. **Будьте внимательны температура в системе не должна превышать 60 °С.**
12. Открыть вентиль подачи холодного теплоносителя в пластинчатый теплообменный аппарат на коллекторе К3 и К4.
13. Запустить насос Н2, кнопкой ВК2. Регулятор скорости установить в положение II.
14. Включить и отрегулировать обороты вращения вентилятора воздушного теплообменного аппарата.
15. Если горячий теплоноситель не достигнет установленной температуры необходимо прикрыть вентиль на обратном коллекторе К2.
16. После выхода температуры на заданный режим и установления стационарного теплового режима провести испытания, результаты занести в табл.42.
17. Изменить расходы воды методом переключения режимов работы насосов Н1 и Н2 в положение 1. Снять показания в установившемся режиме, результаты занести в табл. 42.
18. Включить переключатель в положение «Прямоток».
19. Провести опыты в соответствии с п. 14-16.
20. Выключить все оборудование и питание стенда автоматическим выключателем Сеть 220В.
21. Провести расчеты по методике, приведенной в разделе «обработка результатов испытаний», результаты занести в табл.42.
22. Сделать выводы.

Обработка опытных данных и составление отчета

Массовый расход горячей и холодной воды определяется по следующему соотношению

$$M_1 = V_1 \cdot \rho_1, M_2 = V_2 \cdot \rho \text{ (кг/с)} \quad (116)$$

где V_1, V_2 - объемные расходы горячего и холодного теплоносителя (воды), определяются с помощью соответствующего счетчика;

ρ_1 ρ_2 - плотность горячей и холодной воды, принимаются при средней температуре среды в аппарате, см. приложение.

Количество передаваемой теплоты определяется по формуле при этом,

C_{p1} , C_{p1} - удельные теплоемкости горячей и холодной воды, принимаются при средней температуре среды в аппарате, кДж/(кг·К), см. приложение.

Средняя разность температур (температурный напор) определяется по формуле

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_{\text{м}}}{2} \text{ при } \frac{\Delta t_6}{\Delta t_{\text{м}}} \leq 2$$

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_{\text{м}}}{\ln\left(\frac{\Delta t_6}{\Delta t_{\text{м}}}\right)} \text{ при } \frac{\Delta t_6}{\Delta t_{\text{м}}} > 2$$

где Δt_6 , Δt_m - значения большего и меньшего температурных напоров в начале и конце поверхности теплообмена (определяются с учетом схемы подсоединения), °C;

Для прямотока $\Delta t_6 = t_{1H} - t_{2H}$, $\Delta t_M = t_{1K} - t_{2K}$.

Для противотока $\Delta t_6 = t_{1H} - t_{2K}$, $\Delta t_M = t_{1K} - t_{2H}$.

Коэффициент теплопередачи для каждого режима определяется по формуле:

$$K = \frac{Q}{F \cdot \Delta t_{cp}}, \left(\frac{Bm}{M^2 \cdot K} \right)$$

Таблица 42 - Результаты измерений и вычислений

[illegible]

Контрольные вопросы

1. Какие по конструктивным особенностям бывают пластинчатые теплообменные аппараты?
2. В чем преимущество пластинчатых теплообменных аппаратов?
3. В чем преимущество не разборных пластинчатых теплообменных аппаратов
4. Почему противоточная схема циркуляции более предпочтительна?
5. Какие факторы оказывают влияние на коэффициент теплопередачи?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №17

Определение вязкости жидкости при различной температуре по теории ламинарного течения

Введение

Вязкостью (внутренним трением) называется явление возникновения сил, препятствующих относительному перемещению слоев жидкости или газа. Причиной внутреннего трения является перенос молекулами импульсов между соприкасающимися слоями, движущимися с разными скоростями. Течение жидкости или газа, при котором соприкасающиеся слои движутся без перемешивания, называется ламинарным. Движение, сопровождающееся перемешиванием слоев и образованием вихрей, называется турбулентным. Если пропускать жидкость через капилляр, то движение жидкости будет ламинарным. При этом для прокачки жидкости через капилляр с постоянной скоростью необходимо создать разность давлений на концах капилляра, которая будет компенсировать влияние силы вязкого трения, возникающего при движении потока газа по капилляру. В случае ламинарного течения газа по трубе круглого сечения можно воспользоваться формулой Пуазейля:

$$V = \frac{\pi}{8} \cdot \frac{\Delta p R^4}{\mu l}, \quad (117)$$

где μ - коэффициент вязкости, кг/(с·м);

R - внутренний радиус капилляра, м;

Δp - разность давлений на концах капилляра, Па;

V - объемный расход жидкости, протекающего по капилляру, (м³/с);

l - длина капилляра, (м).

Для оценки изменения характера движения жидкости используют безразмерную величину, называемую числом Рейнольдса:

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} = \frac{w d}{\nu}, \quad (118)$$

где ρ - плотность среды, w - средняя скорость течения, d - характерный размер (для круглой трубы - диаметр), $\nu = \mu/\rho$ - кинематическая вязкость.

В гладких цилиндрических каналах переход от ламинарного течения к турбулентному происходит при $R \approx 1000$. Поэтому в случае использования формулы Пуазейля необходимо обеспечить выполнение условия $Re < 1000$. Кроме того, эксперимент необходимо проводить таким образом, чтобы сжимаемостью газа можно было пренебречь. Это возможно тогда, когда перепад давлений в капилляре значительно меньше самого давления, т. е. $\Delta P \ll P$.

Формула справедлива для участка капилляра, в котором установилось постоянное течение с квадратичным законом распределения скоростей по сечению капилляра. Такое течение устанавливается на некотором расстоянии от входа в капилляр, поэтому для достижения достаточной точности эксперимента необходимо выполнение условия $R \ll 1$.

Цель работы

Определение коэффициента вязкости жидкости.

Задачи работы

1. Определение коэффициента динамической вязкости жидкости.
2. Определить режим движения жидкости.

Методика выполнения работы

1. Ознакомиться со схемой лабораторной установки и расположением приборов. Составить описание и заготовить таблицу для регистрации результатов испытаний.
2. Подготовить установку к испытаниям. Удостовериться, что уровень воды наблюдается в емкостях ЕГВ и ЕХВ, в противном случае долить воду в систему.
3. Подключить стенд к сети 220 В.
4. Подключить автоматизированный стенд к USB разъему компьютера и запустить программу Пуск → Программы → MeasLAB →» Теплотехника жидкости».
5. Включить питание стенда кнопкой «Сеть 220В».

6. Открыть вентиль подачи горячего теплоносителя в капиллярную трубку определитель вязкости жидкости на коллекторе К1 и вентиль 3В2.
7. Открыть вентиль подачи горячего теплоносителя в «рубашку» определитель вязкости жидкости на коллекторе К1, для стабилизации температуры в капилляре.
8. Кнопкой ВК2 запустить насос Н1. Регулятор скорости установить в положение II.
9. При включении компьютерной системы измерения клавишей «Пуск» в программе на цифровых индикаторах лицевой панели отображаются мгновенные значения температур, измеряемых всеми датчиками, и графики их изменения по времени.
10. Кнопкой ВК1 включить нагреватель в режим позиционного регулирования.
11. Установить значение температуры 30°C. **Будьте внимательны температура в системе не должна превышать 60 °С. Если температура выше, то охладить, подключив пластинчатый теплообменный аппарат совместно с воздушным, см. ЛР№7.**
12. После выхода температуры на заданный режим и установления стационарного теплового режима провести испытания.
13. Расход воды через капилляр замерить с помощью мерной емкости МЕ, закрывая вентиль 3В1, одновременно необходимо включить секундомер на счетчике энергии, см. описание установки. Результаты занести в табл. 43.
14. Повторить измерения (3 раза), предварительно изменяя температуру с помощью регулятора РТ1 (кнопка \wedge - предназначена для увеличения выбранного значения, \vee - для уменьшения) в пределах 25 +50 °С при постоянном расходе.
15. Изменить расход воды через капилляр с помощью вентиля 3В2. Снять показания в установившемся режиме, результаты занести в табл.43.
16. Выключить все оборудование и питание стенда автоматическим выключателем Сеть 220В.

17. Провести расчеты по методике, приведенной в разделе «обработка результатов испытаний», результаты занести в табл. 43.

18. Сделать вывод.

Обработка опытных данных и составление отчета

Для каждого опыта определить по формуле Пуазейля коэффициент вязкости:

$$\mu = \frac{\pi R^4 \Delta p}{8 V l},$$

где $l=6\text{м}$; $R=0,001\text{м}$.

Объемный расход определяется как

$$V = \frac{v}{10^6 \tau}$$

где τ – время расхода, с.

Найти среднее значение коэффициента вязкости

$$\langle \mu \rangle = \sum_{i=1}^n \mu_i$$

Определить режим движения, где

$$W = \frac{V}{f},$$

площадь сечения

$$f = \frac{\pi d^2}{4},$$

d – диаметр капилляра, м.

Таблица 43 - Результаты измерений и вычислений

№ п.п.	v, мл	τ , с	Δp , Па	μ , кг/(м·с)	$t_{\text{вх}}$, °C	$\langle \mu \rangle$, кг/ (м·с)	w, м/с	f , м ²	Re
1									
2									
3									

Контрольные вопросы

1. Какой физический смысл имеет коэффициент вязкости? В каких единицах СИ измеряется эта величина?
2. Напишите формулу для определения коэффициента вязкости.
3. В чем заключается капиллярный метод определения коэффициента вязкости? Запишите формулу Пуазейля. При каких условиях ее применяют?
4. Что показывает число Рейнольдса?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №18

Определение теплоемкости жидкости методом нагрева потока жидкости

Введение

Тепловые явления, т.е. явления, связанные с нагревом или охлаждением тел, являются весьма важными. Основным здесь является понятие теплоты.

Нагретое тело отличается от холодного тем, что молекулы нагретого тела движутся интенсивно и хаотически. Физической величиной, которая количественно измеряет теплоту, является количество теплоты Q – это количество энергии, получаемое (или отдаваемое) телом при нагреве (или охлаждении).

Единица измерения теплоты в системе СИ-Джоуль (Дж).

Отношение количества теплоты, полученной телом при нагревании (или отданное при охлаждении), к изменению его температуры называют теплоемкостью тела:

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (119)$$

ΔQ – количество теплоты, получаемое веществом при нагреве (или выделившееся при охлаждении).

Δt – разность конечной (t_2) и начальной (t_1) температур.

Измеряется теплоемкость в Дж/град.

Удельная теплоемкость – это теплоемкость единичной массы вещества – отношение теплоемкости к массе m :

$$c = \frac{\Delta Q}{m \Delta t}$$

Знание теплоемкости веществ позволяет значительно упростить технические тепловые расчеты. Тепловой (энергетический) баланс тела при изменении его температуры описывается уравнением:

$$Q = m \cdot c (t_2 - t_1) \quad (120)$$

Цель работы

Определение коэффициента удельной теплоемкости жидкости.

Методика выполнения работы

1. Ознакомиться со схемой лабораторной установки и расположением приборов. Составить описание и заготовить таблицу для регистрации результатов испытаний.
2. Подготовить установку к испытаниям. Удостовериться, что уровень воды наблюдается в емкости ЕГВ, в противном случае долить воду.
3. Подключить стенд к сети 220В.
4. Подключить автоматизированный стенд к USB разъему компьютера и запустить программу Пуск→ Программы →MeasLAB→ «Теплотехника жидкости».
5. Включить питание стенда кнопкой «Сеть 220В».
6. Замерить начальную температуру, t_1 (T22) на входе в проточный нагреватель, ПН.
7. Тумблером ВКІ включить нагрев воды в ПН.
8. Установить значение температуры на регуляторе РТ2 на 20°С выше начальной температуры.
9. После выхода температуры на заданный режим и установления стационарного теплового режима замерить температуры на входе t_1 (T22), выходе t_2 (T22) и количество электроэнергии, затраченное на нагрев. Результаты занести в табл. 44.
10. Выключить все оборудование и питание стенда автоматическим выключателем Сеть 220В.
11. Провести расчеты по методике, приведенной в разделе «обработка результатов испытаний», результаты занести в табл. 44.
12. Сделать выводы.

Обработка опытных данных и составление отчета

Для определения удельной теплоёмкости необходимо иметь экспериментальную зависимость температуры жидкости от времени работы нагревательного элемента, потребляемую нагревателем мощность и массу жидкости.

Расчет удельной массовой теплоемкости выполняется по уравнению:

$$c_{cp} = \frac{Q}{G(t_2 - t_1)}$$

где Q - количество теплоты, затраченное на нагрев жидкости от температуры t_1 до температуры t_2 (Дж);

τ - время истечения жидкости, с;

G -массовый расход жидкости (кг/с);

$$G = V \cdot \rho,$$

где ρ - плотность воды при средней температуре, кг/м³;

V -объемный расход воды, м³/с.

Количество теплоты, затраченное на нагрев жидкости, определяется соотношением:

$$Q = W \cdot \eta - Q_{\text{пот}}$$

W – количество электроэнергии, затраченное на нагрев, Вт;

η – коэффициент потерь энергии в электрической части установки (принять $\eta = 0,95$);

$Q_{\text{пот}}$ – потери тепла через ограждающие конструкции (принять $Q_{\text{пот}} = 0,1 \cdot Q$).

Таблица 44 - Результаты замеров и вычислений

№ п/п	W, Вт·ч	V, л/мин	t ₁ , °C	t ₂ , °C	Q, Дж	c _p , Дж/(кг·K)

Контрольные вопросы

1. Дайте определение теплоемкости. В каких единицах измеряется данная величина.
2. Дайте определение удельной теплоемкости. В каких единицах измеряется данная величина.
3. Запишите формулу, которая применяется для расчета количества теплоты, необходимого для нагрева.
4. Что характеризует уравнение теплового баланса?
5. Как определяется удельная теплоемкость воды в данной работе?
6. Какая удельная теплоемкость определяется в лабораторной работе?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вобликова, Т. Процессы и аппараты пищевых производств: учебное пособие / Т. Вобликова, С. Шлыков, А. Пермяков. — СПб.: Лань, 2019. — 204 с.
2. Процессы и аппараты пищевых производств / Плаксин Ю. М., Малахов Н. Н., Ларин В. А.; 2-е изд., перераб. и доп. — М.: КолосС, 2007. — 760 с.: ил. — (Учебники и учебные пособия для студентов высш. учеб. заведений).
3. Процессы и аппараты пищевых производств : учебное пособие : [16+] / авт.-сост. Е.С. Нечаева ; Кемеровский государственный университет. — Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2018. — 184 с. : ил., схем., табл. — Режим доступа: по подписке. — URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=574114> (дата обращения: 08.10.2020). — Библиогр. в кн. — ISBN 978-5-8353-2367-8. — Текст : электронный.
4. Процессы и аппараты пищевых производств : учебное пособие : [16+] / Д.М. Бородулин, С.А. Ратников, Е.А. Вагайцева, М.Т. Шульбаева ; Кемеровский государственный университет. — Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2018. — 263 с. : ил., схем., табл. — Режим доступа: по подписке. — URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=574113> (дата обращения: 17.10.2020). — Библиогр.: с. 184-185. — ISBN 978-5-8353-2277-0. — Текст: электронный.
5. Горбатюк В. И. Процессы и аппараты пищевых производств. — М.: Колос, 1999. — 335 с.: ил. — (Учебники и учеб. пособия для студентов средних специальных учебных заведений).
6. Машины и аппараты пищевых производств. В 2 кн. Кн. 2: Учеб. для вузов / С. Т. Антипов, И. Т. Кретов, А. Н. Остриков и др.; Под ред. акад. РАСХН В. А. Панфилова. — М.: Высш. шк., 2001. — 680 с.: ил.
7. Процессы и аппараты пищевой технологии: учебное пособие / Г. Д. Кавецкий, Б. В. Васильев. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Колос, 2000. - 551 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9. Испытание различных конструкций теплообменных аппаратов

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10. Изучение конструктивных схем теплообменных аппаратов

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11. Определение коэффициентов теплоотдачи в рекуперативных теплообменных аппаратах при различных режимах движения теплоносителя

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №12. Изучение конструкции воздушного теплообменного аппарата

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №13. Испытание воздушного теплообменного аппарата

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №14. Определение тепловой нагрузки на теплообменный аппарат типа «труба в трубе» в зависимости от направления потоков жидкости

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №15. Определение тепловой нагрузки на кожухотрубный теплообменный аппарат

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №16. Ознакомление с конструкцией пластинчатого теплообменного аппарата и определение тепловой нагрузки в зависимости от направления движения потоков жидкости

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №17. Определение вязкости жидкости при различной температуре по теории ламинарного течения

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №18. Определение теплоемкости жидкости методом нагрева потока жидкости

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ