

Лабораторная работа 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛООТДАЧИ ОТОПИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ

Цель работы – получение практического опыта в определении теплового потока от отопительного прибора системы отопления в эксплуатационных условиях, выявление недостатков приборного учета теплоотдачи отопительных приборов, получение знаний о принципе работы распределителей теплоты и теплосчетчиков.

Основные понятия

Каждый отопительный прибор должен иметь определенную площадь нагревательной поверхности $A_{\text{пр}}$, м^2 , рассчитываемую в соответствии с требуемой теплоотдачей прибора. Для обеспечения необходимой теплоотдачи в прибор должно поступать также определенное количество теплоносителя в единицу времени G , кг/с (кг/ч), называемое расходом теплоносителя.

Расход теплоносителя – воды, при котором теплопередача в помещение сопровождается понижением его температуры, определяют по формуле:

$$G_{\text{вод}} = Q_T / (c(t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}})). \quad (1)$$

Расход теплоносителя – насыщенного пара, при котором теплота в отопительном приборе выделяется при фазовом превращении (конденсация пара со свободным отводом конденсата из прибора), определяют по формуле:

$$G_{\text{пар}} = Q_T / r. \quad (2)$$

В формулах (1) и (2) расход теплоносителя G , кг/с , при практических расчетах обычно приводится к 1 ч времени (кг/ч), и тогда в числитель формул вводится множитель 3600; c – удельная массовая теплоемкость воды, равная $4187 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ или $4,187 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$; $t_{\text{вх}}$, $t_{\text{вых}}$ – температура воды при входе в помещение и выходе из него, $^\circ\text{C}$; r – удельная теплота конденсации при определенном давлении пара в приборе, Дж/кг (кДж/кг).

В зависимости от значения коэффициента теплопередачи и размеров отопительного прибора изменяется его общий тепловой поток. Величина общего теплового потока обусловлена его поверхностной плотностью, т. е. значением удельного теплового потока, передаваемого от теплоносителя через 1 м² площади прибора в окружающую среду.

Формулы для определения поверхностной плотности теплового потока $q_{\text{пр}}$, Вт/м², передаваемого через 1 м² площади отопительных приборов, напишем в виде произведения коэффициента теплопередачи на разность температуры:

$$q = k_{\text{пр}} \Delta t_{\text{ср}} = (m \Delta t_{\text{ср}}^n G_{\text{вод}}^p) \Delta t_{\text{ср}} = m \Delta t_{\text{ср}}^{1+n} G_{\text{вод}}^p. \quad (3)$$

где $k_{\text{пр}}$ – коэффициент теплопередачи отопительного прибора, Вт/(м²·°С); m , n и p – эмпирические коэффициенты, полученные в ходе испытаний отопительных приборов.

В формуле (3) разность температуры $\Delta t_{\text{ср}} = t_{\text{ср}} - t_{\text{в}}$. Выведем формулу для определения $t_{\text{ср}}$ в однетрубных системах водяного отопления, когда при последовательно соединенных приборах обычно известна температура воды, входящей в прибор $t_{\text{вх}}$, а температура воды, выходящей из него, $t_{\text{вых}}$ зависит от расхода воды в приборе $G_{\text{вод}}$. Отнимая от температуры $t_{\text{вх}}$ половину $\Delta t_{\text{пр}}$ (понижение температуры воды в приборе) и выражая $\Delta t_{\text{пр}}$ через тепловую мощность $Q_{\text{пр}}$ и расход воды $G_{\text{вод}}$, получим:

$$t_{\text{пр}} = t_{\text{вх}} - 0,5 \Delta t_{\text{пр}} = t_{\text{вх}} - 0,5 Q_{\text{пр}} \beta_1 \beta_2 / (c G_{\text{вод}}), \quad (4)$$

где $Q_{\text{пр}}$ – тепловая мощность отопительного прибора; β_1 – поправочный коэффициент, учитывающий теплопередачу через дополнительную площадь (сверх расчетной) приборов, принятых к установке; β_2 – поправочный коэффициент, учитывающий дополнительные теплотери вследствие размещения отопительных приборов у наружных ограждений.

Если $G_{\text{вод}}$ выражен в кг/ч, то в числитель в формуле (4) вводят множитель 3,6 для перевода Вт в кДж/ч (при удельной массовой теплоемкости воды $c = 4,187$ кДж/(кг·°С)).

В двухтрубных системах водяного отопления за температуру воды, входящей в каждый прибор, принимают начальную температуру горячей воды в системе t_g , за температуру воды, выходящей из каждого прибора, - конечную температуру охлажденной воды в системе t_o . Тогда средняя температура воды в приборах):

$$t_{cp} = 0,5(t_{bx} + t_{вых}) = 0,5(t_g + t_o), \quad (5)$$

где t_g - расчетная (соответствующая температуре наружного воздуха, расчетной для отопления в данной местности) температура горячей воды, поступающей в систему отопления; t_o - расчетная температура охлажденной (обратной, как ее часто называют) воды, уходящей из системы.

Плотность теплового потока приборов, включающая в себя коэффициент теплопередачи, зависит от тех же основных и второстепенных факторов, как и коэффициент теплопередачи. Поэтому на практике для упрощения расчетов определяют сразу с учетом всех факторов плотность теплового потока прибора $q_{пр}$ по формуле (3), не вычисляя коэффициента теплопередачи.

Значения плотности теплового потока позволяют сравнивать приборы и судить о теплотехнической эффективности того или иного типа отопительных приборов. Для этого при тепловых испытаниях устанавливают так называемую номинальную плотность теплового потока $q_{ном}$. Исходя из $q_{ном}$ каждой марки или секции прибора, определяют в зависимости от их площади номинальный тепловой поток $Q_{ном}$, кВт, как показатель для планирования и учета объема производства приборов.

Номинальную плотность теплового потока $q_{ном}$, Вт/м², получают для стандартных условий работы прибора в системе водяного отопления, когда средняя разность температуры, как уже известно, $\Delta t_{cp}=70$ °С и расход теплоносителя воды в приборе составляет 360 кг/ч (0,1 кг/с).

Если известен номинальный тепловой поток прибора (с учетом схемы его присоединения к трубам), то расчетная плотность теплового потока $q_{пр}$, Вт/м², в конкретных условиях работы его в системе отопления составит:

$$q_{\text{пр}} = q_{\text{ном}}(\Delta t_{\text{ср}} / 70)^{1+n}(G_{\text{пр}} / 360)^p. \quad (6)$$

Значения экспериментальных числовых показателей n и p приведены в справочной литературе.

Описание оборудования

В ходе проведения лабораторной работы будут использованы: измеритель плотности теплового потока и температуры ИТП-МГ4.03 «ПОТОК», а также тахеометрический счетчик воды.

Схема лабораторной установки приведена на рисунке 1.

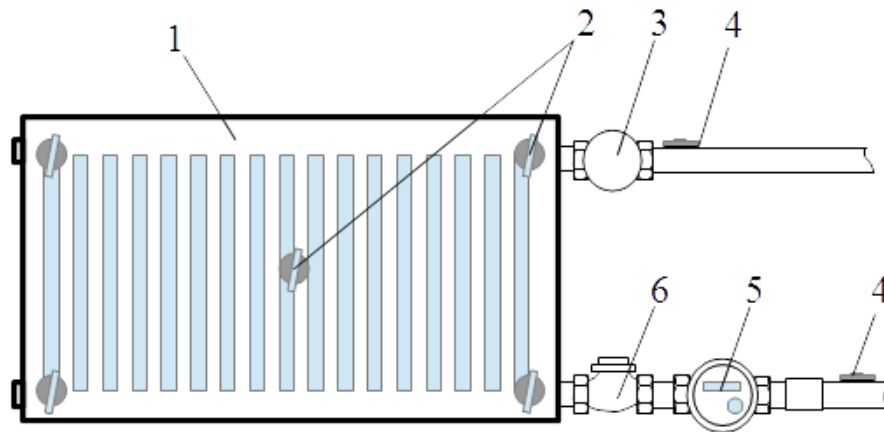


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 – исследуемый отопительный прибор; 2 – датчики температуры модуля № 1; 3 – термостатический клапан; 4 – датчики температуры модуля № 2; 5 – водосчетчик; 6 – запорно-регулирующий вентиль

Опыт следует проводить в осенне-зимний период при действующей системе отопления.

Проведение работы

Опыт должен проводиться в следующей последовательности

1. Установить датчики температуры модуля № 1 на поверхности отопительного прибора, согласно рисунку 1.

При этом датчики плотно прижимаются по всей поверхности и закрепляют в этом положении, обеспечивая постоянный контакт датчика температуры с поверхностью исследуемых участков в течение последующих

измерений.

Для исключения воздушных зазоров на участках поверхности в местах измерений следует нанести тонкий слой теплопроводной пасты КПТ-8, или технического вазелина.

Для исключения смещения датчики температуры допускается крепить к поверхности с помощью клеящей ленты (лейкопластырь).

2. Датчики температуры модуля № 2 закрепить согласно рисунку 1 на подающей и обратной подводке как можно ближе к исследуемому отопительному прибору.

3. Установить положение термостатического клапана прибора в положение поддержания максимальной температуры (положение 7) вращением маховика.

4. Подключить модуль № 1 к электронному блоку измерителя ИТП-МГ4.03 «Поток»

5. Включить питание электронного блока и дождаться наступления установившегося (стационарного) режима, т.е. показания датчиков не должны меняться в течение 5 мин.

6. Снять показания датчиков температуры модуля № 1 $t_{пр.i}$, °С, согласно Руководству по эксплуатации измерителя. Показания записать в Журнал лабораторной работы.

7. Подключить модуль № 2 к электронному блоку измерителя ИТП-МГ4.03 «Поток»

8. После наступления установившегося (стационарного) режима, снять показания датчиков температуры модуля № 2 ($t_{вх}$ и $t_{вых}$, °С)

9. С помощью секундомера засечь 60 секунд (Т), в процессе которых по показаниям тахеометрического расходомера определить количество теплоносителя прошедшего через прибор, $M_{пр}$, л.

10. С помощью логгера температуры измерить температуру воздуха в помещении $t_{в}$, °С, на удалении от трубы не менее чем 1 м. Результаты замера занести в Журнал.

11. Повторить действия п.4-10 при измененной величине настройки термодатчика (последовательно 4 и 1) с перерывом между измерениями не менее 30 минут, в связи со значительной тепловой инерцией отопительного прибора. В процессе перерыва следует проводить обработку полученных данных в ходе предыдущего измерения.

12. Отключить питание электронного блока, отключить модуль. Снять датчики температуры, маркером отмечая места их установки.

Обработка результатов

1. Определить расход теплоносителя, проходящего через отопительный прибор $G_{пр}$, кг/ч по формуле:

$$G_{пр} = \frac{3,6M_{пр}}{T} \rho,$$

где T – время замера количества протекающего теплоносителя через прибор (по умолчанию принято 60 с); ρ – плотность теплоносителя при средней температуре теплоносителя проходящего через прибор $t_{ср}$, °C, определяемый по формуле:

$$t_{ср} = \frac{t_{вх} + t_{вых}}{2}.$$

Плотность теплоносителя определяется согласно таблице в Справочных материалах.

2. Теплоотдача отопительного прибора, исходя из количества теплоты отданной теплоносителем $Q_{о.п}$, Вт, может быть определена по формуле:

$$Q_{о.п} = cG_{пр}(t_{вх} - t_{вых}) / 3,6,$$

где c – удельная массовая теплоемкость теплоносителя, определяемый по таблице в Справочных материалах при температуре $t_{ср}$, °C.

3. Теплоотдача отопительного прибора, исходя из конструктивных особенностей прибора, и его условий эксплуатации $Q_{\text{оп.к}}$, Вт, может быть определена по формуле:

$$Q_{\text{оп.к}} = Q_{\text{ном}} \left(\frac{\Delta t_{\text{ср}}}{70} \right)^{1+n} \left(\frac{G_{\text{пр}}}{360} \right)^p,$$

где $Q_{\text{ном}}$ – номинальная тепловая отдача отопительного прибора, Вт, определяемая по каталогу фирмы-производителя, или согласно Справочным материалам; $\Delta t_{\text{ср}}$ – разность средней температуры отопительного прибора $t_{\text{ср}}$ и температуры воздуха помещения $t_{\text{в}}$, °С; n , p – эмпирические коэффициенты, зависящие от конструкции и условий эксплуатации отопительного прибора, определяемые по каталогу фирмы-производителя, или согласно Справочным материалам.

4. Определить теплоотдачу отопительного прибора, исходя из невозможности определения расхода теплоносителя протекающего через прибор, пренебрегая множителем $\left(\frac{G_{\text{пр}}}{360} \right)^p$ $Q'_{\text{оп.к}}$, Вт, по формуле:

$$Q'_{\text{оп.к}} = Q_{\text{ном}} \left(\frac{\Delta t_{\text{ср}}}{70} \right)^{1+n}.$$

5. Определить отклонение полученных результатов Δ_1 и Δ_2 , % по формулам:

$$\Delta_1 = \frac{Q_{\text{оп.т}} - Q_{\text{оп.к}}}{Q_{\text{оп.т}}} \cdot 100\%;$$

$$\Delta_2 = \frac{Q_{\text{оп.т}} - Q'_{\text{оп.к}}}{Q_{\text{оп.т}}} \cdot 100\%.$$

6. В Журнале построить графики:

- зависимости расхода теплоносителя, проходящего через отопительный прибор $G_{\text{пр}}$ от положения настройки термклапана;
- зависимости теплоотдачи отопительного прибора $Q_{\text{о.п}}$ от расхода теплоносителя проходящего через отопительный прибор $G_{\text{пр}}$.

7. Исходя из полученной величины средней температуры отопительного прибора $t_{ср}$ определить наиболее верное место установки предполагаемого «распределителя теплоты» относительно датчиков температуры, установленных на поверхности отопительного прибора.

Журнал наблюдений

Таблица 1

Протокол измерений лабораторной работы № 1

№ измерения	Поз. настр. клапана	$t_{пр,1}, ^\circ\text{C}$	$t_{пр,2}, ^\circ\text{C}$	$t_{пр,3}, ^\circ\text{C}$	$t_{пр,4}, ^\circ\text{C}$	$t_{пр,5}, ^\circ\text{C}$	$t_{пр,6}, ^\circ\text{C}$	$t_{пр,7}, ^\circ\text{C}$	$t_{пр,8}, ^\circ\text{C}$	$t_{пр,9}, ^\circ\text{C}$	$t_{вх}, ^\circ\text{C}$	$t_{вых}, ^\circ\text{C}$	$M_{пр}, л$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Таблица 2

Результаты расчета к лабораторной работе № 1

№ измерения	Поз. настр. клапана	$t_{ср}, ^\circ\text{C}$	$\Delta t_{ср}, ^\circ\text{C}$	$G_{пр}, \text{кг/ч}$	$Q_{о.п.}, \text{Вт}$	$Q_{оп.к.}, \text{Вт}$	$Q'_{оп.к.}, \text{Вт}$	$\Delta_1, \%$	$\Delta_2, \%$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1									
2									
3									

Лабораторная работа 2

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ

Целью лабораторной работы является получение студентами навыков по наладке систем водяного отопления и составления таблиц настройки регулирующих клапанов.

Основные понятия

В последние годы для индивидуального регулирования теплоотдачи отопительных приборов систем водяного отопления применяются термостатические клапаны – устройства, обеспечивающие автоматическое изменение расхода теплоносителя через прибор. Термостатический клапан состоит из регулирующего крана и специальной термоголовки – единой конструкции, работающей, как регулятор прямого действия.

Принцип работы регулятора прямого действия основан на изменении объема среды, заполняющей встроенный в термоголовку баллон (сильфон), при повышении или понижении ее температуры. Изменение объема среды – термореактивного материала (например газе) непосредственно вызывает перемещение клапана регулятора в потоке теплоносителя.

В некоторых конструкциях регуляторов сильфон частично наполнен легкоиспаряющейся жидкостью. Если давление паров жидкости в сильфонной камере изменяется, то возникающее растяжение или сжатие сильфона вызывает перемещение клапана регулятора.

Термоклапаны выпускаются с пониженным (для однетрубных систем отопления) и повышенным (для двухтрубных систем) гидравлическим сопротивлением. Конструкция последних, как правило, обеспечивает не только эксплуатационное, но и монтажное регулирование систем.

Конструкция этих клапанов позволяет изменять проходное сечение за счёт изменения положения штока, либо ручным воздействием, либо с помощью термостатической головки или иного механизма. В расчёте это учитывается изменением величины проводимости клапана $\sigma_{\text{кл}}$, кг/(ч·Па^{0,5}), или, как её принято называть и обозначать в каталогах справочниках фирм-производителей, пропускной способности k_v , (м³/ч)/бар^{0,5}. Именно эта

характеристика используется при проектировании системы отопления, так как она позволяет определить диапазон количественного регулирования теплоотдачи отопительного прибора и степень воздействия на гидравлический режим работы системы отопления в целом.

Пропускную способность любого элемента системы отопления k_v , $(\text{м}^3/\text{ч})/\text{бар}^{0,5}$, обычно определяют по формуле:

$$k_v = G \sqrt{\frac{\rho}{1000 \Delta P}},$$

где G – объёмный расход теплоносителя через элемент системы отопления, $\text{м}^3/\text{ч}$; ρ – плотность теплоносителя, $\text{кг}/\text{м}^3$; ΔP – разница давления на элементе, бар.

Размерности расхода и давления в данной формуле не соответствуют отечественной практике гидравлического расчёта и принятой системе СИ, что требует дополнительных преобразований при их применении. Однако в данной главе приведены формулы из литературных источников.

Для упрощения расчётов также используется следующая формула определения пропускной способности k_v , $(\text{м}^3/\text{ч})/\text{бар}^{0,5}$:

$$k_v = 0,316 \frac{G}{\sqrt{\Delta P}},$$

где G – массовый расход теплоносителя через элемент системы отопления, $\text{кг}/\text{ч}$; ΔP – потеря давления в элементе, Па.

Важно отметить, что пропускную способность полностью открытого клапана принято обозначать k_{vs} , $(\text{м}^3/\text{ч})/\text{бар}^{0,5}$.

Пропускная способность клапана является расчётной величиной и в практике монтажных, наладочных и эксплуатационных работ не используется. При настройке пропускной способности клапана используют величину настройки $n_{\text{кл}}$, которая гравировается на самом клапане. Величина настройки должны выбираться ещё на стадии проектирования и соответствовать расчётной пропускной способности клапана. Данная величина выбирается либо по справочным данным фирм-производителей,

либо по соответствующим зависимостям и указывается в проектной документации для каждого клапана.

В конструкции некоторых ТСК предусмотрена так называемая «преднастройка». Преднастройка осуществляется встроенным в конструкцию ТСК дросселем, положение которого устанавливается в процессе наладки, но рассчитывается уже на стадии проектирования. Задача преднастройки – ограничить возможность регулирования термостатического клапана и «увязать» гидравлические кольца системы отопления в расчётном режиме. Т. е., исключить возможность существенного повышения расхода теплоносителя через прибор потребителя, которое может привести к разбалансировке системы и исключить установку дополнительных дросселей. Доступ к регулированию этого дросселя потребителю, как правило, закрыт и обеспечивается за счёт специальных ключей.

Описание лабораторной установки

Для проведения лабораторной работы используется стенд, разработанной по схеме, представленной на рисунке 1.

Лабораторный стенд представляет собой контур вертикальной насосной системы водяного отопления, с нижней разводкой, с тупиковым движением теплоносителя. Подключение стояков первого стояка системы выполнен по проточно-регулируемой схеме, второго стояка – по двухтрубной схеме.

Представленный лабораторный стенд подключен к источнику теплоты (местной котельной) с собственным циркуляционным насосом.

Для определения расхода теплоносителя на участках системы используется измерительный компьютер ГЕРЦ Т550. Данный компьютер представляет собой электронный прибор для измерения перепада давления со встроенным датчиком давления для измерений на балансировочных клапанах с непосредственным указанием перепада давления и расхода. Диапазон измерений 0-10 бар, макс. давление 12 бар. Перед работой с прибором необходимо ознакомиться с инструкцией по его эксплуатации.

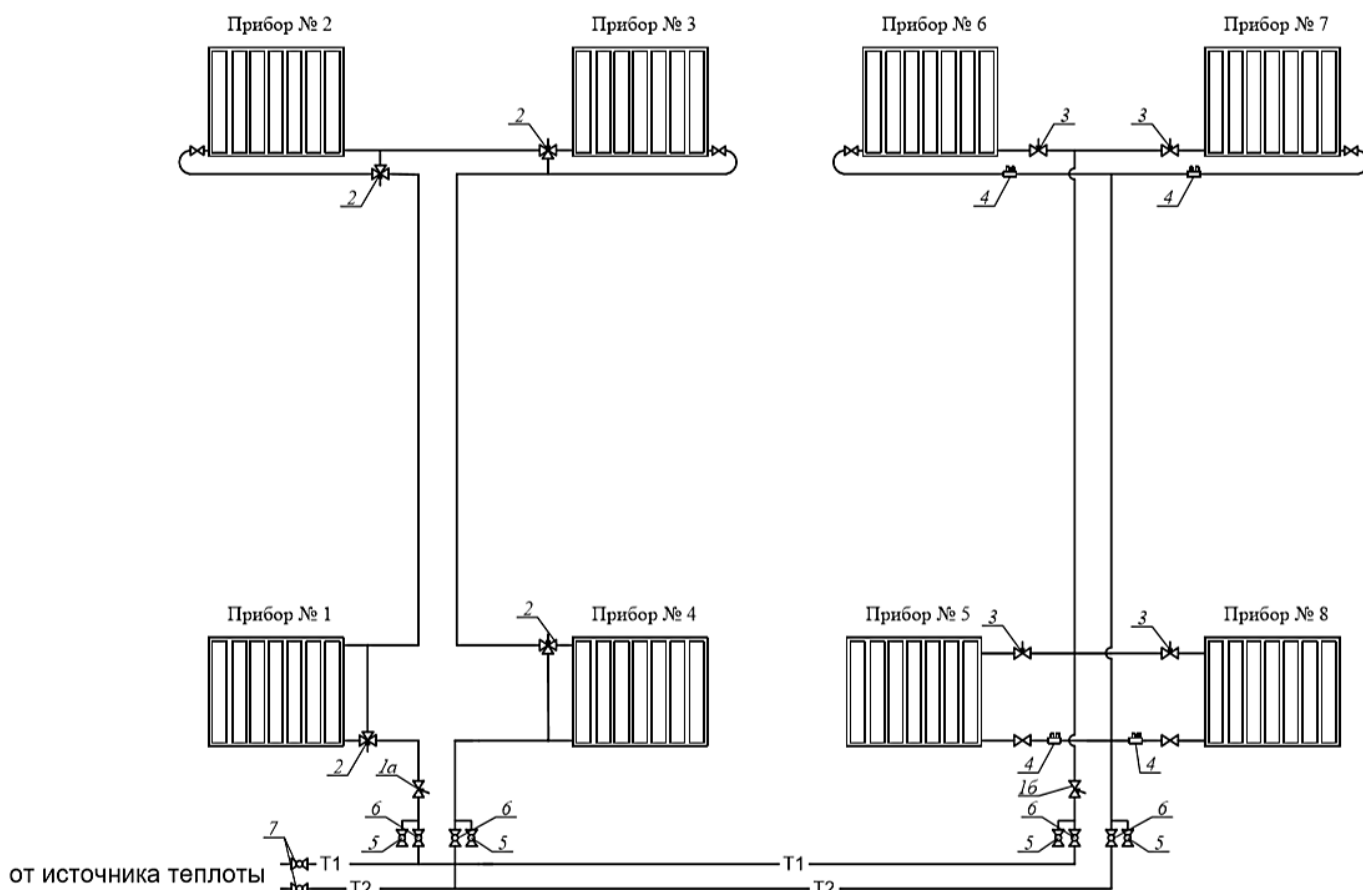


Рис. 1. Схема лабораторного стенда

Измерительный компьютер Т550, в данной работе, способен измерять расход теплоносителя на балансировочных клапанах *1а*, *1б*, а также на измерительных диафрагмах *4*.

Проведение работы

При работе с лабораторным стендом выполняется следующая последовательность работы:

1. Проверяется, чтобы запорные шаровые краны на стояках *5*, балансировочные клапаны *1а* и *1б*, клапаны у отопительных приборов, а также термоклапаны *2* и *3* были в полностью открыты. При этом сливные краны *6*, а также запорные шаровые краны *7* находились в закрытом положении.

2. Ответственный по лаборатории приводит в рабочее состояние источник теплоты. После этого следует полностью открыть запорные шаровые краны 7.

3. Измерительным компьютером T550, согласно инструкции по эксплуатации, последовательно делаются замеры расхода теплоносителя, проходящего через:

- балансировочные клапаны 1а и 1б: $G_{б.к.1}$ и $G_{б.к.2}$, кг/ч, соответственно;
- измерительные диафрагмы 4: $G_{пр.5}$, $G_{пр.6}$, $G_{пр.7}$, $G_{пр.8}$, кг/ч, соответственно у приборов № 5, 6, 7 и 8.

Все данные записать в журнал наблюдений.

4. Подключить компьютер T550 к балансировочному клапану 1а. С помощью вращения маховика клапана установить расход теплоносителя, проходящего через клапан, равный 100 кг/ч. Записать в журнал наблюдений положение маховика клапана $n_{б.к.1}$ и выставленный расход $G_{б.к.1}$, кг/ч.

5. Подключить компьютер T550 к балансировочному клапану 1б. С помощью вращения маховика клапана установить расход теплоносителя, проходящего через клапан, равный 120 кг/ч. Записать в журнал наблюдений положение маховика клапана $n_{б.к.2}$ и выставленный расход $G_{б.к.2}$, кг/ч.

6. Подключить компьютер T550 к измерительной диафрагме 4 у отопительного прибора № 5. С помощью вращения маховика клапана 3 у отопительного прибора установить расход теплоносителя, проходящего через измерительную диафрагму 4, равный 30 кг/ч. Записать в журнал наблюдений положение маховика клапана $n_{пр.5}$ и выставленный расход $G_{пр.5}$, кг/ч.

7. Повторить действия п. 6 последовательно для измерительных диафрагм приборов № 6, 7 и 8.

8. Повторить действия п. 3.

9. Повторить действия п. 4-8 до тех пор, пока отклонение необходимого расхода теплоносителя через измерительные диафрагмы и клапаны не будет отличаться более чем на 5 %.

Обработка результатов

$$\Delta = 100 \frac{G_{\text{тр}} - G_{\text{фак}}}{G_{\text{тр}}},$$

где $G_{\text{тр}}$ – требуемый расход теплоносителя на расчетном участке, кг/ч, определяется согласно Таблице 1, или заданию преподавателя; $G_{\text{фак}}$ – фактический расход, определенный согласно показанию измерительного компьютера Т550.

Таблица 1

Требуемый расход теплоносителя на участках

Участок	Обозначение величины	Требуемое значение, кг/ч
Клапан 1а	$G_{б.к.1}$	100
Клапан 1б	$G_{б.к.2}$	120
Прибор № 5	$G_{пр.5}$	30
Прибор № 6	$G_{пр.6}$	30
Прибор № 7	$G_{пр.7}$	30
Прибор № 8	$G_{пр.8}$	30

Журнал наблюдений

Таблица 2

Определение потери давления в замкнутом гидравлическом контуре

[illegible]

	$\Delta =$		$\Delta =$		$\Delta =$		$\Delta =$		$\Delta =$		$\Delta =$	
--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--

Лабораторная работа 3

АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ

Цель работы – получение практического опыта по наладке системы приточной вентиляции.

Основные понятия

Монтаж внутренних систем холодного и горячего водоснабжения, отопления, канализации, водостоков, вентиляции, кондиционирования воздуха, тепло- и холодоснабжения, теплогенераторов (котельных, интегрированных в здания) общей мощностью до 360 кВт с давлением пара до 0,07 МПа (0,7 кгс/см²) и температурой воды до 388 К (115 °С) при строительстве и реконструкции предприятий, зданий и сооружений, а также на изготовление воздуховодов, узлов и деталей из труб регламентируются СП 73.13330.2016 «Внутренние санитарно-технические системы зданий. СНиП 3.05.01-85».

Перед сдачей в эксплуатацию систем вентиляции и кондиционирования воздуха, после передачи монтажной организацией работ (оформляют актом), наладочная организация проводит индивидуальную и (или) комплексную наладку систем.

При регулировке систем на проектные расходы воздуха следует выполнить:

- проверку соответствия фактического исполнения систем вентиляции и кондиционирования воздуха исполнительной документации и требованиям настоящего раздела;
- проверку соответствия фактических характеристик техническим данным, в том числе: расход воздуха и полное давление, частота вращения, потребляемая мощность и т.д.;
- проверку равномерности прогрева (охлаждения) теплообменных

аппаратов, проверку отсутствия выноса влаги через каплеуловители камер орошения или воздухоохладителей;

- определение расхода и сопротивления пылеулавливающих устройств;
- проверку действия вытяжных устройств естественной вентиляции;
- испытание и регулировку вентиляционной сети систем в целях достижения проектных показателей по расходу воздуха в воздуховодах, местных отсосах, по воздухообмену в помещениях и определение в системах подсосов или потерь воздуха.

Отклонения показателей по расходу воздуха от предусмотренных исполнительной документацией после регулировки и испытания систем вентиляции и кондиционирования воздуха допускаются в пределах $\pm 8\%$ - по расходу воздуха, проходящего через воздухораспределительные и воздухоприемные устройства общеобменных установок вентиляции и кондиционирования воздуха, при условии обеспечения требуемого подпора (разрежения) воздуха в помещении.

На каждую систему вентиляции и кондиционирования воздуха оформляют паспорт в двух экземплярах.

Координаты точек измерения давлений и скоростей в воздуховодах (в соответствии с ГОСТ 12.3.018-79 Системы вентиляционные. Методы аэродинамических испытаний) представлены на рисунке 1.

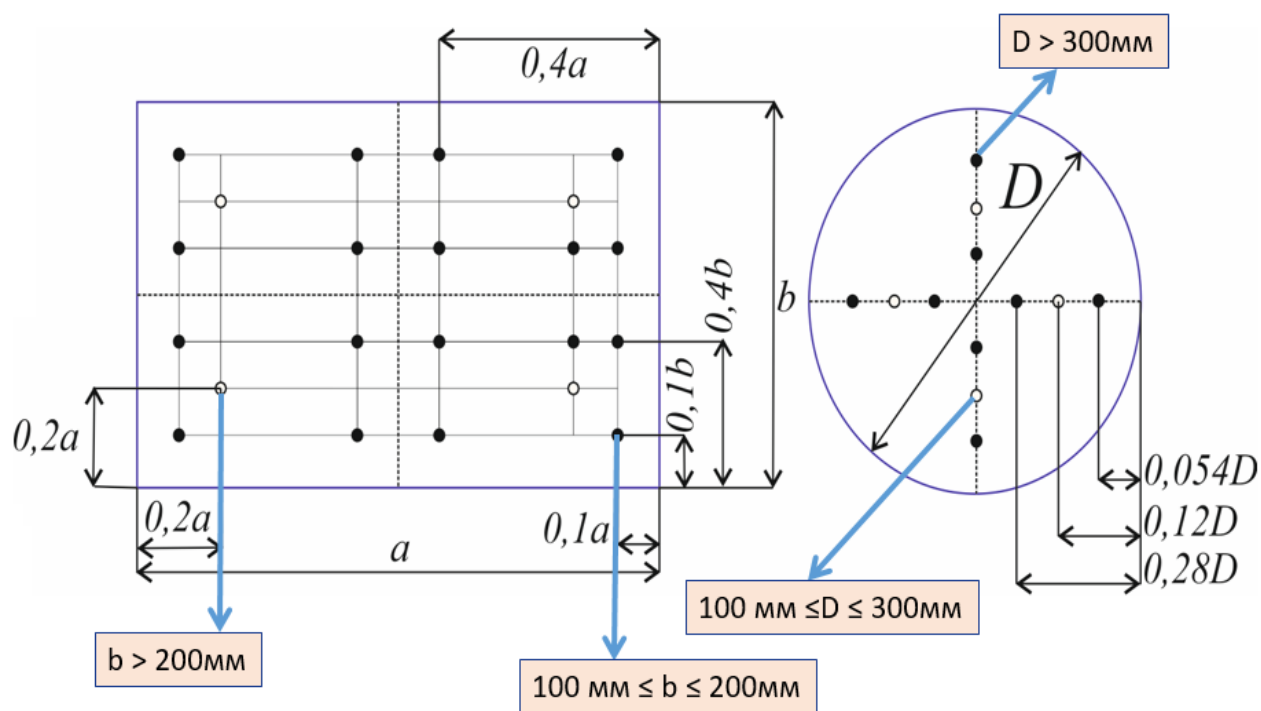


Рис. 1. Координаты точек измерения давлений и скоростей в воздуховодах

Для прямоугольных воздуховодов со стороной b от 100 до 200 мм скорость воздуха и давление измеряются в четырех расчетных точках, при более 200 мм – в шестнадцати расчетных точках. Для круглых воздуховодов диаметром от 100 до 300 мм скорость воздуха и давление измеряются в четырех расчетных точках, при диаметре более 300 мм – в восьми точках.

Описание оборудования

Экспериментальная установка представляет собой (рисунок 2) сеть воздуховодов с четырьмя ответвлениями. Конструкция ирисовой диафрагмы для регулирования расхода воздуха представлена на рисунке 3.

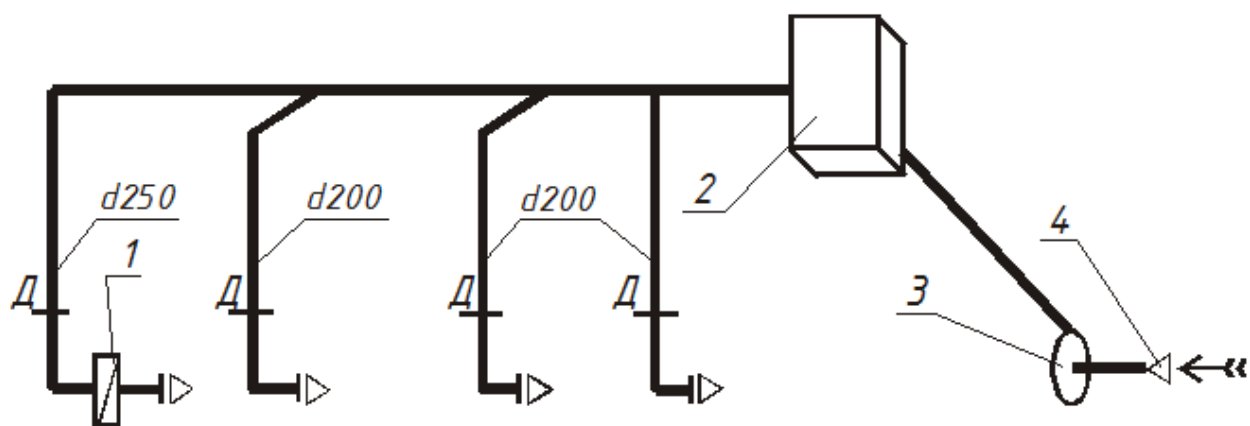


Рис. 2. Аксонометрическая схема воздухопроводов универсального лабораторного стенда: Д – ирисовая диафрагма (рис.3); 1 – калорифер;
2 – камера статического давления; 3 – нагнетатель (вентилятор);
4 – плавный вход в воздухопровод всасывающего отверстия вентилятора



Рис. 3. Конструкция ирисовой диафрагмы: 1 – штуцеры отборников статического давления; 2 – «лепестки» ирисовой диафрагмы; 3 – рычаг, перемещением которого изменяется диаметр отверстия для прохода воздуха; 4 – корпус кольцевой формы

Для измерения скорости приточного воздуха используется многофункциональный измерительный прибор Testo 435-4 Л с зондом-крыльчаткой (рисунок 4).



Рис. 4. Многофункциональный измерительный прибор Testo 435-4 Л с зондом-крыльчаткой

Проведение работы

Преподаватель делит обучающихся на равные 4 группы. Каждая группа обучающихся выполняет измерения в своем ответвлении.

Преподаватель задает значение проектного расхода воздуха: $L_{пр}=900$ м³/ч.

Первые три ответвления имеют диаметр 200 мм, последний (самый дальний от вентилятора) – 250 мм.

Зная диаметр, определяется площадь живого сечения воздуховода, м²:

$$F = \pi \cdot D^2 / 4 \quad (1)$$

В ходе работы измеряются скорости воздуха в точках 1-4 и по их значению вычисляется средняя скорость $v_{ср}$, м/с, на выходе из ответвления, при полностью открытой диафрагме начиная с первого (ближайшего к вентилятору) ответвления:

$$v_{cp} = (v_1 + v_2 + v_3 + v_4) / 4. \quad (1)$$

Лабораторная работа 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

Цель работы - изучение влияния схемы движения теплоносителей на мощность теплообменника типа «труба в трубе» и кожухотрубного теплообменника и их коэффициентов полезного действия.

Основные понятия

Тепловая мощность теплообменника определяется по нагреваемому теплоносителю (холодному контуру):

$$Q_x = G_x c(t_{x2} - t_{x1}). \quad (1)$$

Тепловая мощность, отдаваемая горячим контуром:

$$Q_{\Gamma} = G_{\Gamma} c(t_{\Gamma 2} - t_{\Gamma 1}). \quad (2)$$

Коэффициент полезного действия теплообменного аппарата характеризует долю тепловой энергии которая передается от греющего теплоносителя к нагреваемому. Очевидно, что тепловые потоки Q_x и Q_{Γ} различаются на величину потерь в окружающую среду. Коэффициент полезного действия определяется:

$$\eta = \frac{Q_x}{Q_{\Gamma}}, \quad (3)$$

где Q_x – тепловой поток воспринимаемый нагреваемым теплоносителем (холодным контуром); Q_{Γ} – тепловой поток отдаваемый греющим теплоносителем.

Описание оборудования

Конструкция стенда представлена на рисунках 1-5. Схема гидравлическая стенда приведена на рисунке 6.

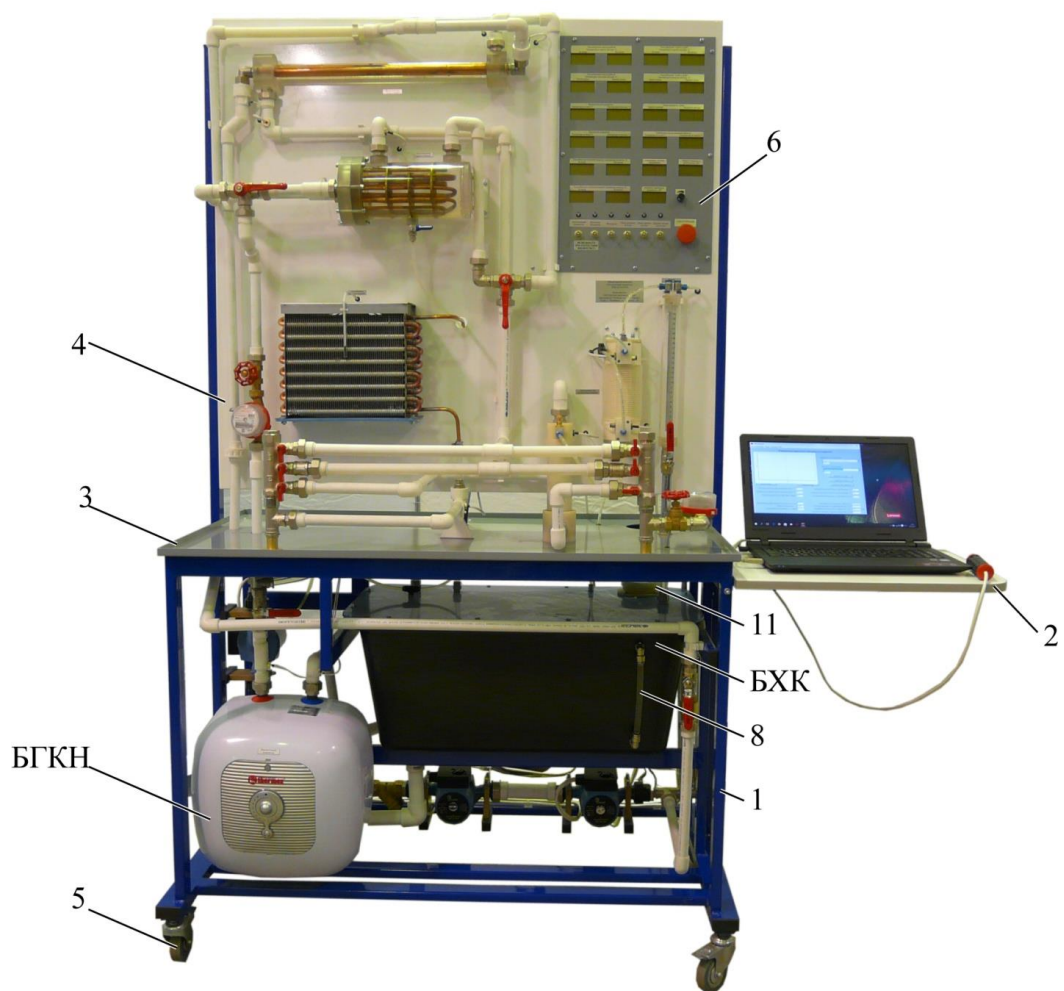
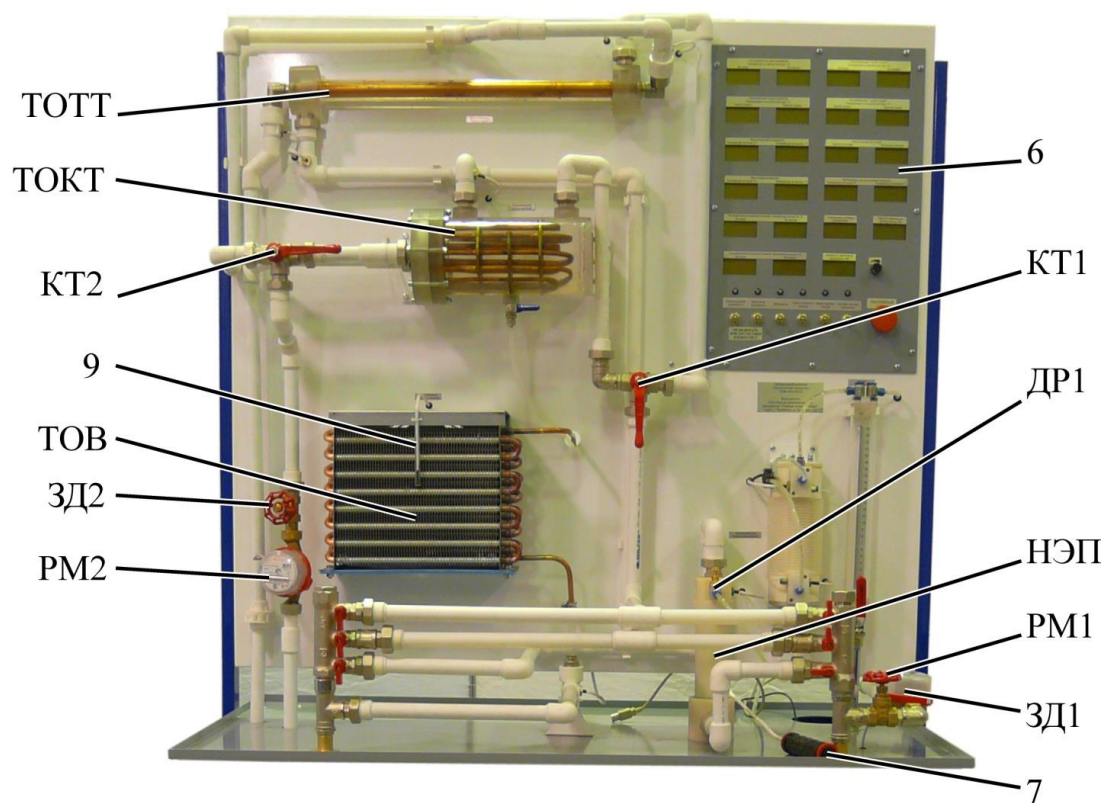
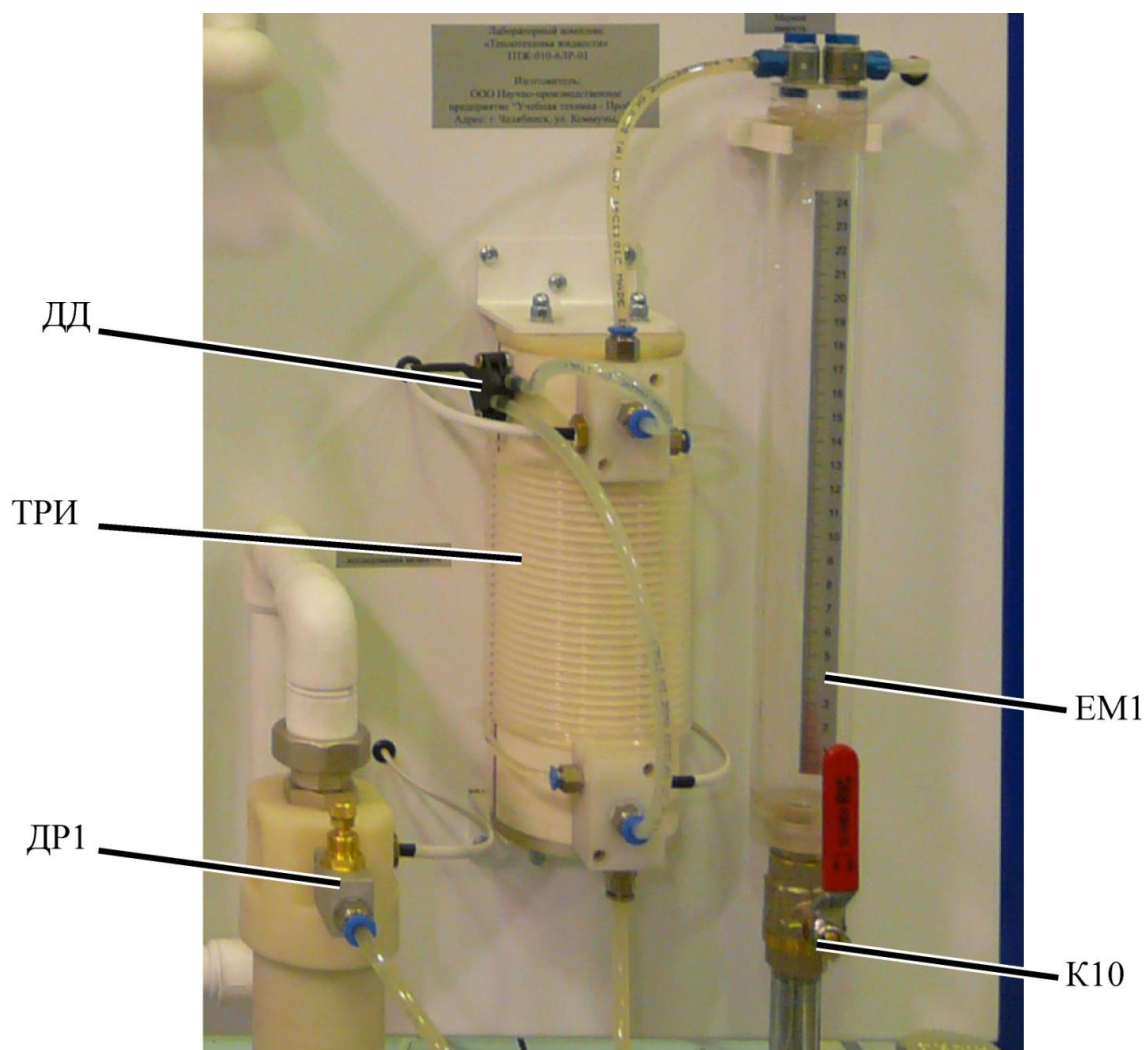


Рис. 1. Стенд учебный «Теплотехника жидкости»



*Рис. 2. Вид на панель монтажную с установленными
 изучаемыми аппаратами*



*Рис. 3. Трубка исследования вязкости с мерной емкостью
и элементами управления*

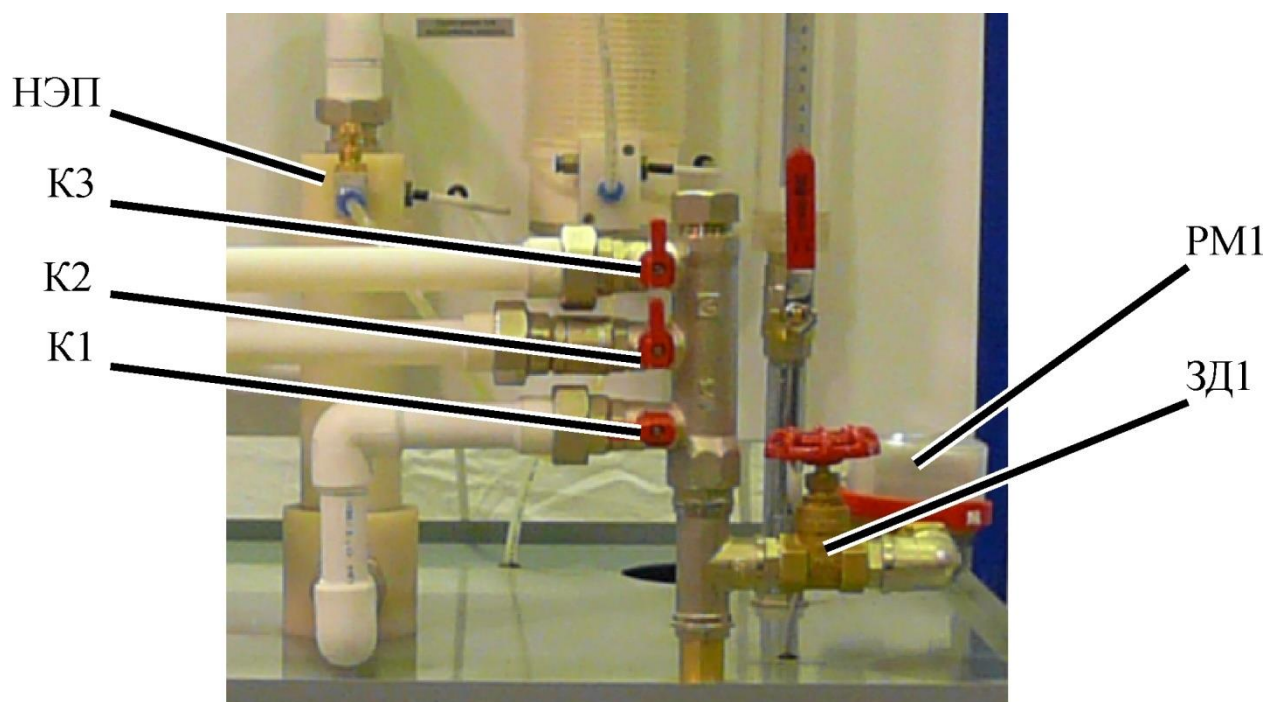


Рис. 4. Напорный коллектор с счетчиком-расходомером холодной воды

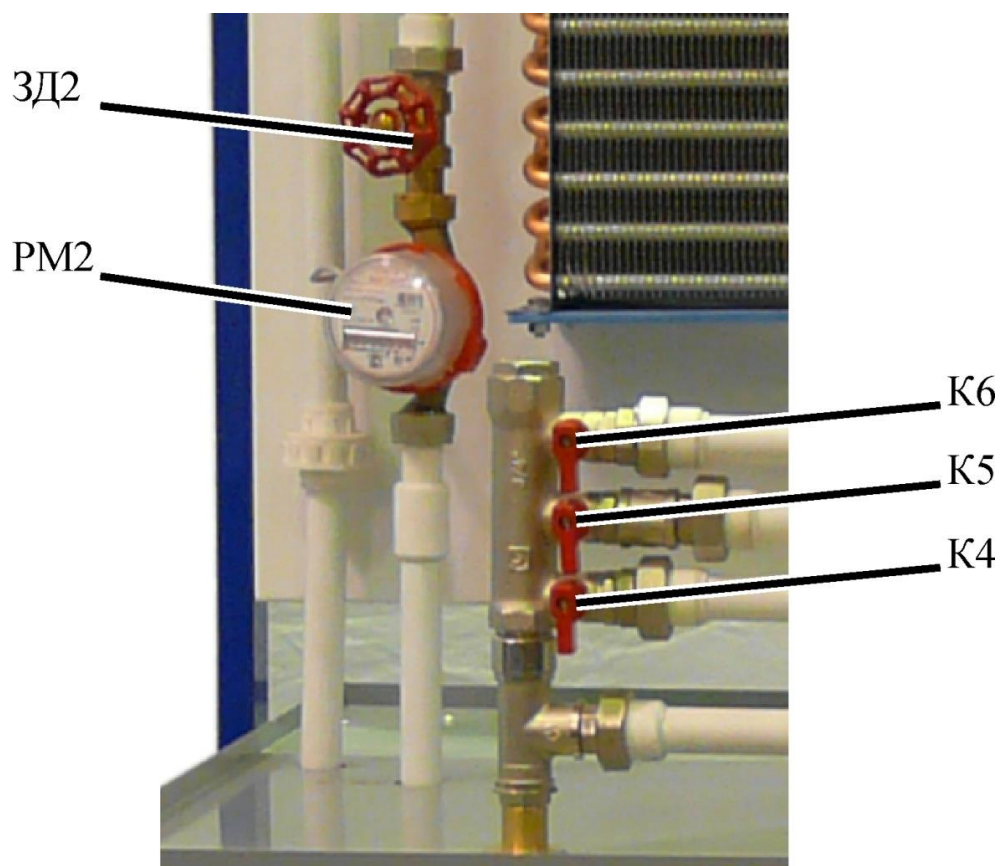


Рис.5. Сливной коллектор с счетчиком-расходомером горячей воды

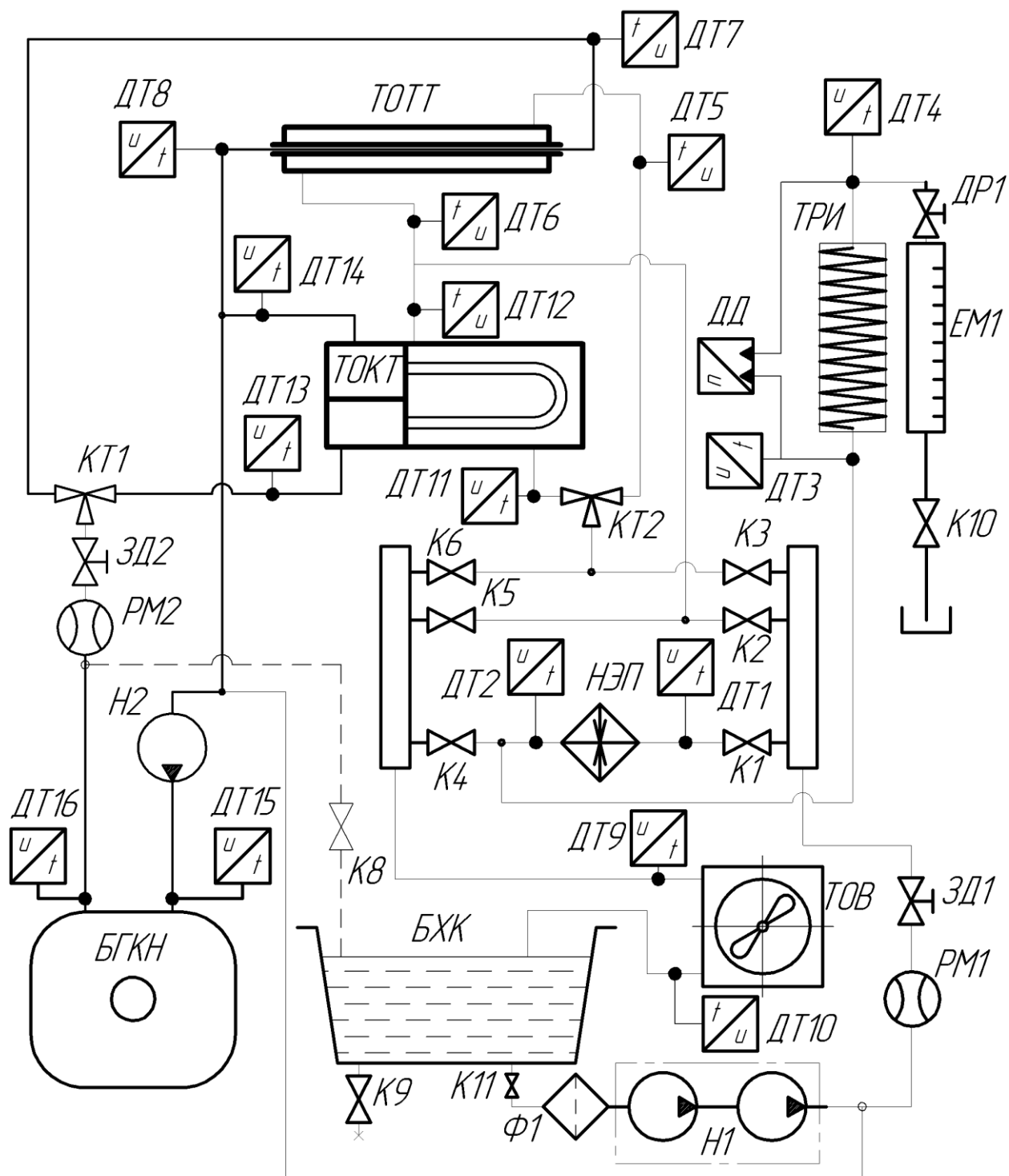


Рис. 6. Стенд учебный «Теплотехника жидкости». Схема гидравлическая

Стенд учебный «Теплотехника жидкости» ТПЖ-010-6ЛР-01 состоит из:

- рамы 1 с закрепленными на ней элементами исследуемыми управляющими и измерительными;
- трехходового крана для коммутации холодного контура теплообменников КТ2;
- насоса горячего контура Н2;
- сдвоенного насоса холодного контура, обозначение на гидросхеме – Н1;
- регулируемой задвижки – ЗД1;
- счетчика – расходомера холодного контура РМ1;
- счетчика – расходомера горячего контура РМ2;
- кнопки 7 включения секундомера;
- нагревателя электрического проточного НЭП;
- регулируемой задвижки ЗД2;
- шарового крана последовательно установленным с обратным клапаном для создания подпора в горячем контуре ОК2;
- фильтра Ф1;
- шарового крана К9 для слива жидкости из бака холодного контура;
- указателя уровня 8, установленного на баке холодного контура;
- бака холодного контура БХК;
- сетевого кабеля с однофазной вилкой;
- шаровых кранов (К1, К2, К3, К4, К5, К6) для подключения / отключения холодных контуров теплообменников, а также подключения сливной линии холодного контура через воздушный теплообменник ТОВ в бак холодного контура.
- пульта 6 управления и индикации параметров;
- трехходового крана для коммутации горячего контура теплообменников КТ1;

- шарового крана К8 выпуска воздуха при заполнении горячего контура стенда;
- теплообменника кожухотрубного ТОКТ;
- теплообменника воздушно-водяного ТОВ;
- теплообменника «труба в трубе» ТОТТ;
- дросселя для точной регулировки расхода жидкости, проходящего через трубопровод для определения вязкости ДР1;
- мерной емкости со шкалой уровня ЕМ1;
- бака горячего контура, совмещенного с накопительным нагревателем БГКН;
- шарового крана для слива жидкости из мерной емкости в бак холодного контура К10;
- трубопровода для определения вязкости жидкости ТРИ;
- заливной горловины 11 для заполнения бака холодного контура жидкостью;
- платы АЦП, установленной внутри блока измерения параметров, с разъемом 12 для подключения к ПЭВМ с помощью USB кабеля.

Вся система условно делится на горячий контур и холодный. На схеме горячий контур выделен основными линиями, холодный – тонкими линиями.

Холодный контур состоит из бака технологического БХК объемом 60 л, который заправляется водой при вводе стенда в эксплуатацию. Вода из бака холодного контура поступает на вход насоса Н1 через фильтр Ф1. В днище бака установлен сливной кран К9 для слива жидкости из бака БХК.

Вода насосом Н1 холодного контура подается через счетчик-расходомер РМ1 и регулируемую задвижку ЗД1 к напорному коллектору с кранами К1, К2, К3. Кран К1 соединяет коллектор питания с проточным теплообменником НЭП. Из проточного нагревателя вода поступает

одновременно к трубке ТРИ измерения вязкости и к крану К4 сливного коллектора.

Через трубку ТРИ вода поступает на вход дросселя ДР1 и через него в мерную емкость ЕМ1. Набор воды в емкость осуществляется при перекрытии крана К10.

Краны К3 и К2, в совокупности с трехходовым краном КТ2 служат для подключения линий холодного контура теплообменников ТОКТ и ТОТТ. Открытие К3 и закрытие К4 приводит к течению холодного носителя в теплообменнике слева направо (К6 при этом должен быть закрыт, К5 открыт).

Открытие К4 и закрытие К3 приводит к течению холодного носителя в теплообменнике слева направо (К5 при этом должен быть закрыт, К6 открыт).

Переключением трехходового крана КТ2 осуществляется выбор теплообменника. При этом направление течения жидкости через указанные теплообменники может изменяться на противоположное.

Краны К4, К5, и К6 объединены в сливной коллектор и предназначены для подачи жидкости из соответствующих линий на слив в БХК через воздушно-водяной теплообменник ВОТ.

Для выпуска воздуха, содержащегося в горячем контуре необходимо открыть кран К8.

При открытой задвижке ЗД1 и закрытых остальных вода начнет поступать к напорному коллектору контура теплообменных аппаратов.

При открытом кране К1 и К4 и закрытых остальных вода поступает из проточного нагревателя НЭП к воздушно-водяному теплообменнику (радиатору) ТОВ.

Справа на стенде установлен пульт управления и индикации контролируемых параметров. На задней стороне стенда установлен защитный автомат электрической системы питания.

Насосы включаются тумблерами включения насосов горячего контура (включаются оба одновременно) и насоса холодного контура.

Три тумблера управляют включением нагревателей накопительного и проточного и воздушного охладителя.

Запрещается включать нагреватели при отсутствии воды в накопительном нагревателе и при отсутствии потока через проточный нагреватель.

При включении тумблера питания системы управления включаются все приборы. Включение питания проточного нагревателя необходимо осуществлять при нулевой (по индикатору) электрической мощности подводимой к нагревателю. Увеличение мощности осуществлять поворотом регулятора мощности.

Для исключения перегрузок по электрической сети не рекомендуется одновременное включение обоих нагревателей: мощность накопительного 1,5 кВт, проточного 1,25 кВт.

Все остальные индикаторы показывают параметры жидкости, температуру и давление в точках в соответствие с установленными датчиками температуры и давления.

Измерение расхода жидкости осуществляется по счетчикам – расходомерам, имеющим электрический выходной сигнал для вывода информации о расходе на индикаторы и на компьютер. Учитывая, что счетчики-расходомеры при незначительных величинах расходов имеют большую погрешность измерения, для измерения малых значений расхода при ламинарном течении через измерительный трубопровод расход определяется по мерной емкости ЕМ1.

Проведение работы по определению передаваемой тепловой мощности теплообменника типа «труба в трубе» в зависимости от направления потоков жидкости.

Опыт должен проводиться в следующей последовательности.

1. Горячий контур должен быть заполнен водой. При наличии воздуха в горячем контуре выполнить его заполнение и удаление воздуха путем выпуска через дренажный кран К8.

2. Полностью закрыть краны К1, К2, К4, К6, К8; полностью открыть краны К3 и К5, а также задвижки ЗД1 и ЗД2.

3. Переключить трехходовые краны КТ1 и КТ2 стенда в положение, обеспечивающее течение в соответствии со схемой, приведенной на рис.2.4.1.

4. Подключить компьютер к стенду.

5. Включить насос Н1.

6. Включить питание водонагревательного бака при помощи тумблера на панели приборов. При помощи рукоятки регулятора установить максимальную мощность нагрева и дожидаться установления в баке максимальной температуры (75 °С). О достижении нужной температуры свидетельствует отключение контрольной лампы на корпусе водонагревателя.

7. Включить питание насоса Н2 горячего контура.

8. Включить питание вентилятора обдува охладителя.

9. Дождаться установления стационарного режима по температуре горячего и холодного теплоносителя.

10. Выполнить измерения параметров потока: расхода жидкости и температур входа и выхода в теплообменнике. Измерения рекомендуется осуществлять с помощью компьютера и программы «ТПЖ измерения». Данные отображаются в соответствующих окнах экрана. При необходимости данные и графики можно сохранить на диске компьютера. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 1.

11. Вычислить значение тепловой мощности отдаваемой горячим контуром и воспринимаемой холодным и значение коэффициента полезного действия теплообменника по формулам (1) – (3). Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 1.

12. Провести эксперименты для всех значений рекомендуемых параметров в соответствие с таблицей 1.

13. По полученным данным построить график изменения передаваемой тепловой мощности теплообменника холодному контуру и график изменения коэффициента полезного действия в зависимости от расхода жидкости через холодный контур при ориентировочно постоянном расходе жидкости через горячий контур.

14. Изменить направление течения холодного контура. Для этого закрыть краны К3 и К5, открыть краны К2 и К6. Убедиться, что трехходовой кран КТ2 переключен в соответствие со схемой течения, приведенной на рис.8. Провести эксперименты и расчеты в соответствие с п. 8...12. Данные занести в таблицу 1

15. Сделать выводы.

Журнал наблюдений

Таблица 1

**Определение передаваемой тепловой мощности теплообменника типа
«труба в трубе» в зависимости от направления потоков жидкости и его
КПД**

Рекомендуемое значение расхода жидкости в холодном контуре, Q_{vx} , л/мин	1...2	2...3	3...4	4...5
Рекомендуемое значение расхода жидкости в горячем контуре, Q_{vg} , л/мин	4...5			
Температура жидкости холодного контура на входе в теплообменник T_{x1} , °C				
Температура жидкости холодного контура на выходе из теплообменника T_{x2} , °C				
Температура жидкости горячего контура на входе в теплообменник $T_{г1}$, °C				

Температура жидкости горячего контура на выходе из теплообменника $T_{Г2}$, °C				
Массовый расход жидкости холодного контура G_X , кг/с				
Воспринимаемая тепловая мощность холодного контура, Q_X , Вт				
Массовый расход жидкости горячего контура $G_Г$, кг/с				
Отдаваемая тепловая мощность холодного контура, $Q_Г$, Вт				
Коэффициент полезного действия теплообменника, η				

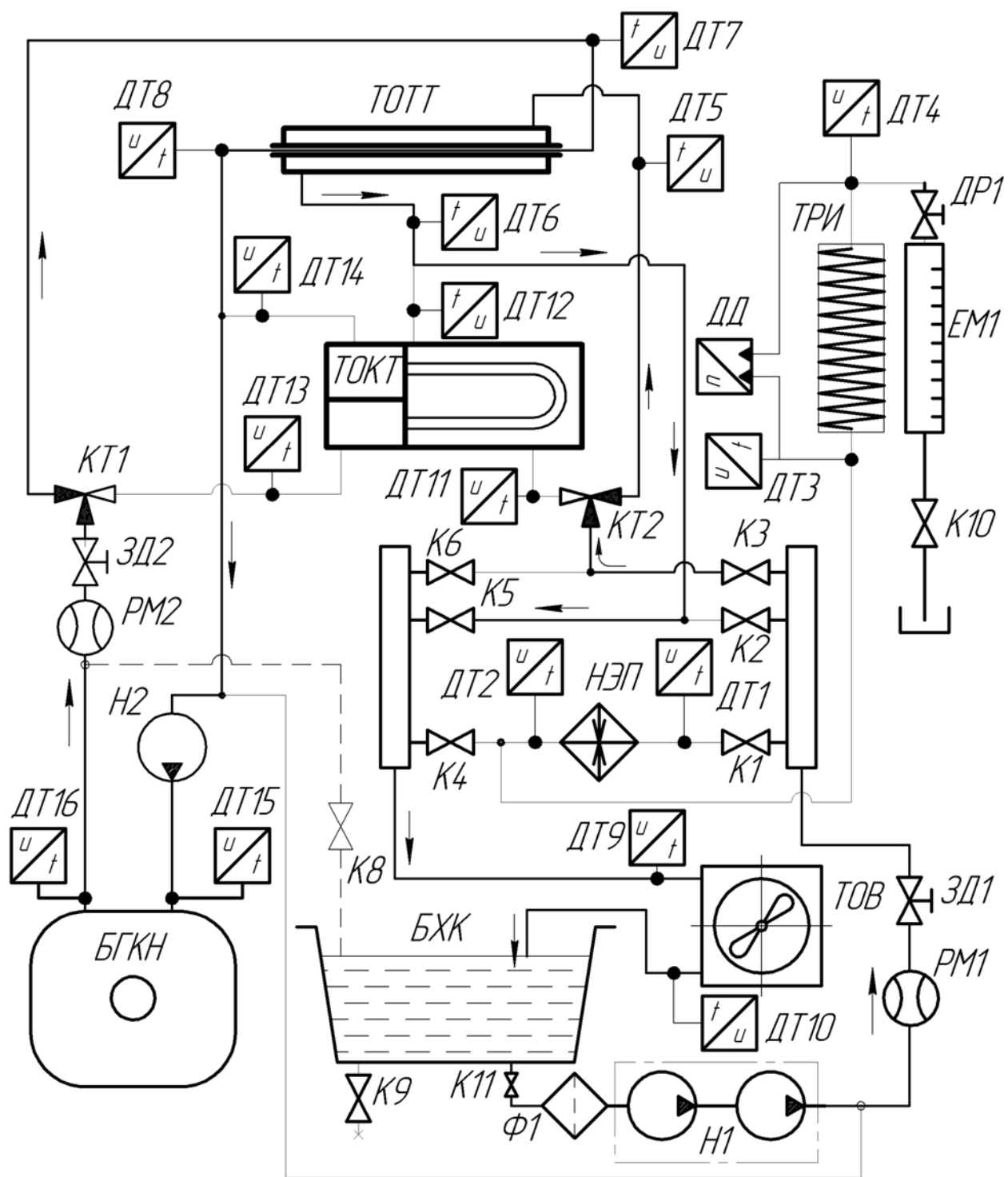


Рис. 7. Схема для выполнения первой части лабораторной работы для теплообменника типа «труба в трубе»

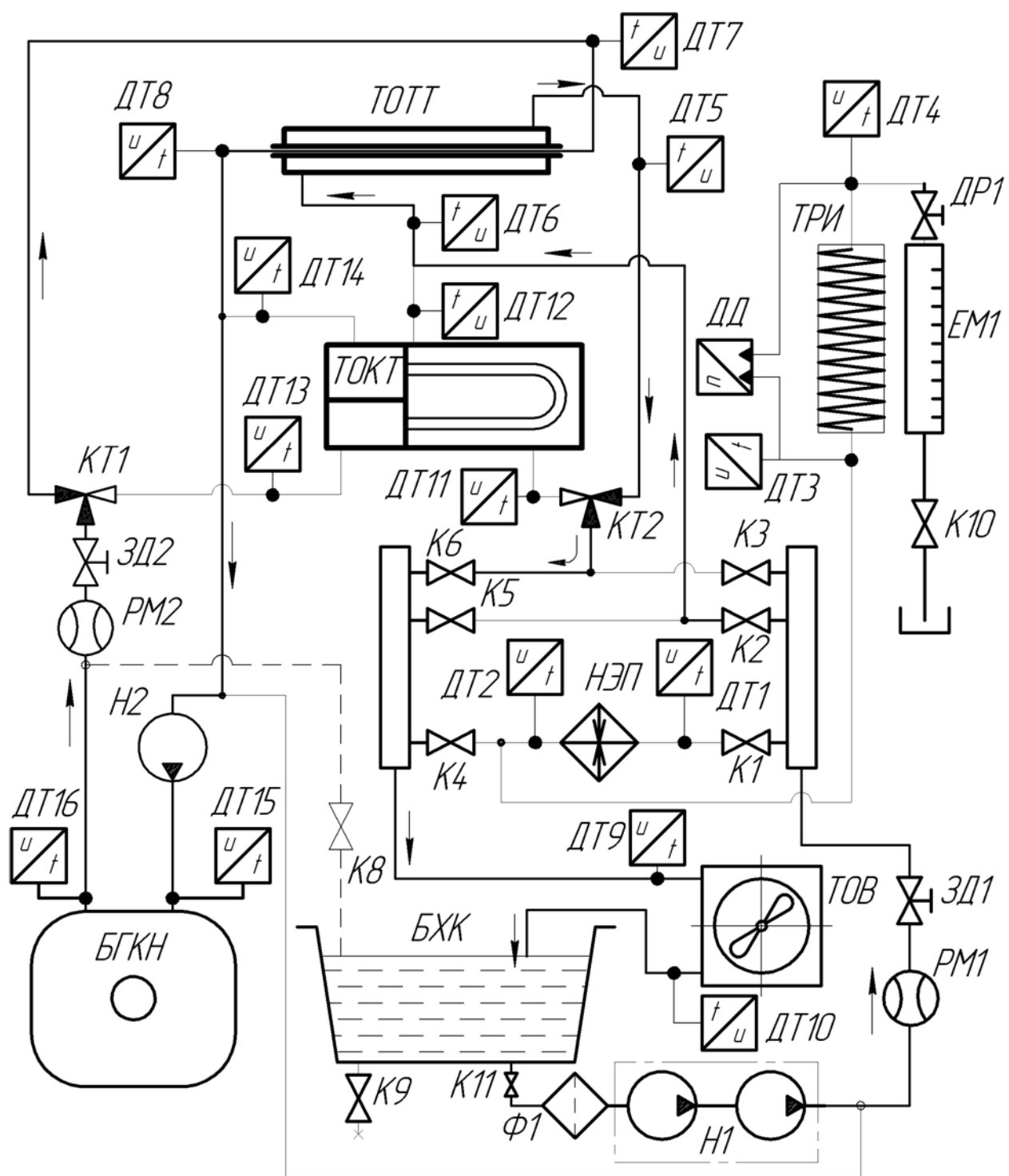


Рис. 8. Схема для выполнения второй части лабораторной работы теплообменника типа «труба в трубе»

Проведение работы по определению передаваемой тепловой мощности кожухотрубного теплообменника

1. Горячий контур должен быть заполнен водой. При наличии воздуха в горячем контуре выполнить его заполнение и удаление воздуха путем выпуска через дренажный кран К8.

2. Полностью закрыть краны К1, К2, К4, К6, К8; полностью открыть краны К3 и К5, а также задвижки ЗД1 и ЗД2.

3. Переключить трехходовые краны КТ1 и КТ2 стенда в положение, обеспечивающее течение в соответствии со схемой, приведенной на рис.2.5.1.

4. Подключить компьютер к стенду.

5. Включить насос Н1.

6. Включить питание водонагревательного бака при помощи тумблера на панели приборов. При помощи рукоятки регулятора установить максимальную мощность нагрева и дожидаться установления в баке максимальной температуры (75 °С). О достижении нужной температуры свидетельствует отключение контрольной лампы на корпусе водонагревателя.

7. Включить питание насоса Н2 горячего контура.

8. Включить питание вентилятора обдува охладителя.

9. Дождаться установления стационарного режима по температуре горячего и холодного теплоносителя.

10. Выполнить измерения параметров потока: расхода жидкости и температур входа и выхода в теплообменнике. Измерения рекомендуется осуществлять с помощью компьютера и программы «ТПЖ измерения». Данные отображаются в соответствующих окнах экрана. При необходимости данные и графики можно сохранить на диске компьютера. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 2.

11. Вычислить значение тепловой мощности отдаваемой горячим контуром и воспринимаемой холодным и значение коэффициента полезного

действия теплообменника по формулам (1) – (3). Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 2.

12. Провести эксперименты для всех значений рекомендуемых параметров в соответствии с таблицей 2.

13. По полученным данным построить график изменения передаваемой тепловой мощности теплообменника холодному контуру и график изменения коэффициента полезного действия в зависимости от расхода жидкости через холодный контур при ориентировочно постоянном расходе жидкости через горячий контур.

14. Изменить направление течения холодного контура. Переключить трехходовые краны в соответствии со схемой течения, приведенной на рис. 10. Провести эксперименты и расчеты в соответствии с п. 8...12. Данные занести в таблицу, аналогичную таблице 2.5.

15. Сделать выводы.

**Определение передаваемой тепловой мощности кожухотрубного
теплообменника и его КПД**

Рекомендуемое значение расхода жидкости в холодном контуре, Q_{VX} , л/мин	1...2	2...3	3...4	4...5
Рекомендуемое значение расхода жидкости в горячем контуре, Q_{VG} , л/мин	4...5			
Температура жидкости холодного контура на входе в теплообменник T_{X1} , °C				
Температура жидкости холодного контура на выходе из теплообменника T_{X2} , °C				
Температура жидкости горячего контура на входе в теплообменник T_{G1} , °C				
Температура жидкости горячего контура на выходе из теплообменника T_{G2} , °C				
Массовый расход жидкости холодного контура G_X , кг/с				
Воспринимаемая тепловая мощность холодного контура, Q_X , Вт				
Массовый расход жидкости горячего контура G_G , кг/с				
Отдаваемая тепловая мощность холодного контура, Q_G , Вт				
Коэффициент полезного действия теплообменника, η				

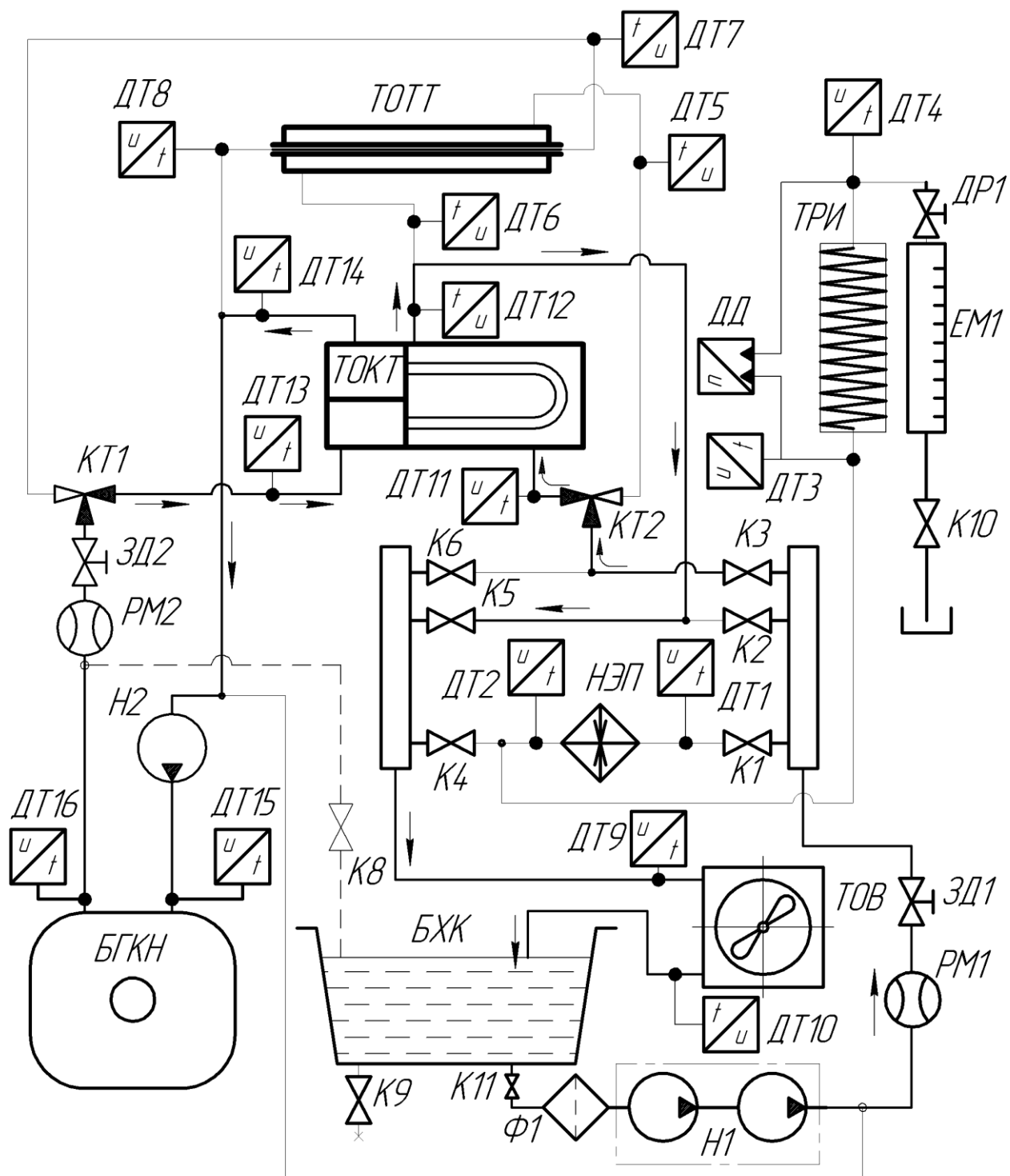


Рис. 9. Схема для выполнения первой части лабораторной работы для кожухотрубного теплообменника

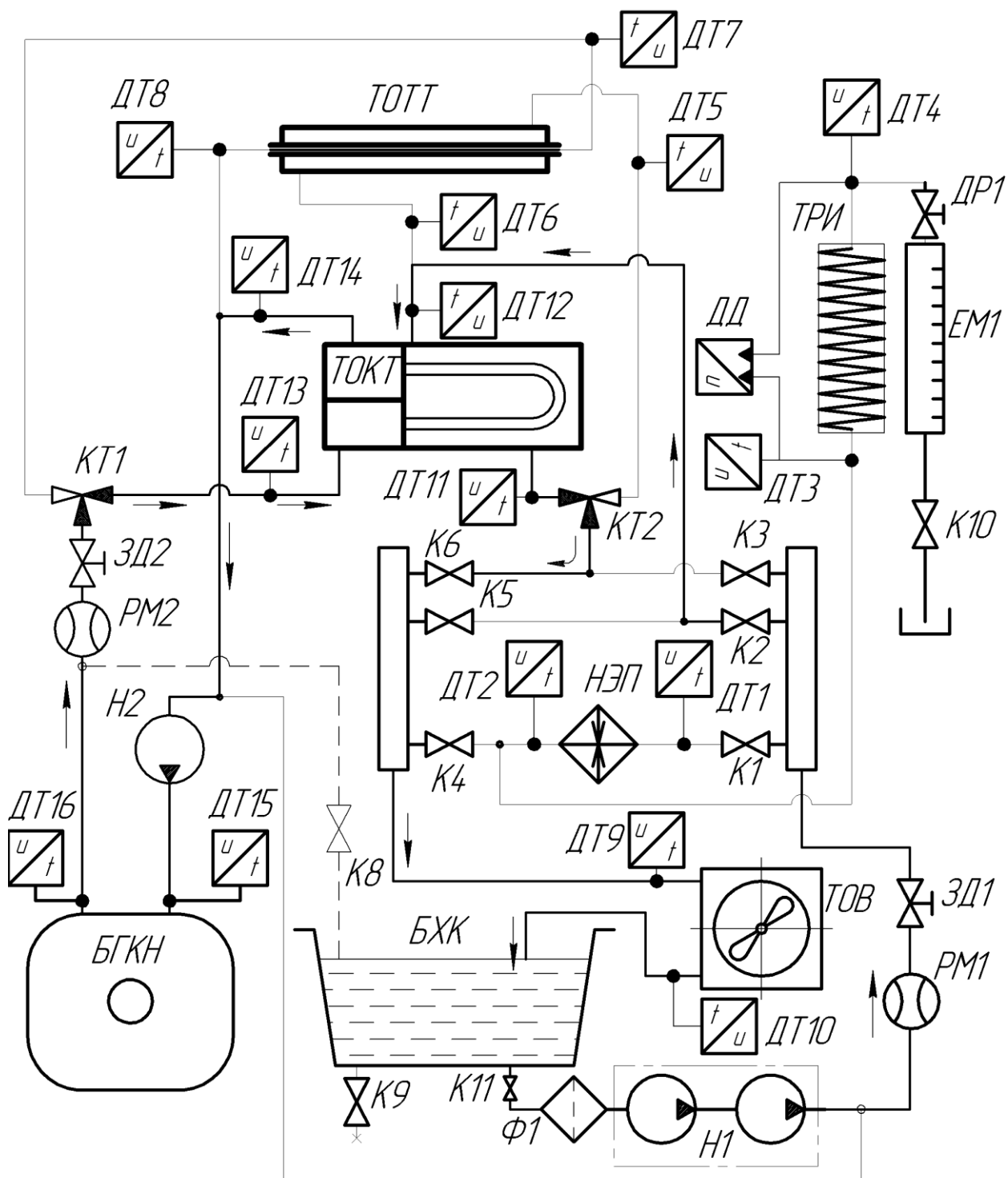


Рис.10. Схема для выполнения второй части лабораторной работы для кожухотрубного теплообменника