

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Кафедра Теплоэнергетики, газоснабжения и вентиляции
Центр инженерных систем в строительстве «SYSTEMS/СИСТЕМЫ»

БЛОЧНЫЙ ТЕПЛОВОЙ ПУНКТ

Указания по выполнению лабораторных работ
для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство»

Казань
2019

УДК 697.34
ББК 38.76

А 95 БЛОЧНЫЙ ТЕПЛОВОЙ ПУНКТ. Указания по выполнению лабораторных работ для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство». /Сост.: Г.М. Ахмерова, Р.Г. Сафиуллин, Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2019. – 53 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ по дисциплинам «Отопление», «Теплоснабжение». Указания содержат разделы: правила безопасности при проведении лабораторных работ, общие сведения о тепловом пункте Центра «Systems», описание лабораторного стенда, цели и задачи проведения исследований, необходимые теоретические положения, формулы, схемы и таблицы, требования к содержанию отчётов по лабораторным работам на стенде «Блочный тепловой пункт».

Блочные тепловые пункты (БТП) применяют для присоединения к тепловой сети систем отопления, горячего водоснабжения, вентиляции и кондиционирования как новых, так и существующих зданий, при модернизации их абонентских вводов. БТП центра инженерных систем в строительстве "Системы"/"SYSTEMS" представляет собой подключённую и эксплуатируемую установку, компоновка которого выполнена индивидуально, с учётом габаритов помещения и тепловых нагрузок здания Центра.

Рецензенты:

главный инженер АО «Казэнерго» Ю. Н. Никоноров
к.т.н., доцент кафедры «Водоснабжение и водоотведение» А.С. Селюгин

УДК 697.34
ББК 38.76

© Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2019
© Ахмерова Г.М., Сафиуллин Р.Г.,
2019

СОДЕРЖАНИЕ

Правила безопасности при проведении лабораторных работ в центре инженерных систем в строительстве «Systems/Системы»	4
1. Общие сведения о тепловом пункте Центра «Systems»	5
1.1. Сведения об оборудовании и системах безопасности БТП	11
1.2. Автоматика БТП.....	15
1.3. Основные принципы регулирования и работы контроллера «ECL Comfort 310» по приложению А 368.1	17
2. Лабораторный практикум на БТП	23
Лабораторная работа №1. Контроль расхода воды и тепловой энергии в БТП	23
Лабораторная работа №2. Исследование теплотехнических характеристик теплообменника системы отопления	30
Лабораторная работа №3. Испытания пластинчатого теплообменника ГВС	38
Лабораторная работа №4. Определение КПД тепловой изоляции трубопровода	44
Лабораторная работа №5. Определение тепловых потерь через изолированную поверхность трубопроводов	49
Список использованных источников	52

ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ В ЦЕНТРЕ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ «SYSTEMS/СИСТЕМЫ»

Лаборатории Центра инженерных систем в строительстве «SYSTEMS/СИСТЕМЫ» относятся к помещениям повышенной опасности, поэтому при выполнении работ нужно соблюдать установленные данным указанием требования, дисциплину, внимательность и осторожность.

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, прослушавшие инструктаж по охране труда и технике безопасности, расписавшиеся в специальном журнале о его прохождении и обладающие необходимыми знаниями по предстоящей работе.

Лабораторная работа выполняется бригадой в составе не более четырёх человек в соответствии с установленным графиком.

В лабораториях запрещается:

- касаться поверхностей электрооборудования, электропроводников, частей аппаратуры, находящихся под напряжением;
- касаться неизолированных поверхностей лабораторной установки;
- изменять настройки лабораторной установки без разрешения преподавателя;
- оставлять без наблюдения включённую установку, находящуюся в ручном режиме работы;
- при необходимости изменения давления теплоносителя в установке, путём управления насосами в ручном режиме (согласно учебного задания), строго следить за показаниями соответствующих манометров;
- изменять регулировку приборов, закрывать или открывать краны установок без разрешения преподавателя;
- касаться вращающихся частей вентиляторов, компрессоров, насосов, электродвигателей;
- загромождать подходы к оборудованию и рабочие места посторонними предметами не имеющими отношения к выполняемой работе (одеждой, сумками, книгами и др. предметами);
- отодвигать установленные ограждения и проникать за них;
- работать одному в помещении лаборатории.

ЕСЛИ ПРОИЗОШЕЛ НЕСЧАСТНЫЙ СЛУЧАЙ:

1. Отключить электропитание лаборатории рубильником.
2. Вызвать по телефону «030» (Мегафон, МТС, Теле2), «003» (Билайн), «903» (Скай Линк), «103» «скорую помощь» или 112 - единая служба спасения, вызов с номера возможен даже при отсутствии денежных средств на вашем счету и заблокированной SIM-карте.
3. Сообщить руководителю.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕПЛОМ ПУНКТЕ ЦЕНТРА «SYSTEMS»

Тепловой пункт здания (ТП) – комплекс устройств, обеспечивающих присоединение систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения к централизованной тепловой сети. В состав оборудования современного теплового пункта входят: теплообменные аппараты, насосное оборудование, запорная и регулирующая арматура, приборы и оборудование системы автоматизации технологического процесса, приборы и оборудование системы контроля за параметрами работы оборудования, электрооборудование, узел учёта тепловой энергии, система освещения, система пожарно-охранной сигнализации, система диспетчеризации с возможностью передачи информации о режимах работы оборудования на пульт управления диспетчерской службы или сотовый телефон обслуживающего персонала.

Монтаж ТП в стеснённых условиях (как правило, в подвальном помещении) – всегда технически сложная и финансово затратная задача. Для упрощения комплектации, хранения в складских условиях, транспортировки и ускорения процесса монтажа ТП могут изготавливаться в заводских условиях и поставляться на объект строительства в виде готовых функциональных узлов (блоков), собранных на рамах в комплекте с набором устройств контроля, автоматического регулирования и управления. Из отдельных готовых блоков, как правило, путём «болтовой сборки», на месте монтажа формируется «блочный тепловой пункт» (БТП).

В Центре «SYSTEMS» установлен БТП, тепловая схема которого предусматривает учет тепловой энергии в «Блоке узла ввода» и подготовку горячей воды на нужды систем отопления («Блок СО»), горячего водоснабжения («Блок ГВС») и теплоснабжения воздухонагревателей приточной установки К-1, с автоматическим регулированием параметров теплоносителя по температуре наружного воздуха (рис. 1-3).

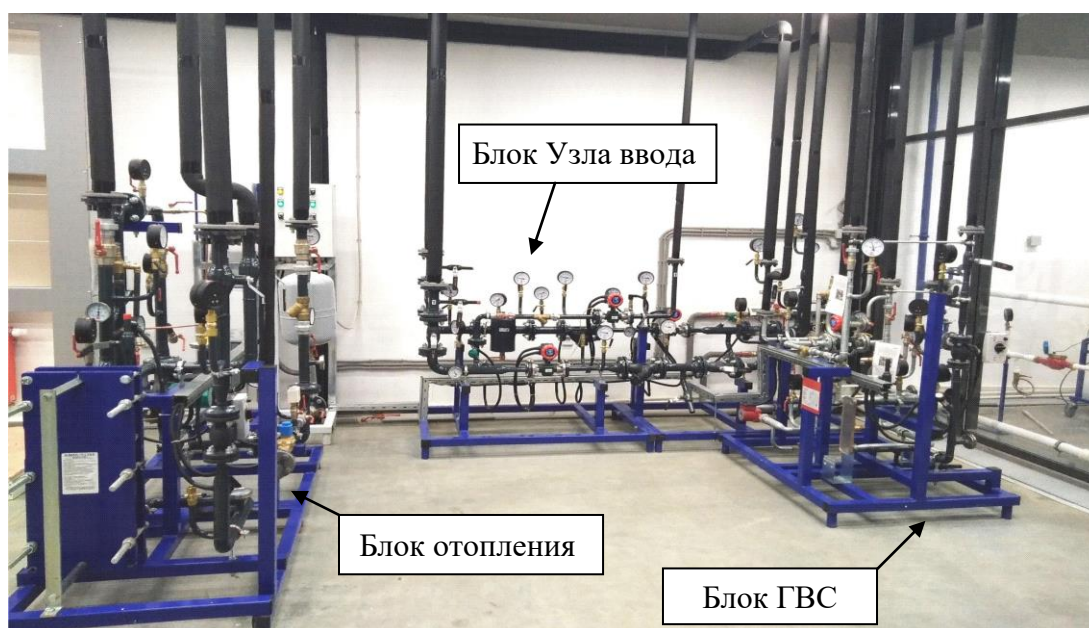
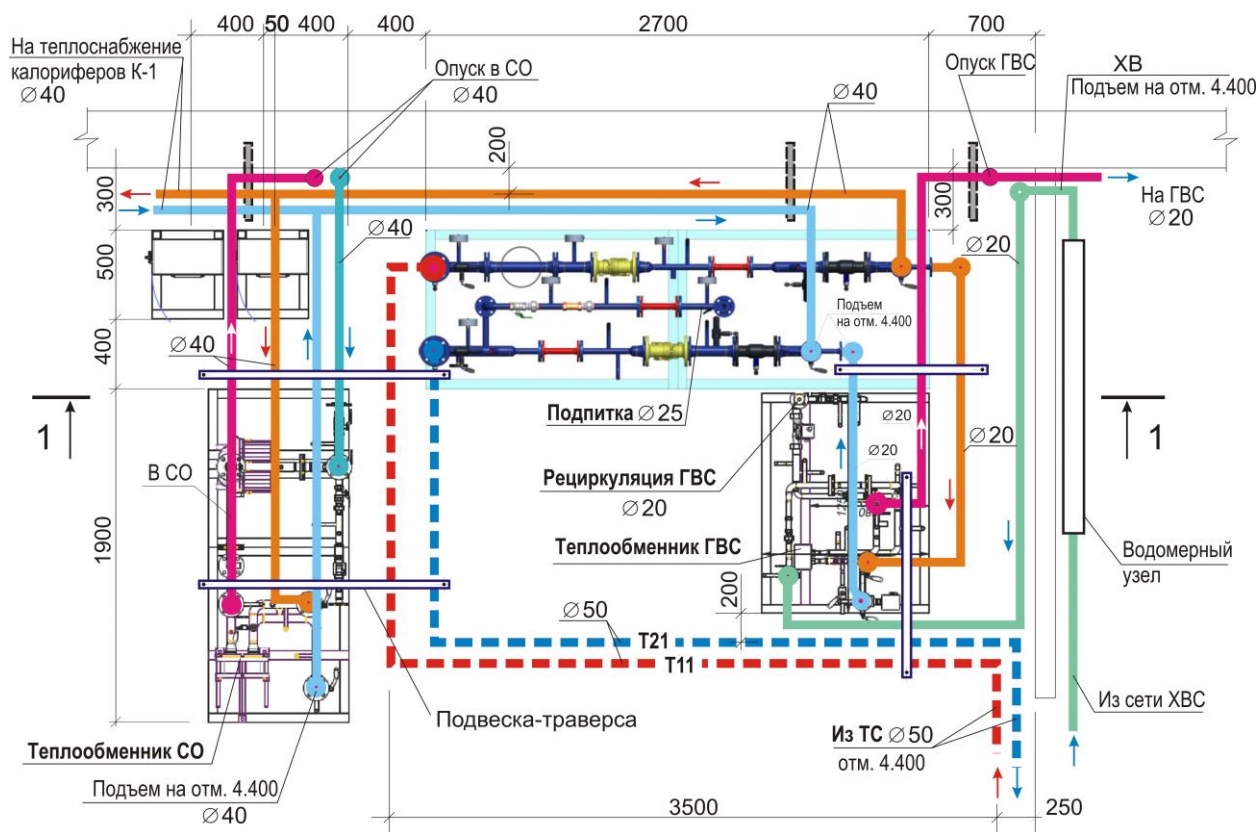


Рис. 1. БТП в Центре «SYSTEMS»



Разрез 1-1

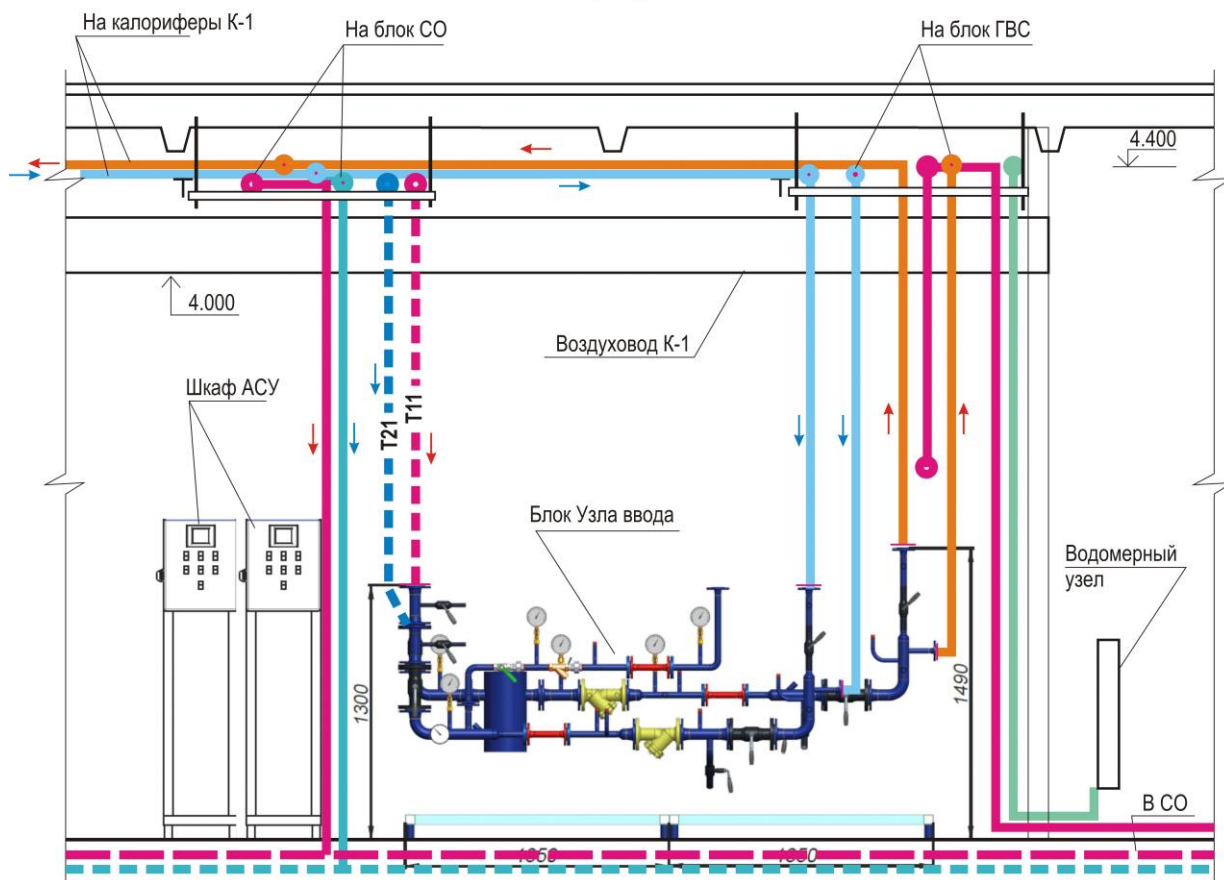


Рис. 2. Обвязка трубопроводов БТП в Центре «SYSTEMS»:
а – план; б - разрез 1-1

При этом термометром 10 и манометром 4 определяются начальные параметры теплоносителя. Кроме того, с помощью теплосчетчика 12, который получает сигналы от установленных на теплопроводах T_1 и T_2 датчиков температуры 13, определяется количество поступающей теплоты на абонентский ввод.

Вторичный теплоноситель – это охлажденная вода после теплообменников систем отопления и ГВС. Параметры воды, возвращаемой в тепловую сеть по теплопроводу T_2 , определяются по показаниям расходомера 18, термометра 10 и манометра 4.

В узле ввода предусмотрена подпитка и заполнение внутреннего контура отопления, которая производится из обратного трубопровода теплосети, с набором необходимых для контроля измерительных приборов: водомера, термометра и манометра. Водомер подпитки предназначен для определения объема теплоносителя, расходуемого для заполнения системы отопления, а также эксплуатационного либо аварийного потребления теплоносителя. Компенсация температурных удлинений трубопроводов блока выполнена за счет углов поворотов. Все трубопроводы обвязки теплового пункта теплоизолированы трубками из вспененного синтетического каучука.

Блок отопления (рис. 4 и 5). Первичный теплоноситель (горячая сетевая вода) поступает из теплосети к пластинчатому теплообменнику 11 системы отопления. На теплопроводе T_2 после теплообменника 11 установлен регулирующий клапан 4 с электроприводом 5, с помощью которого можно изменять количество первичного теплоносителя, поступающего в теплообменник, и соответственно, менять температуру горячего теплоносителя в системе отопления.

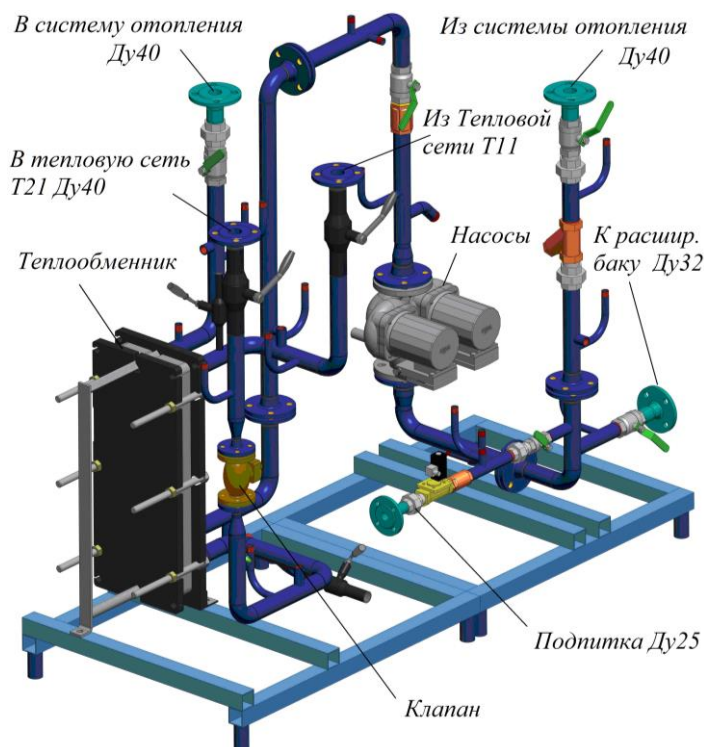


Рис. 4. Сборочная 3D модель Блока отопления

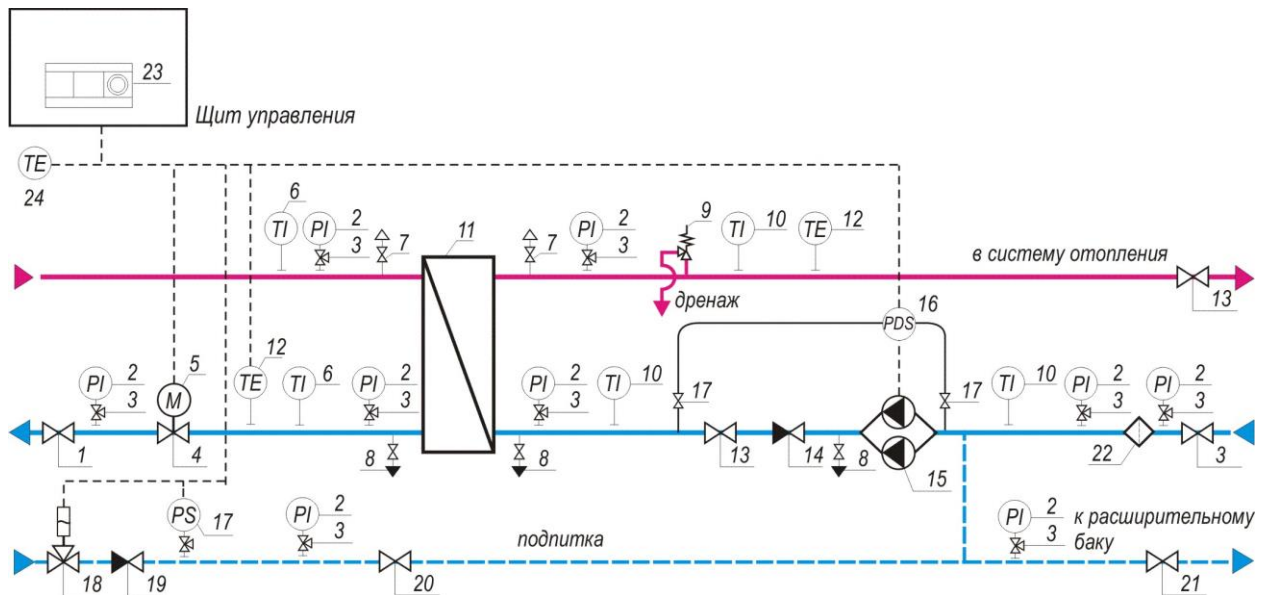


Рис. 5. Гидравлическая схема Блока отопления:

1, 3, 13, 20, 21 – кран шаровой; 2,3 – манометр с краном; 4 – 2-х ходовой регулирующий клапан; 5 – привод клапана; 6, 10 – термометр; 7 – воздушник; 8 – спускник; 9 – предохранительный клапан; 11 – теплообменник; 12 – датчик температуры; 14, 19 – клапан обратный; 15 – насос циркуляционный; 16 – регулятор перепада давления; 17 – прессостат с краном; 18 – соленоидный клапан; 22 – фильтр; 23 – контроллер; 24 – датчик температуры наружного воздуха

Теплоноситель из тепловой сети T_1 через Блок узла ввода и шаровой кран 1 поступает в теплообменник 11, где передает часть тепла в контур отопления, и через регулирующий клапан 4 с приводом 5, шаровой кран 1 возвращается в тепловую сеть. Параметры теплоносителя замеряются термометром 10 и манометром 2. Нагретая вода t_1 контура отопления под давлением насоса 15, проходя шаровой кран 13, поступает в систему отопления и через шаровой кран 13 возвращается в теплообменник.

Циркуляция теплоносителя в системе отопления осуществляется с помощью циркуляционных насосов 15 поочередно. Циркуляционный насос управляется релейными контактами 23 контролера. Режим работы насоса – регулирование по постоянному давлению. Сигнал о величине напора насоса фиксируется датчиком перепада давления 16 и передается на контроллер блока управления.

Температура воды, поступающая в систему отопления, измеряется температурным датчиком 12, а температура наружного воздуха – температурным датчиком 24 (см. рис. 3), установленным на наружной северной стороне здания. Регулирование температуры теплоносителя t_1 осуществляется автоматически, в зависимости от температуры наружного воздуха t_n . По заданному температурному графику контроллер вычисляет температуру, с которой необходимо подавать воду на вход в СО, и поддерживает ее, управляя электроприводом 5 регулирующего клапана 4.

Линия подпитки выполняет функцию поддержания давления в системе отопления здания на расчетном значении. Электромеханическое реле

давления 17 линии подпитки настраивается на величину расчетного давления контура отопления. Когда давление становится меньше расчетного, контакт реле замыкается, и подается напряжение на катушку соленоидного клапана 18. Клапан открывается, и вода из первичного контура по линии подпитки поступает в контур системы отопления. Давление восстанавливается, электромеханическое реле размыкает контакт, и линия подпитки перекрывается.

Блок ГВС (рис. 6, 7). Первичный теплоноситель (горячая сетевая вода) поступает из теплосети к пластинчатому теплообменнику 10 системы ГВС. На обратном теплопроводе T_2 у теплообменника установлен регулирующий клапан 4 с приводом 5, с помощью которого можно изменять количество первичного теплоносителя, поступающего в теплообменник горячего водоснабжения. В блок управления БТП (контроллер) направляются сигналы от датчиков 11 температуры горячей воды на выходе из теплообменника и поступающей в систему горячего водоснабжения. Блок управления сравнивает эту температуру t_2 с заданным значением (согласно п.7.6 [3] t_2 должна быть не ниже 60 и не выше 75 °С). В соответствии с полученными данными контроллер подает управляющий сигнал на открытие или закрытие регулирующего клапана 4.

Вторичный теплоноситель теплообменника горячего водоснабжения - это холодная водопроводная вода t_x , поступающая в тепловой пункт по водопроводу В1 из сети ХВС.

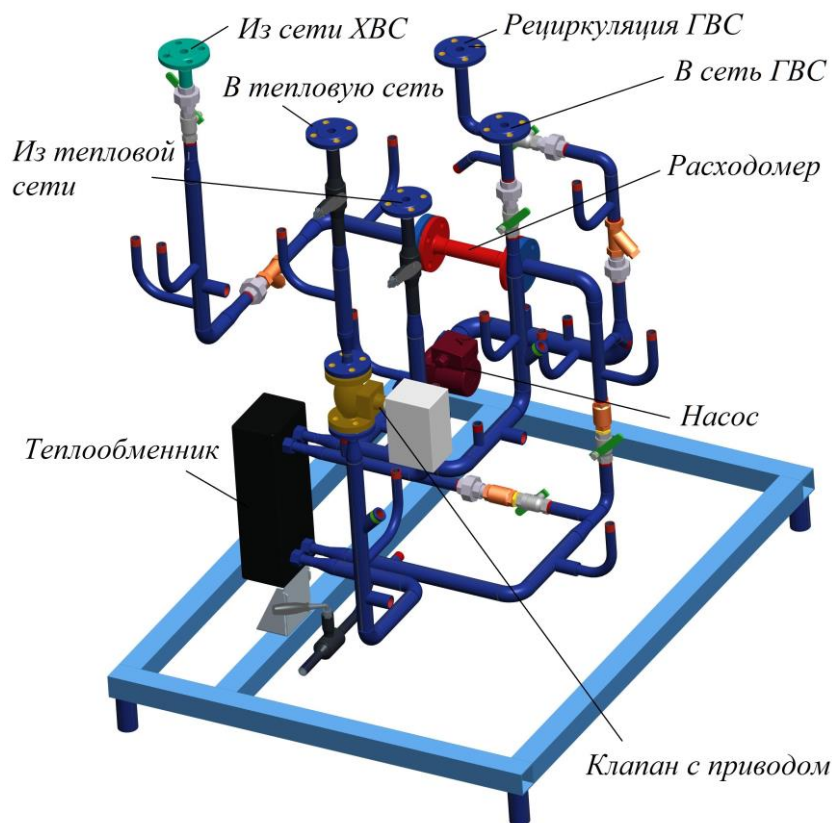


Рис. 6. Сборочная 3D модель Блока ГВС

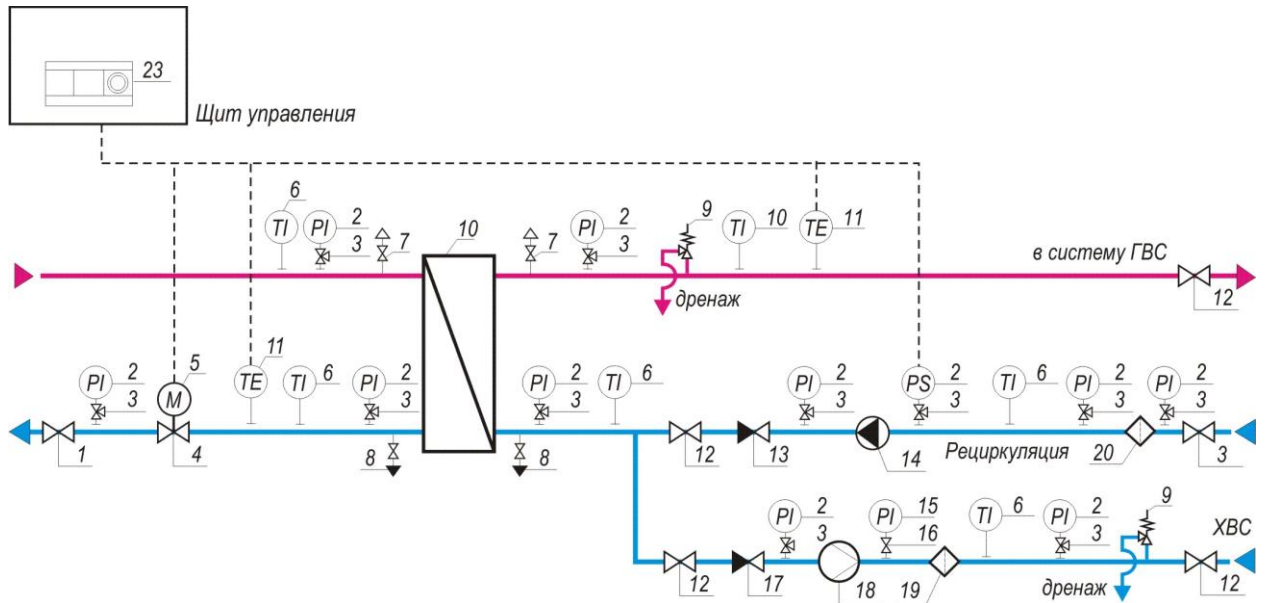


Рис. 7. Гидравлическая схема Блока ГВС:

2 – реле давления; 4 – 2-х ходовой регулирующий клапан; 5 – электропривод; 7 – воздуховыпускные краны; 9 – клапан предохранительный; 10 – теплообменник; 14 – насос циркуляционный; 18 – расходомер. Остальные элементы и обозначения см. на рис. 3 и 5.

В системе ГВС предусмотрен циркуляционный трубопровод с принудительной циркуляцией от центробежного насоса 14. Температура циркуляционной воды $t_{ц}$ определяется термометром 6. Для учёта расхода воды на горячее водоснабжение установлен счетчик 18 на трубопроводе ХВС перед теплообменником. Для предотвращения поступления горячей воды в водопровод В1, а также водопроводной воды в циркуляционный трубопровод, установлен обратный клапаны 17. Также с целью недопущения перетоков воды установлен обратный клапан 13 после циркуляционного насоса.

В блоке ГВС давление горячей воды на выходе из теплообменника 10 определяется манометром 2 на трубопроводе t_2 . Здесь также установлен предохранительный клапан 9, который рассчитан и отрегулирован так, чтобы давление в трубопроводе t_2 не превышало расчетное более чем на 10 %.

На рис. 8 показана общая гидравлическая схема БТП, установленного в Центре инженерных систем в строительстве «SYSTEMS».

1.1. Сведения об оборудовании и системах безопасности БТП

БТП в здании Центра должен работать непрерывно в течение отопительного периода (для ГВС в теплый период года используется электронагреватель) и безаварийно выполнять следующие функции:

- преобразование и контроль параметров теплоносителя;
- регулирование расхода теплоносителя и распределение его по системам потребления теплоты;
- отключение систем потребления теплоты;

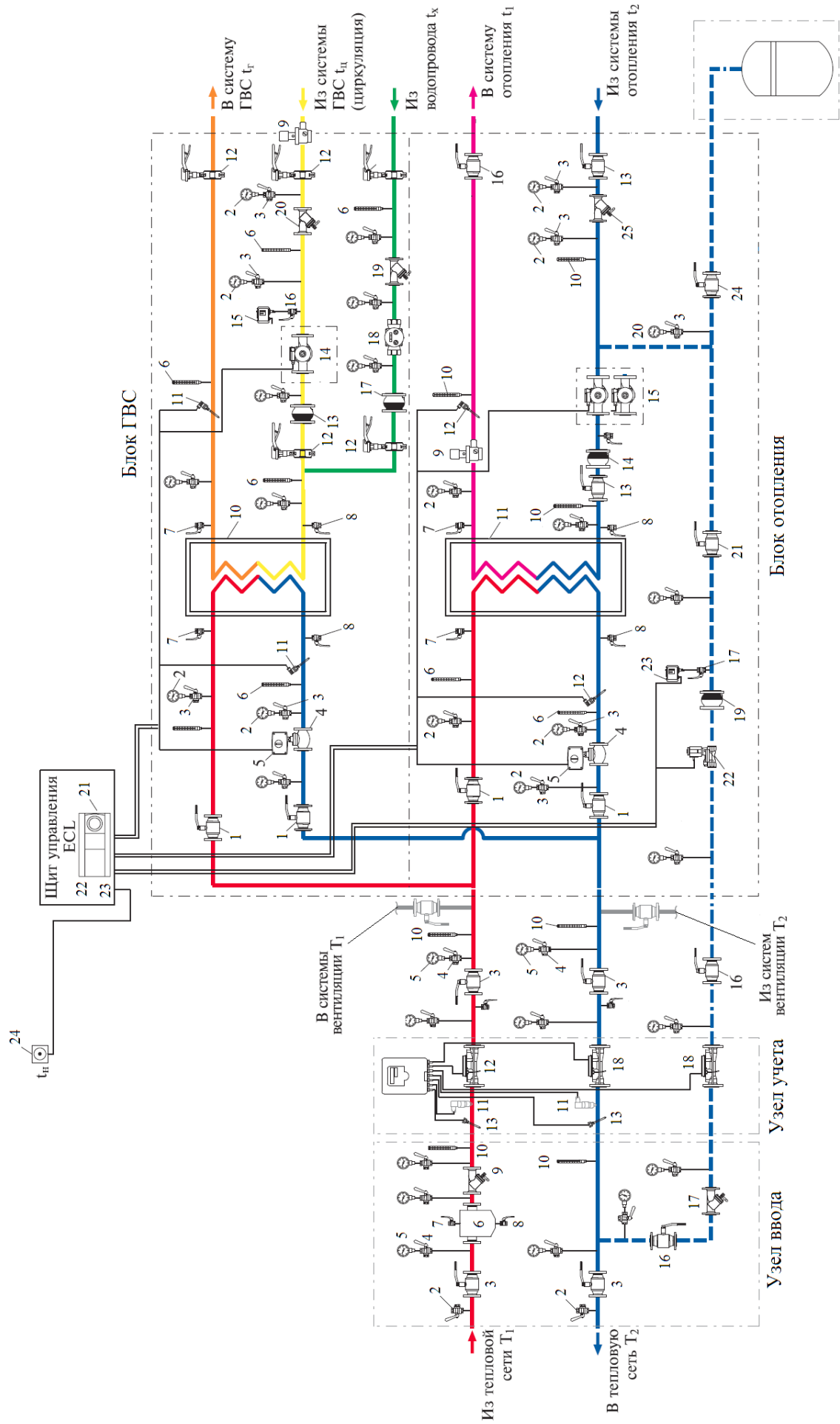


Рис. 8. Гидравлическая схема БТП в Центре «SYSTEMS» (обозначения в тексте)

- защита местных систем от аварийного повышения параметров теплоносителя;

- заполнение и подпитка систем потребления теплоты;

- учет тепловых потоков и расходов теплоносителя.

Для обеспечения указанных функций в БТП используются многочисленная запорная и регулирующая арматура, а также теплообменное оборудование и средства безопасности. В табл. 1 приведены некоторые сведения о тепловом оборудовании и средствах безопасности БТП.

Таблица 1

Оборудование	Описание
1	2
	<p>Теплообменник предназначен для передачи тепловой энергии от сетевой воды к теплоносителю системы отопления. Расчет поверхности нагрева водоводяного подогревателя осуществляют дважды. Один раз – по температуре теплоносителя в подающем трубопроводе тепловой сети, равной температуре в точке излома графика температур воды или минимальной температуре воды при отсутствии излома графика температур. Второй раз – по температуре воды, соответствующей расчетной температуре наружного воздуха для проектирования системы отопления. В качестве расчетной принимают большую из величин поверхности теплообмена.</p>
	<p>Предохранительный клапан выступает в качестве элемента предотвращения ситуаций с чрезмерным ростом давления в системах трубопроводов, где используется рабочая среда в виде условно чистой воды. Предохранительные клапаны имеют пружинную конструкцию закрытого типа, они устанавливаются в вертикальной позиции. Для изготовления корпуса применена латунь, корпус имеет покрытие в виде хромирования. Это клапан пропорционального типа, который отличается высокой эффективностью регулировки. Монтирование на трубопровод осуществляется благодаря резьбовым соединениям.</p>
	<p>Закрытый расширительный бак. Сброс теплоносителя при расширении осуществляется в установленный на обратном трубопроводе расширительный бак. Бак присоединяют к одному из главных участков системы отопления – подающему либо обратному, соответственно, после и до запорной арматуры, отсекающей систему отопления. Это вызвано тем, что при перекрытии системы отопления с горячим теплоносителем необходимо восполнение объема теплоносителя от его остывания, который вытесняется из расширительного бака, предотвращая проникновение воздуха в систему. Чаще бак присоединяют к обратной магистрали, что вызвано эксплуатационными требованиями. Рядом с баком следует размещать манометр и предохранительный клапан. Этот клапан устанавливают на максимально допустимое давление в системе отопления, определяемое как минимальное значение из максимально допустимого давления для отдельно взятых элементов системы отопления.</p>

1	2
	<p>Расходомер. Место установки расходомера зависит от требований производителя и требований теплоснабжающей организации. Так, например, электромагнитный расходомер нечувствителен к загрязнениям теплоносителя и по указаниям производителя может быть установлен как на подающем, так и на обратном трубопроводе. По требованию теплоснабжающих организаций зачастую необходимо устанавливать расходомер на подающем и на обратном трубопроводах одновременно.</p>
	<p>Сдвоенный насос используется для повышения надежности теплоснабжения. При этом один из насосов является рабочим, а второй – резервным. Гораздо реже, вместо двух больших насосов, применяют три меньших насоса, два из которых – рабочие, а третий – резервный. Такой подход имеет эксплуатационные и экономические преимущества, заключающиеся в том, что замена вышедшего из строя насоса обойдется дешевле.</p>
	<p>Реле давления (прессостат) - электромеханическое реле давления с изменяемым дифференциалом предназначено для регулирования низкого давления (диапазон настройки - 0,2÷8 бар) в жидких и газообразных средах, а так же для сигнализации в различных промышленных установках. Может использоваться на узлах подпитки отопительной системы теплоснабжения зданий, присоединенных к наружным тепловым сетям по независимой схеме (через водонагреватели). Реле давления снабжены переключателем, который замыкает или размыкает электрическую цепь при изменении давления в системе по сравнению с заданным.</p>
	<p>Соленоидный вентиль - позиционно управляемый электромагнитный клапан с электромагнитной катушкой. Предназначен для предотвращения гидравлических ударов при высоком давлении и высокой скорости потока через трубопроводы с малым диаметром. Так как в системах с закрытым контуром параметры давления не определены, поэтому требуется электромагнитный клапан, который может открываться без перепада давления за счет подачи управляющего тока на катушку.</p>
	<p>Датчик температуры наружного воздуха. Представляет собой термометр сопротивления, обеспечивающий изменение сопротивления пропорционально температуре наружного воздуха. Достигают этого использованием платиновых проводников, имеющих линейную зависимость, которая пренебрежимо мало изменяется от длины кабеля. Устанавливают на наружной стене здания с северной стороны, не допуская воздействия теплового потока от окон, дверей, газоходов.</p>

Запорная арматура предусмотрена на подающем и обратном трубопроводах тепловых сетей на вводе и выводе их из теплового пункта, на подводящих и отводящих трубопроводах каждого теплообменника. В высших точках всех трубопроводов установлены штуцеры с запорной арматурой для выпуска воздуха (воздушники) условным диаметром 15 мм. На всех трубопроводах первичного и вторичного теплоносителей (сетевой и

нагреваемой воды), а также на входе и выходе из теплообменников установлены термометры и манометры.

Спускные краны предназначены для опорожнения системы отопления. Их применяют для подключения компрессоров при промывке системы отопления, а также – для гидравлического испытания. Эти спускники имеют диаметр не менее 25 мм.

1.2. Автоматика БТП

Автоматическое регулирование подачи теплоты в систему отопления по заданному отопительному графику в зависимости от температуры наружного воздуха, автоматическое поддержание температуры воды в системах горячего водоснабжения и температуры воздуха в системах вентиляции выполняет контроллер «ECL Comfort 310» по протоколу A368.1. Принципиальная схема приложения A368.1 (ключа) для БТП Центра "Системы"/"SYSTEMS" показана на рис. 9.

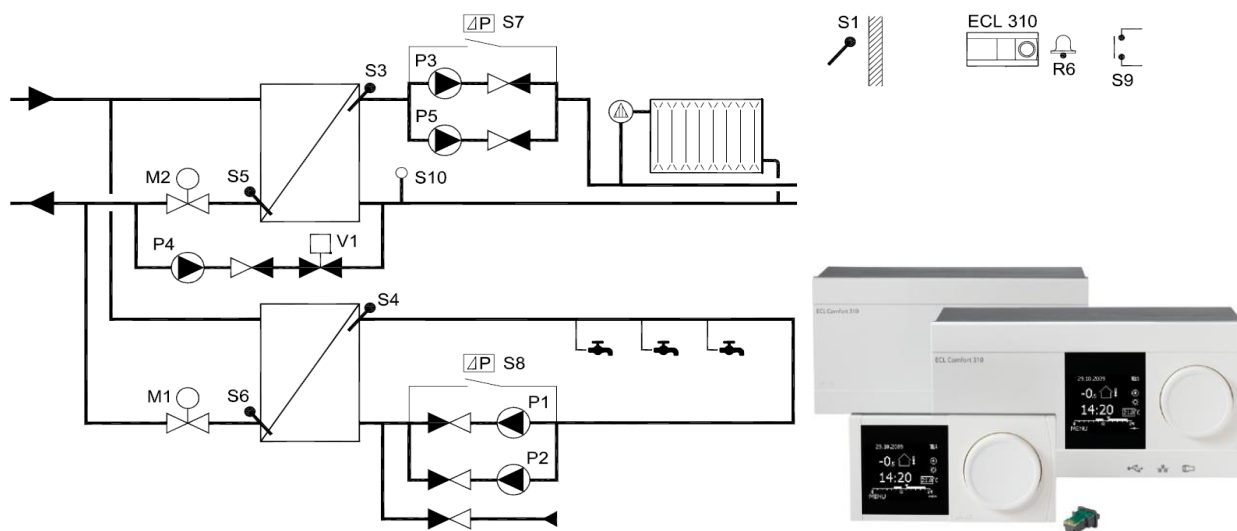


Рис. 9. Стандартная функциональная схема A368.1. Внешний вид контроллера ECL 310:

S1 – Датчик температуры наружного воздуха; S3 – Датчик температуры теплоносителя в подающем трубопроводе, контур 1; S4 – Датчик температуры подачи ГВС, контур 2; S5 – Датчик температуры в обратном трубопроводе, контур 1; S6 – Датчик температуры в обратном трубопроводе, контур 2; S7 – Дифференциальное реле давления, контур 1; S8 – Дифференциальное реле давления, контур 2; S9 – Аварийный вход; S10 – Датчик давления или реле давления, контур 1; P1 – Циркуляционный насос, ГВС, контур 2; P2 – Циркуляционный насос ГВС, контур 2 (в БТП Центра не используется); P3 – Циркуляционный насос Отопление, контур 1; P4 – Насос подпитки, контур 1 (в БТП Центра не используется); P5 – Циркуляционный насос, Отопление, контур 1; M1 – Регулирующий клапан с электроприводом, контур 2; M2 – Регулирующий клапан с электроприводом, контур 1; V1 – Электромагнитный клапан, контур 1, клапан подпитки; R6 – Выход реле, сигнализация

Функциональная схема «Отопление» (контур 1). Температура в подающем трубопроводе задается в соответствии с требованиями. Датчик температуры теплоносителя в подающем трубопроводе (S3) является наиболее важным датчиком. Заданная температура подачи S3 рассчитывается ECL-регулятором на основе температуры наружного воздуха (S1) в соответствии с графиком. Чем ниже температура наружного воздуха, тем выше заданная температура подачи.

В соответствии с недельным графиком контур отопления может быть переключен на режим комфорта или экономии (два разных температурных значения для требуемой комнатной температуры). Регулирующий клапан с электроприводом (M2) постепенно открывается, если температура подаваемого теплоносителя оказывается ниже заданной температуры подачи и наоборот.

Температура обратного теплоносителя для центрального отопления (S5) не должна быть слишком высокой. Если это так, то заданная температура подачи может быть изменена (обычно в сторону более низкого значения), что приведет к постепенному закрыванию клапана с электроприводом. Кроме того, ограничение температуры в обратном трубопроводе зависит от температуры наружного воздуха. Чем ниже температура наружного воздуха, тем выше порог допустимой температуры обратки. Соответствующий циркуляционный насос включается при включении отопления или для защиты от заморозки. Отопление может отключаться, когда температура наружного воздуха поднимается выше заданного значения.

Статическое давление во вторичном контуре (на стороне потребителя) может: 1) непрерывно измеряться датчиком давления 0-10В; или 2) быть дискретным сигналом от реле давления. В случае слишком низкого давления функция подпитки заполнит систему из первичного контура.

Циркуляционные насосы P3 и P5 (контур отопления) работают поочередно в соответствии с графиком. Один насос остается в резерве, а другой работает. В случае сбоя (отсутствует перепад давления на насосе) в работе одного насоса, запускается другой. При этом подается аварийный сигнал для последующего осмотра и ремонта неисправного насоса. Сигнал (реле R6) подается в случаях, если текущая температура подачи отличается от заданной температуры подачи; работающий циркуляционный насос не создает перепад давления; функция подпитки не создает давления за установленный отрезок времени.

Функциональная схема ГВС (контур 2). Если температура ГВС (S4) оказывается ниже требуемого значения, то клапан с электроприводом (M1) постепенно открывается и наоборот. Если заданная температура ГВС не может быть достигнута, контур отопления будет постепенно закрываться, передавая больше энергии на контур ГВС.

Температура «обратки» (S6) может ограничиваться определенным значением. В соответствии с недельным графиком контур ГВС может быть переключен на режим комфорта или экономии (два разных температурных

значения для требуемой температуры горячей воды). В определенные дни недели возможен запуск антибактериальной функции.

1.3. Основные принципы регулирования и работы контроллера «ECL Comfort 310» по приложению А 368.1

Внешний вид и статусный экран на дисплее контроллера «ECL Comfort 310» для систем отопления (контур 1) и ГВС (контур 2) приведен на рис. 10. На другие экраны дисплея можно перейти, вращая диск вправо или влево, для подтверждения выбора - нажать на диск. На статусном экране №1 «Контур отопления» в виде цифр и символов отображаются следующие сведения (рис. 10, б): текущая температура наружного воздуха (на рис. - 0.5°C), режим работы регулятора (☀ - «комфортный»), текущая температура в помещении (на рис. 24.5°C), требуемая температура в помещении (20.7°C). На статусном экране №2 устанавливается заданная температура ГВС (рис. 10, в). Здесь 60.3 – текущая температура; 60 – требуемая температура.

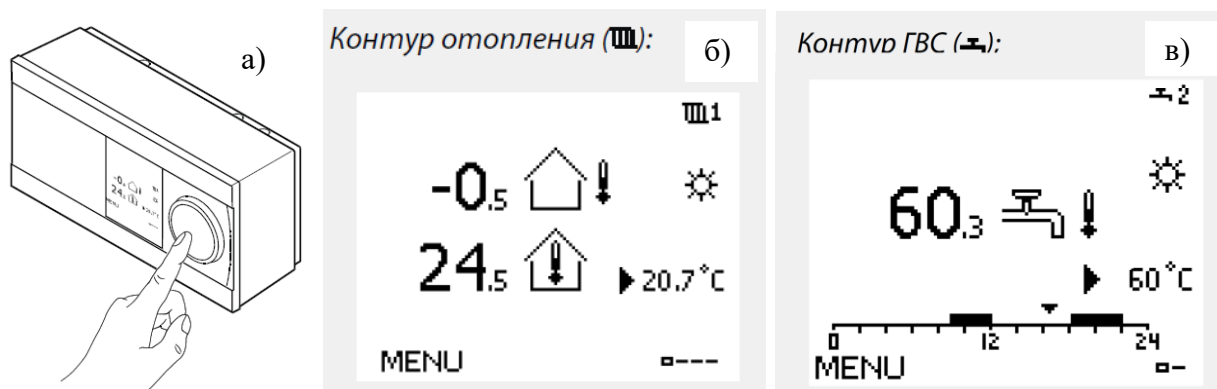






Рис. 10. Работа с диском (а) и статусные экраны контроллера «Отопление» (б) и «ГВС» (в)

Полный перечень символов, используемых в представлении данных на статусных экранах дисплея, приведён в табл. 2.

Таблица 2

Символ	Описание	Символ	Описание
	Температура наружного воздуха		Отопление
	Температура в помещении		ГВС
	Температура ГВС		Общие настройки регулятора
	Индикатор положения		Насос ВКЛ
	Режим работы по графику		Насос ВЫКЛ
	Комфортный режим		Привод открывается

	Режим пониженного энергопотребления		Привод закрывается
	Режим защиты от заморозки		Переключатель дисплеев
	Ручной режим		Макс. и мин. значения

Регулятор «ECL Comfort» имеет несколько основных функций. Функция *регулирования температуры подаваемого теплоносителя t_1* в зависимости от текущей температуры наружного воздуха t_n производится по зависимости, называемой «отопительным графиком» (рис. 11). У каждой линии графика отмечен «угол наклона» или номер ОГ от 0.1 до 4.0. Стандартная (заводская) настройка – 1.0. Выбор номера ОГ выполняется на экране контроллера в закладке «Отопительный график» (рис. 12).

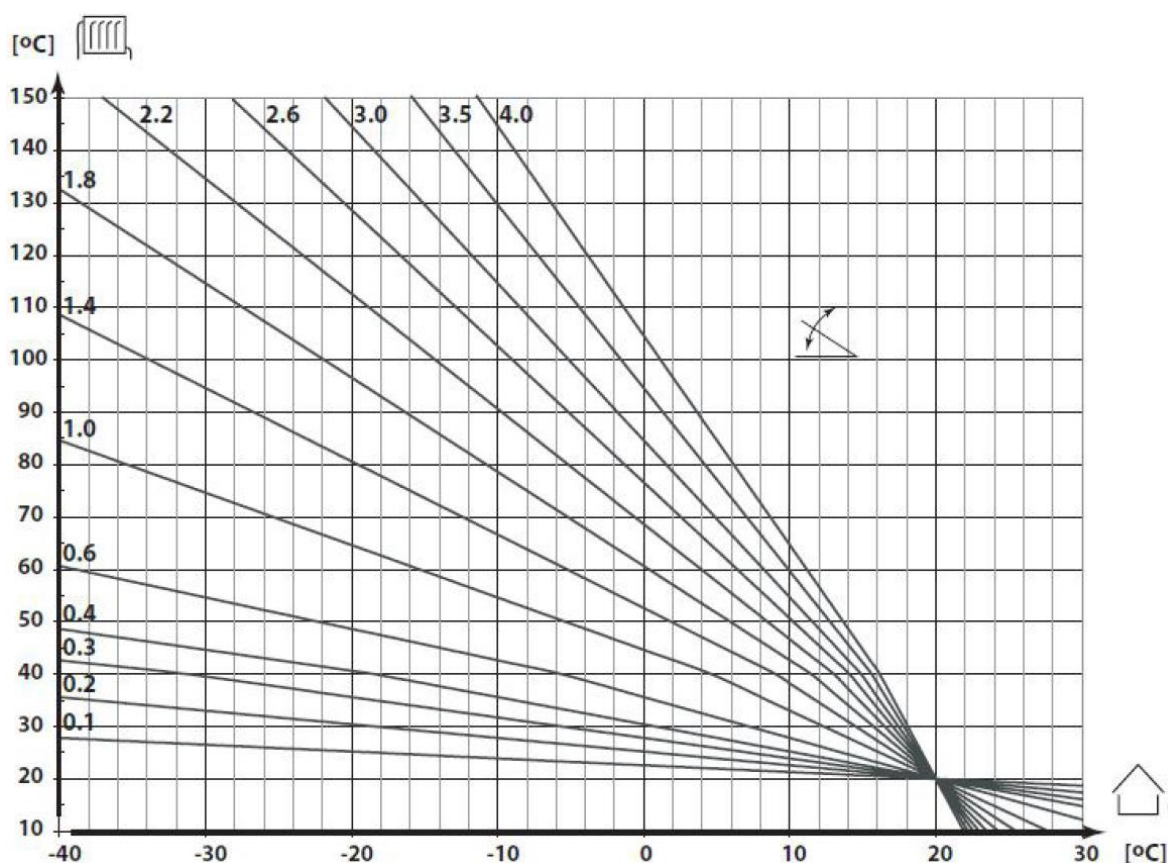


Рис. 11. Отопительные графики в преднастройках контроллера

Для системы отопления отопительный график задается с помощью шести точек. При этом температура теплоносителя t_1 назначается по шести фиксированным значениям температуры наружного воздуха (-30, -15, -5, 0, +5, +15 °C) для поддержания температуры в помещении $t_g = 20$ °C.

Настройка	Ш1
Т подачи:	
График	0.1
Макс.Темп.	50 °С
Мин.Темп.	10 °С
Т макс. сети X2	150 °С
Т под. макс. Y2	95 °С

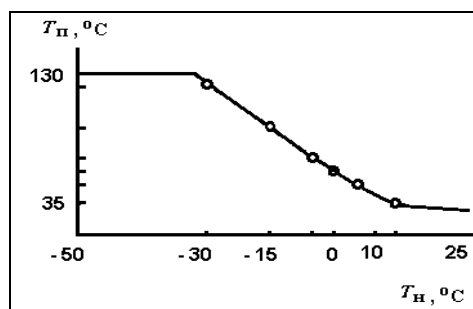


Рис. 12. Выбор закладки «Отопительный график» на дисплее контроллера

При изменении требований к t_e , значение заданной температуры теплоносителя (подачи) t_1 изменится на величину Δt_1 , которая будет рассчитана контроллером согласно уравнению

$$\Delta t_1 = (t_e - 20) \times OG \times 2.5,$$

где t_e – заданная температура в помещении, °С; OG – номер отопительного графика; 2.5 – константа.

Регулятор «ECL Comfort» имеет функцию *регулирования температуры* подачи для системы отопления в зависимости от температуры теплоносителя в тепловой сети (датчик TE поз. 12 на рис. 5). Эта зависимость устанавливается в регуляторе в виде графика (рис. 13, а).

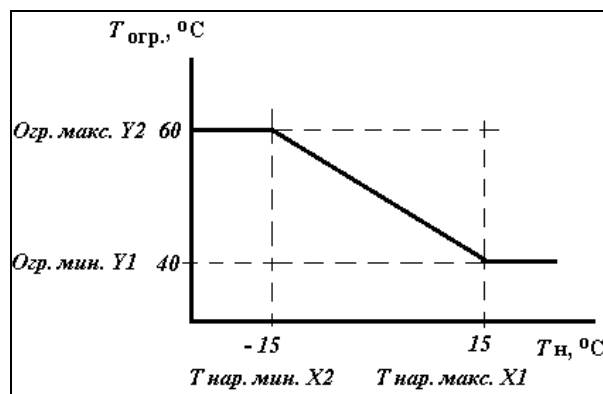
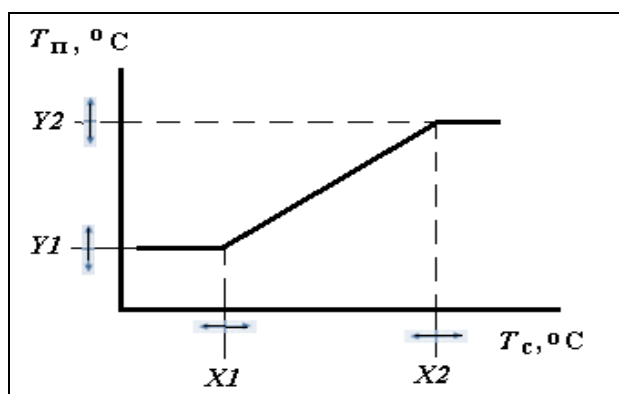


Рис. 13. Установка требуемой зависимости температуры теплоносителей для системы отопления: а – температуры подачи от температуры теплоносителя в тепловой сети; б – температуры теплоносителя в обратном трубопроводе тепловой сети от температуры наружного воздуха

При изменении температуры наружного воздуха t_n обычно изменяется и температура возвращаемого теплоносителя. Регулятор «ECL Comfort 310» может автоматически менять заданную температуру подаваемого теплоносителя для получения приемлемой температуры возвращаемого теплоносителя, когда температура возвращаемого теплоносителя падает ниже или поднимается выше установленного предельного значения. Соотношение между этими температурами создается с помощью координат двух точек в системе (рис. 13, б). Если температура в обратном трубопроводе

оказывается выше установленного предела, регулятор автоматически изменяет заданную температуру теплоносителя или горячей воды, подаваемых в систему.

Регулятор «ECL Comfort» имеет функцию *ограничения потребляемого расхода теплоносителя/энергии*. Для экономии расхода теплоносителя или тепловой энергии к регулятору ECL подключен расходомер и тепловычислитель теплосчетчика.

Зависимость между ограничением расхода теплоносителя и температурой наружного воздуха задается с помощью координат двух точек на отопительном графике (рис. 14, а). Координаты температуры наружного воздуха задаются параметрами $T_{нар. макс. X1}$ и $T_{нар. мин. X2}$. Координаты расхода теплоносителя и энергии устанавливаются в $Огр. мин. Y1$ и $Огр. макс. Y2$. На основе этих параметров регулятор рассчитывает значение ограничения.

Если расход теплоносителя или энергии оказывается выше установленного значения, регулятор постепенно уменьшает заданную температуру теплоносителя или горячей воды, медленно закрывая регулирующий клапан для получения приемлемого уровня расхода теплоносителя и энергии (рис. 14, б).

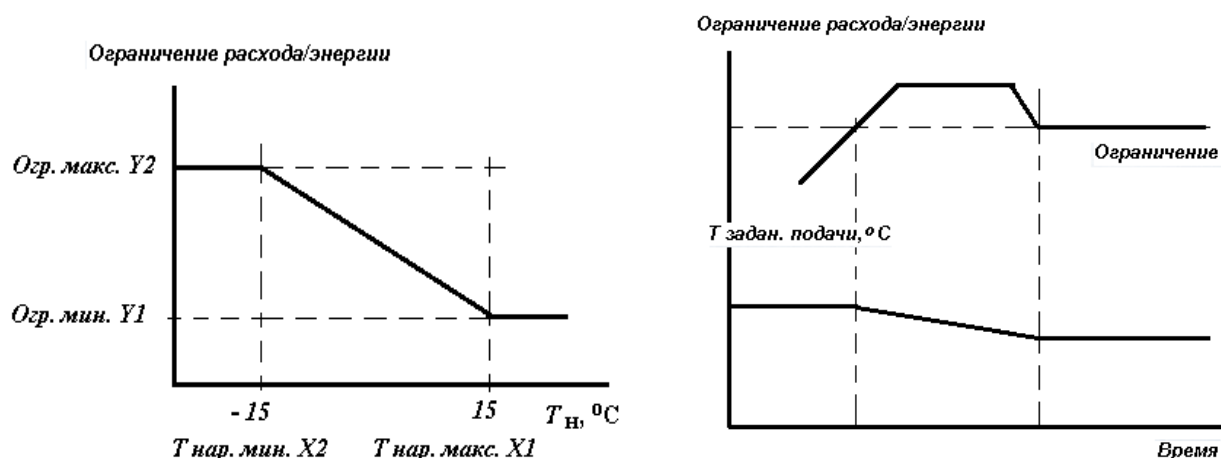


Рис. 14. Зависимость ограничения потребляемого расхода теплоносителя/энергии: а - от температуры наружного воздуха; б - от заданной температуры подачи теплоносителя

Регулятор «ECL Comfort» имеет функцию *поддержания приоритета ГВС*. Если фактическая температура горячей воды в системе ГВС отклоняется на значение больше заданного, электрический исполнительный механизм в контуре отопления постепенно прикроет клапан до такого положения, пока температура воды для ГВС не возвратится к наименьшему допустимому значению (рис. 15).

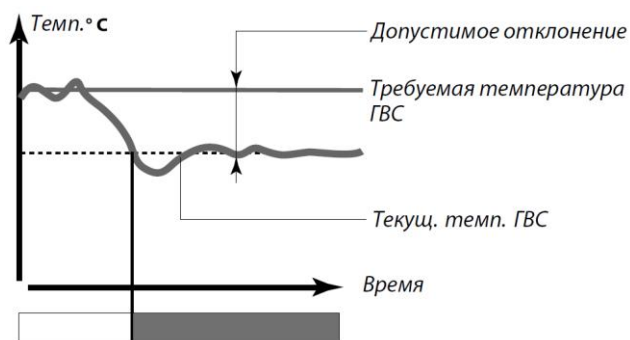


Рис. 15. Результат работы регулирующего клапана на контуре ГВС

Регулятор «ECL Comfort» имеет функцию *управления спаренными циркуляционными насосами* (например, в контуре отопления). При работе с двумя насосами приложение A368.1 управляет ими поочередно, в зависимости от временных установок. После включения насоса регулятор ожидает увеличение перепада давлений (S7 — для контура отопления и S8 — для контура ГВС). Если перепад давлений отсутствует, регулятор «ECL Comfort» включает аварийный сигнал и запускает другой насос. Если ни один из насосов не работает (обнаруживается посредством отсутствия перепада давлений), активируется авария и закрывается клапан с электроприводом – функция безопасности.

Регулятор «ECL Comfort» обладает функцией *управления подпиткой системы отопления*. Падение статического давления и соответственно нарушение работы системы отопления происходит из-за утечек на стороне потребителей. Приложение A368.1 обеспечивает контроль статического давления и запускает функцию подпитки, когда давление опускается ниже заданного уровня. Измерение давления производится датчиком давления (с аналоговым сигналом 0–10 В в зависимости от измеряемого давления) или с помощью реле давления. При использовании сигнала датчика давления необходимо в контроллере настроить два параметра: величину давления в системе и разность давлений между включением и выключением системы подпитки (дифференциал). Настраиваются они в контроллере. В случае применения реле давления установка данных параметров производится непосредственно на нем.

При значительном падении давления через определенное время активируется двухпозиционный клапан. Если через определенный промежуток времени нужное давление не достигнуто, то включается аварийный сигнал. В этой ситуации через 60 с регулятор ECL Comfort останавливает циркуляционные насосы и закрывает регулирующий клапан – функция безопасности.

Регулятор «ECL Comfort 310» имеет возможность *воспроизводить архив измеренных значений*. Функция журнала (история температур) позволяет отслеживать изменения температур за сегодня, вчера, последние 2 дня, или же последние 4 дня в подсоединенных датчиках. Для определенного датчика есть свой журнал, в котором отображаются значения температуры (рис. 16).

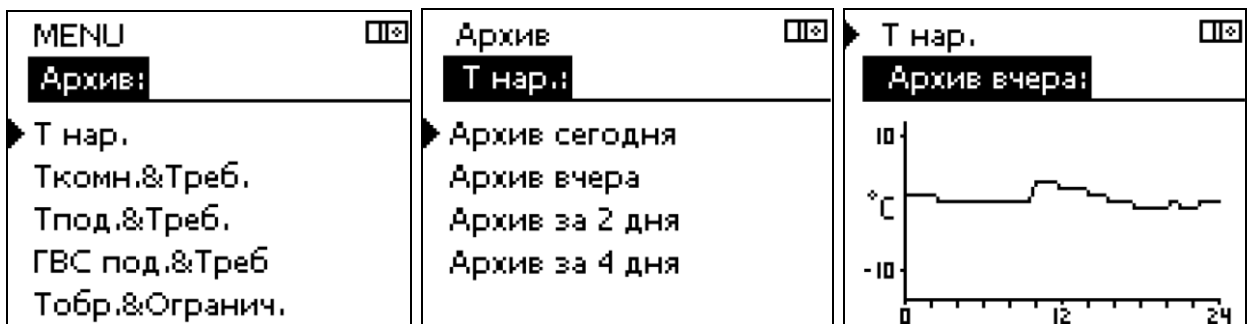


Рис. 16. Выбор журнала изменений температуры наружного воздуха

С другими важными функциями контроллера «ECL Comfort 310» можно ознакомиться в [4] или на сайте: <http://ru.heating.danfoss.com>.

Контрольные вопросы

1. Какое назначение теплового пункта?
2. Объясните, как определяются расходы теплоносителя для закрытых систем.
3. Расскажите, как осуществляется автоматизация тепловых пунктов.
4. Перечислите, какое оборудование входит в комплект поставки блочных тепловых пунктов.
5. Перечислите достоинства и недостатки блочных тепловых пунктов.
6. Объясните, в чем заключается техническое и теплогидравлическое обследование теплового пункта.
7. Используя чертежи установки описать схему подключения системы отопления в блочном тепловом пункте Центра "Системы"/"SYSTEMS"?
8. Зависимая или независимая схема присоединения системы отопления к тепловым сетям используется в лабораторном корпусе?
9. Построить графики изменения температур теплоносителей для теплообменника СО.
10. На схеме и на установке БТП показать 6 функциональных узлов теплового пункта (узел ввода тепловой сети; учёта теплопотребления; узел или отдельные устройства согласования давлений и ограничения расхода теплоносителя; присоединения системы вентиляции; приготовления горячей воды для системы ГВС; приготовления теплоносителя для систем отопления и вентиляции; подпитки).
11. На схеме и на установке БТП показать грязевик и сдвоенный насос. Описать назначение и принцип действия.
12. На схеме и на установке БТП показать датчик температуры наружного воздуха. Описать его назначение и принцип действия.
13. На схеме и на установке БТП показать предохранительный клапан. Описать его назначение и принцип действия.
14. На схеме и на установке БТП показать соленоидный клапан. Описать его назначение и принцип действия.
15. На схеме и на установке БТП показать реле давления (прессостат). Описать его назначение и принцип действия.

2. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ НА БТП

Лабораторная работа № 1

КОНТРОЛЬ РАСХОДА ВОДЫ И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В БТП

Цель работы - ознакомление с методами и способами контроля расхода теплоносителя и количества потребляемого тепла в БТП.

Теоретические основы. Здания, присоединяемые к сетям централизованного теплоснабжения, должны быть оборудованы устройствами коммерческого учёта потребляемой тепловой энергии [1]. Учёт теплопотребления необходим для определения стоимости тепловой энергии, израсходованной абонентом. Эту стоимость рассчитывают по показаниям прибора учёта, называемого тепловычислителем (ТВ). ТВ определяет количество потребленной энергии за установленный период времени на основании данных о массовом расходе и параметрах теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах.

В БТП здания Центра «SYSTEMS» имеются все необходимые приборы и устройства для учета потребляемой тепловой энергии. Рассмотрим их конструкцию и принципы работы.

Тепловычислитель. Узел учёта тепловой энергии должен оборудоваться теплосчетчиками, внесенными в Государственный реестр средств измерений Российской Федерации. Метрологические характеристики этих приборов (погрешность, диапазон измерения, межповерочный интервал и др.) должны быть удостоверены сертификатом Госстандарта РФ.

Основной функцией счётчика является измерение расхода (объёма) энергоносителя (вода), прошедшего по трубопроводу за время учета, и фиксирование этого количества в цифровой форме. Для формирования, хранения и регистрации информации используется устройства памяти, регистраторы, таймеры. Современные счётчики имеют в своём составе устройства, обеспечивающие возможность выполнения этих и некоторых других функций (защита от несанкционированного доступа, самодиагностика, представление результата измерения в различной форме, сигнализация о превышении предельных значений параметра), которые можно назвать дополнительными.

Для расчёта количества теплоты необходимо измерять расходы теплоносителя, температуры, давления и суммировать результаты расчёта во времени. Для обработки результатов измерения расхода теплоносителя и его параметров в составе теплосчётчика имеется вычислительное устройство, использование которого возможно также и для выполнения целого ряда дополнительных функций.

Учёт количества потребленной или произведённой тепловой энергии основан на измерениях изменения (разности) энтальпии некоего количества теплоносителя в процессе теплообмена при протекании через теплообменный контур. Основным выражением, лежащим в основе всех вычислений

независимо от типа системы теплоснабжения или теплопотребления, является следующее выражение:

$$Q = M \cdot (h_1 - h_2), \quad (1.1)$$

где Q – количество тепловой энергии, Вт;

M – количество теплоносителя, кг;

h_1 – удельная энтальпия (функция температуры и давления) теплоносителя в начальной точке теплообменного контура, Дж/кг

$$h_1 = c_p \cdot t_1;$$

h_2 – удельная энтальпия теплоносителя в конечной точке теплообменного контура, Дж/кг, определяется по формуле

$$h_2 = c_p \cdot t_2;$$

c_p – удельная теплоёмкость, Дж/кг·°С.

Выражение (1.1) представляет собой уравнение для расчёта количества тепловой энергии каналом теплоты (термин по ГОСТ 51649). Канал теплоты, включающий в себя один расходомер и две пары термометров и датчиков давления, составляет основу теплосчётчика.

Расходомеры. Известно много разных типов расходомеров и счётчиков количества протекающей воды. При выборе конкретного типа прибора следует руководствоваться несколькими рекомендациями:

1. Для теплопроводов большого диаметра (более 300 мм) наиболее применимы теплосчётчики с ультразвуковыми расходомерами.

2. Для потребителей наибольшее распространение получили электромагнитные расходомеры.

3. Для учёта подпитки, холодной и горячей воды обычно используются тахометрические водосчётчики.

4. Для учёта температуры в теплосчётчиках применяются специально подобранные пары термометров сопротивления.

5. Диаметры расходомеров подбираются таким образом, чтобы скорость теплоносителя в расходомере не превышала 2 – 3 м/сек.

6. При выборе конкретных типов приборов следует принимать во внимание наличие ремонтно-поверочной базы, собственный опыт эксплуатации имеющихся теплосчётчиков.

Поплавковые расходомеры. К поплавковым расходомерам постоянного перепада давления в первую очередь относятся ротаметры. В простейшем виде ротаметр (рис. 1.1, а) представляет собой вертикальную конусную стеклянную трубку 1, расширяющуюся кверху, внутри которой находится свободно перемещающийся вверх и вниз поплавок 2. На верхнем ободке поплавок имеют бороздки, которые обеспечивают вращение поплавка в потоке жидкости и его самоцентрирование.

Жидкость движется вверх по трубке, вынуждая поплавок подняться на определенную высоту и образовать такой кольцевой зазор между ним и стенками трубки, при котором силы, действующие на поплавок, уравновешиваются. Каждому значению расхода соответствует определенное положение поплавка.

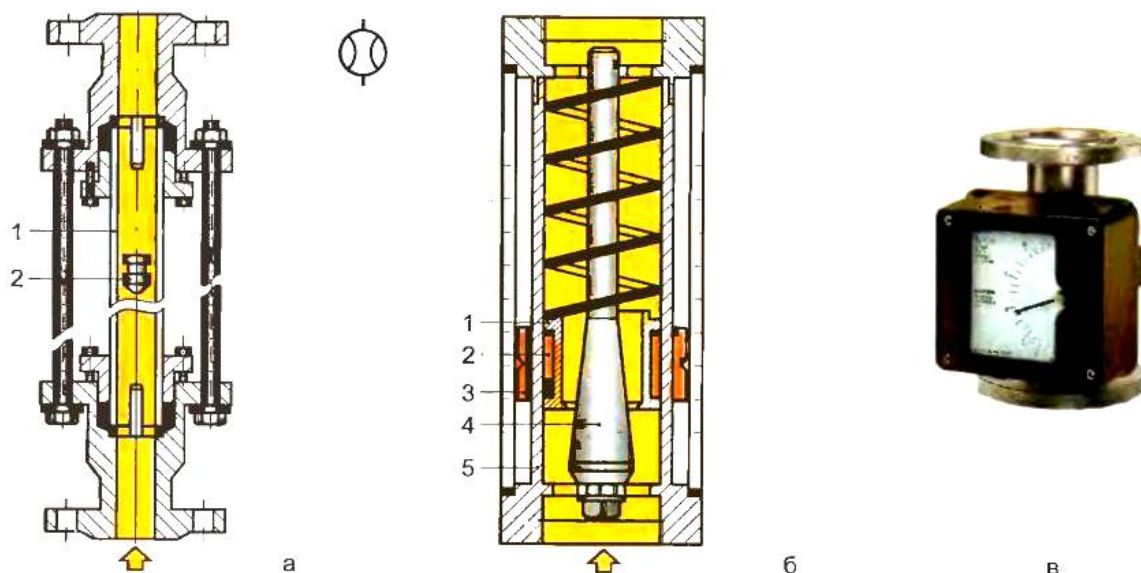


Рис. 1.1. Поплавковые расходомеры: *а* – ротаметр; *б* – с подпружиненным поплавком; *в* – с индикацией и выходом электросигнала (обозначения в тексте)

К основным преимуществам ротаметров можно отнести простоту конструкции, возможность измерения малых расходов, значительный диапазон измерения. Недостатком ротаметров является большая зависимость показаний от температурного изменения вязкости, особенно при малых расходах. На заводе-изготовителе ротаметры тарируют по воде или воздуху. Для применения ротаметров на других средах требуется индивидуальная градуировка.

Для замеров расходов жидкости, находящейся под более высоким давлением, применяют расходомеры в металлическом корпусе (рис. 1.1, *б*). Корпус 5 представляет собой прямооточную трубу с фланцами на концах, в которых крепится мерительный конус 4. Перемещающийся под воздействием измеряемого потока подпружиненный поплавок 1, снабжен кольцевым постоянным магнитом 2, взаимодействующим с наружным кольцевым магнитом 3. Положение поплавка 1, соответствующее определенному расходу жидкости, отслеживается по положению магнита 3, перемещающегося вдоль измерительной шкалы. Недостатком описанных выше расходомеров является отсутствие возможности записи показаний.

На рис. 1.1, *в* показан поплавковый расходомер, индикация результатов измерения в котором осуществляется непосредственно на шкале устройства. С помощью контактных переключателей или токового выхода результат измерения может быть предоставлен для дальнейшего использования.

Турбинные расходомеры. Принцип действия турбинных расходомеров основан на измерении числа оборотов крыльчатки (турбинки), которая вращается со скоростью, пропорциональной расходу жидкости через прибор. По конструктивному исполнению их подразделяют на две основные группы: крыльчатые (с тангенциальным подводом потока), в которых ось вращения крыльчатки перпендикулярна направлению движения жидкости, и

турбинные (с аксиальным подводом потока), у которых ось вращения параллельна направлению движения потока (рис. 1.2).

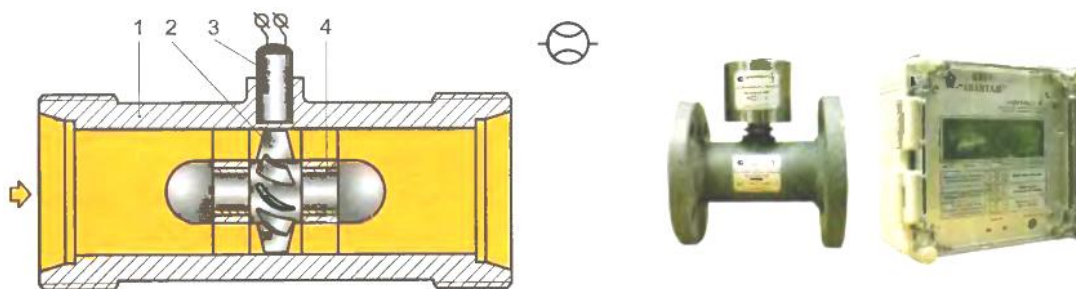


Рис. 1.2. Турбинный расходомер: 1 – корпус; 2 – турбинка; 3 – первичный преобразователь, генерирующий электросигнал; 4 – вал турбинки в обтекателе

Полученные сигналы передаются во вторичный прибор, где обрабатываются, приводятся к стандартизованному виду и при необходимости визуализируются в оцифрованном виде. В настоящее время именно турбинные расходомеры обеспечивают высокую точность измерений, недоступную другим приборам.

Особенности метода измерения:

- первичный преобразователь - не нуждается в питании;
- один из самых недорогих приборов;
- не требует протяженных прямолинейных участков трубопровода (как правило, это $L1 = 5Du$ до прибора и $L3 = 1Du$ после);
- не обеспечивает измерения мгновенного расхода;
- ограничения по верхнему пределу температуры воды;
- критичен к твердым и вязким примесям в воде, для надежной работы необходим фильтр на входе прибора (см. схему рис. 1.3).

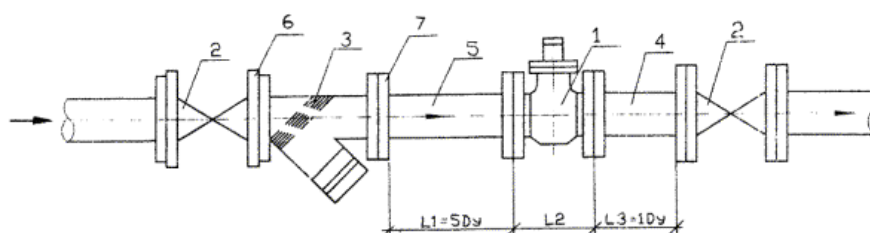


Рис. 1.3. Пример монтажа: 1 – счетчик воды; 2 – задвижка; 3 – фильтр магнитный; 4, 5 – патрубок; 6 – прокладка; 7 – фланец

Вихревые расходомеры. В основе принципа действия вихревых расходомеров лежит широко известное природное явление – образование вихрей за препятствием, стоящим на пути потока. При скоростях среды выше определенного предела вихри образуют регулярную дорожку, называемую «дорожкой Кармана». Частота образования вихрей при этом прямо пропорциональна скорости потока (рис. 1.4).

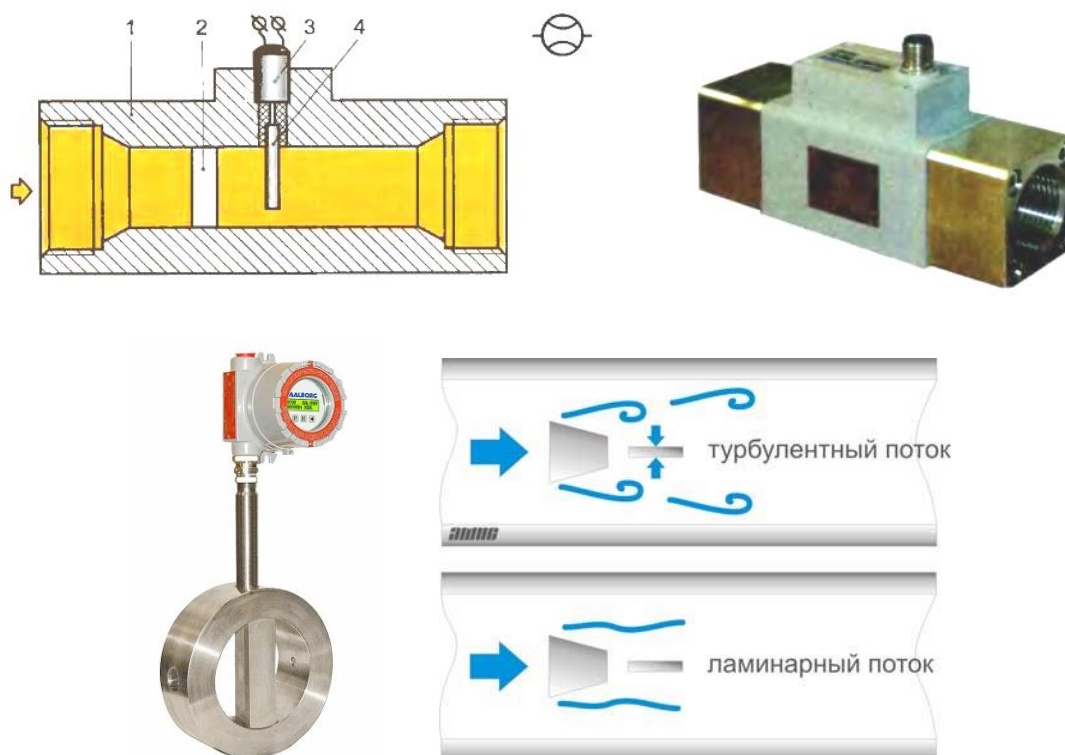


Рис. 1.4. Вихревой расходомер: 1 – корпус; 2 – вихробразователь; 3 – электрический датчик частотного сигнала; 4 – чувствительный элемент

Основные достоинства вихревых расходомеров: отсутствие подвижных деталей, что обуславливает высокую надежность и стабильность метрологических характеристик; линейный выходной сигнал; широкий динамический диапазон измерений; малую потерю давления. Вихревые расходомеры с хорошей точностью измеряют скорость потока независимо от типа среды.

К недостаткам следует отнести необходимость установки прибора на длинных (не менее восьми диаметров) прямолинейных участках трубопроводов. Наличие таких участков трубопровода до и после расходомера гарантирует исключение посторонних возмущений потока.

Ультразвуковые расходомеры. Существует ряд разновидностей ультразвукового метода измерения расхода: время-импульсный, доплеровский, корреляционный. Расход жидкости, протекающей через расходомер, вычисляется путем измерения либо времени распространения ультразвука в потоке, либо изменения частоты ультразвуковых колебаний (эффект Доплера).

Прибор состоит из двух датчиков и блока электроники (рис. 1.5). Датчики 1 врезают в трубопровод, либо крепят на внешней поверхности трубы 2, и подключают к блоку электроники с дисплеем. Датчики (ультразвуковые преобразователи), одновременно являясь и излучателями и приемниками, последовательно отправляют и принимают ультразвуковые сигналы. Сравнивая время прохождения сигналов «по» и «против»

направления течения потока, прибор автоматически вычисляет скорость течения жидкости.

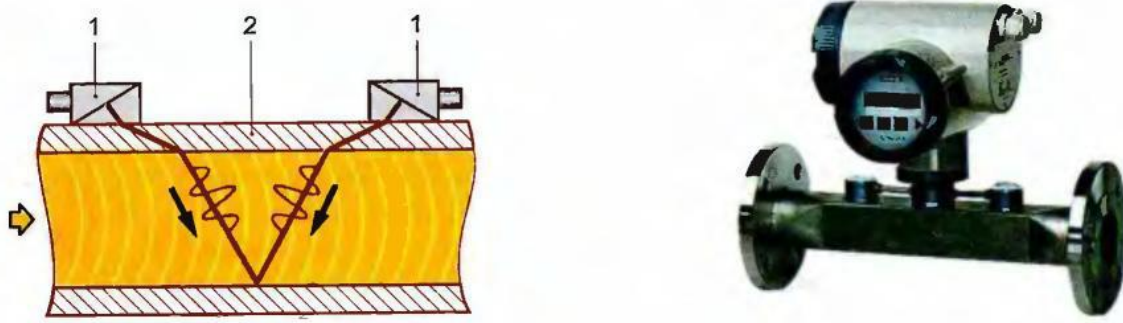


Рис. 1.5. Ультразвуковой расходомер: 1 – датчики; 2 – трубопровод

На основании произведенного замера и ранее занесенных данных о диаметре трубопровода, вторичный электронный преобразователь производит вычисление объемного расхода, которые в виде стандартизованного электрического сигнала подаются в систему управления, либо оцифровываются и выводятся на индикатор. Измерение расхода может производиться как при прямом, так и при обратном направлении потока.

Для измерения расхода жидкостей в напорных трубопроводах наиболее часто применяют врезные ультразвуковые расходомеры, поскольку их принято считать более точными по сравнению с расходомерами, которые устанавливаются на внешней поверхности трубопровода (с накладными датчиками). Однако в настоящее время расходомеры с накладными ультразвуковыми преобразователями находят все более широкое применение. Это обусловлено тем, что расходомеры с накладными датчиками не требуют остановки технологических процессов для врезки в трубопровод и перекрытия вентилей, что особо ценно при экспресс-измерениях.

Преимуществами расходомеров с накладными датчиками является и то, что при их установке не возникает падение давления в трубопроводе, нет влияния прибора на поток. Эти приборы отличает простота установки, переноса и замены датчиков. Недостатки – критичен к образованию слоев накипи на внутренней поверхности трубы и требует протяженных прямолинейных участков трубопровода ($L_1 = 10D_u$ и более до прибора и $L_3 = 5D_u$ после).

Электромагнитные расходомеры. При протекании воды в электромагнитном поле возникает электрическое поле, потенциал которого пропорционален скорости потока, а при определенных условиях может быть пропорционален и расходу даже при изменениях распределения скорости по сечению трубы. Этим определяется широкий диапазон и высокая точность электромагнитных преобразователей расхода (рис. 1.6).

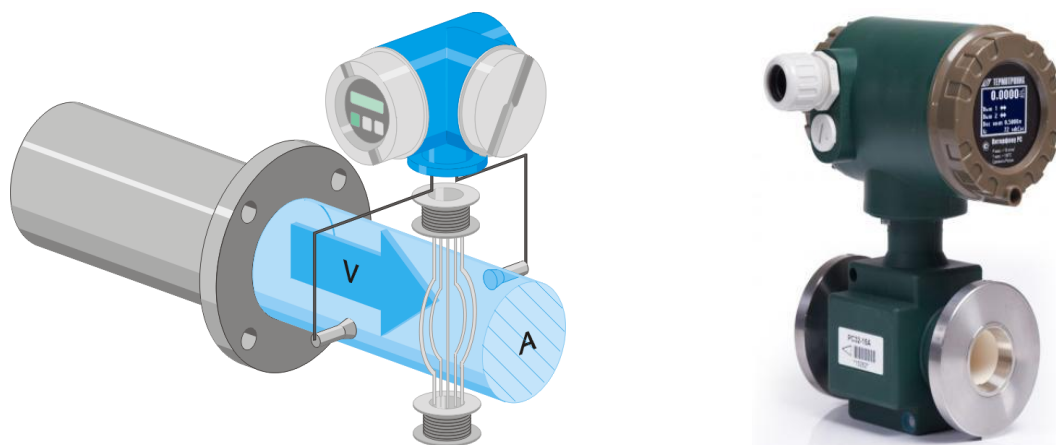


Рис. 1.6. Электромагнитный расходомер

Достоинства – не содержит элементов конструкции в потоке, не искажает профиля потока, не создает застойных зон и местных сопротивлений, обеспечивает измерение в широком диапазоне (до 1:100) измерения скорости потока. Недостатки – критичен к "замазыванию" внутренней поверхности трубы.

Порядок выполнения работы:

1. Определить тип расходомера, используемого в БТП.
2. Оценить правильность установки расходомера.
3. Снять данные о расходе теплоносителя G_1 и G_2 , л/ч.
4. Занести полученные данные в табл. 1.1.
5. Сравнить показания по тепловычислителю (см. шкаф управления) и результаты расчета по формуле (1.1).

Таблица 1.1

Параметр	Ед. изм	Значение
Начальное показание с расходомера	л	
Время снятия начального показания с расходомера		
Конечное показание с расходомера	л	
Время снятия конечного показания с расходомера		
Расход теплоносителя G_1	л/с	
Расход теплоносителя G_2	л/ч	
Температура горячего теплоносителя t_1	°С	
Температура обратного теплоносителя t_2	°С	
Расход тепловой энергии Q	Вт	

Контрольные вопросы:

1. Какова последовательность действий работы контроллера при определении потребляемой энергии?
2. Опишите механизм измерения расхода воды поплавковым расходомером.
3. Опишите работу турбинных и вихревых расходомеров.
4. Каков принцип работы ультразвукового расходомера.
5. Почему электромагнитные расходомеры показывают разные значения на подающей и обратной линиях при независимой схеме подключения БТП.

Лабораторная работа № 2
**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ
 ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА
 СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ**

Цели работы: 1. Экспериментально найти коэффициент теплопередачи в пластинчатом теплообменнике. 2. Рассчитать теоретический коэффициент теплопередачи, используя критериальные формулы для определения коэффициентов теплоотдачи от теплоносителей к стенкам теплообменного аппарата. 3. Сравнить экспериментальное и расчетное значения коэффициента теплопередачи в пластинчатом теплообменнике. 4. Сравнить экспериментальное и расчетное значения потери давления в теплообменнике.

Основы теории. В блочных тепловых пунктах используют пластинчатые теплообменники (ПТО) в разборном или сварном исполнении. Конструктивные особенности разборного теплообменника XGM050-ТО 10/30-Н, установленного в блоке Отопления, показаны на рис. 2.1.

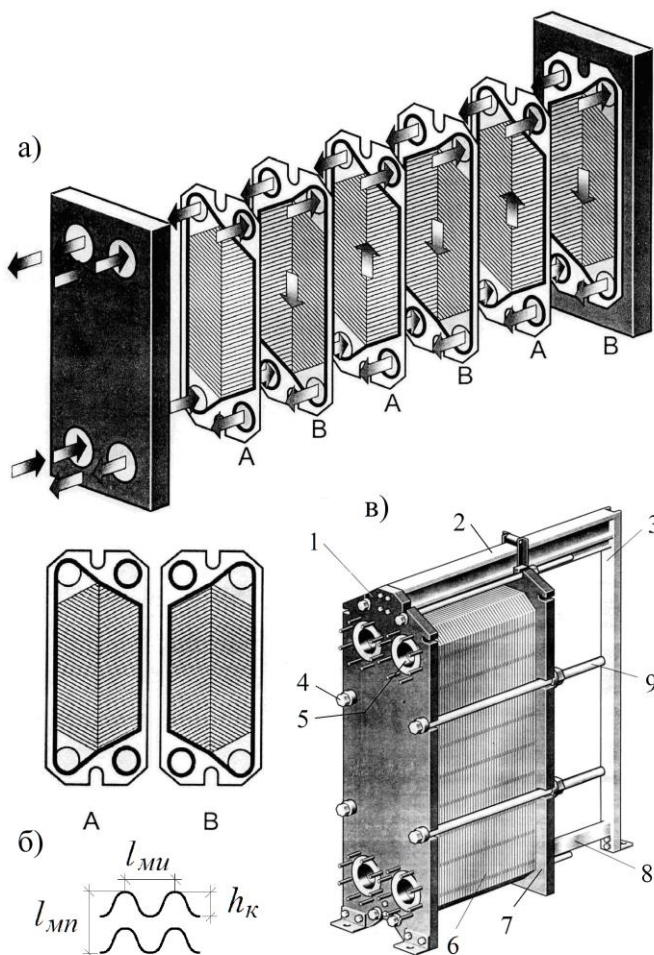


Рис. 2.1. Конструкция разборного пластинчатого теплообменника: а – схема движения теплоносителей; б – геометрия каналов между пластинами; в – теплообменник в сборе.

1 - опорная неподвижная пластина; 2 - несущий стержень для канальных пластин и прижимной пластины; 3 – опорная стойка; 4 – стягивающие болты, сжимающие канальные пластины вместе; 5 – отверстия с резьбовыми штуцерами в опорной пластине, через которые теплоноситель поступает в теплообменник; 6 - канальные пластины; 7 - подвижная прижимная пластина; 8 - направляющий стержень, удерживающий канальные пластины в ровном положении снизу; 9 – свободные концы болтов

ПТО состоит из набора гофрированных металлических пластин с отверстиями для прохода двух жидкостей (рис. 2.1,а). Пластина А – это пластина, которая устанавливается с "ёлочным" рисунком, направленным

вниз. Пластина B – это пластина, которая устанавливается с "ёлочным" рисунком, направленным вверх. Пластины (рис. 2.1, б) снабжены прокладками, которые уплотняют канал и направляют жидкости в другие каналы. Набор пластин собирается между опорной 1 и прижимной 7 пластинами и сжимается стягивающими болтами (рис. 2.1, в).

Теплообмен в ПТО осуществляется между горячей и нагреваемой водой, движущимися противоточно в каналах между гофрированными пластинами. Пластины имеют определенные характерные размеры профиля гофрированной поверхности (рис. 2.1, б): l_{mi} – расстояние между изгибами пластины; l_{mn} – размер ячейки, образованный двумя прилегающими пластинами; h_k – высота канавки. На гофрированных участках пластин поток жидкости искусственно турбулизируется из-за соударения пограничных слоев жидкости, образованных на соседних пластинах в местах изгиба.

По сравнению с другими теплообменниками ПТО обладают важными достоинствами, к которым следует отнести: малые габариты, малый вес, простой монтаж и обслуживание, большой коэффициент теплопередачи ($6000 - 7000 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$). Наряду с достоинствами ПТО имеют и недостатки: требуется замена прокладок между пластинами после чистки, наблюдается деформация пластин из-за разности давлений на поверхности пластин, более чувствительны к загрязнению теплоносителя, что резко снижает значение коэффициента теплопередачи теплообменника.

ПТО в блоке Отопления БТП Центра «SYSTEMS» собран из 30 пластин толщиной $\delta_{cm} = 0,4 \text{ мм}$, шириной $b = 254 \text{ мм}$ и площадью теплообменной поверхности $f_{nl} = 0,111 \text{ м}^2$ каждая. Количество каналов в пластине: для горячего теплоносителя $N_1 = 19$ шт., для нагреваемого теплоносителя $N_2 = 19$. Ширина каждого канала $l_{mi} = 95 \text{ мм}$, зазор между пластинами $\delta_{кан} = l_{mn} - h_k = 2,9 \text{ мм}$. Сталь марки AISI316, из которой выполнены пластины, имеет в рабочем интервале температур $20-95 \text{ }^\circ\text{C}$ теплопроводность $\lambda_{cm} = 15,2 \text{ Вт}/(\text{м}\times\text{К})$.

Теоретический коэффициент теплопередачи k $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ теплообменника по физическому смыслу k является *термической проводимостью* того пути, по которому тепло передаётся от горячего теплоносителя к нагреваемому. Вдоль этого пути обычно выделяются следующие термические сопротивления:

1) сопротивление при переходе тепла от массы (потока) первичного теплоносителя к поверхности пластины ($1/\alpha_1$, где α_1 - коэффициент теплоотдачи или термическая проводимость ламинарного пристенного слоя у поверхности пластины, контактирующей с горячим теплоносителем);

2) термическое сопротивление слоя загрязнений на стенке пластины (накипь, ржавчина) со стороны первичного теплоносителя r_1 ;

3) термическое сопротивление стенки пластины ($\frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}}$, δ_{cm} - толщина стенки, λ_{cm} - коэффициент теплопроводности материала пластины);

4) термическое сопротивление загрязнений на стенке со стороны второго (нагреваемого) теплоносителя r_1 ;

5) термическое сопротивление ламинарного слоя при переходе тепла от поверхности пластины к массе второго теплоносителя ($1/\alpha_2$, где α_2 - коэффициент теплоотдачи от стенки пластины к нагреваемому теплоносителю).

Общее сопротивление теплопередаче $R_{общ}$ равно сумме отдельных термических сопротивлений, так как тепловой поток проходит все сопротивления последовательно. Коэффициент теплопередачи k - величина, обратная общему сопротивлению теплопередаче:

$$k = \frac{1}{R_{общ}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \Sigma r_{загр} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (2.1)$$

$\Sigma r_{загр} = r_1 + r_2$, где r_i - термическое сопротивление слоя загрязнения со стороны i -того теплоносителя, определяемое по табл. 12.1.

Таблица 2.1

Термическая проводимость загрязнений стенок $1/r$

Теплоноситель		$1/r$, Вт/(м ² ×К)
Вода:	загрязненная	1400-1860
	среднего качества	1860-2900
	хорошего качества	2900-5800

Одной из основных проблем при решении уравнения (2.1) является определение коэффициентов теплоотдачи α , которые рассчитываются, в основном, из *критериальных соотношений*. Вид зависимости между критериями находится экспериментально для каждого вида теплообмена и приведен в справочной и специальной литературе.

В общем виде коэффициент теплоотдачи α является функцией большого числа переменных, которые могут быть связаны между собой критериями подобия:

$$\bar{\alpha} = \frac{Nu \cdot \lambda}{l}, \quad Nu = f(Re, Pr, \dots). \quad (2.2)$$

Здесь $Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}$, $Re = \frac{u \cdot d_{э}}{\nu}$, $Pr = \frac{c_p \cdot \mu}{\lambda}$ - критерии Нуссельта, Рейнольдса и Прандтля;

λ - коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); ν - кинематическая вязкость жидкости, м²/с; μ - коэффициент динамической вязкости, Па·с; u - скорость движения теплоносителя, м/с²; l - определяющий (характерный) размер канала с горячим и холодным теплоносителем, м

$$l = 2 \frac{\delta_{кан} \cdot b}{\delta_{кан} + b}$$

Значения теплофизических констант теплоносителей, входящих в критерии, выбираются при средней температуре того теплоносителя, для которого рассчитывается коэффициент теплоотдачи.

Конкретный вид уравнения зависит от режима движения, физических свойств теплоносителя, условий обтекания теплопередающей поверхности. В нашем случае коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 рассчитываются по критериальным формулам для вынужденного движения жидкости в щелевых каналах, образованных гофрированными пластинами для увеличения турбулизации течения. Экспериментально установлено, что критическое число Рейнольдса перехода от ламинарного режима течения к турбулентному здесь равно $Re_{кр}=50$. Поэтому средний коэффициент теплоотдачи рассчитывают по критериальным уравнениям в зависимости от режима течения теплоносителя:

– ламинарный режим ($Re \leq 50$)

$$Nu = 0,60 \cdot \varepsilon_t \cdot Re^{0,33} \cdot Pr^{0,33}; \quad (2.3)$$

– при турбулентном движении ($Re > 50$)

$$Nu = 0,135 \varepsilon_t \cdot Re^{0,73} \cdot Pr^{0,43}; \quad (2.4)$$

Поправку ε_t в формулах (2.3), (2.4), учитывающую зависимость физических свойств среды от температуры, рассчитывают по формуле:

$$\varepsilon_t = \left(\frac{Pr}{Pr_{cm}} \right)^{0,25},$$

где критерий Прандтля Pr принимают по справочным данным для текущей среды при средней температуре жидкости, а критерий Прандтля Pr_{cm} принимают по справочным данным для текущей среды при температуре стенки (см. табл. 2.2).

Таблица 2.2

t	$\nu \times 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$	$\lambda, \text{ Вт}/(\text{м К})$	$\rho, \text{ кг}/\text{м}^3$	Pr
0	1,7855	0,56226	999,86	13,3960
10	1,3062E-06	0,58218	999,71	9,4135
20	1,0034E-06	0,59971	998,21	6,9910
30	8.0082E-07	0,61516	995,66	5,4192
40	6,5809E-07	0,62875	992,23	4,3404
50	5,5347E-07	0,64063	988,06	3,5683
60	4,7437E-07	0,65091	983,22	2,9975
70	4,1308E-07	0,65970	977,79	2,5645
80	3,6464E-07	0,66707	971,81	2,2289
90	3,2571E-07	0,67309	965,33	1,9644
100	2,9399E-07	0,67781	958,36	1,7528

Фактическая скорость греющей и нагреваемой воды, $\text{м}/\text{с}$, определяется по формулам:

$$u_{gp} = \frac{G_{gp}}{3600 f_{gp} \rho_{gp}}; \quad u_n = \frac{G_n}{3600 f_n \rho_n}, \quad (2.5)$$

где ρ - плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$; f_{gp} , f_n - общее живое сечение каналов в пакете пластин по ходу греющей и нагреваемой воды м^2

$$f_{gp} = f_n = b \cdot (n - 1) \cdot \delta_{кан} / 2$$

G_{ep}, G_n – расход, кг/ч, соответственно греющей и нагреваемой воды:

$$G_{ep} = \frac{3,6 Q_o}{(t_1 - t_2) c_p}; \quad G_n = \frac{3,6 Q_o}{(t_{01} - t_{02}) c_p}. \quad (2.6)$$

Здесь Q_o - расчетная тепловая мощность ПТО, Вт; t_1 - температура греющей воды на входе в ПТО, °С; t_2 - температура греющей воды на выходе из ПТО, °С; t_{01} - температура нагреваемой воды на выходе из ПТО, °С; t_{02} - температура нагреваемой воды на входе в ПТО, °С.

Расчётные потери давления в теплообменнике Δp , кПа, определяют по формулам:

– для нагреваемой воды:

$$\Delta p_n = \varphi B (33 - 0,08 t_{cp}^n) v_n^{1,75} x; \quad (2.7)$$

– для греющей воды:

$$\Delta p_{ep} = \varphi B (33 - 0,08 t_{cp}^{ep}) v_{ep}^{1,75} x. \quad (2.8)$$

где φ - коэффициент, учитывающий накипеобразование, который для греющей воды равен 1.0, а для нагреваемой воды 1.5; B - коэффициент, зависящий от типа пластины ($B=4,5$); x - количество ходов в теплообменнике:

$$x = \frac{F + f_{nl}}{2 N f_{nl}}, \quad (2.9)$$

N – число каналов в пластине; f_{nl} – поверхность нагрева одной пластины, м².

Экспериментальный коэффициент теплопередачи теплообменника определяют решением системы двух основных уравнений:

– уравнение теплопередачи

$$Q = k F \Delta t, \quad (2.10)$$

- уравнение теплового баланса

$$Q = M_1 c_{p1} (t_1' - t_1'') = M_2 c_{p2} (t_2'' - t_2'), \quad (2.11)$$

где k – коэффициент теплопередачи, F – поверхность теплообмена в аппарате; Δt – средний температурный напор (средняя разность температур между горячим и холодным теплоносителями); M_1 и M_2 - массовые расходы теплоносителей, кг/с; c_{p1} и c_{p2} - массовые изобарные теплоемкости теплоносителей, Дж/кг×К.

В уравнении (2.11) индекс «1» обозначает, что данная величина относится к нагревающей (горячей) жидкости, а индекс «2» - к холодной (нагреваемой). Индекс « ' » соответствует теплоносителю на входе в теплообменник, а « '' » - на выходе из теплообменника.

Произведение $M \cdot c_p$ называют *водяным эквивалентом* и обозначают буквой W . Тогда из уравнения (2.11) следует, что

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{t_2'' - t_2'}{t_1' - t_1''}, \quad (2.12)$$

т.е. отношение изменений температур теплоносителей обратно пропорционально изменению их водяных эквивалентов.

Характер изменения температур теплоносителей вдоль поверхности теплообменного аппарата зависит от *схемы взаимного движения теплоносителей*. В пластинчатых теплообменных аппаратах движение жидкости осуществляется по двум основным схемам (рис. 2.2).

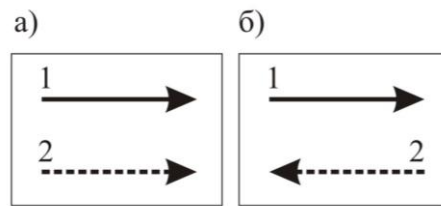


Рис. 2.2. Движение теплоносителей в теплообменнике: а – прямоток; б – противоток

Если направление движения горячего и холодного теплоносителей совпадают, то такое движение называется *прямотоком* (рис. 2.2,а). Если направление движения горячего и холодного теплоносителя противоположны, то такое движение называется *противотоком* (рис. 2.2,б).

При различных соотношениях между водяными эквивалентами и в зависимости от схемы течения теплоносителей получают различные *законы изменения температур теплоносителей*, как это показано на рис. 2.3 и 2.4.

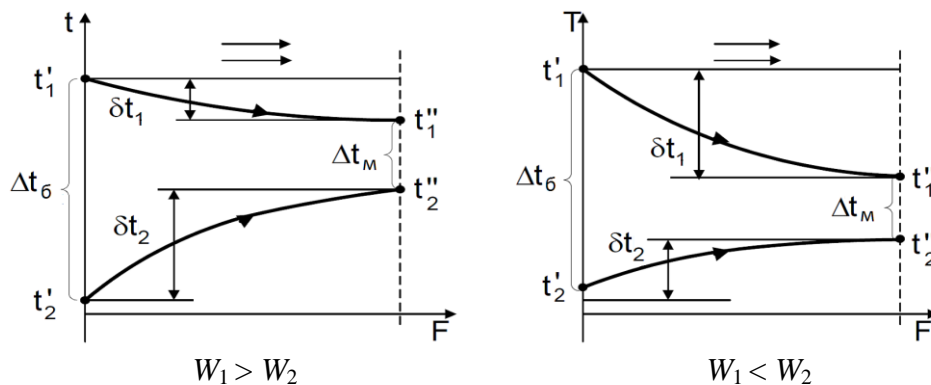


Рис. 2.3. Изменение температур горячего и холодного теплоносителей вдоль поверхности теплообмена при прямоточной схеме движения в зависимости от соотношения их водяных эквивалентов

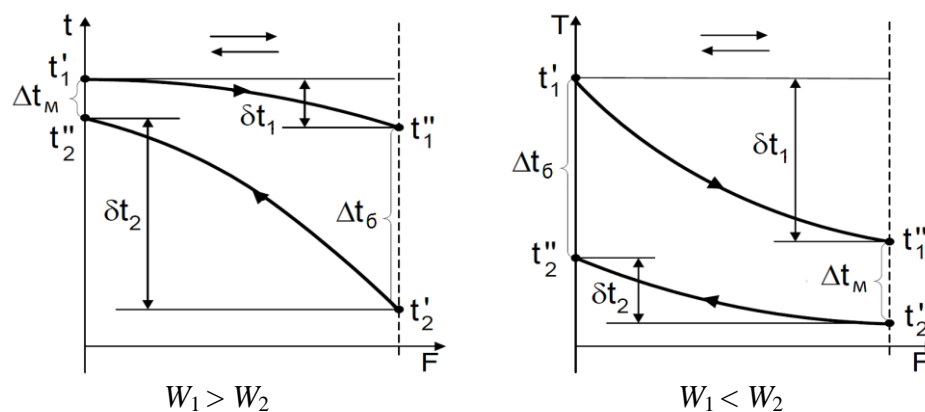


Рис. 2.4. Изменение температуры горячего и холодного теплоносителей вдоль поверхности теплообмена при противоточной схеме движения в зависимости от соотношения их водяных эквивалентов

При прямотоке конечная температура нагреваемого теплоносителя всегда меньше конечной температуры греющего теплоносителя. При противотоке конечная температура нагреваемого теплоносителя может быть и выше конечной температуры греющего теплоносителя.

Если обозначить разность температур теплоносителей на входе в теплообменник $\Delta t_{\bar{o}}$ и на выходе из теплообменника $\Delta t_{\bar{m}}$, то средний температурный напор $\Delta \bar{t}$ можно определить по формуле:

- для прямоточной схемы движения теплоносителей

$$\Delta \bar{t} = \frac{\Delta t_{\bar{o}} - \Delta t_{\bar{m}}}{\ln \frac{\Delta t_{\bar{o}}}{\Delta t_{\bar{m}}}} = \frac{(t'_1 - t'_2) - (t''_1 - t''_2)}{\ln \frac{t'_1 - t'_2}{t''_1 - t''_2}}; \quad (2.13)$$

- при противотоке

$$\Delta \bar{t} = \frac{\Delta t_{\bar{o}} - \Delta t_{\bar{m}}}{\ln \frac{\Delta t_{\bar{o}}}{\Delta t_{\bar{m}}}} = \frac{(t'_1 - t''_2) - (t''_1 - t'_2)}{\ln \frac{t'_1 - t''_2}{t''_1 - t'_2}}. \quad (2.14)$$

Вычисленный по формулам (2.13) и (2.14) температурный напор называют *среднеарифметическим температурным напором*.

Если температуры теплоносителей вдоль поверхности теплообмена изменяются незначительно ($\Delta t_{\bar{o}} / \Delta t_{\bar{m}} < 2$), то среднюю разность температур можно найти как среднеарифметическую величину:


$$\Delta \bar{t} = 0,5(\Delta t_{\bar{o}} + \Delta t_{\bar{m}}). \quad (2.15)$$

Среднеарифметический температурный напор всегда больше среднеарифметического.

Расчет Q_0 по уравнению (2.11) можно определить *экспериментальный коэффициент теплопередачи* ПТО по формуле:

$$k = \frac{Q_0}{F \Delta t_{cp}}. \quad (2.16)$$

Проведение опытов и анализ опытных данных. Схема стенда для испытания пластинчатого теплообменника приведена на рис. 4 и 5.

Переключить БТП в «ручной режим» (выставить символ  на дисплее контроллера). Установить начальное положение рукоятки на клапане 4 (ПОЛНОСТЬЮ ОТКРЫТО).

Расход греющего теплоносителя $G_{гр}$ перед ТПО определяется по показаниям расходомера 12, установленного на линии теплоносителя из сети (рис. 4) при отключенном блоке ГВС. Постоянство расхода воды в системе отопления обеспечивается неизменным уровнем воды в закрытом расширительном баке. Испытания теплообменника проводятся только при установившемся режиме.

Определив экспериментальные значения для греющего и нагреваемого теплоносителей $t_{вх}$, $t_{вых}$, рассчитывают коэффициент теплопередачи k

теплообменника, а также потери давления в ПТО по нагреваемой и греющей воде.

Измерения проводятся при пяти значениях расхода теплоносителя через теплообменник, который устанавливается клапаном 4.

Полученные значения k сравниваются с расчетными значениями и паспортными данными теплообменника. Расчетные значения перепада давления Δp сравниваются с результатами измерений по манометрам на ПТО.

Результаты измерений и вычислений заносятся в таблицу 2.3 и представляются в виде графика $k = f(v_{zp})$.

Таблица 2.3

№ опыта	G_{zp} , кг/ч	G_n , кг/ч	$t_{вх}^n$, °C	$t_{вых}^n$, °C	$t_{вх}^{zp}$, °C	$t_{вых}^{zp}$, °C	k , Вт/(м ² К)	v_{zp} , м/с	Δp_n , кПа	Δp_{zp} , кПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12

Контрольные вопросы

1. Приведите классификацию теплообменных аппаратов по принципу их действия.
2. Дайте определение понятий «теплопередача» и «теплоотдача», «коэффициент теплоотдачи» и «коэффициента теплопередачи». Укажите их размерности.
3. Дайте характеристику понятий «определяющий размер», «определяющая температура», «определяющая скорость», «водяной эквивалент».
4. Изобразите схематично графики изменения температур теплоносителей вдоль поверхности теплообмена исследованного теплообменника.
5. Опишите методику расчета средней разности температур в теплообменнике.
6. Поясните принцип работы и назначение элементов экспериментальной установки, измерительных приборов и дайте характеристику измеряемых величин, указав единицы их измерения.
7. Поясните методику экспериментального определения коэффициента теплопередачи.
8. Какова конструкция и принцип действия ПТО. Перечислите и объясните достоинства и недостатки ПТО.
9. Какие факторы влияют на теплоотдачу теплообменника?
10. С какой целью пластины теплообменника делают гофрированными?
11. Термическое сопротивление какой стадии теплопередачи оказалось лимитирующим в выполненной Вами работе?
12. Каково максимальное значение (в теоретическом пределе) коэффициента теплопередачи для данного теплообменника?
13. Изменится ли коэффициент теплопередачи в исследуемом аппарате, если он будет иметь не 30, а 20 пластин (при прочих равных условиях)?

ИСПЫТАНИЯ ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА ГВС

Цель работы: экспериментально определить КПД паяного пластинчатого теплообменника, установленного в блоке ГВС БТП, и его зависимость от температурного напора.

Основы теории. В здании Центра «Системы»/»SYSTEMS» горячая вода для системы ГВС может быть получена в электрическом водонагревателе «Thermex», либо приготавливаться централизованно в блочном тепловом пункте.

Выбор схемы присоединения системы централизованного горячего водоснабжения определяется, прежде всего, принятой при проектировании источника теплоснабжения *системой теплоснабжения* – открытой или закрытой. В закрытой системе нагрев воды предусматривается через поверхностные подогреватели по одной из следующих принципиальных схем:

- с последовательным присоединением водоподогревателя;
- с параллельным присоединением водоподогревателя;
- с двухступенчатым смешанным присоединением водоподогревателей I и II ступени;
- с двухступенчатым последовательным присоединением водоподогревателей I и II ступени.

Выбор схемы присоединения подогревателей горячего водоснабжения также определяется принятым температурным графиком и удельным расходом горячей воды. Основное требование при выборе схемы подогревателей горячего водоснабжения – соответствие между подачей тепла на отопление и теплопотерями зданий. Второе требование – обеспечение минимального расхода сетевой воды, позволяющее иметь минимальные диаметры трубопроводов и минимальный расход электроэнергии на перекачку теплоносителя.

Первое требование лучше всего удовлетворяется при присоединении абонентских установок по параллельной схеме (рис. 3.1), когда поддерживается постоянный расход сетевой воды на отопительные установки. Кроме того, по этой схеме система отопления получает постоянный расход сетевой воды, независимый от переменного расхода сетевой воды на горячее водоснабжение.

Выбор одно- или двухступенчатой схемы производится в зависимости от соотношения максимальной тепловой нагрузки на систему ГВС Q_{hmax} к расчётной тепловой мощности системы отопления $Q_{o,max}$. Согласно п.3.14 [8]

«в закрытых системах теплоснабжения при соотношении $0,2 \geq \frac{Q_{hmax}}{Q_{o,max}} \geq 1,0$

должна применяться одноступенчатая схема».

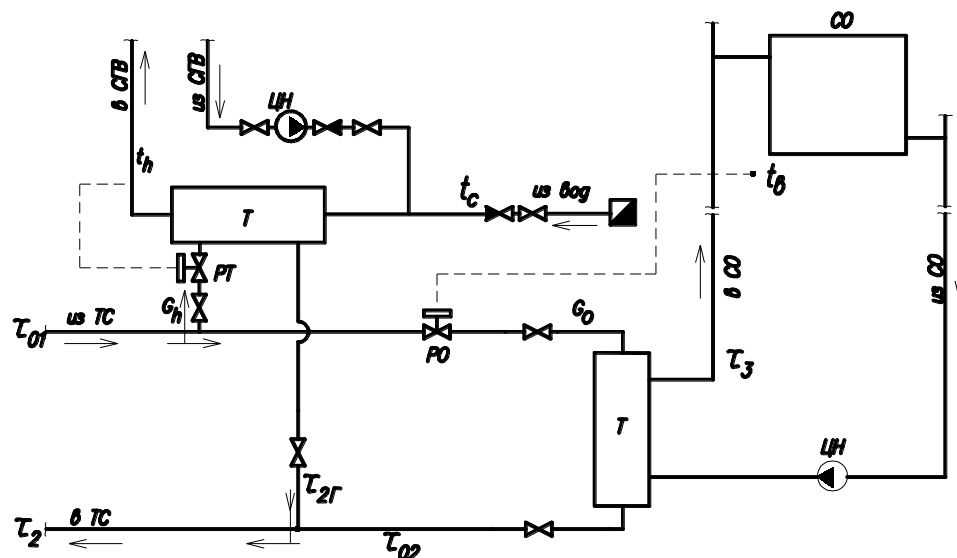


Рис. 3.1. Параллельная схема присоединения систем горячего водоснабжения и отопления к теплосети

ЦН – циркуляционный насос; Т – водоводяной теплообменник; РТ – регулятор температуры; РО – регулятор отопления; t_h – расчётная температура горячей воды после теплообменника, идущей в систему ГВС; t_a – расчётная температура воздуха в контрольном помещении

В параллельной одноступенчатой схеме при соблюдении теплогидравлического режима теплосети работа системы горячего водоснабжения не влияет на систему отопления. Сетевая вода поступает в теплообменник системы горячего водоснабжения и возвращается в обратный трубопровод теплосети. Одноступенчатые схемы подключения систем горячего водоснабжения имеют преимущество в системе теплоснабжения небольшого радиуса действия. С современных позиций энергосбережения параллельная одноступенчатая схема, по сравнению с двухступенчатой, обеспечивает меньшие гидравлические потери, меньшие теплотери. И, что немаловажно, она гораздо проще двухступенчатых.

При расчёте графиков расходов тепла, сетевой воды и температур принимают рабочую разность температур на холодном конце противоточного теплообменного аппарата равной $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, т.е. при расчётной температуре водопроводной воды $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ температура греющей воды после теплообменника составляет $\tau_{2r} \approx 15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Расход нагреваемой воды при максимальной нагрузке:

$$G_{\text{г.в.}}^{\text{max}} = \frac{Q_{\text{г}}^h \cdot 3600}{c_p \cdot (t_h - t_c)} \quad (3.1)$$

где Q_T^h – среднечасовой расход теплоты в системе горячего водоснабжения с учётом потерь тепла трубопроводами в кВт;

t_h – температура горячей воды, $^{\circ}\text{C}$; $t_h = 65\text{ }^{\circ}\text{C}$;

t_c – температура холодной воды, $^{\circ}\text{C}$, принимается $t_c = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Расход сетевой воды на горячее водоснабжение:

$$G_{h \max} = \frac{Q_o^h \cdot 3600}{c_p (\tau_{01, i \dot{\epsilon}} - \tau_{2\bar{A}, i \dot{\epsilon}})}, \quad \hat{e}\tilde{a} / \div \quad (3.2)$$

где $\tau_{2\bar{A}, i \dot{\epsilon}}$ – температура теплоносителя после теплообменника, в точке излома температурного графика, $\tau_{2\bar{A}, i \dot{\epsilon}} \approx 30 \text{ }^\circ\text{C}$.

Точка излома температурного графика t_{nu} делит отопительный период на два диапазона. Излом температурного графика обусловлен необходимостью нагрева водопроводной воды в теплообменнике до $60 - 65^\circ\text{C}$. Поэтому на температурном графике возникает так называемая весенне-летняя срезка или "излом" температуры подающей линии на уровне $70 \text{ }^\circ\text{C}$ для закрытых систем теплоснабжения.

Температуру наружного воздуха, соответствующую точке излома температурного графика, определяют аналитическим методом

$$\tau_{01, i \dot{\epsilon}} = t_i + \Delta t \cdot \bar{Q}_o^{0,8} + \left(\delta\tau - \frac{\theta}{2}\right) \bar{Q}_o \quad (3.3)$$

где: t_i - температура воздуха внутри отапливаемого помещения,

$$t_i = 20^\circ\text{C};$$

Δt - температурный напор нагревательного прибора, $^\circ\text{C}$.

$$\Delta t = \frac{\tau_3 + \tau_{02}}{2} - t_i, \quad ^\circ\text{C}, \quad (3.4)$$

$\tau_3 = 95$, $\tau_{02} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ - температура воды в местной системе в подающей и обратной линиях при температуре наружного воздуха, расчетной для отопления t_o .

$\delta\tau, \theta$ - перепад температур сетевой воды в наружной тепловой сети, в местной системе при t_o .

$$\delta\tau = \tau_{01} - \tau_{02}; \quad (3.5)$$

$$\theta = \tau_3 - \tau_{02}, \quad ^\circ\text{C}. \quad (3.6)$$

Относительный расход теплоты на отопление при t_{nu} :

$$\bar{Q}_{i \dot{\epsilon}} = \frac{t_i - t_{i \dot{\epsilon}}}{t_i - t_{\hat{i}}}. \quad (3.7)$$

Уравнение (3.3) решают методом подбора, задаваясь значением $\bar{Q}_{i \dot{\epsilon}} = 0,3 \div 0,5$. При найденном значении определяют:

$$t_{i \dot{\epsilon}} = t_i - \bar{Q}_{i \dot{\epsilon}} \cdot (t_i - t_{\hat{i}}), \quad ^\circ\text{C}. \quad (3.8)$$

Физика процессов передачи тепла в паяном пластинчатом теплообменнике аналогична физике этих процессов в других рекуперативных аппаратах. Величина тепловой нагрузки теплообменника по горячему и по

холодному теплоносителю одинаковы с поправкой на величину КПД теплообменника, учитывающую потери тепла в окружающую среду:

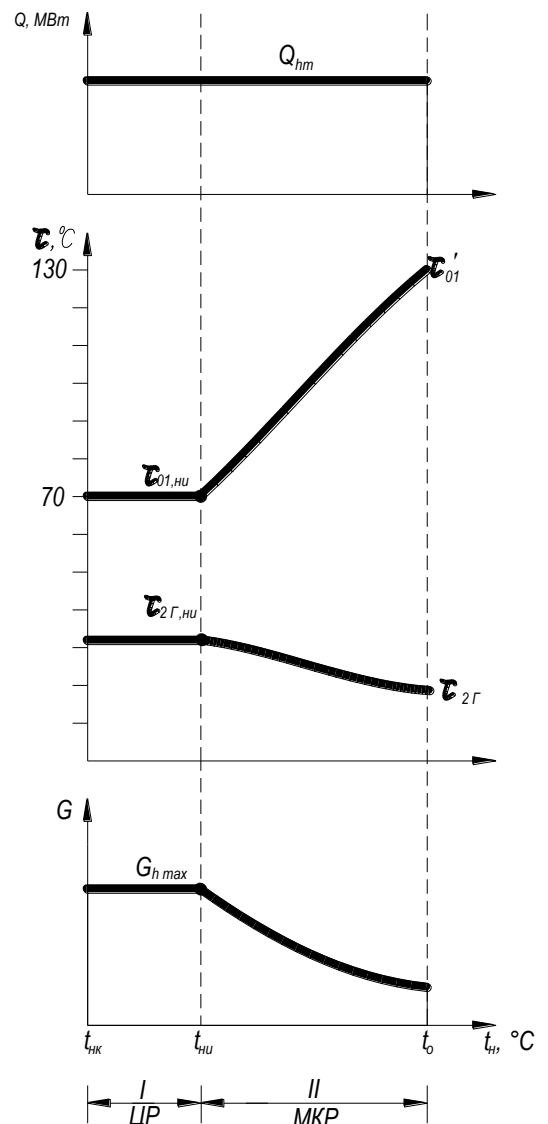
$$\begin{aligned}
 Q_{\bar{a}} &= c_p G_{h \max} (\tau_{01, i \bar{e}} - \tau_{2\bar{A}, i \bar{e}}) \\
 Q_{\bar{o}} &= c_p G_{\bar{a}, \bar{a}, \max} (t_h - t_{\bar{n}}) \\
 \eta_{TO} &= \frac{Q_{\bar{o}}}{Q_x}.
 \end{aligned}
 \tag{3.9}$$

Из практики расчетов следует, что КПД зависит не только от типа теплообменника, но и от температур теплоносителей, при этом, чем выше температуры, тем ниже значение КПД. Величина КПД таких теплообменников, работающих при температурах до 100°C очень высока и должна составлять порядка (0.99 – 1).

Расчетное значение тепловой нагрузки теплообменника можно принять как среднее между нагрузками по горячей и холодной сторонам:

$$Q = 0.5 \cdot (Q_z + Q_x).
 \tag{3.10}$$


Рис. 3.2. Графики расходов тепла и сетевой воды, температур при параллельной схеме включения подогревателей



Описание установки. На лабораторном стенде (см. рис. 6, 7) установлен рекуперативный водо-водяной пластинчатый теплообменный аппарат типа ХВ06Н. Горячая и холодная вода движутся по каналам между пластинами по противоточной схеме. Толщина канала $\delta_{кан} = 1,25$ мм, толщина стенки 0,5 мм. Высота канала $H = 172$ мм. Ширина канала $b = 94$ мм. Количество пластин $n = 8$. Площадь поверхности теплообмена $F = 0,162$ м². Материал пластин – сталь AISI316.

В теплообменном аппарате 10 холодная вода получает теплоту от греющей воды и нагревается. Нагретая вода с температурой t_h поступает в систему ГВС на смесительные водоразборные краны умывальников, которые выступают в роли потребителя теплоты.

Для регулирования расхода греющей воды на входе в водонагреватель 2 установлен клапан 4 с приводом 5. Расход греющего теплоносителя $G_{гр}$ перед ТПО определяется по показаниям расходомера 12, установленного на линии теплоносителя из сети (рис. 4) при отключённом блоке Отопления. Расход холодной воды определяют по показаниям импульсного счетчика, установленного на водомерном узле Центра, и проверяют по расходомеру 18 (рис.7). Изменить расход холодной воды можно при помощи вентиля 12.

При проведении лабораторной работы на теплообменном аппарате измеряют температуры на входе и выходе горячего и холодного теплоносителей при различном положении клапана 4 на греющем трубопроводе. Для этого необходимо переключить БТП в «ручной режим» (выставить символ  на дисплее контроллера) и отключить рециркуляционный насос 14.

Порядок выполнения работы.

1. Ознакомиться со схемой лабораторной установки и расположением приборов.

2. Открыть водоразборные краны в режиме потребления горячей воды.

3. Переключить БТП в «ручной режим». Установить начальное положение рукоятки на клапане 4 (ПОЛНОСТЬЮ ОТКРЫТО).

3. Измерить расходы горячего теплоносителя (по расходомеру 12) и холодной воды (по счетчику на водомерном узле) и время проведения опыта.

4. Измерить температуры теплоносителей по датчикам. Результаты измерений занести в табл. 3.1.

5. Определить величину тепловой нагрузки теплообменника по горячему и по холодному теплоносителю.

6. Определить величину КПД теплообменника, учитывающую потери тепла в окружающую среду.

7. Выполнить измерения при нескольких положениях регулирующего клапана 4.

Результаты измерений и вычислений заносятся в таблицу 3.1 и представляются в виде графика $\eta = f(\Delta t)$.

Таблица 3.1

№, п/п	Расход теплоносителя, м ³ /с /температура, °С		Количество теплоты, кДж		КПД, η	Разность температур в теплообменнике, °С		Средний логариф- мический напор, Δt °С
	горячего	холодного	получен.	отданной		на входе	на выходе	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Контрольные вопросы

1. Поясните физическую сущность переноса тепла от горячего теплоносителя к холодному в ПТО.
2. Может ли температура горячего теплоносителя на выходе из теплообменника быть меньше температуры холодного теплоносителя на выходе из теплообменника?
3. Дайте характеристику паянному пластинчатому теплообменнику.
4. Проведите анализ факторов, влияющих на оптимизацию процесса теплопередачи в теплообменнике.
5. Каковы режимы течения горячего и холодного теплоносителей в Вашем эксперименте.
6. Опишите алгоритм расчета коэффициентов теплоотдачи от горячего теплоносителя к стенке и от стенки к холодному теплоносителю.
7. Опишите метод расчета расходов и скорости движения теплоносителей в теплообменном аппарате.
8. Открытая или закрытая система централизованного теплоснабжения используется в лабораторном корпусе?
9. Аргументируйте выбор одно- или двухступенчатой схемы подключения ГВС.
10. Постройте графики расходов тепла, температур и сетевой воды
11. Покажите циркуляционный насос на схеме и на установке БТП. Опишите его назначение работу.
12. Каким образом осуществляется автоматическое регулирование отпуска тепловой энергии на ГВС?
13. Как изменить температуру вторичного теплоносителя в системе ГВС?

Лабораторная работа №4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КПД ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДА

Цель работы: определение эффективности изоляции трубопровода системы теплоснабжения.

Основы теории. При перемещении теплоносителя по трубам, проложенным в неотапливаемых помещениях, может значительно понизиться температура горячей воды (водяное отопление) и бесполезно сконденсироваться часть пара (паровое отопление). Для уменьшения бесполезных теплопотерь отопительные трубы в неотапливаемых помещениях покрывают тепловой изоляцией. В тепловых пунктах теплоизоляцию применяют не только для уменьшения потерь тепла трубопроводами, но для недопущения высокой температуры на поверхности теплопроводов и оборудования.

При выборе теплоизоляционного материала применяют материалы с **низкой теплопроводностью**, что обеспечивает минимальную толщину изоляции. СНиП в диапазоне от 20°С до 300°С рекомендует применять теплоизоляционные материалы и изделия со средней плотностью не более 200 кг/м³ и теплопроводностью при температуре 25°С не более 0,05 Вт/м·К.

Важную роль в обеспечении эффективности и надежности теплоизоляционных конструкций играет защитное **покрытие**. Например, применяя покрытия со степенью черноты 0,9 и более (коэффициент излучения 5,0 Вт/м²·К) в конструкциях, которые служат для обеспечения безопасных условий работы обслуживающего персонала, можно значительно уменьшить толщину изоляции. Такими качествами обладают штукатурные покрытия, покрытия из стеклопластика рулонного, металлические листы, окрашенные различными красками, кроме алюминиевой. Применение теплоизоляционных изделий из вспененного каучука или пенополиэтилена достаточно эффективно без защитного покрытия.

При выборе теплоизоляционных материалов и защитных покрытий следует учитывать **совместимость элементов** теплоизоляционной конструкции между собой и материалом изолируемого трубопровода, а также с агрессивными факторами окружающей среды. Например, не допускается применение металлопласта с полимерным покрытием в условиях прямого воздействия солнечной радиации или применение покрытий из алюминиевых сплавов без защиты от коррозии при соприкосновении с изделиями и деталями теплоизоляционных конструкций, изготовленных из углеродистой стали (сетка, проволочные кольца, штыри, опорные кольца и т.п.) и цементосодержащей штукатуркой. Нежелателен контакт известково-кремнеземистых изделий с поверхностью алюминиевого покрытия из-за возможности возникновения щелочной коррозии.

Для тепловой изоляции трубопроводов блочного теплового пункта в Центре «SYSTEMS» используются изделия теплоизоляционные K-FLEX ST из вспененного каучука $\delta_{из} = 0.13$ мм, $\lambda_{из} = 0.038$ Вт/м·°С (рис. 4.1). Для

изготовления такой теплоизоляции применяют композиции на основе синтетического каучука с добавками вспенивающего агента, пластификаторов, ускорителей, наполнителей и антипиренов путем экструзии с последующей вулканизацией и вспениванием в реакторе (печи).



Рис. 4.1. Внешний вид трубной изоляции K-FLEX ST

Изделия K-FLEX характеризуются низким значением коэффициента теплопроводности, закрытой пористостью, водонепроницаемостью и предназначены для тепловой изоляции поверхностей с температурой от $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ (до $+180\text{ }^{\circ}\text{C}$ при кратковременном воздействии – 24 часа) в зависимости от марки. Теплоизоляционные изделия K-FLEX обладают высокой стойкостью к атмосферным воздействиям, влиянию ультрафиолетового излучения, хорошей стойкостью к жирам и маслам, нетоксичны и безопасны для окружающей среды (в процессе эксплуатации не выделяют вредных и неприятно пахнущих веществ), группа горючести Г1 (слабо горючие).

Условное обозначение изделий (рис. 4.2) состоит из указания на вид изделия, слов «K-FLEX», обозначения марки, обозначения исполнения, размера по толщине в миллиметрах, символа «x», размера по внутреннему диаметру в миллиметрах (для трубок) или размера по ширине в миллиметрах (для рулонов, пластин и лент), символа «-», размера по длине в метрах, обозначения вида покрытия и обозначения цвета покрытия.

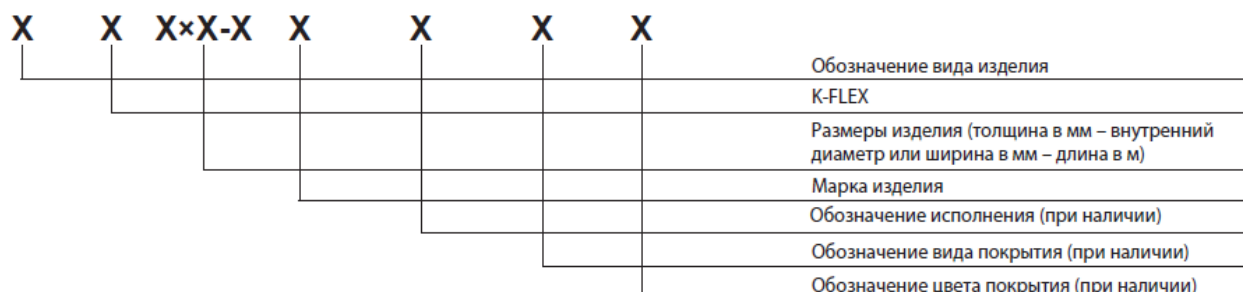


Рис. 4.2. Обозначения тепловой изоляции K-FLEX при заказе

Пример записи условного обозначения теплоизоляционного изделия K-FLEX из вспененного каучука марки ST в виде трубки с толщиной стенки 9 мм, внутренним диаметром 28 мм, длиной 2 м при заказе и в другой

документации: *Tube K-FLEX 9x28-2 ST*. То же, для изделия в виде рулона в исполнении AD с покрытием IN CLAD черного цвета толщиной 32 мм, шириной 1000 мм, длиной 6 м: *Roll K-FLEX 32x1000-6 ST AD IN CLAD Black*.

Расчёт тепловой изоляции для трубопроводов теплоснабжения, проложенных в помещениях, согласно [7] проводят с несколькими целями:

1. Для минимизации тепловых потерь в окружающую среду (по нормированной плотности теплового потока).
2. Для предохранения от ожогов (по заданной температуре на поверхности).

Толщину слоя тепловой изоляции $\delta_{из} = 0.5(d_{нар} - d_{вн})$ определяют исходя из его термического сопротивления

$$R_{из} = \frac{1}{2\pi\lambda_{из}} \ln \frac{d_{нар}}{d_{вн}}, \quad (4.1)$$

где $d_{нар}$, $d_{вн}$ – наружный и внутренний диаметр изоляции, м; $\lambda_{из}$ – коэффициент теплопроводности материала изоляции, Вт/м·°С.

Термическое сопротивление теплоизоляции $R_{из}$ должно соответствовать допустимому значению $R_{из}^{дон}$ или рекомендуемой теплоотдаче с поверхности труб q_{req} . Так, величина $R_{из}^{дон}$ для систем отопления должна быть не менее 0.86 м²·°С/Вт для труб $d_y \leq 25$ мм и 1.22 м²·°С/Вт для труб $d_y > 25$ мм.

Качество тепловой изоляции трубопровода оценивается коэффициентом полезного действия (коэффициентом эффективности):

$$\eta_{из} = \frac{q_{неиз} - q_{из}}{q_{из}}, \quad (4.2)$$

где $q_{неиз}$ и $q_{из}$ – теплотери 1 погонным метром труб с неизолированной и изолированной поверхностью, соответственно, Вт/м. Коэффициент эффективности изоляционных конструкций трубопроводов отопления находится обычно в пределах 0,85÷0,95.

Теплотери трубопровода с изолированной поверхностью определяются по формуле:

$$q_{из} = cG(t_1 - t_2)/L, \quad \text{Вт/м}. \quad (4.3)$$

где c – удельная теплоемкость теплоносителя, Дж/кг·°С; G – расход теплоносителя, кг/с; L – длина изолированного участка трубы, м; t_1 и t_2 – температуры в начале и конце рассматриваемого участка трубы, °С.

Значения тепловых потерь неизолированным теплопроводом $q_{i\grave{a}\grave{e}c}$ принимаются из табл. 4.1, учитывая, что средний температурный напор определяется по формуле:

$$\Delta t = \frac{t_1 - t_2}{2} - t_a.$$

где t_a – температура окружающего воздуха в помещении, °С.

Таблица 4.1

Удельная теплоотдача 1 м неизолированных труб, Вт/м

Средний температурный напор, Δt °С	Теплоотдача q , Вт/м, при d_y , мм, труб								
	стальных водогазопроводных					электросварных			
	15	20	95	32	40	50	70	80	109
Горизонтальные трубы									
30	29	35	41	52	58	66	87	102	116
40	40	52	58	71	81	93	120	133	157
50	46	64	79	93	105	122	155	176	207
60	65	81	ПО	129	146	170	218	222	250
70	79	99	122	142	163	189	267	272	319
80	94	117	146	172	194	228	292	331	386
90	112	137	171	201	227	266	343	386	455
100	128	157	197	233	252	308	420	449	525
Вертикальные трубы									
30	17	21	33	40	49	57	77	88	108
40	23	33	44	56	64	78	107	122	148
50	35	47	61	78	88	104	142	162	195
60	49	62	79	99	ПО	134	180	209	250
70	58	77	100	121	139	169	221	255	306
80	76	93	106	145	168	203	261	308	373
90	87	110	141	274	197	252	311	364	441
100	100	126	155	203	229	281	360	424	513

Проведение опытов и обработка опытных данных. В опытах определяются потери тепла трубопровода с изолированной поверхностью по формуле (4.3).

Расход теплоносителя, протекающего по подающему трубопроводу, определяется по данным расходомера 12 (см. рис. 8). Длина трубопровода L принимается из плана и разреза БТП по рис. 2. Температуры в начале t_1 и конце t_2 рассматриваемого участка фиксируются термометрами 10 и 6. Показания расходомеров и измерителей температуры (три замера через 5 мин.) записываются в табл. 4.2.

Таблица 4.2

№ опыта	Время измерения, мин	G , кг/с	t_1 , °С	t_2 , °С	$q_{из}$, Вт/м	$t_{г}$, °С	Δt , °С	$q_{неиз}$, Вт/м	$\eta_{из}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

По средним значениям расхода G и температур t_1 и t_2 рассчитывается q для изолированных трубопроводов и по формуле (4.2) определяется $\eta_{из}$.

Контрольные вопросы

1. В каких случаях на трубопроводы системы отопления наносится тепловая изоляция?
2. Какие материалы называются теплоизоляционными?
3. Как определяется коэффициент эффективности изоляционных конструкций трубопроводов?

4. Какое значение η получено в результате расчёта? В каком диапазоне его значения можно считать приемлемыми?
5. Для чего все поперечные и продольные стыковые соединения изоляции K-FLEX проклеиваются специальной клейкой лентой, соответствующей марке теплоизоляционного материала?
6. Какими способами можно выполнить изоляцию отводов трубопроводов? Как это сделано на трубопроводах блочного теплового пункта Центра "Системы"/"SYSTEMS"?
7. Как осуществляется монтаж теплоизоляционной трубки и рулонного материала на линейных участках трубопровода?
8. Запишите и объясните условное обозначение теплоизоляционного материала, используемого в БТП.

Лабораторная работа №5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЧЕРЕЗ ИЗОЛИРОВАННУЮ ПОВЕРХНОСТЬ ТРУБОПРОВОДОВ

Цель работы – расчет теплотерь изолированного трубопровода системы теплоснабжения на основе экспериментального определения температуры на поверхности изоляции.

Основы теории. Зная температуру на поверхности изоляции t_n , температуру теплоносителя и окружающего воздуха, можно определить теплотери изолированного трубопровода системы теплоснабжения.

Изоляция в блочном тепловом пункте нужна как средство, предохраняющее обслуживающий персонал от ожогов. При этом температура на поверхности трубопроводов и оборудования, расположенных в рабочей или обслуживаемой зоне помещений БТП, должна иметь значения, °С, не превышающие установленных в п.2.2.3 СП 41-103-2000 Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов:

- при температуре теплоносителя выше 100 °С 45;
- при температуре теплоносителя 100°С и ниже 35;
- при наличии в помещении веществ с температурой вспышки паров не выше 45°С 35;
- при наличии металлического покровного слоя..... 55;
- для других видов покровного слоя 60.

Температура на поверхности тепловой изоляции трубопроводов, расположенных за пределами рабочей или обслуживаемой зоны, не должна превышать температурных пределов применения материалов покровного слоя, но не выше 75 °С.

Для определения требуемой теплозащитной конструкции трубопроводов необходимо использовать законы теплопередачи через цилиндрические слои и поверхности. Ниже приводятся данные, которые необходимы для проведения расчетов.

Линейное термическое сопротивление теплоотдаче на поверхности изоляции (покровного слоя) определяется по формуле:

$$R_i^L = \frac{1}{\pi \cdot (d_i + 2\delta_{\text{из}}) \cdot \alpha_i} \text{ м} \cdot \text{°C}/\text{Вт}. \quad (5.1)$$

где α_n - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности изоляции, Вт/(м²·°C); $\delta_{\text{из}}$ - толщина теплоизоляции, м.

Коэффициент теплоотдачи α_n на наружной поверхности изоляции объекта, расположенного в помещении и на открытом воздухе, составляет:

- при покровном слое с малым коэффициентом излучения (к ним относятся кожухи из оцинкованной стали, листов алюминиевых сплавов и алюминия с оксидной пленкой) – 6 Вт/(м²·°C),
- при покровном слое с высоким коэффициентом излучения (к ним относятся штукатурки, асбестоцементные покрытия, стеклопластики, различные окраски (кроме краски с алюминиевой пудрой)) – 11 Вт/(м²·°C).

Коэффициент теплоотдачи также можно принять по таблице 5.1.

Термическое сопротивление слоя изоляции теплопровода, м·°C/Вт определяется из совместного решения следующих формул:

$$R_{\text{из}}^L = \frac{t_g - t_n}{t_n - t_n} R_n^L. \quad (5.2)$$

где t_g - температура внутренней среды, температура теплоносителя; t_n - температура на поверхности изоляции; t_n - температура окружающего воздуха.

$$R_{\text{из}}^L = \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{из}}} \ln \frac{d_i + 2\delta_{\text{из}}}{d_i}, \quad (5.3)$$

где $\lambda_{\text{из}}$ - коэффициент теплопроводности материала изоляции, Вт/(м·°C) для вспененного каучука $\lambda_{\text{из}}=0,038$ Вт/(м·°C); d_n - наружный диаметр изолируемого трубопровода, м;

$\delta_{\text{из}}$ - толщина изоляции трубопровода, м; используются изделия К-FLEX ST $\delta=0.13$ мм.

Таблица 5.1

Значения коэффициента теплоотдачи α_n , Вт/(м²·°C)

Изолированный объект	В закрытом помещении		На открытом воздухе при скорости ветра ³ , м/с		
	Покрытия с малым коэффициентом излучения ¹	Покрытия с высоким коэффициентом излучения ²	5	10	15
Горизонтальные трубопроводы	7	10	20	26	35
¹ К ним относятся кожухи из оцинкованной стали, листов алюминиевых сплавов и алюминия с оксидной пленкой. ² К ним относятся штукатурки, асбестоцементные покрытия, стеклопластики, различные окраски (кроме краски с алюминиевой пудрой). ³ При отсутствии сведений о скорости ветра принимают значения, соответствующие скорости 10 м/с.					

Удельные тепловые потери через изолированную поверхность трубопровода определяют по формуле:

$$q_L = \frac{(t_a - t_i)K}{R_{\partial c}^L + R_i^L} \text{ Вт/м}, \quad (5.4)$$

где K – коэффициент, учитывающий дополнительные теплопотери через теплопроводные включения в теплоизоляционных конструкциях, обусловленные наличием в них крепежных деталей и опор; принимается по табл. 5.2.

Таблица 5.2

Способ прокладки трубопроводов	K
На открытом воздухе, в непроходных каналах, тоннелях и помещениях: для стальных трубопроводов на подвижных опорах, условным проходом, мм:	
• до 150	1,2
• 150 и более	1,15
на подвесных опорах	1,05
для неметаллических трубопроводов на подвижных и подвесных опорах	1,7
бесканальная прокладка	1,15

При отсутствии тепловой изоляции термическое сопротивление теплопровода состоит из термического сопротивления на поверхности трубы:

$$\Sigma R_i^L = \frac{1}{\pi d_i \alpha_i}, \text{ м} \cdot \text{°C/Вт}. \quad (5.5)$$

Удельные тепловые потери неизолированными теплопроводами:

$$q_{i \partial c} = \frac{(t_a - t_i)}{\Sigma R_i^L}, \text{ Вт/м}. \quad (5.6)$$

Температуру на поверхности изоляции определяют с помощью **пирометра** (от др.-греч. πῦρ «огонь, жар» + μετρέω «измеряю») – инфракрасного термометра, предназначен для дистанционного измерения температуры поверхности твёрдых тел. Принцип действия пирометра основан на измерении амплитуды электромагнитного излучения от объекта в инфракрасной части спектра и последующем пересчётом измеренного значения в мощность теплового излучения (рис. 5.1).

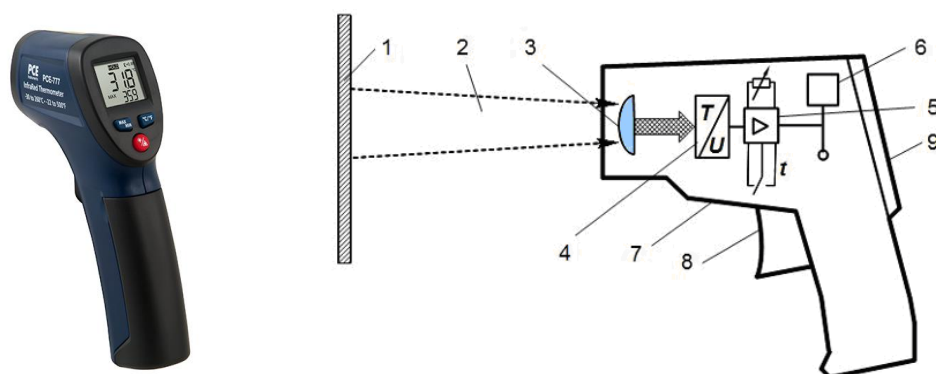


Рис. 5.1. Внешний вид и схема работы пирометра: 1 – поверхность измеряемого объекта; 2 – тепловое излучение от объекта; 3 – оптическая система инфракрасного термометра; 4 – датчик-преобразователь; 5 – электронный преобразователь; 6 – счётное устройство; 7 – корпус пирометра; 8 – курок-кнопка; 9 – дисплей.

Тепловое излучение, сфокусированное оптической системой, передаётся на датчик-преобразователь, на выходе которого появляется электрический сигнал, пропорциональный значению температуры поверхности измерения. Этот сигнал проходит через электронный преобразователь, попадает в счётное устройство, результаты из которого отображаются на дисплее.

Чтобы замерить температуру объекта нужно навести инфракрасный термометр на объект и нажать кнопку. Полученная температура тут же отображается на дисплее. Чтобы центр пятна измерения пришёлся на нужную точку проверяемой поверхности, пирометры имеют лазерный целеуказатель, световая точка которого смещена от центра пятна измерения приблизительно на 2 см. Расстояние до объекта может быть любым, дальность действия ИК-термометра ограничена диаметром пятна и прозрачностью среды.

Проведение опытов и обработка опытных данных. Проводится сравнительное исследование тепловых потерь через изолированную поверхность трубопровода блочного теплового пункта Центра "Системы"/"SYSTEMS".

Используя формулы (5.1)÷(5.6) определяются потери теплоты изолированного и неизолированного трубопровода $d_y=40\text{мм}$.

Термическое сопротивление слоя изоляции теплопровода должно быть определено по формулам (5.2) и (5.3). Температура на поверхности изоляции определяется с помощью пирометра. Температура теплоносителя рассматриваемого участка фиксируется термометром (рис. 8).

Контрольные вопросы

1. Для чего необходима тепловая изоляция в блочном тепловом пункте?
2. Не более какой величины должна быть температура на поверхности изолируемых объектов, расположенных в рабочей или обслуживаемой зоне помещений и содержащих вещества температурой выше 100 °С, согласно требованиям СП 41-103-2000 «Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов»?
3. Какой теплоизоляционный материал используется в БТП? Какой покровный слой применен для защиты теплоизоляции?
4. Как можно определить термическое сопротивление слоя изоляции теплопровода, используя значение температуры на поверхности изоляции?
5. Что такое пирометр и для чего он используется?

Список использованных источников

1. ПБ 10-573-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды. – М.: ГУП Госгортехнадзор России, 2003.
2. Внутренние санитарно-технические устройства. Отопление. Справочник проектировщика. – М.: Стройиздат, 1990.
3. СТО НОСТРОЙ/НОП 2.15.146_2014. Автоматизированные индивидуальные тепловые пункты. Правила проектирования и монтажа, контроль выполнения, требования к результатам работ. – Москва, 2018.
4. Инструкция Данфосс. ECL Comfort 310, приложение A368.
5. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 26.09.2001).
6. СП 124.13330.2012. Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003 (утв. приказом Министерства регионального развития РФ (Минрегион России) от 30 июня 2012 г. N 280).
7. СП 61.13330.2012. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Актуализированная редакция СНиП 41-03-2003 (утв. приказом Министерства регионального развития РФ (Минрегион России) от 27 декабря 2011 г. N 608).
8. СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов –М.: Минстрой России, 1997

БЛОЧНЫЙ ТЕПЛОВОЙ ПУНКТ

Указания по выполнению лабораторных работ
для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство»

Составители: АХМЕРОВА Гузель Мневеровна
САФИУЛЛИН Ринат Габдуллович

Редактор:
Корректор:

Редакционно-издательский отдел
Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Подписано в печать	Тираж 50 экз.	Формат 60 x 84/16
Заказ	Бумага тип. № I	Усл.-печ.л. 3,3
Печать RISO.		Уч.-изд.л. 3,3

Издательство КГАСУ
420043, Казань, Зелёная, 1.