МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

НАЛАДКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Методические указания к лабораторным работам
для студентов специальностей
1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций»,
7-07-0712-02 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Витебск
2025

УДК 621.31.03:658.264

Составители:

С. В. Жерносек, В. Ю. Мовсесян, С. А. Рудаков

Одобрено кафедрой «Теплоэнергетика»
УО «ВГТУ», протокол № 8 от 22.05.2025.

Рекомендовано к опубликованию редакционно-издательским советом
УО «ВГТУ», протокол № 9 от 28.05.2025.

Наладка и эксплуатация энергетического оборудования : методические указания к лабораторным работам / сост. С. В. Жерносек, В. Ю. Мовсесян, С. А. Рудаков – Витебск : УО «ВГТУ», 2025. – 66 с.

Методические указания содержат описание лабораторных работ по дисциплине «Наладка и эксплуатация энергетического оборудования» в соответствии с учебной программой для студентов специальностей 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» и 7-07-0712-02 «Теплоэнергетика и теплотехника». В пособии приведены схемы и описание учебно-лабораторного оборудования, состав контрольно-измерительного оборудования, порядок проведения работы и рекомендуемая литература.

УДК 621.31.03:658.264

© УО «ВГТУ», 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа 1
Наладка элеваторного узла в ручном режиме 4
Лабораторная работа 2
Учёт расхода тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжение 11
Лабораторная работа 3
Исследование системы автоматического регулирования теплового пункта 22
Лабораторная работа 4
Оценка эффективности работы индивидуального теплового пункта..... 28
Лабораторная работа 5
Контроль состояния изоляции электрооборудования по тангенсу угла диэлектрических потерь 36
Лабораторная работа 6
Измерение и анализ вибрации электрических машин прибором «Янтарь» 39
Лабораторная работа 7
Монтаж термоусаживаемых муфт 42
Лабораторная работа 8
Фазировка кабелей 45
Лабораторная работа 9
Изучение методов определения мест повреждения кабеля 48
Лабораторная работа 10
Испытание трансформаторов после ремонта 53
Лабораторная работа 11
Исследование состояния изоляции портативным цифровым измерительным прибором MIC-2500 56
Лабораторная работа 12
Выявление дефектов обмоток статора и ротора электрических машин..... 61
Литература……64
Приложение А. Форма журнала учёта расхода тепловой энергии и теплоносителя у потребителя в водяных системах теплопотребления 65

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1
НАЛАДКА ЭЛЕВАТОРНОГО УЗЛА В РУЧНОМ РЕЖИМЕ

Цель работы: ознакомление с устройством и методами наладки водоструйного элеватора. Выполнение экспериментального определения коэффициента смешения водоструйного элеватора, определение его основных размеров по фактически установившемуся коэффициенту смешения и расходу сетевой воды, расчёт КПД элеватора.

Краткие теоретические сведения

Абонентский ввод представляет собой узел управления системой отопления здания, к которому он подключён. Его основная задача – регулировать расход и параметры теплоносителя в соответствии с режимом теплопотребления, учитывать расход тепла, распределять теплоноситель по отдельным веткам системы отопления, а также обеспечивать заполнение и опорожнение системы.

Наиболее распространённой схемой подключения местных систем отопления зданий к тепловым сетям является использование водоводяного элеватора. Этот элемент служит для снижения температуры воды, поступающей из тепловой сети, до требуемого уровня за счёт смешивания её с обратной водой системы отопления.

Конструктивная схема элеватора, показанная на рисунке 1.1, включает приёмную камеру, камеру смешения и диффузор. В приёмную камеру вставлен стакан со съёмным соплом.

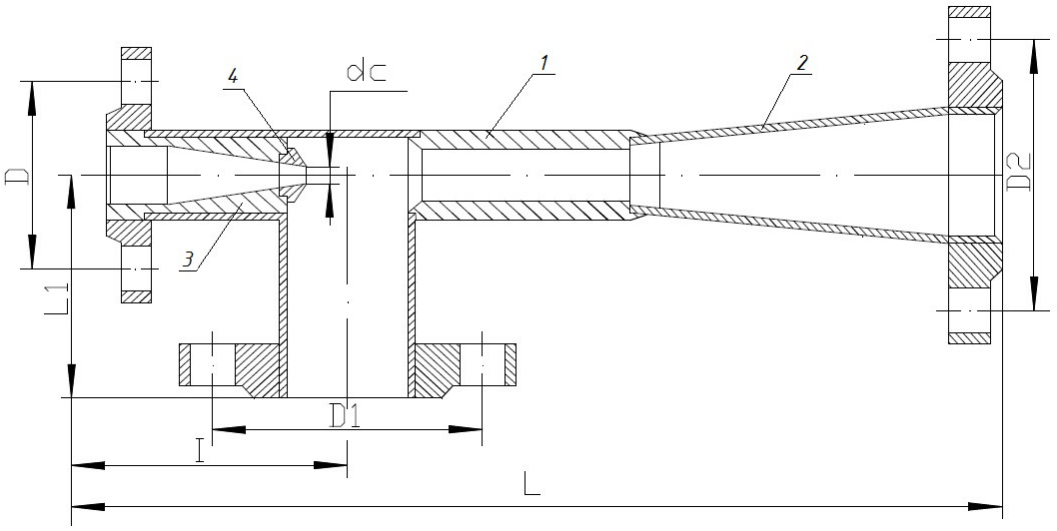


Рисунок 1.1 – Конструкция водоструйного элеватора:
1 – корпус; 2 – диффузор; 3 – стакан; 4 – сопло

Принцип работы элеватора следующий. Вода из подающей линии тепловой сети подаётся в элеватор через сопло. Выходя с высокой скоростью, струя воды создаёт разрежение, которое засасывает в приёмную камеру воду из обратной линии отопительной системы (при этом давление сетевой воды понижается до значения ниже давления в патрубке обратной воды). Полученная смесь поступает в камеру смешения, где выравниваются скорости сетевой и обратной воды. Затем вода направляется в диффузор, где за счёт постепенного расширения сечения снижается скорость потока и повышается давление. Из диффузора вода поступает в систему отопления здания.

Одной из основных характеристик работы элеватора является коэффициент смешения, равный отношению весового количества подмешиваемой воды G'_2 к количеству горячей воды, поступающей из подающей трубы тепловой сети G_1:

$$u = G'_2/G_1 \tag{1.1}$$

Величину коэффициента смешения можно также определить по температурам подающей t_1, обратной t_2 и смешанной t_3 воды, ºС:

$$u = \frac{t_1 - t_3}{t_3 - t_2} \tag{1.2}$$

Для эффективной работы элеватора требуется значительная разница давлений между подающей и обратной линиями тепловой сети. При гидравлическом сопротивлении отопительной установки около 1 м вод. ст. и обычно необходимых коэффициентах смешения от 1,5 до 2,5, разность давлений в подающих и обратных линиях должна составлять от 9 до 17 м вод. ст.

Основное преимущество схемы с элеватором по сравнению с прямым подключением к тепловым сетям заключается в возможности регулировки местной системы не только за счёт изменения расхода сетевой воды, но и путём изменения расхода и температуры циркулирующей воды в местной системе через настройку коэффициента смешения, что достигается изменением диаметра сопла. Кроме того, к достоинствам элеватора можно отнести сочетание в одном устройстве двух ключевых функций (смесителя и нагнетателя), необходимых для работы системы отопления, а также его надёжность, низкие эксплуатационные расходы и бесшумность.

Однако у элеватора есть и недостатки: низкий коэффициент полезного действия (0,25–0,30), что в основном связано со значительным превышением располагаемого напора над гидравлическим сопротивлением системы; невозможность регулирования подачи тепла в отопительную систему путём периодического изменения коэффициента смешения без замены сопла; а также снижение коэффициента смешения из-за малейшего перекоса сопла или случайного увеличения сопротивления в отопительной системе.

Для обеспечения повышенных коэффициентов смешения требуется увеличение перепадов давлений перед элеваторами. Создание значительных перепадов давлений в конечных участках длинных тепловых сетей часто является сложной и неэкономичной задачей. Более экономичным решением для достижения больших перепадов в конечных участках тепловой сети является схема с насосным смешением. Расширение применения схем с элеватором может быть достигнуто за счёт увеличения температурного перепада в отопительных системах. Это возможно, если поднять расчётную температуру воды, подаваемой в систему отопления при нижней разводке, до 105 ºС, а при бетонных отопительных панелях – до 110–115 ºС. В этих случаях необходимый коэффициент смешения составит соответственно 1,3 и 1,0–0,8.

Методика наладки элеватора зависит от теплового режима отапливаемого здания. Если здание перегревается, через сопло элеватора проходит больший расход сетевой воды, чем требуется. При равномерном перегреве расход воды в системе отопления равен или превышает расчётное значение. Повышенный расход сетевой воды через сопло элеватора может быть следствием завышения его диаметра по сравнению с необходимым. В таком случае наладка сводится к замене сопла на меньший диаметр. Диаметр горловины элеватора определяется по формуле:

$$d_r = 8{,}5\sqrt[4]{\frac{G_1^2(1+u)^2}{\Delta h}}, \text{ мм} \qquad (1.3)$$

Здесь G_1 – фактический расход воды в подающем трубопроводе, т/ч; Δh – сопротивление местной системы отопления, определяемое соотношением

$$\Delta h = g^{-1}\left(\frac{p_1}{\rho_1} - \frac{p_2}{\rho_2}\right)\cdot 10^6, \text{ м. вод.ст.,} \qquad (1.4)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2; p_1 и p_2 – показания контрольных манометров, МПа; ρ_1 и ρ_2 – плотности воды, кг/м^3, при температурах t_1 и t_2, соответственно.

При выборе номера элеватора принимается стандартный элеватор, с ближайшим меньшим диаметром горловины (камеры).

Располагаемый напор перед элеватором, необходимый для его нормальной работы, определяется соотношением:

$$H_{\text{рас}} = 1{,}4\Delta h(1+u)^2, \text{ м вод. ст.} \qquad (1.5)$$

Диаметр сопла элеватора находится по формуле:

$$d_c = 9{,}6\sqrt[4]{\frac{G_1^2}{\Delta h}}, \text{ мм} \qquad (1.6)$$

Диаметр сопла определяется с точностью до десятых долей миллиметра, округляясь в меньшую сторону, и должен составлять не менее 3 мм при расчётах. Если в процессе наладочного расчёта необходимо гасить избыточный напор соплом элеватора, и этот напор превышает значение, рассчитанное по формуле (1.4), в два раза и более, либо если диаметр сопла, рассчитанный по формуле (1.5), оказывается менее 3 мм, то избыточный напор следует гасить с помощью дроссельной диафрагмы, установленной перед элеватором.

КПД элеватора определяется следующим соотношением:

$$\eta_{\text{эл}} = \frac{G_2' \cdot \Delta h}{G_1 \cdot \left(H_{\text{рас}} - \Delta h\right) \cdot 100\%} \qquad (1.7)$$

Когда устанавливается один элеватор для группы небольших зданий, его номер определяется на основе максимальных потерь напора в распределительной сети после элеватора и в системе отопления для самого неблагоприятного потребителя, принимая при этом коэффициент u = 1,1. Важно также установить дроссельную диафрагму перед системой отопления каждого здания, чтобы она могла гасить весь избыточный напор при расчётном расходе смешанной воды. Однако установка общего элеватора для большой группы зданий не рекомендуется, поскольку это приводит к одинаковому режиму работы для всех подключённых систем, без учёта их индивидуальных особенностей.

После расчёта и установки элеватора необходимо провести его точную настройку и регулировку. Регулировку следует осуществлять только после завершения всех предварительных мероприятий по наладке. Конечной целью регулировки элеваторного узла является достижение установившегося теплового и гидравлического режимов в настраиваемой системе отопления.

Приборы и оборудование: элеватор стальной 40с10бк; термометры расширения и сопротивления; пружинные манометры; регулятор расхода PP-50; регулятор системы теплоснабжения SR-1-KM.

Схема и описание лабораторной установки

На схеме элеваторного узла, представленной на рисунке 1.2, приняты следующие обозначения: 1, 2, 5, 12, 17 – шаровые краны; 3, 10, 13, 18, 20, 23 – регулирующие вентили с манометрами; 4 – регулятор расхода; 6 – элеватор; 7, 9, 16, 22 – термометры расширения; 8, 21 – задвижки; 11, 24 – термометры сопротивления; 14 – циркуляционный насос; 15 – обратный клапан; 19 – грязевик; SR-1-KM – регулятор системы теплоснабжения.

Горячая вода из тепловой сети поступает в подающий трубопровод, на котором установлена запорно-регулирующая арматура для прямого (кран 1) либо через регулятор расхода 4 (краны 2 и 5) подключения элеватора к подающему трубопроводу местной системы отопления (южный фасад здания). Элеватор 6 выполняет функцию смешивания горячего теплоносителя с водой, возвращаемой из местной системы отопления. Задвижки 8 и 21 предназначены для отключения местной системы отопления от оборудования ввода. Отключение грязевика 19, размещённого на подмешивающей линии, осуществляется посредством закрытия кранов 12 и 17. Для контроля температуры и давления теплоносителя в характерных точках тепловой схемы элеваторного узла установлены термометры расширения 7, 9, 16, 22 и показывающие манометры, подключенные через вентили 3, 10, 13, 18, 20, 23. Регулирование количества тепловой энергии, подаваемой в местную систему отопления, осуществляется с использованием регулятора системы теплоснабжения SR-1-KM, который в случае отклонения значений температур смешанной t_3 и обратной t_2 воды от нормативных значений формирует выходные сигналы об изменении расхода воды G_1 и подачи насоса, соответственно поступающие на регулятор расхода 4 и циркуляционный насос 14. Значения температур t_3 и t_2 измеряются термометрами сопротивления 11 и 24, соответственно.

Порядок выполнения работы

При заполнении местной системы отопления давление в ней контролируется манометром 23. После заполнения системы выполняют удаление накопившегося в ней воздуха путём открытия воздушного крана (на схеме не показан).

Подключение системы отопления к подающему трубопроводу производится открытием крана 1 (либо кранов 2, 5) и задвижек 8, 21. Требуемый располагаемый напор местной системы устанавливается посредством задвижек 8, 21 и контролируется по показаниям пружинных манометров 10 и 23, расположенных на одинаковом горизонтальном уровне.

По достижении установившегося теплового и гидравлического режимов выполняют измерение:

- давлений p_1, p_2 и p_3 с помощью манометров 3, 10 и 23;
- температур t_1, t_2 и t_3 посредством термометров 7, 23 и 10;
- расхода G_1 с помощью чувствительного элемента регулятора расхода 4.

Результаты измерений заносят в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Результаты измерений

№ изм.	t, мин	G_1, м^3/ч	G_2, м^3/ч	t_1, ºС	t_2, ºС	t_3, ºС	p_1, МПа	p_2, МПа	p_3, МПа	Δp, МПа
1	0									
2	10									
3	20									
4	30									
Среднее										

Обработка результатов измерений

1. Для приведённых в таблице 1.1 характеристик определим их средние значения, по которым и будем выполнять все дальнейшие расчёты.

2. По выражению (1.2) определим экспериментальное значение коэффициента смешения элеватора.

3. Зная u, по вытекающему из соотношения (1.1) выражению $G_2' = uG_1$ найдём количество подмешиваемой воды.

4. Пользуясь значением фактического коэффициента смешения u, выполним проверку основных размеров стального элеватора 40с10бк, а именно рассчитаем диаметры горловины и сопла элеватора по формулам (1.3) и (1.5), соответственно.

5. Определим располагаемый напор перед элеватором по формуле (1.4) и его КПД по выражению (1.6).

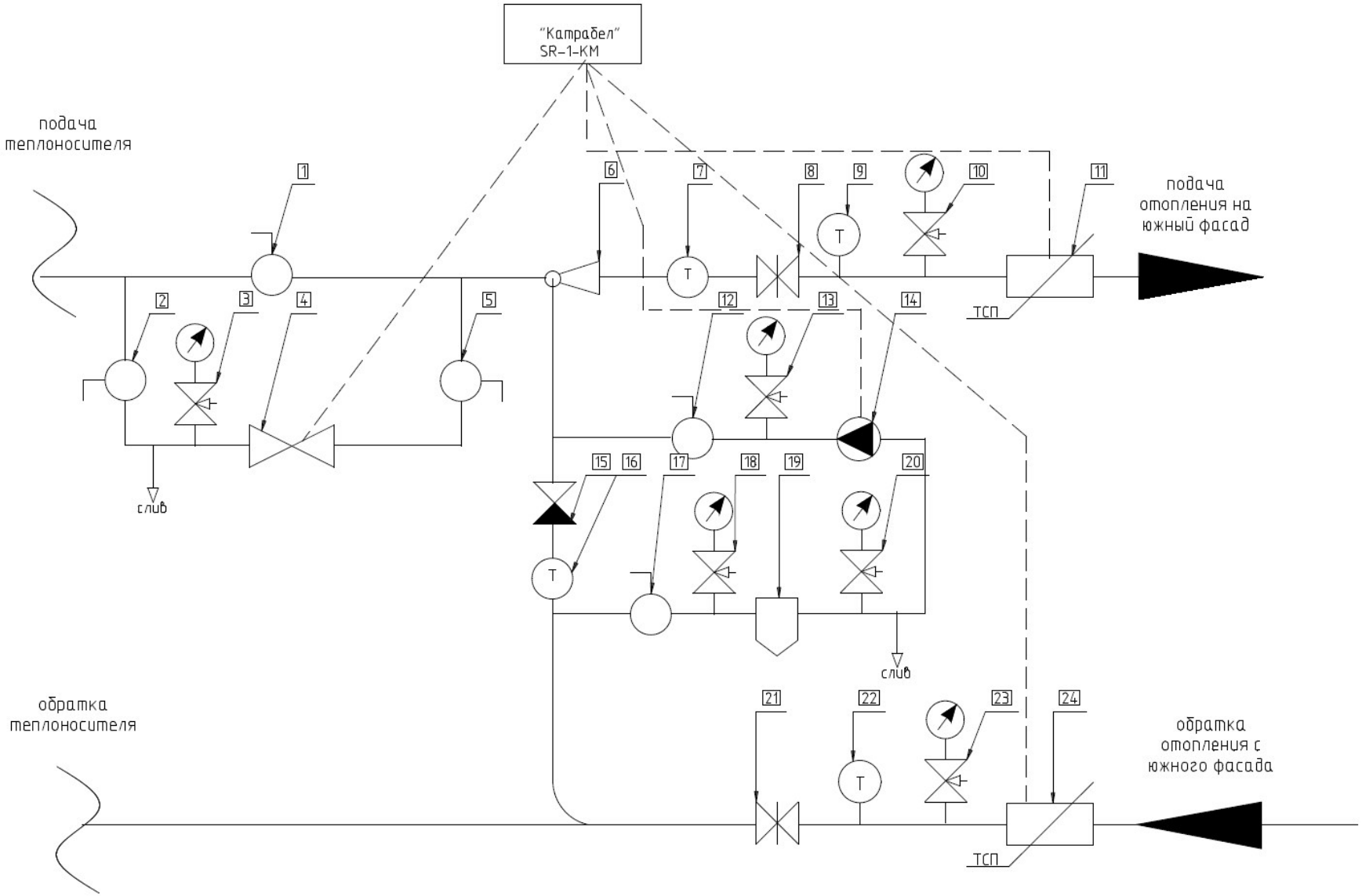


Рисунок 1.2 – Схема элеваторного узла

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2
УЧЁТ РАСХОДА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ОТОПЛЕНИЕ И ГОРЯЧЕЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ

Цель работы: освоение способов учёта количества тепловой энергии и массы теплоносителя в закрытых и открытых водяных системах теплопотребления с различной тепловой нагрузкой. Проведение снятия экспериментальных показаний на ИТП прибора учёта тепла и заполнение журнала учёта расхода тепловой энергии и теплоносителя. Ознакомление со способами подключения первичных датчиков к измерительно-вычислительному блоку теплосчётчика.

Краткие теоретические сведения

Способы учёта тепловой энергии и массы теплоносителя варьируются в зависимости от схем теплоснабжения и типа потребителей. В водяных системах теплоснабжения выделяют две основные схемы измерения тепловой энергии: открытую (см. рис. 2.1, 2.2, 2.4) и закрытую (см. рис. 2.3).

Закрытая схема измерения тепловой энергии предполагает, что расход теплоносителя в прямом и обратном трубопроводах равен, что исключает потери, а также санкционированный и несанкционированный разбор теплоносителя. В такой схеме количество тепловой энергии, потребляемой объектом, определяется по следующему выражению:

$$\mathrm{Q} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} G \cdot \rho \cdot (h_1 - h_2) d\tau, \text{ кДж}, \qquad (2.1)$$

где G – объёмный расход теплоносителя в трубопроводе (прямом или обратном), на котором установлен расходомер, м^3/ч; ρ – плотность теплоносителя в трубопроводе (прямом или обратном), на котором установлен расходомер, кг/м^3; h_1 и h_2 – энтальпии теплоносителя в прямом и обратном трубопроводах, кДж/кг; τ_1 и τ_2 – время начала и конца измерения, ч.

Открытая схема измерения тепловой энергии предполагает, что расход теплоносителя в прямом и обратном трубопроводах различается, что свидетельствует о наличии потерь, а также санкционированного (например, в системе горячего водоснабжения) и несанкционированного (например, кража теплоносителя или тепловой энергии) разбора теплоносителя. Количество тепловой энергии, потребляемой объектом в рамках открытой схемы, определяется по следующему соотношению:

$$\mathrm{Q} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} [G_1 \cdot \rho_1 \cdot (h_1 - h_x) - G_2 \cdot \rho_2 \cdot (h_2 - h_x)] d\tau, \text{ кДж}, \qquad (2.2)$$

где G_1 и G_2 – объёмные расходы теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах, м^3/ч; ρ_1 и ρ_2 – плотности теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах, кг/м^3; h_x – энтальпия холодного источника, кДж/кг.

Холодный источник представляет собой техническую воду с температурой t_x, которую теплоснабжающая организация использует для водоподготовки и последующего нагрева. Поскольку на практике невозможно измерить фактическое значение t_x у потребителя тепловой энергии, температуру холодного источника принимают равной температуре холодной воды (5–15 ºС), поставляемой водоканалом.

Узлы учёта тепловой энергии должны быть оснащены двухканальными теплосчётчиками с первичными измерительными преобразователями, установленными на подающем и обратном трубопроводах, как показано на рис. 2.1 и 2.2. Это касается следующих схем теплоснабжения и типов потребителей:

– промышленных и аналогичных им;

– спортивных и спортивно-оздоровительных комплексов;

– центральных тепловых пунктов (ЦТП);

– общественных и других объектов с тепловой нагрузкой 2,5 МВт (9 ГДж/ч) и более;

– объектов общественного назначения с тепловой нагрузкой менее 2,5 МВт (9 ГДж/ч), если их тепловые сети проходят по закрытой территории или под землёй и недоступны для визуального осмотра;

– с открытой схемой теплоснабжения;

– с независимой схемой теплоснабжения;

– потребителей, у которых в системе горячего водоснабжения предусмотрен циркуляционный трубопровод.

На узлах учёта тепловой энергии, оборудованных в соответствии с рис. 2.1 и 2.2, должны регистрироваться следующие параметры:

– время работы;

– время перерывов питания или время работы в штатном режиме;

– ошибки, влияющие на коммерческий учёт;

– полученная тепловая энергия;

– масса теплоносителя, поступившего по подающему трубопроводу и возвращённого по обратному;

– температура теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах узла (системы) учёта;

– давление теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах узла учёта (для потребителей с общей тепловой нагрузкой 2,5 МВт (9 ГДж/ч) и более);

– масса теплоносителя, использованного на водоразбор в системах горячего водоснабжения;

– параметры теплоносителя и тепловая энергия, соответственно усреднённые или накопленные за час. При установке двухканальных теплосчётчиков превышение массового расхода теплоносителя в обратном

трубопроводе над подающим допускается в пределах удвоенного значения погрешности измерения массы теплоносителя по одному трубопроводу (каналу измерения теплосчётчика).

В системах теплопотребления, подключенных по независимой схеме, дополнительно должна определяться масса теплоносителя, расходуемого на подпитку.

Принципиальная схема размещения точек измерения массы теплоносителя, температуры и давления, состав измеряемых и регистрируемых параметров теплоносителя приведены:

– для потребителей с суммарной тепловой нагрузкой 2,5 МВт (9 ГДж/ч) и более – на рис. 2.1;

– для потребителей с суммарной тепловой нагрузкой менее 2,5 МВт (9 ГДж/ч), тепловые сети которых проходят по закрытой территории или под землей и для визуального осмотра недоступны, – на рис. 2.2.

Узлы учёта тепловой энергии должны оснащаться теплосчётчиками, первичные измерительные преобразователи расхода которых устанавливаются на подающих трубопроводах в соответствии с рис. 2.3 для следующих схем теплоснабжения и типов потребителей:

– закрытые системы теплоснабжения с суммарной тепловой нагрузкой менее 2,5 МВт (9 ГДж/ч);

– общественные и коммунально-бытовые – жилые дома.

На узлах учёта тепловой энергии, оборудованных в соответствии с рис. 2.3, должны регистрироваться следующие параметры:

– время работы;

– время перерывов питания или время работы в штатном режиме;

– ошибки, влияющие на коммерческий учёт;

– полученная тепловая энергия;

– масса теплоносителя, полученного по подающему трубопроводу;

– температура теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах узла учёта;

– параметры теплоносителя, тепловая энергия, соответственно усредненные или накопленные за час.

Узлы учёта тепловой энергии оборудуются в тепловом пункте, принадлежащем потребителю, на границе балансовой принадлежности тепловых сетей.

На узлах учёта тепловой энергии для горячего водоснабжения (ЦТП, ИТП) должны регистрироваться следующие параметры:

– время работы;

– время перерывов питания или время работы в штатном режиме;

– ошибки, влияющие на коммерческий учёт;

– полученная тепловая энергия;

– масса горячей воды, циркулирующей в системе горячего водоснабжения;

– масса холодной воды, потребленной в системе горячего водоснабжения;

– температура горячей воды в системе горячего водоснабжения до потребителя и после;

– температура холодной воды;

– параметры теплоносителя, тепловая энергия, соответственно усредненные или просуммированные за час.

Принципиальная схема горячего водоснабжения потребителей (ЦТП, ИТП) с размещением точек измерения массы горячей воды, температуры и давления приведена на рис. 2.4.

Узлы учёта тепловой энергии для горячего водоснабжения оборудуются в тепловом пункте, принадлежащем потребителю, на границе балансовой принадлежности тепловых сетей.

Приборы и оборудование: счётчик тепловой энергии ТЭМ-05М-2 (термопреобразователи сопротивления; первичные преобразователи расхода; измерительно-вычислительный блок); термометры расширения.

Схема и описание лабораторной установки

Теплосчётчик ТЭМ-05М-2, внешний вид и схема подключения которого показаны на рис. 2.5 и 2.7, предназначен для измерения и коммерческого учёта количества теплоты в открытых (рис. 2.1, 2.2) и закрытых (рис. 2.3) системах теплопотребления, а также в системах горячего водоснабжения (рис. 2.4). Он используется для потребления в жилых, общественных и коммунально-бытовых зданиях, промышленных предприятиях, а также в автоматизированных системах учёта, контроля и регулирования тепловой энергии.

В состав теплосчётчика входят первичные преобразователи расхода (ППР) электромагнитного типа, измерительно-вычислительный блок и термопреобразователи сопротивления. ППР состоит из корпуса с магнитной системой и немагнитной трубы с электродами, внутренняя поверхность которой покрыта фторопластом. Принцип действия преобразователя основан на явлении электромагнитной индукции: при движении электропроводящей жидкости в магнитном поле между электродами ППР возникает ЭДС, пропорциональная скорости течения жидкости. Первичные преобразователи расхода устанавливаются в разрыв трубопровода и крепятся к приваренным фланцам болтами или шпильками. Монтаж преобразователя следует выполнять только при отсутствии теплоносителя в системе, при этом необходимо обеспечить прямолинейный участок длиной 5Ду до и 3Ду после ППР. При установке преобразователя его стрелка должна совпадать с направлением движения теплоносителя в трубопроводе. Примеры установки преобразователей представлены на рисунке 2.8.

Измерение температуры теплоносителя осуществляется путём измерения сопротивления термопреобразователя. Места установки термопреобразователей

на трубопроводе должны располагаться максимально близко к вводу и выводу из теплового пункта. Условия установки термопреобразователей должны быть как можно более идентичными: одинаковые диаметры трубопроводов, одинаковые скорости потоков теплоносителя и профили потока. Примеры установки термопреобразователей на трубопроводе показаны на рисунке 2.9.

Измерительно-вычислительный блок состоит из аналоговой платы для измерения расхода, температуры и избыточного давления, платы преобразования выбранного параметра в унифицированный сигнал постоянного тока, а также микропроцессорной платы тепловычислителя.

Теплосчётчик ТЭМ-05М-2 позволяет осуществлять:

1) Автоматическое измерение включает в себя: объёмный и массовый расход теплоносителя, а также объём и массу теплоносителя в диапазоне от 2 до 100 % от максимального расхода; температуру теплоносителя в трубопроводах системы теплоснабжения и горячего водоснабжения, а также в трубопроводе холодного водоснабжения; избыточное давление теплоносителя в трубопроводах (при наличии датчиков давления с токовым выходом); время наработки при подаче напряжения питания; время работы в зоне ошибок.

2) Вычисление включает: разность температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах (или трубопроводе холодного водоснабжения); потребляемую тепловую мощность; объём теплоносителя, прошедшего через трубопроводы; потреблённое количество теплоты.

3) Индикация всех измеряемых и вычисляемых параметров, а также хранение среднечасовых и среднесуточных значений параметров системы теплоснабжения во внутренней энергонезависимой памяти. Кроме того, осуществляется фиксация и индикация ошибок как в работе самого устройства, так и в функционировании системы теплоснабжения.

При включении теплосчётчик автоматически переходит в режим «работа» и начинает расчёт и накопление суммарного количества теплоты. Вычисление потребляемого количества теплоты осуществляется на основе информации о расходе теплоносителя и разности его теплосодержания до и после потребителя, с учётом установочных параметров измерительно-вычислительного блока.

Порядок выполнения работы

1. Включить питание теплосчётчика и дождаться появления на индикаторе текущей даты и времени.

2. Зайти в меню, соответствующее основному рабочему режиму счётчика, и снять показания прибора и значения параметров теплоносителя для текущего момента времени. Переключение между параметрами осуществляется путём нажатия кнопок «влево» и «вправо» на передней панели измерительно-вычислительного блока.

3. Повторить действия предыдущего пункта через равные промежутки времени, количество и длительность которых задаётся преподавателем.

4. Результаты всех измерений занести в журнал учёта расхода теплоносителя, форма которого представлена в приложении 1.

5. Выйти из основного режима работы теплосчётчика и зайти в меню, соответствующее расширенному рабочему режиму. Просмотреть значения установочных параметров системы и имевшие в ней место ошибки.

6. Выключить питание теплосчётчика.

Обработка результатов измерений

1. На основании результатов измерений, представленных в журнале учёта расхода теплоносителя, количество тепловой энергии, потребляемой исследуемым объектом за интервал времени $\Delta\tau$, определим двумя способами:

– по значениям параметров теплоносителя с использованием формулы (2.2);

– по показаниям теплосчётчика:

$$\tilde{Q} = Q_1 - Q_2 \text{, кДж,} \qquad (2.3)$$

где Q_1 и Q_2 – количество теплоты, рассчитанное по показаниям измерительно-вычислительного блока по первому и второму каналу, соответственно, кДж.

Количество теплоты, отпущенное за отчётный период по каждому каналу:

$$Q_i = Q_i^{''} - Q_i', \text{ кДж,} \qquad (2.4)$$

где Q_i'' и Q_i' – количество теплоты по показаниям теплосчётчика в конце и начале отчётного периода; i – номер канала (i =1 либо 2).

2. Степень расхождения между значениями расходуемой тепловой энергии, найденной разными способами, определим по формуле:

$$\delta_Q = \frac{|Q - \tilde{Q}|}{0{,}5 \cdot (Q + \tilde{Q})} \cdot 100\%. \qquad (2.5)$$

3. На основании показаний теплосчётчика построим временную зависимость $\tilde{Q} = f(\tau)$.

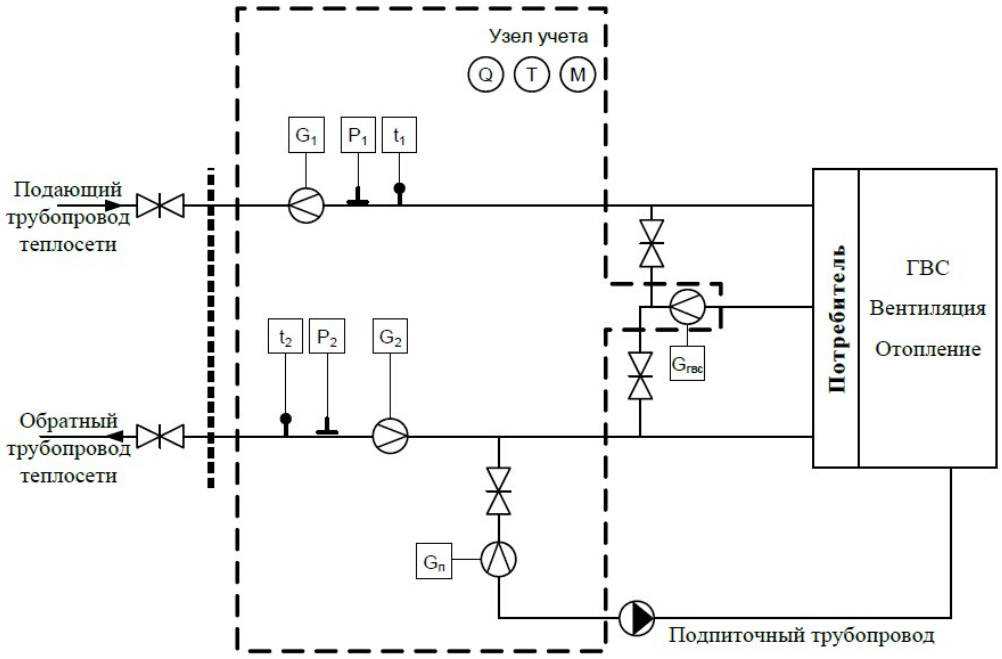


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема размещения точек измерения в открытых системах теплопотребления с суммарной тепловой нагрузкой, превышающей 9 ГДж/ч

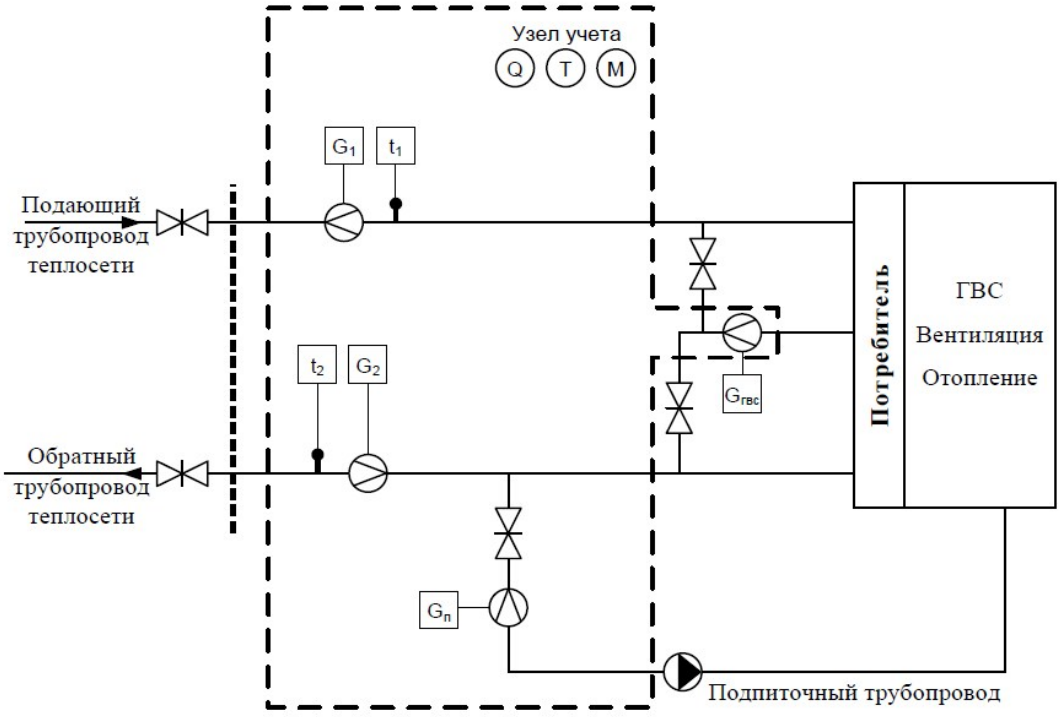


Рисунок 2.2 – Принципиальная схема размещения точек измерения в открытых системах теплопотребления с суммарной тепловой нагрузкой, не превышающей 9 ГДж/ч

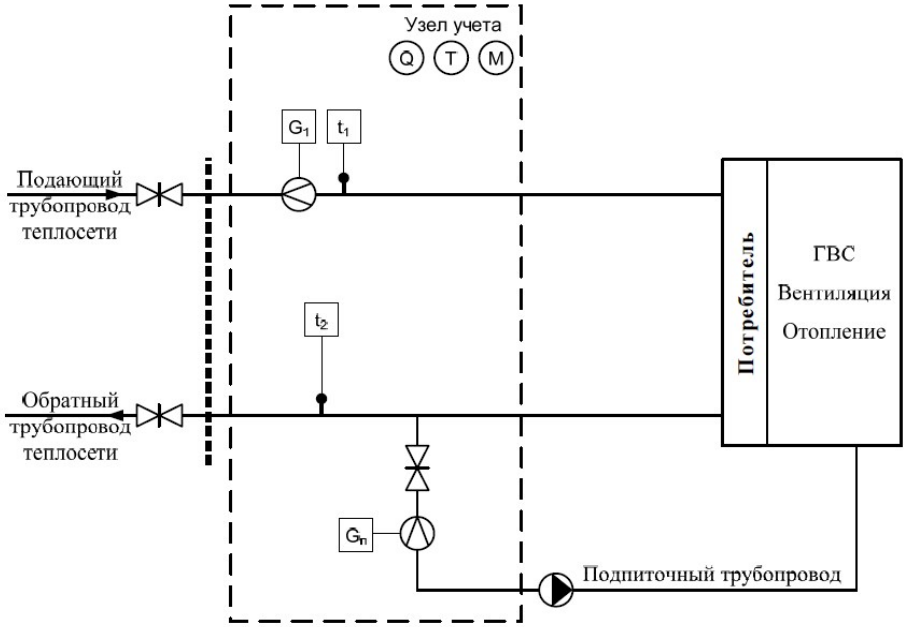


Рисунок 2.3 – Принципиальная схема размещения точек измерения в закрытых системах теплопотребления с суммарной тепловой нагрузкой, не превышающей 9 ГДж/ч

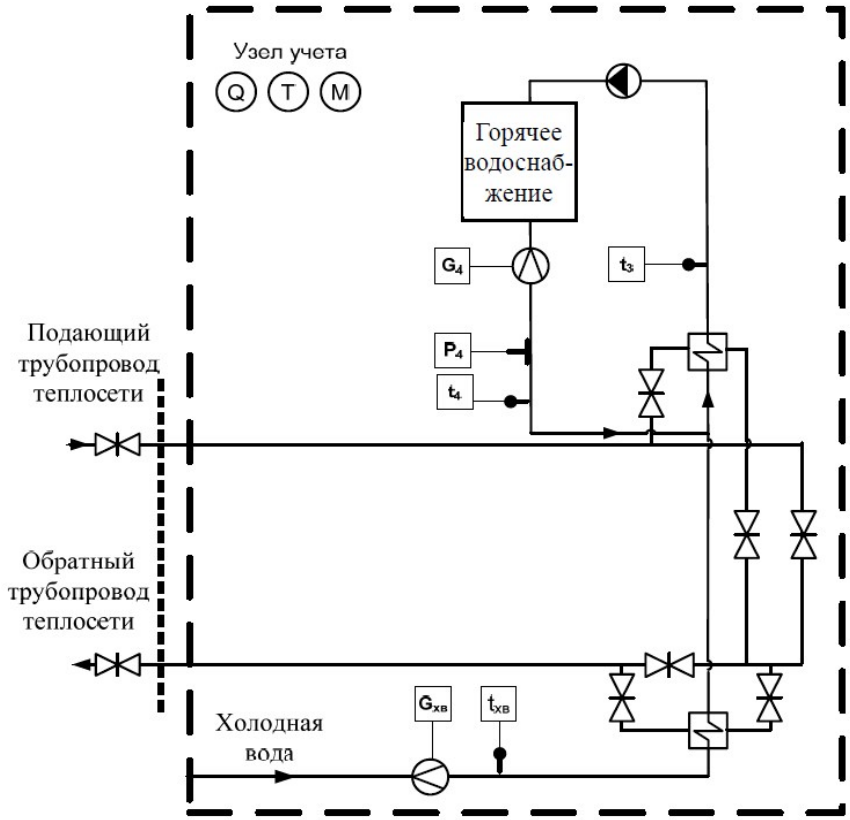
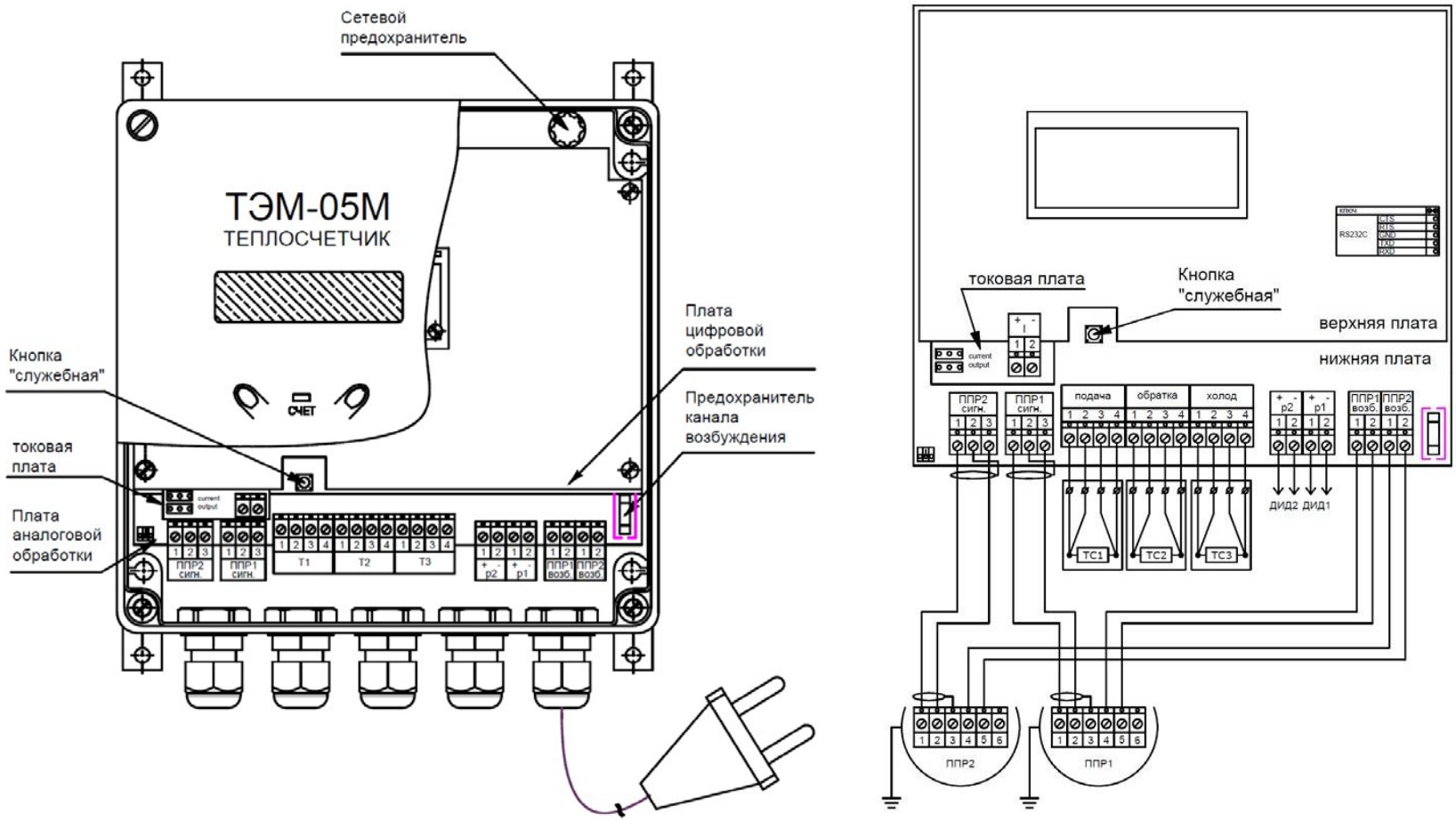


Рисунок 2.4 – Принципиальная схема горячего водоснабжения потребителей (ЦТП, ИТП)



а) *б*)

Рисунок 2.5 – Теплосчётчик ТЭМ-05М-2:
а) – вид со снятой верхней крышкой, *б)* – схема электрических соединений

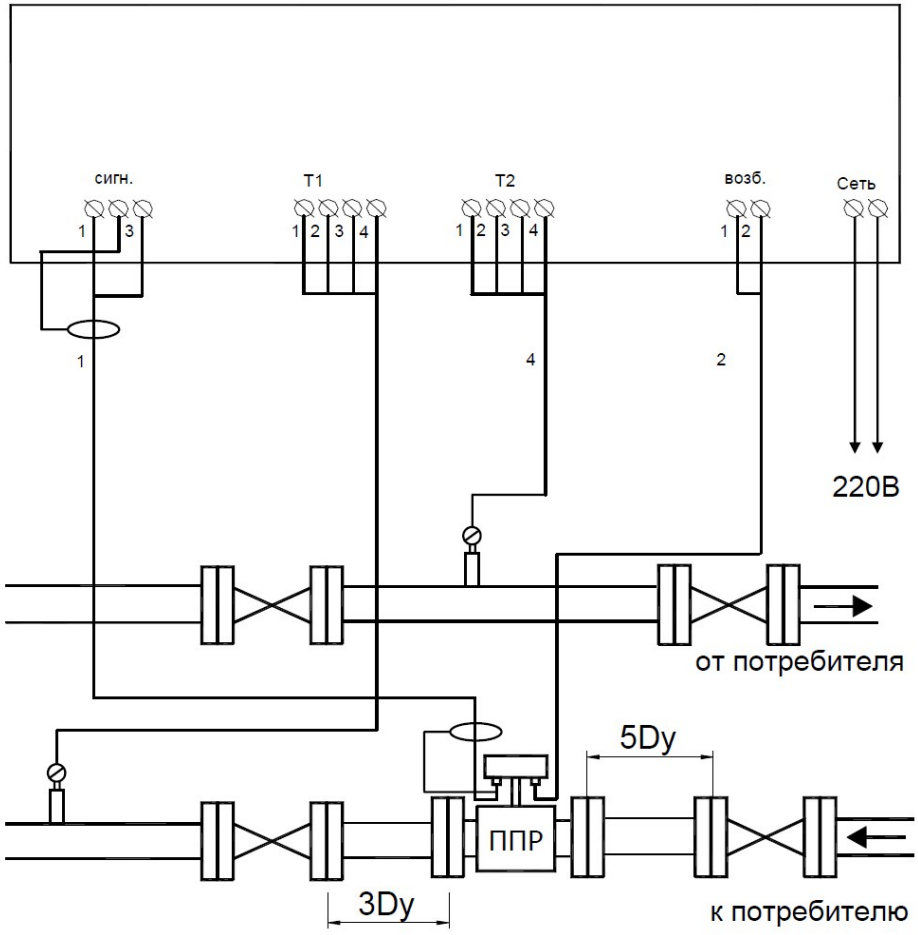


Рисунок 2.6 – Пример установки теплосчётчика на подающий трубопровод

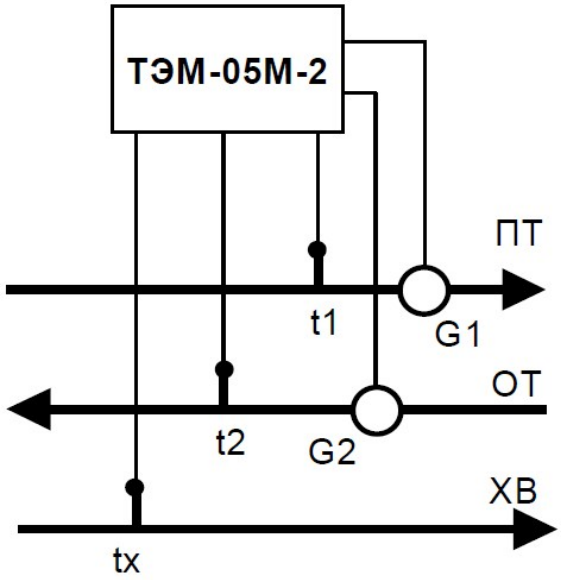


Рисунок 2.7 – Двухпоточная схема подключения ТЭМ-05М-2 в открытой системе теплопотребления

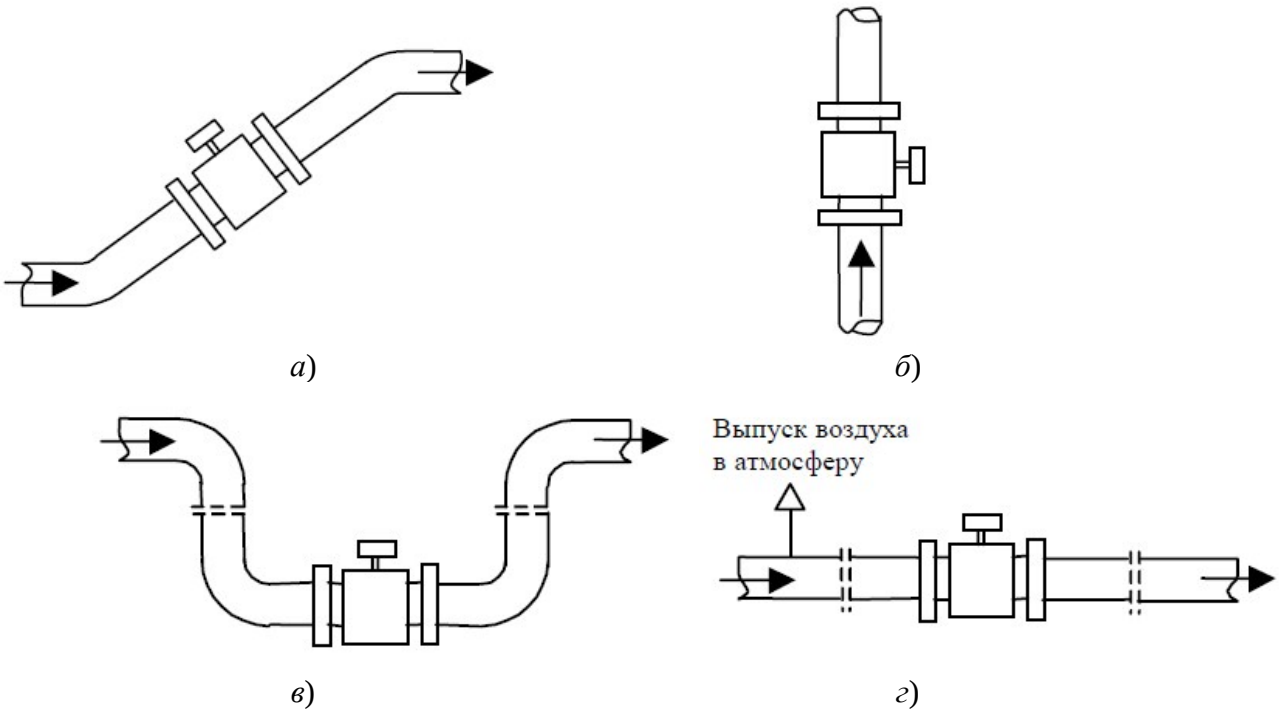


Рисунок 2.8 – Способы установки первичных преобразователей расхода: *а*) – на наклонном участке трубопровода; *б*) – на вертикальном участке трубопровода; *в*) – на горизонтальном участке трубопровода; *г*) – при наличии воздуха в трубопроводе

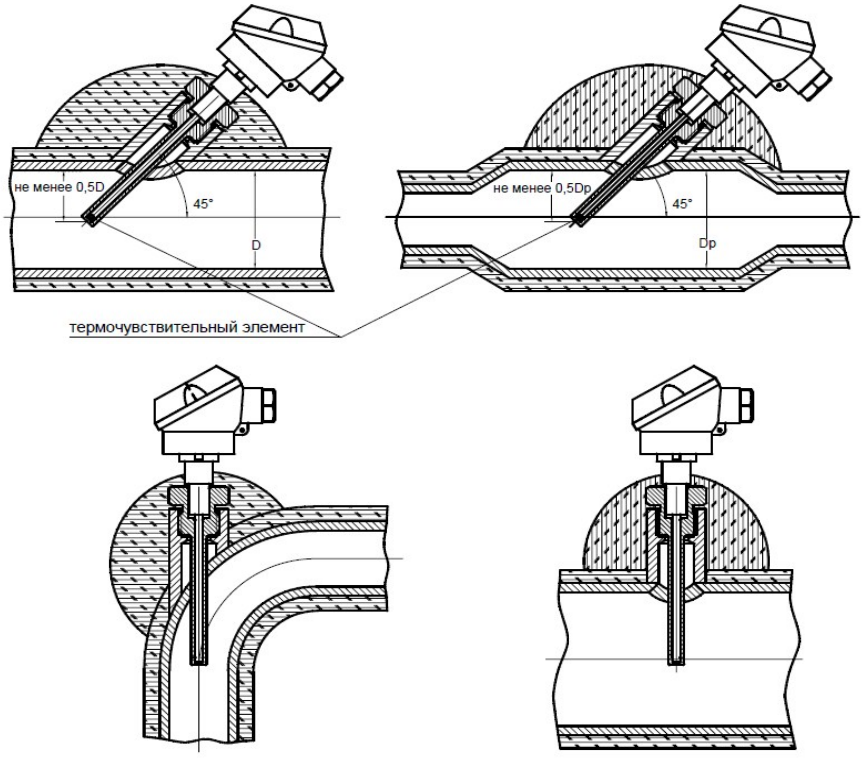


Рисунок 2.9 – Способы установки термопреобразователей сопротивления

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3
ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОГО ПУНКТА

Цель работы: Изучение схемных решений систем автоматического регулирования, используемые на модернизируемых и возводящихся индивидуальных тепловых пунктах. Ознакомление с устройством и принципами работы автоматических регуляторов температуры, давления. Подбор клапана регулятора расхода, устанавливаемого на подающем трубопроводе индивидуального теплового пункта.

Краткие теоретические сведения

Технологические схемы тепловых пунктов различаются по нескольким критериям:

1) по виду и количеству одновременно подключённых потребителей тепла, таких как системы отопления, горячего водоснабжения (ГВС), вентиляции и кондиционирования воздуха;

2) по способу подключения к тепловой сети системы ГВС – открытая или закрытая система теплоснабжения;

3) по принципу нагрева воды для ГВС в закрытой системе теплоснабжения – одноступенчатая или двухступенчатая схема;

4) по способу подключения к тепловой сети систем отопления и вентиляции – зависимое (с подачей теплоносителя непосредственно из тепловых сетей) или независимое (через водоподогреватели);

5) по температуре теплоносителя в тепловой сети и системах теплопотребления (отопление и вентиляция) – одинаковая или различная;

6) по пьезометрическому графику системы теплоснабжения и его соотношению с отметкой и высотой здания;

7) по требованиям к уровню автоматизации.

Рассмотрим технологические схемы автоматизированного теплового пункта, представленные на рисунках 3.1 и 3.2, которые включают в себя следующие функциональные узлы: I – узел ввода тепловой сети; II – узел учёта теплопотребления; III – узел согласования давлений (в тепловой сети и системах теплопотребления); IV – узел подключения систем вентиляции; V – узел подключения системы ГВС; VI – узел подключения систем отопления; VII – узел подпитки независимо подключённых к тепловой сети систем теплопотребления (отопления и вентиляции).

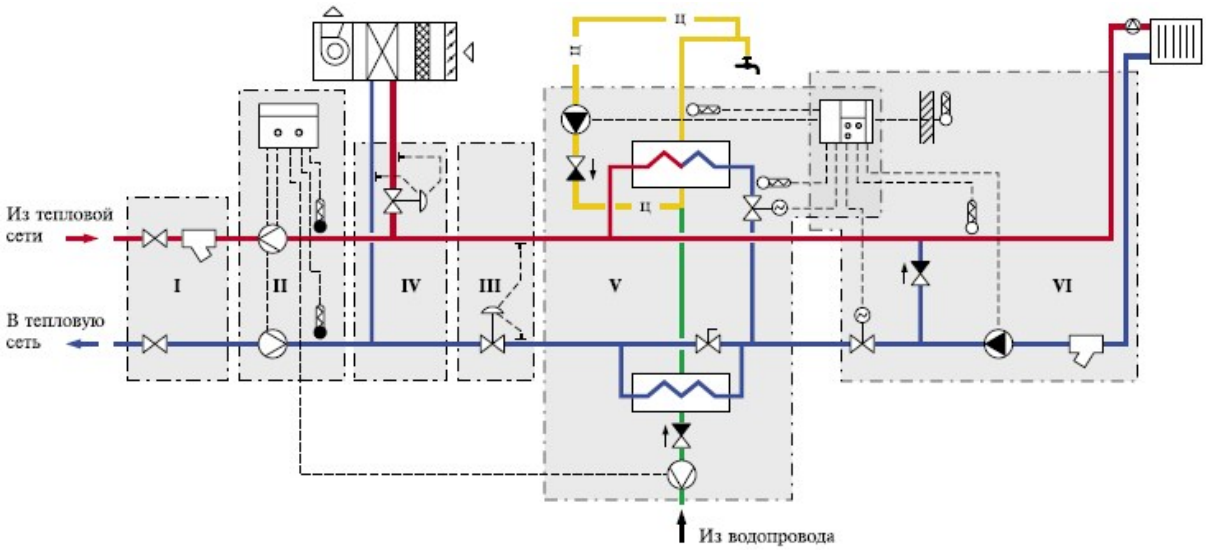


Рисунок 3.1 – Технологическая схема автоматизированного теплового пункта при закрытой системе теплоснабжения и зависимом присоединении системы отопления к тепловой сети

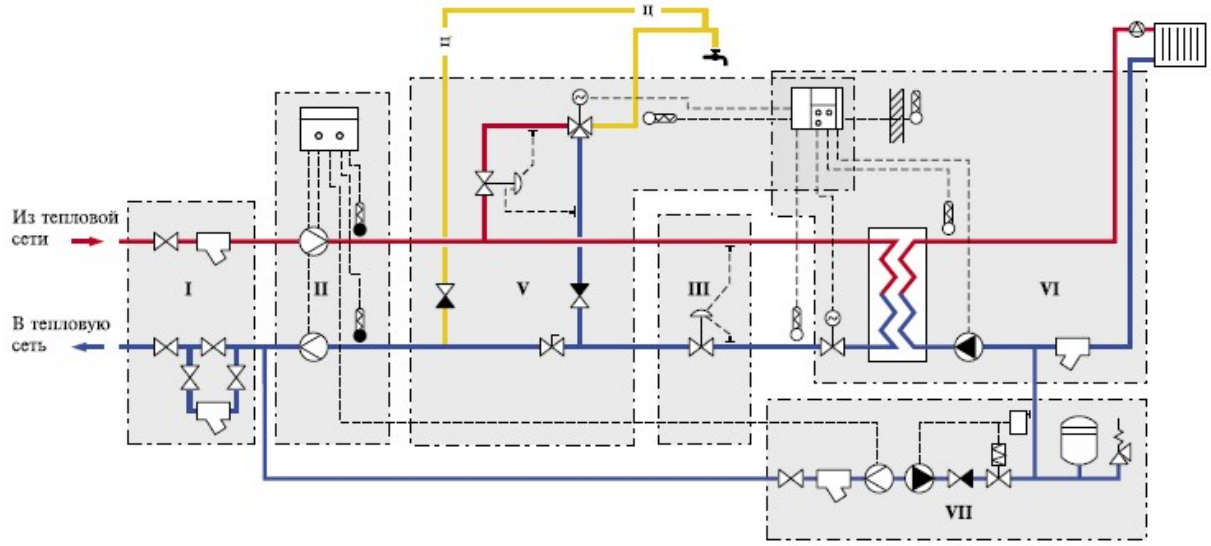


Рисунок 3.2 – Технологическая схема автоматизированного теплового пункта при открытой системе теплоснабжения и независимом присоединении системы отопления к тепловой сети

Автоматический регулятор представляет собой устройство, которое реагирует на изменения параметра, характеризующего объект регулирования, и автоматически управляет процессом с целью поддержания этого параметра в заданных пределах или изменения его согласно заданному закону. В состав автоматического регулятора входят измерительный, управляющий, исполнительный и регулирующий элементы. Регуляторы прямого (непосредственного) действия относятся к типу автоматических регуляторов, у которых перемещение регулирующего элемента при изменении регулируемого

параметра происходит исключительно за счёт усилий, возникающих, как правило, в измерительном (чувствительном) элементе. Такие регуляторы не требуют дополнительных источников энергии.

Рассмотрим конструктивные особенности основных первичных средств автоматического регулирования, применяемых на тепловых пунктах.

Автоматические регуляторы перепада давления – это устройства, предназначенные для стабилизации располагаемого давления на регулируемом участке на заданном уровне. Конструкция регулятора перепада давления показана на рисунке 3.3. Регулятор перепада давления, установленный на абонентском вводе, выполняет не только основную функцию – обеспечение стабильной работы теплосети путём ограничения максимального расхода теплоносителя, но и создаёт условия для эффективной работы регулирующего клапана, повышая его внешний авторитет; улучшает качество регулирования объекта; а также защищает регулируемый участок от воздействия колебаний давления теплоносителя со стороны сети.

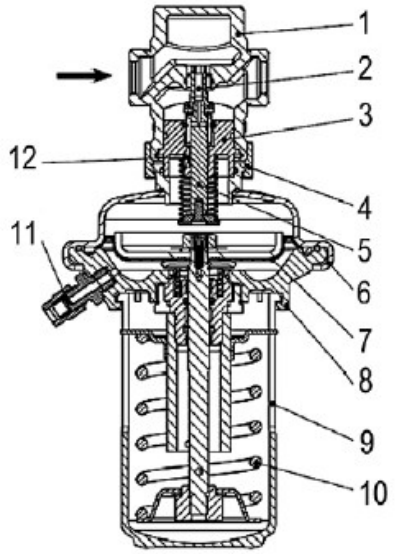


Рисунок 3.3 – Устройство регулятора перепада давления:
1 – корпус; 2 – затвор (разгруженный); 3 – вкладыш; 4 – соединительная гайка; 5 – шток; 6 – нижняя крышка мембранной коробки; 7 – мембрана; 8 – верхняя крышка мембранной коробки; 9 – рукоятка настройки с возможностью опломбирования; 10 – пружина настройки; 11 – штуцер для подключения импульсной трубки; 12 – перепускное отверстие

Автоматические регуляторы расхода предназначены для стабилизации потока теплоносителя (см. рис. 3.4). В отличие от лимитной диафрагмы, эти регуляторы функционируют при переменном перепаде давления как в теплосети, так и в инженерных системах зданий, устраняя проблемы с разрегулировкой. Их установка необходима, поскольку даже в однотрубных и двухтрубных системах отопления с постоянным гидравлическим режимом наблюдаются значительные колебания расхода теплоносителя, вызванные

изменяющимся гравитационным давлением и работой терморегуляторов на отопительных приборах. Регулятор расхода обеспечивает стабильную работу системы на протяжении длительного времени, компенсируя возрастание гидравлического сопротивления элементов системы из-за коррозии и накипи, а также колебания гравитационного давления и давления, возникающего при работе терморегуляторов.

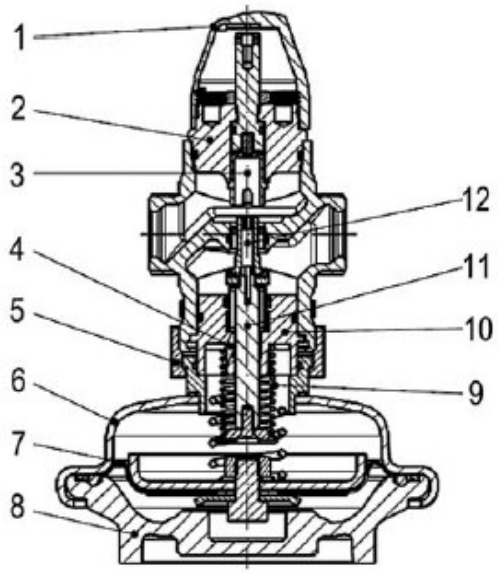


Рисунок 3.4 – Устройство регулятора расхода:
1 – колпачок; 2 – крышка; 3 – дроссель ограничителя расхода; 4 – перепускное отверстие; 5 – соединительная гайка; 6 – нижняя крышка мембранной коробки; 7 – мембрана; 8 – верхняя крышка мембранной коробки; 9 – встроенная пружина контроля расхода; 10 – втулка; 11 – шток; 12 – разгруженный затвор

Регуляторы температуры прямого действия предназначены для поддержания температуры воды в бойлере или на выходе из теплообменника, а также температуры воздуха за калорифером на заданном уровне (см. рис. 3.5). Их работа основана на уменьшении проходного сечения клапана (закрывание) при повышении температуры. Регуляторы температуры прямого действия не требуют дополнительной энергии и поддерживают заданную температуру воды в пределах допустимого отклонения.

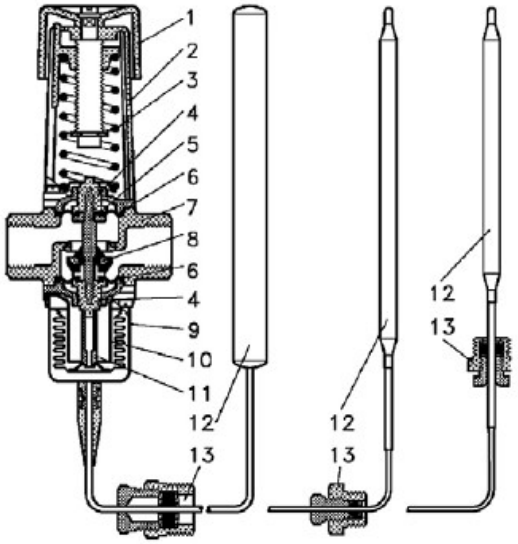


Рисунок 3.5 – Устройство регулятора температуры:
1 – маховик; 2 –кожух; 3 – регулирующая пружина; 4 – кольцевое уплотнение; 5 – шток; 6 – диафрагма; 7 – корпус; 8 – затвор; 9 – сильфонный узел; 10 – сильфонный стопор; 11 – шток сильфонного узла; 12 – датчик; 13 – сальник капиллярной трубки

Приборы и оборудование: регулятор расхода РР-50; регулятор системы теплоснабжения SR-1-KM; регулятор температуры ВТР 10И-24.

Схема и описание установки

Монтажная схема регулятора температуры ВТР 10И-24 в системе управления контуром горячего водоснабжения административного здания представлена на рисунке 3.6.

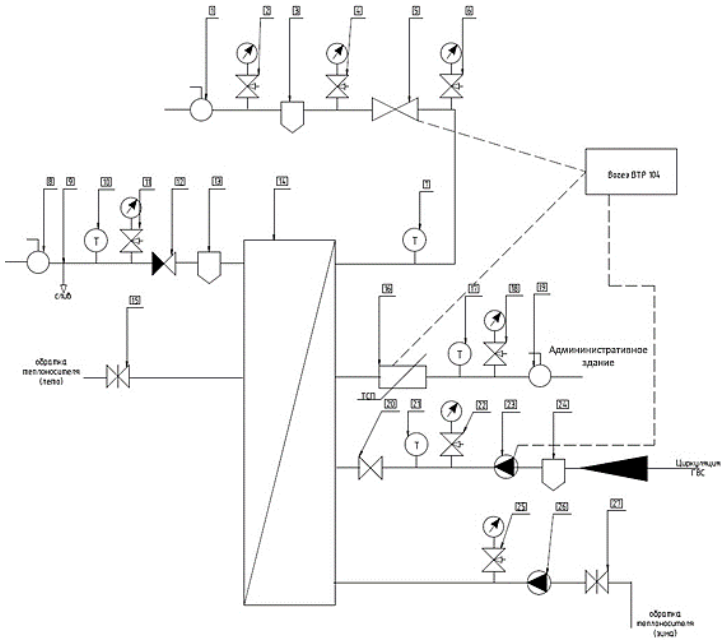


Рисунок 3.6 – Схема горячего водоснабжения:
1, 8, 19 – шаровые краны; 2, 4, 6, 11, 18, 22, 25 – регулирующие вентили с манометрами; 3, 13, 24 – грязевики; 5 – регулятор расхода; 7, 10, 17, 21 – термометры расширения; 9 – сливной трубопровод; 12 – обратный клапан; 14 – теплообменник; 15, 27 – задвижки; 16 – термометр сопротивления; 20 – вентиль; 23 – циркуляционный насос ГВС; 26 – насос для перекачки теплоносителя.

Порядок выполнения работы

Подобрать регулирующие клапаны из онлайн-каталогов или каталогов, предоставленных преподавателем для представленной на рис. 3.7 схемы теплового пункта, если заданы: вид теплоносителя – вода; температуры воды в прямом и обратном трубопроводах систем отопления ($t_{1о}$ и $t_{2о}$), вентиляции ($t_{1в}$ и $t_{2в}$) и ГВС ($t_{1гвс}$ и $t_{2гвс}$); давления воды в подающем p_1 и обратном p_2 трубопроводах тепловой сети; расчётные тепловые нагрузки на отопление $Q_о$, вентиляцию $Q_в$ и ГВС $Q_{гвс}$; потери давления в означенных системах ($\Delta p_о$, $\Delta p_в$ и $\Delta p_{гвс}$).

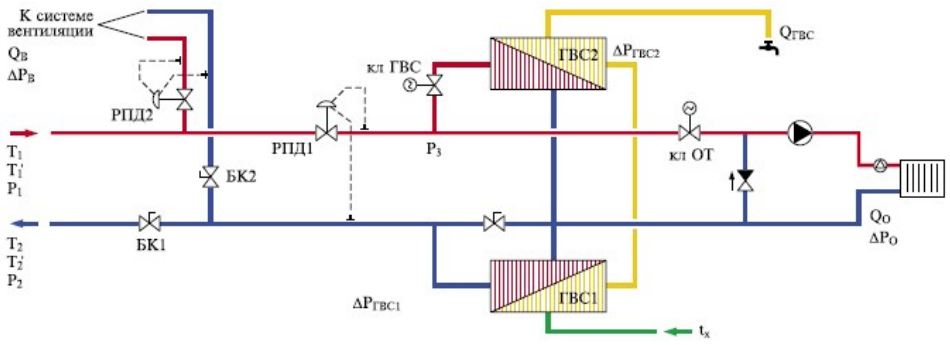


Рисунок 3.7 – Схема теплового пункта

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА4
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТЕПЛОВОГО ПУНКТА

Цель работы: ознакомление с ключевыми мероприятиями, направленными на повышение эффективности работы ИТП. Произведение оценки экономического эффекта, достигаемого при оснащении ИТП средствами автоматического регулирования расхода тепловой энергии на отопление и ГВС.

Краткие теоретические сведения

Экономическую эффективность автоматизации тепловых пунктов оценивают через технико-экономическое сравнение различных проектных решений. В этом процессе анализируют капитальные и эксплуатационные расходы, а также сроки монтажа и эксплуатации систем. Также рассчитывают срок окупаемости капитальных вложений за счет снижения эксплуатационных расходов и сопоставляют его с нормативными значениями. Факторы, влияющие на энергосбережение при использовании автоматизированных систем, весьма разнообразны. На сегодняшний день нет полноценных отечественных методик для их комплексного учета, а существующие методики являются разрозненными. Это связано с тем, что владельцы зданий (помещений) в первую очередь интересуются реальными доходами от внедрения энергосберегающих мероприятий, в то время как такие мероприятия имеют государственное значение. В любом случае, ключевым фактором остается экономия топливо-энергетических ресурсов при обеспечении теплового комфорта в помещениях.

Чем выше уровень автоматического регулирования и технического оснащения теплового пункта, тем больше экономический эффект. Термическая модернизация зданий, которая включает комплексную автоматизацию инженерных систем и теплоизоляцию ограждающих конструкций, может привести к экономии тепловой энергии до 50 % и сохранению коммунальных платежей на прежнем уровне, даже при росте цен на тепловую энергию на 50 %.

Экономический эффект от внедрения регуляторов расхода тепловой энергии включает следующие аспекты:

– поддержание комфортной температуры воздуха в помещениях путем соблюдения заданного графика зависимости температуры теплоносителя от температуры наружного воздуха;

– устранение перетопов зданий в весенний и осенний периоды;

– автоматическое снижение потребления тепловой энергии системой отопления в нерабочее время, включая выходные и праздничные дни;

– поддержание необходимой температуры горячей воды в системе горячего водоснабжения (ГВС);

– автоматическое снижение температуры горячей воды в ночное время и в выходные и праздничные дни, вплоть до полной остановки системы ГВС;

– поддержание комфортной температуры воздуха в помещениях за счет автоматического регулирования расхода теплоносителя, поступающего на калорифер вентиляционной установки;

– автоматическое включение вентиляционной установки в рабочее время и отключение в нерабочее время, включая выходные и праздничные дни;

– ограничение температуры теплоносителя, возвращаемого в тепловую сеть.

Рассмотрим различные варианты установки средств автоматического регулирования для различных схем подключения систем горячего водоснабжения и отопления в индивидуальных тепловых пунктах. (см. рис. 4.1, 4.2, 4.3).

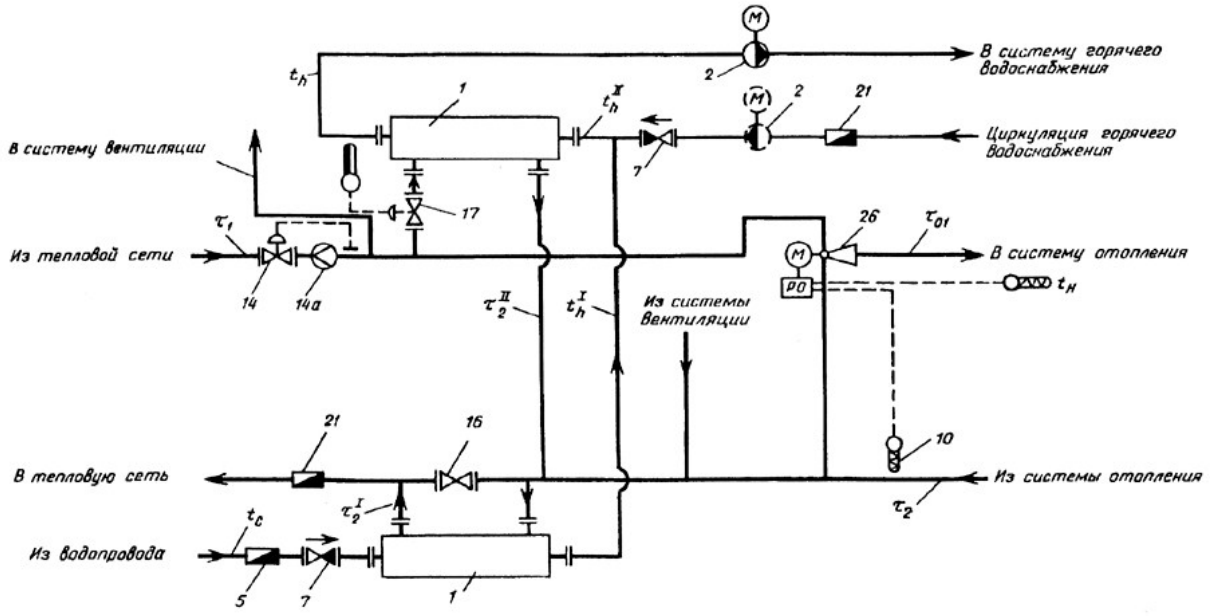


Рисунок 4.1 – Двухступенчатая схема присоединения подогревателей ГВС в ИТП с водоструйным элеватором и автоматическим регулированием расхода теплоты
на отопление (пример учёта теплоты по водомерам)

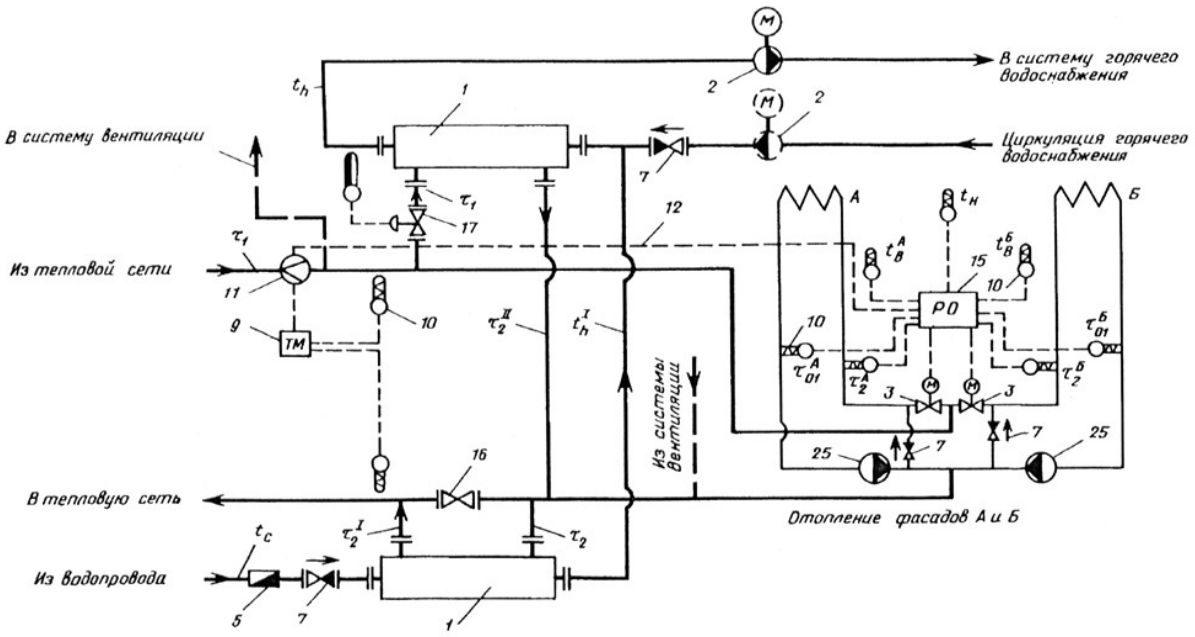
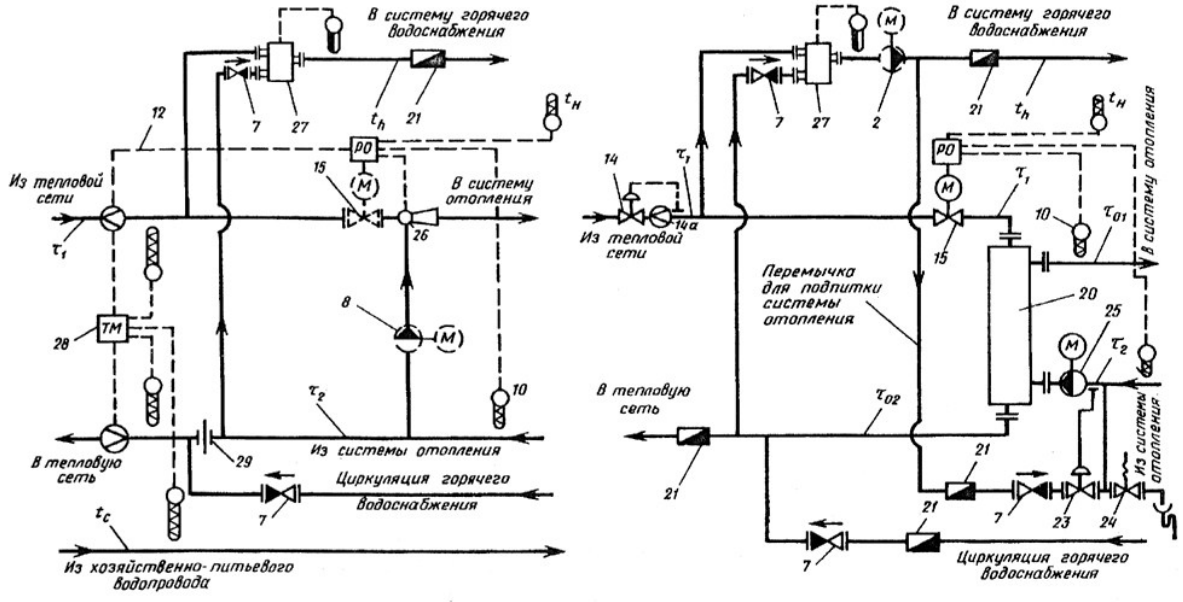


Рисунок 4.2 – Двухступенчатая схема присоединения подогревателей ГВС в ИТП с зависимым присоединением систем отопления и пофасадным автоматическим регулированием расхода теплоты на отопление



а) б)

Рисунок 4.3 – Схемы присоединения систем ГВС и отопления в ИТП: а) – при зависимом присоединении системы отопления через элеватор с учётом теплоты по теплосчётчику и независимом, б) – с учётом теплоты по водомеру

На рис. 4.1, 4.2, 4.3 приняты следующие обозначения: 1 – водоподогреватель горячего водоснабжения; 2 – повысительно-циркуляционный насос горячего водоснабжения (пунктиром – циркуляционный насос); 3 – регули-

рующий клапан с электроприводом; 4 – регулятор перепада давлений (прямого действия); 5 – водомер для холодной воды; 6 – регулятор подачи теплоты на отопление, горячее водоснабжение и ограничения максимального расхода сетевой воды на ввод; 7 – обратный клапан; 8 – корректирующий подмешивающий насос; 9 – теплосчетчик; 10 – датчик температуры; 11 – датчик расхода воды; 12 – сигнал ограничения максимального расхода воды из тепловой сети на ввод; 13 – датчик давления воды в трубопроводе; 14 – регулятор ограничения максимального расхода воды на ввод (прямого действия); 14а – датчик расхода воды в виде сужающего устройства (камерная диафрагма); 15 – регулятор подачи теплоты на отопление; 16 – задвижка, нормально закрытая; 17 – регулятор подачи теплоты на горячее водоснабжение (прямого действия); 18 – сигнал включения насоса при закрытии клапана К-2; 19 – регулятор перепада давлений (электронный); 20 – водоподогреватель отопления; 21 – водомер горячеводный; 22 – подпиточный насос отопления; 23 – регулятор подпитки; 24 – предохранительный клапан; 25 – циркуляционный насос отопления; 26 – водоструйный элеватор; 27 – регулятор смешения горячей воды; 28 – теплосчетчик двухпоточный; 29 – дроссельная диафрагма.

Порядок выполнения работы

Опираясь на методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий, разработанные Департаментом по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь, выполнить оценку повышения эффективности работы индивидуального теплового пункта за счёт внедрения регуляторов расхода тепловой энергии.

I. Расчёт экономии топлива от внедрения регуляторов расхода тепловой энергии.

Расчёт годового расхода тепловой энергии.

1.1. Годовой расход теплоты на отопление жилых и общественных зданий:

$$Q_{\text{огод}} = 24 Q_{\text{о}}^{\text{ср}} n_{\text{о}}, \text{ кДж}, \tag{4.1}$$

где $Q_{\text{о}}^{\text{ср}}$ – среднечасовой расход тепла за отопительный период, кВт; $n_{\text{о}}$ – продолжительность отопительного периода в сутках по числу

дней с устойчивой средней суточной температурой воздуха 8 ºС и ниже (см. табл. 1 прил. А).

Среднечасовой расход тепла за отопительный период:

$$Q_{\text{о}}^{\text{ср}} = Q_0 \frac{t_{\text{вн}} - t_0^{\text{ср}}}{t_{\text{вн}} - t_0^{\text{р}}}, \text{ кВт} \tag{4.2}$$

где $Q_о$ – максимальный часовой расход тепла на отопление, кВт (принимается на основании проекта, технических условий на теплоснабжение или договора с энергоснабжающей организацией на теплоснабжение); $t_{вн}$ – расчётная температура внутреннего воздуха отапливаемых зданий, °С (18 °С – для жилых, общественных и административных зданий, 21 °С – для дошкольных и детских лечебных учреждений, для производственных зданий принимается температура в зданиях характерная для конкретного производства); $t_о^{ср}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С (см. табл. 1 прил. А); $t_о^{р}$ – расчётная температура наружного воздуха для проектирования отопления принимаемая, как средняя температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °С (см. табл. 1 прил. А).

1.2. Годовой расход теплоты на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий:

$$Q_{гвс}^{год} = 24Q_{гвс}^{ср(з)}n_0 + 24Q_{гвс}^{ср(л)}(350 - n_0), \text{ кДж} \quad (4.3)$$

где $Q_{гвс}^{ср(з)}$ – среднечасовой расход тепла на горячее водоснабжение за отопительный период, кВт; $Q_{гвс}^{ср(л)}$ – среднечасовой расход тепла на горячее водоснабжение в летний период, кВт; 350 – число суток в году работы системы горячего водоснабжения.

Среднечасовой расход тепла на горячее водоснабжение за отопительный период:

$$Q_{гвс}^{ср(з)} = k \cdot Q_{гвс}, \text{ кВт} \quad (4.4)$$

где $Q_{гвс}$ – максимальный часовой расход тепла на горячее водоснабжение, кВт (принимается на основании проекта, технических условий на теплоснабжение или договора с энергоснабжающей организацией на теплоснабжение); k – коэффициент часовой неравномерности пользования горячей водой (допускается принимать k = 0,5).

Среднечасовой расход тепла на горячее водоснабжение в летний период:

$$Q_{гвс}^{ср(л)} = \beta \cdot Q_{гвс}^{ср(з)} \frac{55 - t_х^л}{55 - t_х^з}, \text{ кВт}, \quad (4.5)$$

где β – коэффициент, учитывающий снижение среднечасового расхода воды на горячее водоснабжение в летний период по отношению к отопительному (допускается принимать β = 0,8); 55 – температура горячей воды, °С; $t_х^л$ – температура холодной (водопроводной) воды в летний период, °С (допускается принимать $t_х^л$ =15 °С); $t_х^з$ – температура холодной (водопроводной) воды в отопительный период, °С (допускается принимать $t_х^з$ = 5 °С).

Расчёт годовой экономии тепловой энергии.

Экономия тепловой энергии за счёт поддержание комфортной температуры воздуха в помещениях жилых, общественных и производственных зданий путем соблюдения заданного графика зависимости температуры теплоносителя, поступающего в систему отопления, от температуры наружного воздуха:

$$\Delta Q_{\text{о}(1)}^{\text{год}} = 0{,}02 Q_{\text{о}}^{\text{год}}, \text{ кДж.} \quad (4.6)$$

Экономия тепловой энергии за счёт ликвидации весеннеосенних перетопов в помещениях жилых, общественных и производственных зданий:

$$\Delta Q_{\text{о}(2)}^{\text{год}} = 0{,}12 Q_{\text{о}}^{\text{год}}, \text{ кДж.} \quad (4.7)$$

Экономия тепловой энергии за счёт автоматического снижения потребления тепловой энергии системой отопления общественных и производственных зданий в нерабочее время, в выходные и праздничные дни:

$$\Delta Q_{\text{о}(3)}^{\text{год}} = 0{,}23 Q_{\text{о}}^{\text{год}}, \text{ кДж.} \quad (4.8)$$

Для систем отопления жилых зданий не практикуется автоматическое снижение потребления тепловой энергии.

Экономия тепловой энергии за счёт поддержания требуемой температуры горячей воды в системе ГВС жилых, общественных и производственных зданий:

$$\Delta Q_{\text{гвс}(1)}^{\text{год}} = 0{,}02 Q_{\text{гвс}}^{\text{год}}, \text{ кДж.} \quad (4.9)$$

Экономия тепловой энергии за счёт автоматического снижения температуры горячей воды в ночное время, в выходные и праздничные дни, вплоть до полной остановки системы ГВС, общественных и производственных зданий:

$$\Delta Q_{\text{гвс}(2)}^{\text{год}} = 0{,}21 Q_{\text{гвс}}^{\text{год}}, \text{ кДж.} \quad (4.10)$$

Годовая экономия тепловой энергии:

$$\Delta Q^{\text{год}} = \Delta Q_{\text{о}(1)}^{\text{год}} + \Delta Q_{\text{о}(2)}^{\text{год}} + \Delta Q_{\text{о}(3)}^{\text{год}} + \Delta Q_{\text{гвс}(1)}^{\text{год}} + \Delta Q_{\text{гвс}(2)}^{\text{год}} \quad (4.11)$$

Годовая экономия условного топлива:

$$\Delta B_{\text{год}} = b_{\text{тэ}} \Delta Q^{\text{год}} \cdot 10^{-3}, \text{ т у.т.,} \quad (4.12)$$

где $b_{тэ}$ – удельный расход условного топлива на выработку одного ГДж тепловой энергии, кг у.т./ГДж.

II. Расчёт капиталовложений и срока окупаемости.

1. Стоимость проектных работ по внедрению регуляторов расхода тепловой энергии на объекте $С^{пр}$ определяется по СНБ 1.02.0698 «Порядок определения стоимости проектной документации в строительстве».

Стоимость регуляторов расхода $С^{рег}$ тепловой энергии для систем отопления и горячего водоснабжения определяется на момент выполнения расчёта по счёт-фактурам предприятия-изготовителя или поставщика оборудования, выбранного на основании тендера, по следующей формуле:

$$С^{рег} = С_{о}^{рег} + С_{гвс}^{рег}, \text{ руб}, \quad (4.13)$$

где $С_{о}^{рег}$, $С_{гвс}^{рег}$ – стоимости регулятора, руб., для системы отопления и горячего водоснабжения, соответственно.

Стоимость оборудования и материалов $С^{об.рег}$, необходимых для монтажа регуляторов расхода тепловой энергии на объекте, определяется на момент выполнения расчёта предприятия-изготовителя или поставщика оборудования и материалов, выбранного на основании тендера, по следующей формуле:

$$С^{об.рег} = С_{о}^{об.рег} + С_{гвс}^{об.рег}, \text{ руб}, \quad (4.14)$$

где $С_{о}^{об.рег}$, $С_{гвс}^{об.рег}$ – стоимости оборудования и материалов, руб., для монтажа регулятора системы отопления и горячего водоснабжения, соответственно.

Стоимость сантехнических и электротехнических монтажных работ $С^{м.р.}$ по установке регуляторов расхода тепловой энергии на объекте:

$$С^{м.р.} = С^{м.р.о} + С_{гвс}^{м.р.}, \text{ руб}, \quad (4.15)$$

где $С_{о}^{м.р.}$, $С_{гвс}^{м.р}$ – стоимости монтажных работ, руб., по установке регулятора для системы отопления и горячего водоснабжения, соответственно.

Стоимость работ по наладке установленных регуляторов расхода тепловой энергии:

$$С^{н.р.} = С_{о}^{н.р.} + С_{гвс}^{н.р.}, \text{ руб}, \quad (4.16)$$

где $С_{о}^{н.р.}$, $С_{гвс}^{н.р.}$ – стоимости работ по наладке регулятора, руб., для системы отопления и горячего водоснабжения, соответственно.

Капиталовложения, необходимые для выполнения комплекса работ по внедрению систем регулирования на объекте:

$$К^{рег} = С^{рег} + С^{об.рег} + С^{м.р.} + С^{н.р.}, \text{ руб}. \quad (4.17)$$

Срок окупаемости мероприятия за счёт экономии топлива:

$$С_{ок} = \frac{К^{рег}}{\Delta B^{год} С_{т}}, \text{ лет} \quad (4.18)$$

где $С_т$ – стоимость 1 т у.т. (руб.), уточняемая на момент выполнения расчёта.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5
КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПО ТАНГЕНСУ УГЛА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ

Цель работы: изучить метод контроля внутренней изоляции по величине тангенса диэлектрических потерь.

Краткие теоретические сведения

Когда диэлектрик находится в электрическом поле, часть энергии этого поля расходуется на его нагрев. Под диэлектрическими потерями понимается электрическая мощность, которая рассеивается в виде тепла внутри диэлектрика, находящегося в электрическом поле. Рассмотрим процессы, приводящие к выделению тепла в диэлектрике.

Технические диэлектрики обладают определенной электропроводностью – поверхностной, объемной или одновременно обеими. Вследствие этого через диэлектрик протекает ток проводимости, вызывающий нагрев. Потери, связанные с проводимостью диэлектрика, наблюдаются как при постоянном, так и при переменном электрическом поле.

В объеме и на поверхности диэлектрика, находящегося в электрическом поле, возникают электрические диполи – процесс, называемый поляризацией. Существуют различные виды поляризации, такие как электронная, ионная, релаксационная, миграционная и другие, которые отличаются временем, необходимым для их установления.

Таким образом, в переменном электрическом поле общие диэлектрические потери складываются из потерь на проводимость и потерь на поляризацию, тогда как в постоянном поле они включают только потери, обусловленные проводимостью.

Для оценки способности диэлектрика рассеивать энергию электрического поля применяется понятие тангенса угла диэлектрических потерь.

Схема и описание установки

Измерение тангенса диэлектрических потерь осуществляется прибором Тангенс 2000.

Прибор Тангенс 2000 позволяет проводить измерение по разным видам схем. На рисунке 5.1 приведена схема измерения. Прибор обеспечивает получение испытательного синусоидального напряжения от 1 до 10 кВ.

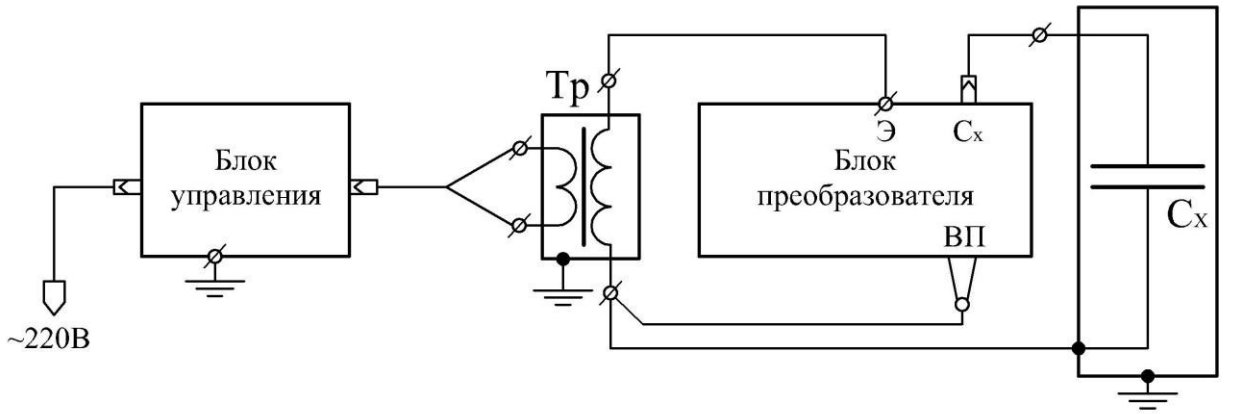


Рисунок 5.1 – Схема измерения tgδ изоляции прибором Тангенс 2000

Измеритель состоит из трех блоков – блока управления, блока преобразователя и повышающего трансформатора. В блок преобразователя встроен эталонный конденсатор.

Тангенс 2000 производит измерения при двух частотах испытательного напряжения 44 и 56 Гц, что позволяет исключить влияние внешнего электрического поля промышленной частоты.

Диапазон измеряемых значений составляет по tgδ от 0,00001 до 1, по емкости от 10 пФ до 340 нФ.

Для оценки влияния температуры изоляции на значение tgδ требуется наличие нагревательной ёмкости, внутри которой помещен образец изоляции. Допускается нагрев образца изоляции до температуры не более 90 °С.

Порядок выполнения работы

1. Подключите прибор Тангенс 2000 для измерения tgδ изоляции высоковольтного ввода. Зафиксировав значение испытательного напряжения, запишите показания прибора: δ, tgδ, I0, Ix, Cx, U~. Определите, какие из этих величин являются измеренными, а какие расчетными. На основе измеренных значений вычислите расчетные величины и сравните их с показаниями прибора.

2. Снимите зависимость tgδ от испытательного напряжения для: а) изоляции высоковольтного ввода; б) изоляции образца в печи при комнатной температуре. Постройте графики tgδ = f(U~). Для каждого образца изоляции рассчитайте мощность диэлектрических потерь при различных значениях испытательного напряжения и постройте графики РД = f(U~). На основе полученных данных сделайте вывод о состоянии изоляции.

3. При различных значениях фазы ЭДС влияния измерьте tgδ изоляции высоковольтного ввода. Сведите данные измерений в одну таблицу и постройте общий график. Объясните полученные результаты.

4. Установите определенное значение фазы ЭДС влияния и компенсируйте её, изменив фазу испытательного напряжения на 180°.

5. Снимите зависимость tgδ от температуры для образца изоляции, находящегося в печи, и постройте график tgδ = f(T). Объясните полученный результат.

Контрольные вопросы

1. Каковы методы устранения воздействия внешнего электрического поля промышленной частоты на результаты измерения tgδ, и в чем заключается суть этих методов?
2. В чем заключается разница между потерями в проводнике и потерями в диэлектрике?
3. Что подразумевается под током влияния и в каком частотном диапазоне он проявляется?
4. Объясните, почему при измерениях было получено отрицательное значение тангенса угла диэлектрических потерь.
5. Постройте векторные диаграммы, которые иллюстрируют компенсацию тока влияния в случае, когда фаза испытательного напряжения остается постоянной, а фаза ЭДС влияния может изменяться.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6
ИЗМЕРЕНИЕ И АНАЛИЗ ВИБРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПРИБОРОМ «ЯНТАРЬ»

Цель работы: изучить метод контроля внутренней изоляции по величине тангенса диэлектрических потерь.

Краткие теоретические сведения

Вибрация – это механические колебания, возникающие в машинах и механизмах при их работе. Основными параметрами вибрации являются:

- виброускорение – измеряется в м/с²;
- виброскорость – измеряется в мм/с;
- виброперемещение – измеряется в мкм.

Прибор ВУ043-«Янтарь» предназначен для контроля и анализа вибрации роторных агрегатов. Принцип работы основан на преобразовании механической вибрации в электрический сигнал с помощью пьезоэлектрического акселерометра.

Основные технические характеристики:

- диапазон измерения ускорения: 1,0…200 м/с²;
- диапазон измерения скорости: 1,0…150 мм/с;
- диапазон измерения перемещения: 6…480 мкм;
- погрешность измерения: ±6 % для ускорения и скорости, ±10 % для перемещения.

Схема и описание установки

Состав измерительной установки:

- вибропреобразователь РА023-А;
- измерительный блок БИ080;
- блок питания ЯНТ.200.000;
- измерительный щуп;
- магнит для крепления преобразователя;
- соединительный кабель;
- головной телефон.

Подключение прибора (рис. 6.1):

1. Вибропреобразователь крепится к измеряемому объекту с помощью магнита.
2. Соединительный кабель подключается к измерительному блоку.
3. Блок питания подключается к сети 220В.
4. Головной телефон подключается для контроля звуковой составляющей вибрации.

Рисунок 6.1 – Внешний вид и схема подключения прибора «Янтарь»

Порядок выполнения работы

1. Подготовка прибора:
   - проверить заряд аккумуляторов;
   - включить прибор кнопкой «I/O»;
   - настроить параметры измерения через меню.
2. Измерение параметров:
   - установить вибропреобразователь в контрольную точку;
   - выбрать режим измерения (ускорение/скорость/перемещение);
   - зафиксировать показания прибора;
   - повторить измерения в 3–4 точках для каждого параметра.
3. Анализ результатов:
   - занести полученные данные в таблицу;
   - сравнить с допустимыми нормами вибрации;
   - сделать вывод о техническом состоянии машины.
4. Оформление отчета:
   - заполнить протокол измерений;
   - построить графики зависимости параметров вибрации;
   - сделать заключение о результатах измерений.

Контрольные вопросы

1. Какие основные параметры вибрации измеряет прибор «Янтарь»?

2. В каких единицах измеряются параметры вибрации?

3. Каковы допустимые погрешности измерений для различных параметров?

4. Как правильно выбрать точки измерения вибрации на электрической машине?

5. Какие факторы могут повлиять на точность измерений?

6. Как производится калибровка прибора перед измерениями?

7. В каких случаях необходимо проводить внеплановый контроль вибрации?

8. Как интерпретировать полученные результаты измерений?

9. Какие меры необходимо предпринять при обнаружении превышения норм вибрации?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7
МОНТАЖ ТЕРМОУСАЖИВАЕМЫХ МУФТ

Цель работы: освоение методики подбора термоусаживающих муфт для различных условий эксплуатации кабельных линий и приобретение практических навыков работы с монтажными материалами.

Краткие теоретические сведения

Термоусаживающие муфты представляют собой комплект специальных материалов и деталей, предназначенных для соединения, ответвления и защиты кабельных линий. Принцип работы основан на способности специальных полимерных материалов уменьшать свои размеры при нагревании, плотно охватывая изолируемые элементы.

Основные компоненты термоусаживающих муфт включают: термоусаживаемые трубки различных диаметров, изоляционные манжеты, перчатки и колпачки, соединительные гильзы, бандажи и крепежные элементы. Все материалы обладают высокой электрической прочностью и устойчивостью к воздействию окружающей среды.

Восстановление изоляции жил бумажных кабелей выполняется с использованием бумажных роликов или самоклеящихся лент. При монтаже соединительных муфт металлические оболочки и броня кабелей электрически соединяются гибким медным проводом и заземляются у концевых муфт. Медный проводник припаивается или фиксируется к оболочке или броне с помощью специальной роликовой пружины. Хотя ранее выполненные муфты все еще находятся в эксплуатации, в настоящее время предпочтение отдается термоусаживаемым муфтам от компании Raychem, а также от российских и зарубежных производителей. Эти муфты отличаются высокой надежностью и простотой монтажа, занимают мало места, способны изгибаться как кабель, не подвержены старению и имеют невысокую стоимость, что способствовало их широкому распространению.

Термоусаживаемые муфты изготавливаются из поперечно сшитых термопластичных полимеров с памятью формы. Термопластичные полимеры состоят из хаотично расположенных длинных и тонких молекул, и их жесткость изменяется в зависимости от расстояния между молекулами и кристаллической структуры. При нагреве кристаллическая структура разрушается, и материал становится текучим, принимая любую форму. При охлаждении вновь формируются кристаллические зоны, восстанавливающие жесткость, и материал сохраняет ту форму, в которую его поместили.

Термоусаживаемые муфты производятся для всех типов кабелей, различающихся по конструкции, сечению и номинальному напряжению. Каждая муфта состоит из нескольких термоусаживаемых трубок разных диаметров и материалов, изготовленных из поперечно сшитых полимеров и

поставляемых в растянутом состоянии. В комплект муфты также входят герметизирующие и полупроводниковые материалы (в виде лент или трубок) с нелинейными электрическими характеристиками, которые обеспечивают выравнивание распределения напряженности электрического поля у обреза экрана и у соединителей жил (для муфт с напряжением выше 1 кВ); маслостойкие трубки для герметизации жил с бумажной изоляцией; проводящие перчатки для 3–4 жильных кабелей; проводящие трубки; непаянная система заземления; соединители (наконечники) и другие элементы.

Монтаж термоусаживаемых муфт осуществляется после разделки концов кабеля. Размеры разделки оболочки и изоляции указаны в инструкциях по монтажу муфт. Затем последовательно выполняются все операции, предусмотренные технологией. Усадка изолирующих манжет соединителей, жильных трубок, кожуха и других элементов происходит при нагреве трубки пламенем газовой горелки или струей горячего воздуха с температурой 120–140 °С, начиная с середины её длины. При нагреве трубка усаживается в 2,5–4,5 раза, плотно охватывая элементы конструкции кабеля, а термоплавкий клей, нанесенный на внутреннюю сторону трубки, расплавляется и герметизирует муфту.

Для концевых наружных муфт их внешняя поверхность должна обладать высокой стойкостью к трекингу и эрозии. При напряжениях 6, 10, 20 и 35 кВ на внешнюю трубку дополнительно усаживаются трекингостойкие изоляционные юбки.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией кабелей в справочных материалах и рассмотреть образцы кабелей.
2. Изучить маркировку кабелей в справочных материалов.
3. Изучить способы прокладки кабелей.
4. Изучить технологию соединения и оконцевания кабелей.
5. По заданному варианту (табл. 7.1), используя сведения из различных источников, составить указания на монтаж кабельной линии. Кабельная линия напряжением 10 кВ имеет одну соединительную и две концевые муфты: одна – внутренней установки, вторая – наружной установки.
6. Составить отчет о работе. В отчете привести указания на монтаж кабельной линии и кабельных муфт, марки используемых кабельных муфт.

Таблица 7.1 – Варианты для выполнения

№ варианта	Марка и способ прокладок кабеля	Типы термоусаживаемых муфт
1	ААШвУ 3х70 (в земле)	Фирма Raychem
2	АВВБГ 3х120 (на стене)	Соединительная фирмы Термофит концевая наружная – Белтевэкс
3	АБвУ 3х180 (в траншее)	Концевые фирмы Термофит, соединительные – Raychem
4	ААШвУ 3х95 (в земле)	Фирма Raychem
5	ААБлУ-В 3х150 (в тоннеле)	Концевые фирмы Термофит, соединительные – Raychem
6	АВВБГ 3х90 (в тоннеле)	Соединительная – Raychem, концевые – Белтовэкс
7	ААБлУ-В 3х120 (в земле)	Соединительная фирмы Raychem концевая наружная – Raychem
8	АБвУ 3х240 (в земле)	Концевые фирмы Raychem, соединительные – Термофит
9	АВВБГ 3х150 (на стене)	Соединительная – Raychem, концевые – Белтовэкс
10	ААШвУ 3х120 (в траншее)	Фирма Raychem
11	ААБлУ-В 3х75 (в траншее)	Концевые фирмы Термофит, соединительные – Raychem
12	АВВБГ 3х120 (на стене)	Фирма Raychem
13	АБвУ 3х150 (в траншее)	Соединительная фирмы Raychem концевая наружная – Raychem
14	ААШвУ 3х95 (в траншее)	Фирма Raychem
15	ААБлУ-В 3х90 (в тоннеле)	Фирма Raychem

Контрольные вопросы

1. Каким образом выполняется подготовка концов кабелей перед их соединением?
2. Опишите способы соединения кабелей между собой.
3. Расскажите о конструкции кабелей с изоляцией из бумаги, пластмассы или резины.
4. Как маркируются кабели и какие существуют стандарты маркировки?
5. Какие особенности имеет монтаж концевых наружных кабельных муфт?
6. Как проводится монтаж термоусаживаемых кабельных муфт (соединительных, концевых и переходных)?
7. Каким образом при соединении кабелей достигается выравнивание напряженности электрического поля?
8. Как осуществляется прокладка кабелей в грунте при отсутствии инженерных сооружений и при наличии сооружений вдоль трассы или при их пересечении?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8
ФАЗИРОВКА КАБЕЛЕЙ

Цель работы: Изучение способов фазирования кабелей и проводов.

Краткие теоретические сведения

Для повышения надежности электроснабжения потребителей, а также в случаях, когда мощностей одного питающего кабеля недостаточно для нормального функционирования электроустановки, используют несколько параллельно проложенных кабелей. При этом важно соблюдать порядок чередования фаз при их подключении к электрооборудованию. Несоблюдение этого условия может привести к короткому замыканию при включении питания.

Процесс установления правильного порядка чередования фаз при параллельном подключении кабелей называют фазированием кабелей.

Рассмотрим пример: шины двух распределительных устройств (см. рис. 8.1) соединены кабелем 1, по которому электроэнергия передается от РУ-1 к РУ-2. Для повышения надежности электроснабжения параллельно этому кабелю проложен кабель 2. При этом жилы кабеля 2 должны быть подключены к сборным шинам таким образом, чтобы шина А в РУ-1 была соединена с шиной А в РУ-2. Аналогичные требования предъявляются к шинам В и С.

В электроустановках с напряжением 380/220 В фазирование кабеля выполняют с помощью вольтметра, рассчитанного на линейное напряжение сети. Для этого кабель 2 в РУ-1 подключают к шинам через рубильник, а в РУ-2 измеряют напряжение между одной из жил кабеля и шиной, к которой предполагается ее присоединить. Если вольтметр показывает линейное напряжение, это означает, что жила кабеля и шина принадлежат к разным фазам, и их соединять нельзя. Нулевое же показание говорит о том, что жила и шина имеют одинаковый потенциал, то есть относятся к одной фазе, и их соединение возможно. Аналогичным образом проверяют фазирование остальных жил кабеля.

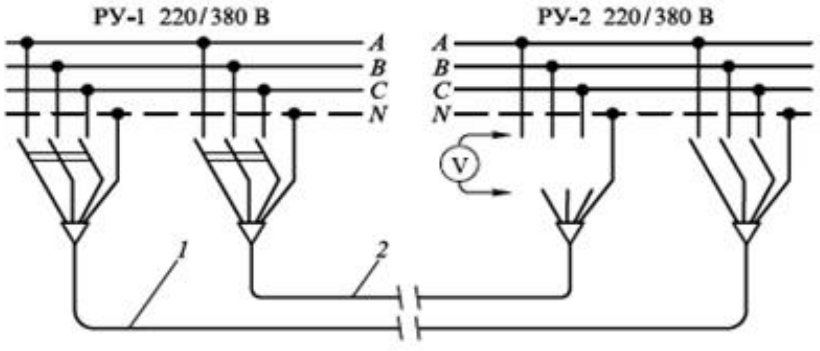


Рисунок 8.1 – Схема фазирования кабелей 1 и 2

Если вольтметра нет, можно использовать две последовательно соединенные лампы накаливания номиналом 220 В: жила и шина, между которыми при включении лампы не светятся, принадлежат к одной фазе.

Следует учитывать, что кабели обладают значительной емкостью, поэтому после фазирования, прозвонки и испытаний на жилах сохраняется остаточное напряжение, вызванное емкостным зарядом. Поэтому после каждого включения напряжения на кабель необходимо разряжать, соединяя каждую жилу с системой заземления.

План выполнения работы

1. Прозвонить жилы кабеля с помощью мультиметра. Для этого поставить переключатель мультиметра в режим прозвонки и прикасаться одним щупом к жилам с одной, а другим – с другой стороны кабеля. Звуковой сигнал говорит о целостности жил.

2. Собрать схему по рисунку 8.2.

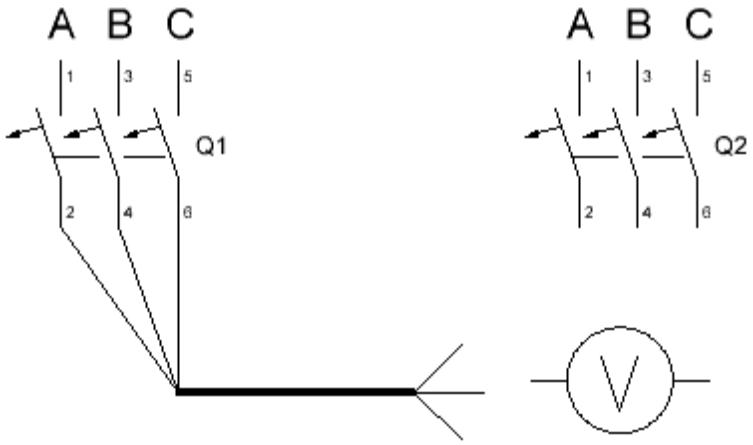


Рисунок 8.2 – Схема исследуемой установки

3. Переключить мультиметр в режим измерения переменного напряжения с пределом 600 В.

4. Включить левый контактор Q1.

5. Прикасаясь щупами мультиметра к каждой паре жил убедиться что на всех жилах присутствует напряжение.

6. Включить правый контактор Q2.

7. Прикасаясь одним щупом мультиметра к нижнему левому выводу фазы А правого контактора Q2, а другим поочерёдно к жилам правого конца кабеля определить, при контакте с которой будет отсутствовать напряжение . Это и есть фаза А кабеля. Записать цвет жилы в таблицу.

8. Прикасаясь одним щупом мультиметра к нижнему среднему выводу фазы В правого контактора Q2, а другим поочерёдно к жилам правого конца

кабеля определить, при контакте с которой будет отсутствовать напряжение . Это и есть фаза В кабеля. Записать цвет жилы в таблицу.

9. Прикасаясь одним щупом мультиметра к нижнему правому выводу фазы С правого контактора Q2, а другим поочерёдно к жилам правого конца кабеля определить, при контакте с которой будет отсутствовать напряжение. Это и есть фаза С кабеля. Записать цвет жилы в таблицу.

10. Отключить контакторы Q1 и Q2.

11. Прикрутить жилы правого конца кабеля к нижним выводам контактора Q2 в соответствии с цветовой маркировкой.

12. Включить сначала контактор Q1, а затем контактор Q2, убедиться что короткого замыкания не произошло, значит фазирование выполнено верно.

13. Обосновать выводы.

Контрольные вопросы

1. С какой целью применяют параллельное подключение кабелей?
2. Что будет, если не соблюсти порядок чередования фаз при параллельном подключении кабелей?
3. Что называется термином «фазирование»?
4. С помощью какого прибора фазируют кабель?
5. Что является признаком того, что жила кабеля соответствует искомой фазе?
6. Что понимают под термином «прозвонка»?
7. С помощью какого прибора осуществляется прозвонка кабеля?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9
ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЯ КАБЕЛЯ

Цель работы: получить навыки в определении мест и видов повреждений кабельных линий.

Краткие теоретические требования

Перед выбором метода определения зоны повреждения кабелей необходимо выяснить характер повреждений. Это осуществляется путем измерения сопротивления изоляции с помощью мегаомметра, работающего на напряжении 1000–2500 В. В процессе измерений проверяют сопротивление изоляции каждой токоведущей жилы относительно земли, а также сопротивление изоляции между парами токоведущих жил, и проверяют целостность этих жил. Для выявления обрыва жил испытания следует проводить с обоих концов, закорачивая все три фазы на конце, противоположном подключению мегаомметра. Если обнаружено короткое замыкание, необходимо определить переходное сопротивление. Если оно в месте повреждения велико (более 5 МОм), а кабель не прошел испытания, то для более точного определения места неисправности проводится прожигание кабеля. Прожигание может осуществляться как на постоянном токе с помощью специальных установок, так и на переменном токе от трехфазных повышающих трансформаторов. Целью этого процесса является создание переходного сопротивления определенного значения в месте повреждения.

Выбор метода поиска повреждений кабелей зависит от типа повреждения, пробивного напряжения и переходного сопротивления. Поиск места повреждения обычно осуществляется в два этапа. На первом этапе определяется зона повреждения с использованием импульсного метода, метода колебательного разряда, емкостного метода и метода петли. На втором этапе устанавливается точное место повреждения с помощью метода накладной рамы, акустического и индукционного методов.

Метод импульсной рефлектометрии, также известный как метод отраженных импульсов или локационный метод, основывается на распространении импульсных сигналов в двух- и многопроводных системах, линиях и кабелях. Приборы, использующие этот метод, называются импульсными рефлектометрами. Сущность метода импульсной рефлектометрии заключается в выполнении следующих операций:

1. Зондировании кабеля (двухпроводной линии) импульсами напряжения.
2. Приеме импульсов, отраженных от места повреждения и неоднородностей волнового сопротивления.
3. Выделении отражений от места повреждений на фоне помех (случайных и отражений от неоднородностей линий).

4. Определении расстояния до повреждения по временной задержке отраженного импульса относительно зондирующего.

Упрощенная структурная схема импульсного рефлектометра приведена на рисунке 9.1.

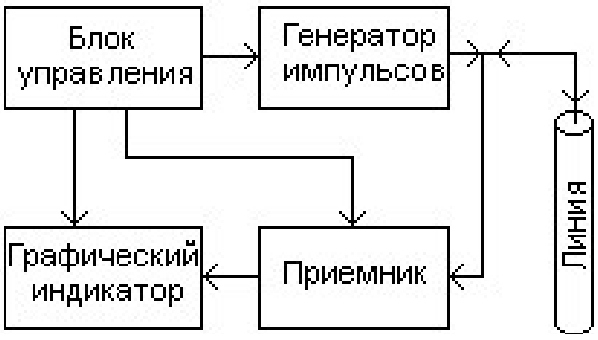


Рисунок 9.1 – Структурная схема импульсного рефлектометра

Зондирующие импульсы поступают в линию от генератора импульсов. Отраженные импульсы возвращаются из линии в приемник, где с ними проводятся необходимые преобразования. Преобразованные сигналы с выхода приемника отправляются на графический индикатор. Все блоки импульсного рефлектометра работают под управлением блока контроля. На графическом индикаторе рефлектометра отображается рефлектограмма линии, представляющая собой реакцию линии на зондирующий импульс. Процесс формирования рефлектограммы можно наглядно увидеть на диаграмме, представленной на рисунке 9.2 ниже, где ось ординат соответствует расстоянию, а ось абсцисс – времени.

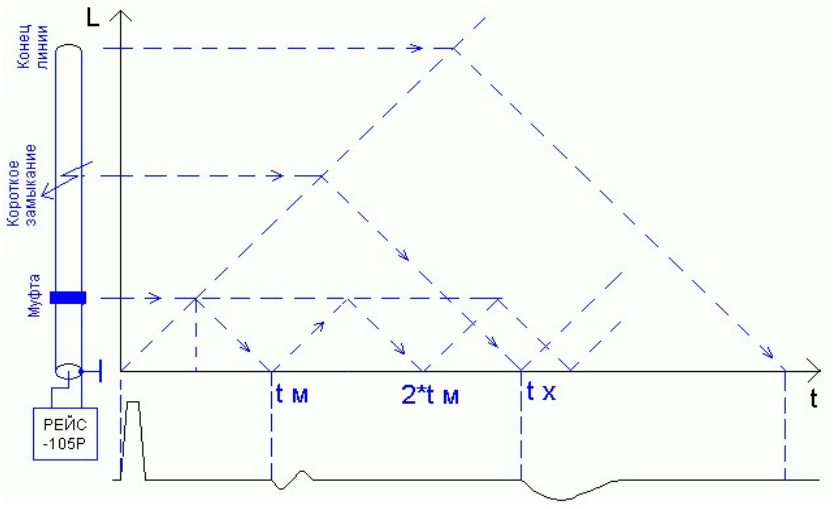


Рисунок 9.2 – Рефлектограмма кабельной линии

На левой части рисунка изображена кабельная линия с муфтой и коротким замыканием, а в нижней части представлена рефлектограмма этой

линии. Анализируя рефлектограмму, оператор может определить наличие или отсутствие повреждений и неоднородностей в кабеле. Например, из данной рефлектограммы можно сделать несколько выводов:

1. На рефлектограмме, помимо зондирующего импульса, присутствуют только два отражения: одно от муфты и другое от короткого замыкания. Это указывает на хорошую однородность линии как от начала до муфты, так и от муфты до короткого замыкания.

2. Выходное сопротивление рефлектометра согласовано с волновым сопротивлением линии, так как отсутствуют переотраженные сигналы, которые в случае несогласования находились бы на двойном расстоянии.

3. Повреждение представлено в виде короткого замыкания, поскольку отраженный от него сигнал изменил свою полярность.

4. Короткое замыкание является полным, так как после отражения от него других отражений не наблюдается.

5. Линия демонстрирует значительное затухание, так как амплитуда отражения от короткого замыкания значительно меньше амплитуды зондирующего сигнала. Если выходное сопротивление рефлектометра не согласовано с волновым сопротивлением линии, то в моменты времени $2t_м$, $4t_м$ и т. д. будут наблюдаться переотраженные сигналы от муфты, убывающие по амплитуде, а в моменты времени $2t_x$, $4t_x$ и т. д. – переотражения от места короткого замыкания.

Основная сложность и трудоемкость метода отраженных импульсов заключается в выделении отражения от места повреждения на фоне различных помех. Метод импульсной рефлектометрии основан на физическом свойстве бесконечно длинной однородной линии, согласно которому соотношение между напряжением и током, введенными в линию электромагнитной волны, остается одинаковым в любой ее точке. Это соотношение имеет размерность сопротивления и называется волновым сопротивлением линии:

$$R_B = U/I. \qquad (9.1)$$

При использовании метода импульсной рефлектометрии в линию посылают зондирующий импульс и измеряют интервал t_x – время двойного пробега этого импульса до места повреждения (неоднородности волнового сопротивления). Расстояние до места повреждения рассчитывают по выражению

$$l_x = \frac{t_x \cdot V}{2}, \qquad (9.2)$$

где V – скорость распространения импульса в линии.

Отношение амплитуды отраженного импульса $U_о$ к амплитуде зондирующего импульса $U_з$ обозначают коэффициентом отражения $К_{отр}$:

$$K_{\text{отр}} = \frac{U_0}{U_з} = \frac{R_{B2} - R_{B1}}{R_{B2} + R_{B1}}, \quad (9.3)$$

где $R_{в1}$ – волновое сопротивление линии до места повреждения (неоднородности); $R_{в2}$ – волновое сопротивление линии в месте повреждения (неоднородности).

Отраженный сигнал возникает в тех участках линии, где волновое сопротивление отличается от среднего значения, таких как муфты, места изменения сечения жилы, участки сжатия кабеля, а также в местах обрыва и короткого замыкания. Если выходное сопротивление импульсного рефлектометра не совпадает с волновым сопротивлением измеряемой линии, то в точке подключения рефлектометра к линии возникают переотражения.

Переотражения представляют собой отражения сигналов от входного сопротивления рефлектометра, которые возвращаются из линии к месту подключения. Обычно выходное и входное сопротивления рефлектометра равны.

Полярность и амплитуда переотражений зависят от соотношения между входным сопротивлением рефлектометра и волновым сопротивлением линии, при этом амплитуда переотражений может быть сопоставима с амплитудой отражений. Поэтому перед проведением измерений с помощью рефлектометра необходимо согласовать выходное сопротивление рефлектометра с волновым сопротивлением линии.Примеры рефлектограммы линии без согласования выходного сопротивление с линией и с согласованием приведены на рис. 9.3.

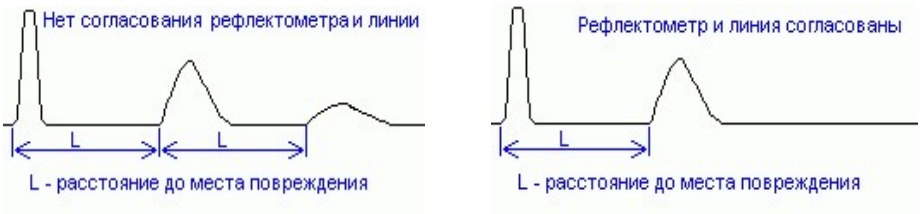


Рисунок 9.3 – Рефлектограммы кабельной линии без согласования и с согласованием выходного сопротивления

Импульсный метод – применяют для определения зоны таких неисправностей, как одно-, двух-, или трехфазное короткое замыкание, замыкание жил на землю, обрыва жил.

План выполнения работы

1. Изучить методы определения повреждений в кабельных линиях;
2. На модели кабельной линии определить характер повреждения с помощью цифрового рефлектометра «Рейс-205» приведенного на рис. 9.4.

Рисунок 9.4 – Цифровой рефлектометр

3. Изучить паспорт цифрового рефлектометра «Рейс-205» и по заданию преподавателя определить место повреждения кабельной линии.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют методы поиска обрывов кабелей?
2. На каком принципе основан индукционный метод поиска обрыва кабеля?
3. В чем суть «заплывающего пробоя»?
4. Что понимается под фазировкой кабеля и какую цель она преследует?
5. Как выявляется место повреждения на кабеле при раскопке?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 10
ИСПЫТАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПОСЛЕ РЕМОНТА

Цель работы: изучить назначение и устройство трансформатора и изучить методику испытания трансформатора после ремонта.

Краткие теоретические требования

В процессе эксплуатации трансформаторов требуется периодическое обслуживание. Для сухих трансформаторов, благодаря их простой конструкции, обслуживание сводится к удалению пыли с клеммных колодок и проверке состояния контактов. Обязательно необходимо проверять сопротивление изоляции обмоток как между собой, так и между каждой обмоткой и корпусом, поскольку изоляция обмоток может изменяться под воздействием температуры, влажности, загрязнений и других факторов. Старение изоляции негативно сказывается на ее качестве и электрической прочности, поэтому контроль за ее состоянием должен проводиться регулярно.

Согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ), измерение сопротивления изоляции силовых и осветительных электроустановок, работающих при номинальном напряжении от 127 до 660 В, выполняется мегаомметром с напряжением 1000 В. Допустимые нормы сопротивления изоляции трансформаторов указаны в технических условиях или ГОСТах. Для электрических машин с напряжением до 1000 В сопротивление изоляции обмоток должно составлять не менее 0,5 МОм. Измерения проводятся как между отдельными обмотками, так и между каждой обмоткой и корпусом машины.

Трансформаторы, прошедшие ремонт, должны быть тщательно проверены на сопротивление изоляции и соответствие паспортным данным. Замеры проводятся при отключенных первичных и вторичных цепях, а проверка рабочих параметров осуществляется в условиях холостого хода и под нагрузкой. Отклонения от паспортных значений не должны быть значительными.

План выполнения работы

В данной работе рассматривается однофазный силовой трансформатор Т2. При выключенном стенде с помощью измерительных приборов выполняется замер сопротивлений обмоток трансформатора и сопротивления изоляции этих обмоток. Полученные значения сравниваются с паспортными данными. Затем собирается схема, представленная на рис. 10.1, и трансформатор включается. В условиях холостого хода и при номинальной нагрузке определяются напряжения и токи в первичной и вторичной обмотках,

которые также сравниваются с паспортными данными. При необходимости строится нагрузочная характеристика трансформатора.

Подключение ваттметра выполняется согласно схемам на рис. 10.1–10.3, а монтаж производится по схеме на рис. 10.4. Проверка правильности монтажа осуществляется с помощью тестера. Перед подключением стенда к сети регулятор ЛАТРа должен быть установлен в положение, соответствующее минимальному выходному напряжению. После проверки схемы преподавателем стенд подключается к сети, и подается напряжение, начиная с включения сетевого выключателя стенда, а затем автомата QF1. Стенд запитывается, и плавно увеличивая напряжение на выходе ЛАТРа, устанавливается его величина, соответствующая номинальному значению. После этого снимаются показания приборов.

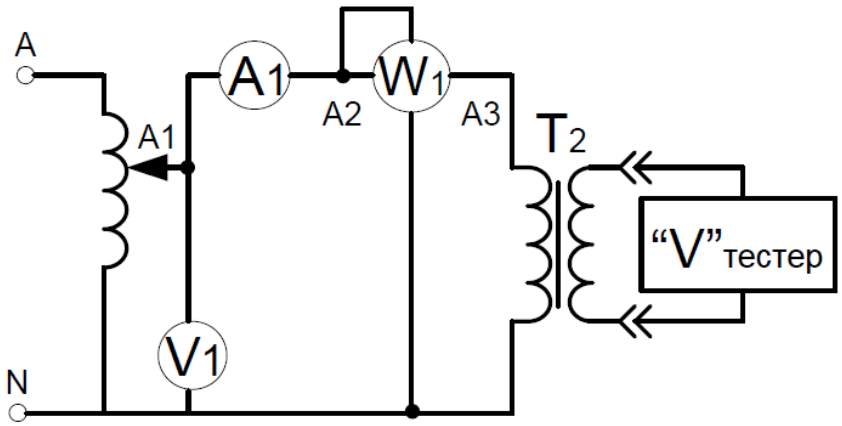


Рисунок 10.1 – Схема исследования силового трансформатора на холостом ходу

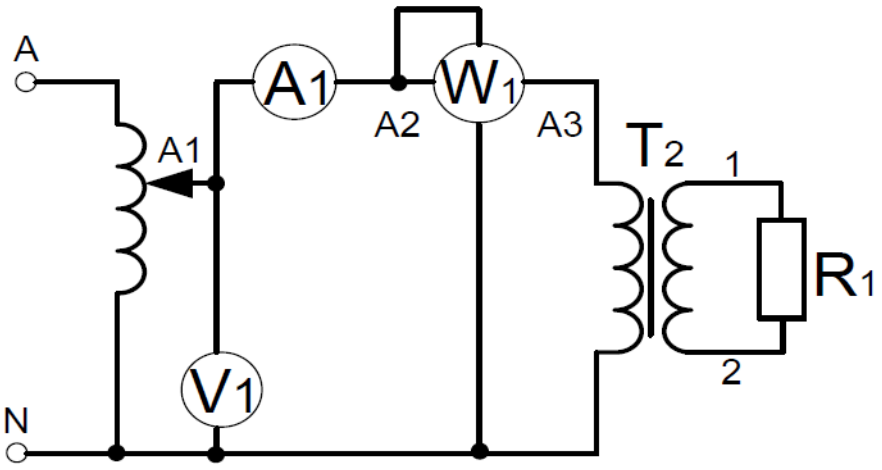


Рисунок 10.2 – Схема исследования силового трансформатора под нагрузкой (первичная обмотка)

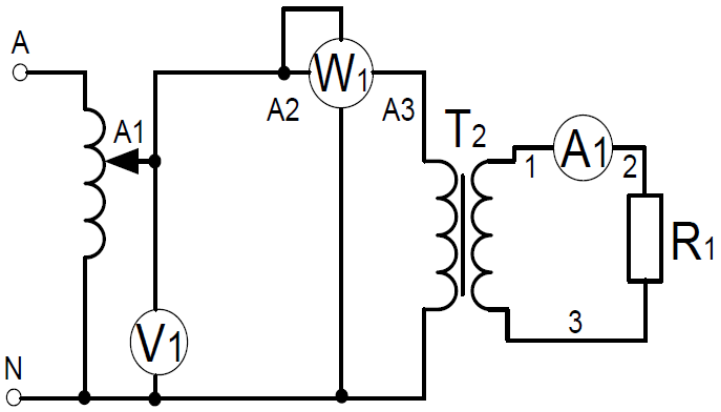


Рисунок 10.3 – Схема исследования силового трансформатора под нагрузкой (вторичная обмотка)

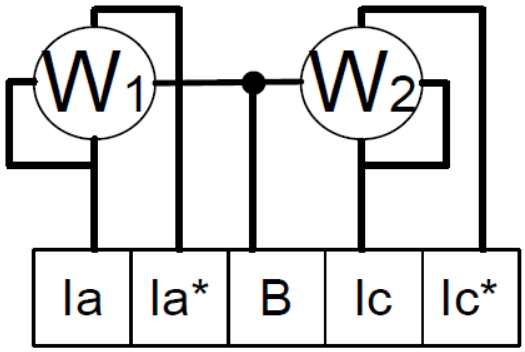


Рисунок 10.4 – Монтажная схема подключения ваттметра

Таблица 10.1 – Параметры исследования трансформатора

Режимы работы	$U_н$, В	I, А	P, Вт
Опыт х.х.			
1-я обмотка под нагрузкой			
2-я обмотка под нагрузкой			

Контрольные вопросы

1. Какие параметры трансформатора подлежат проверке после ремонта?
2. В каких режимах следует проверять трансформатор?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 11
ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ПОРТАТИВНЫМ ЦИФРОВЫМ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ ПРИБОРОМ MIC-2500

Цель работы: Ознакомление с неразрушающим методам контроля изоляции, использующим явление абсорбции. Определение коэффициентов абсорбции и поляризации.

Краткие теоретические сведения

Сопротивление изоляции определяется как отношение приложенного к диэлектрику напряжения к току, протекающему через него (току утечки). Эта характеристика является ключевой для оценки состояния изоляции электрооборудования, поэтому измерения сопротивления изоляции проводятся при каждой проверке состояния изоляции.

Если сопротивление изоляции падает ниже установленных норм, это может привести к пожарам и электрическим травмам. Состояние электроизоляции напрямую влияет на потери электрического тока из-за утечек через дефектные участки, на безопасность для человека и на возможность длительной безаварийной эксплуатации оборудования. Чтобы избежать подобных проблем, необходимо строго соблюдать правила проектирования и эксплуатации электросетей.

Регулярное измерение сопротивления изоляции с применением специализированных методов и оборудования должно проводиться на всех электрических линиях и сетях. Это позволяет своевременно определить степень износа изоляции и ее изолирующие свойства.

Изоляция считается удовлетворительной, если сопротивление изоляции каждой цепи с подключенными электроприемниками не ниже нормативных значений.

Основные показатели сопротивления изоляции включают:

– сопротивление изоляции постоянному току ($R_{из}$). Наличие серьезных внутренних или внешних дефектов, таких как повреждения, увлажнение или загрязнение поверхности, снижает это сопротивление. Определение $R_{из}$ (в омах) производится путем измерения тока утечки через изоляцию при приложении к ней выпрямленного напряжения;

– коэффициент абсорбции, который отражает степень увлажненности изоляции. Он рассчитывается как отношение сопротивления изоляции, измеренного через 60 секунд после подачи напряжения (R_{60}), к сопротивлению, измеренному через 15 секунд (R_{15}). Для сухой изоляции коэффициент абсорбции значительно превышает единицу, тогда как у влажной он близок к единице. Значение этого коэффициента не должно отклоняться более чем на 20 % в сторону уменьшения от заводских данных и должно быть не ниже 1,3

при температуре 10–30 °С. При несоблюдении этих условий изделие подлежит сушке;

– коэффициент поляризации отражает способность заряженных частиц и диполей в диэлектрике перемещаться под воздействием электрического поля, что характеризует степень старения изоляции. Этот коэффициент также должен значительно превышать единицу и определяется как отношение сопротивления изоляции, измеренного через 600 секунд после подачи напряжения мегомметра (R_{600}), к сопротивлению, измеренному через 60 секунд (R_{60}).

Измеритель MIC-2500 – это портативный цифровой прибор, предназначенный для измерения сопротивления, увлажненности и степени старения электроизоляции кабельных линий, трансформаторов, электродвигателей и других электротехнических устройств, а также телекоммуникационного оборудования. Этот прибор также позволяет измерять ток утечки через изоляцию, напряжения постоянного и переменного тока, а также малые сопротивления.

Испытательное напряжение при измерении сопротивления изоляции с помощью MIC-2500 достигает 2500 В.

Для обеспечения безопасности эксплуатации и достоверности получаемых результатов, следует соблюдать следующие правила:

– до начала эксплуатации измерительного прибора необходимо внимательно ознакомиться с Руководством по эксплуатации прибора;

– прибор должен обслуживаться персоналом, имеющим достаточные навыки и знания для безопасного выполнения работ.

Запрещается использовать:

– прибор с частичными или полными повреждениями;

– провода с нарушенной изоляцией;

– прибор, который длительное время хранился в условиях, не соответствующих техническим требованиям, например, во влажном помещении.

Перед началом измерений необходимо выбрать соответствующую функцию и проверить правильность подключения проводов к измерительным гнездам.

Перед измерением сопротивления изоляции следует убедиться, что объект проверки отключен от источника напряжения.

Во время проведения измерений сопротивления изоляции запрещается отсоединять провода от объекта до завершения измерений, поскольку емкость объекта останется заряженной, что может привести к поражению электрическим током.

Подключение к прибору напряжения выше 850 В может вызвать его повреждение.

Описание прибора

Назначение и область применения

Измеритель параметров электроизоляции MIC-2500 предназначен для измерения:

– электрического сопротивления изоляции до 1100 ГОм;

– напряжения постоянного и переменного тока до 600 В;

– электрического сопротивления при постоянном токе.

Прибор позволяет вычислять:

– токи утечки через изоляцию;

– увлажненность изоляции по коэффициенту абсорбции;

– степень старения изоляции по коэффициенту поляризации;

– оценивать и снимать электрический заряд после завершения измерений;

– отображать результаты в цифровом формате на дисплее;

– сохранять и передавать данные в компьютер.

Измеритель MIC-2500 применяется для приемо-сдаточных, периодических, сертификационных и исследовательских испытаний:

– электротехнических устройств (кабелей, электродвигателей, бытовых приборов и др.);

– электроустановок зданий и систем электроснабжения предприятий и организаций;

– высокочастотных кабелей и телекоммуникационного оборудования.

Порядок проведения работы

1.1 Включить прибор нажатием кнопки «START»

1.2 Выставить необходимое значение напряжения в зависимости от номинального напряжения исследуемого элемента. Измерение сопротивления изоляции обмоток до 0,5 кВ включительно производится мегаомметром на напряжение 500 В, при номинальном напряжении обмотки свыше 0,5 кВ до 1 кВ – мегаомметром на напряжение 1000 В, а при номинальном напряжении выше 1 кВ – мегаомметром на напряжение 2500 В.

1.3 Выставить интервалы времени через которые будет произведен замер сопротивления изоляции с последующим расчетом коэффициентов абсорбции и поляризации. Интервалы должны быть 15 с; 60 с и 600 с.

1.4 Подключить прибор как показано на рис. 11.1

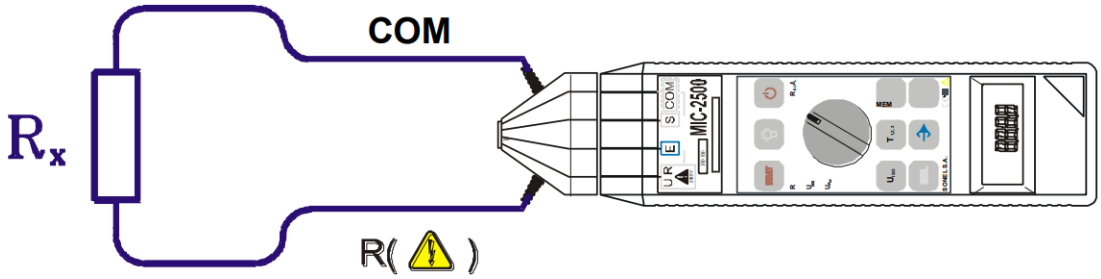


Рисунок 11.1 – Схема подключения прибора для измерения сопротивления изоляции

Измерение сопротивления изоляции обмоток электродвигателей осуществляется относительно корпуса и между обмотками. Эти измерения следует выполнять поочередно для каждой цепи с отдельными выводами, при этом все остальные цепи должны быть электрически соединены с корпусом электродвигателя.

Для обмоток трехфазного тока, соединенных в звезду или треугольник, измерение сопротивления изоляции производится для всей обмотки относительно корпуса. Изолированные обмотки и защитные конденсаторы, а также другие устройства, которые постоянно соединены с корпусом электродвигателя, должны быть отсоединены от него на время проведения измерений.

После завершения измерения сопротивления изоляции каждой цепи необходимо разрядить её, соединяя с заземленным корпусом электродвигателя.

Измерение сопротивления изоляции силовых кабелей выполняется с помощью мегаомметра на напряжении 2,5 кВ. Измерения проводятся между силовыми жилами и между жилами и броней (экраном). Для силовых кабелей с номиналом до 1 кВ сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 МОм. Для кабелей выше 1 кВ сопротивление изоляции не имеет нормируемого значения. Рекомендуется проводить измерения до и после испытания кабеля на повышенное напряжение.

Проведите испытания изоляции и представьте результаты измерений в таблице 11.1. Запуск функции измерения осуществляется при нажатии и удерживании кнопки «START». Измерение приостанавливается после отпускания кнопки. Чтобы не утруждать себя удерживанием кнопки «START» во время измерений, следует после ее нажатия нажать кнопку «▲» В этом случае измерение прекратится автоматически по истечении цикла измерения или после повторного нажатия кнопки «START». Во время измерения на дисплее появляется символ «⚠», который информирует о присутствии напряжения измерения на зажимах прибора. В главной ячейке дисплея высвечивается значение сопротивления, измеренное за последний заданный отрезок времени.

Таблица 11.1 – Результаты измерений

R_{15}	R_{60}	R_{600}	$A_{b1} = R_{60}/R_{15}$	$A_{b2} = R_{600}/R_{60}$

Содержание отчета

1. Название и цель проведения лабораторной работы.
2. Описание прибора.
3. Результаты измерений.
4. Выводы о состоянии изоляции.

Контрольные вопросы

1. Назначение прибора MIC-2500
2. Схемы подключения прибора при измерении коэффициентов абсорбции и поляризации в асинхронном двигателе.
3. Схемы подключения прибора при измерении коэффициентов абсорбции и поляризации в кабельной линии.
4. Для чего необходимо проводить измерения коэффициентов абсорбции и поляризации.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 12
ВЫЯВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ОБМОТОК СТАТОРА И РОТОРА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Цель работы: изучить методику поиска и устранения неисправностей обмоток статора и ротора электрических машин.

Краткие теоретические сведения

При эксплуатации электрических машин могут возникать различные неисправности, начиная от простых и очевидных проблем и заканчивая сложными, требующими значительных временных затрат на их выявление и устранение.

При ремонте электросетей, замене распределительных щитов или кабелей возможно неправильное подключение привода с неверным чередованием фаз. Это может привести к тому, что двигатель будет вращаться в противоположную сторону, что в некоторых механизмах может вызвать поломку оборудования. Для исправления ситуации необходимо поменять местами любые две фазы в удобном и безопасном месте.

Если при включении двигатель начинает вращаться, но издает гудение, не набирает оборотов и нагревается, возможные причины могут быть следующими:

– обрыв в цепи статора, чаще всего вызванный срабатыванием предохранителей, реже – неисправностью выключателя или обрывом в обмотке статора;

– при обрыве одной фазы ток в двух других обмотках увеличивается в 1,7 раза, что приводит к перегреву двигателя;

– обрыв или плохой контакт в цепи ротора, например, нарушение контакта стержней с торцевыми кольцами в обмотке ротора для двигателей с короткозамкнутым ротором;

– заедание в рабочем механизме или механическое повреждение двигателя;

– неправильное соединение концов обмоток после ремонта, когда одна фаза перевернута.

Если при запуске двигателя срабатывает максимальная защита или защита от перегрузки (тепловая), это может быть вызвано неверно выбранным защитным аппаратом, замыканием в цепи питания двигателя, неисправностью самого двигателя или электрическим пробоем изоляции, возникшим из-за перегрева от перегрузок. Повторное включение автоматического выключателя после его срабатывания следует проводить только после тщательной проверки исправности двигателя.

При возникновении неисправностей в автоматическом цикле работы привода поиск проблем можно осуществить при отключенном двигателе,

оставив цепи управления включенными. Необходимо смоделировать работу механизма, нажимая на концевые выключатели, командные кнопки и другие элементы, и поэтапно контролировать состояние аппаратов цепей управления. Как только будет замечено отклонение от цикла (согласно принципиальной схеме и циклограмме работы), следует прозвонить всю ветвь нерабочей цепи от начала до конца при отключенном питании, или, при поданном напряжении на проблемном участке, определить место обрыва цепи с помощью вольтметра. Поиск таких неисправностей следует проводить только после внимательного изучения циклограммы работы привода и ясного понимания последовательности работы аппаратов. Для удобства работы с электрической схемой полезно составить таблицу состояний всех аппаратов цепи управления на каждом этапе циклограммы. При проверке цепей под напряжением необходимо соблюдать особую осторожность, чтобы избежать поражения электрическим током.

План выполнения работы

Записать паспортные данные асинхронного электродвигателя (см. табличку на корпусе электродвигателя) и ознакомиться с пусковой аппаратурой (записать их полное обозначение и основные данные).

В работе исследуется реверсивный электропривод переменного тока на базе асинхронного электродвигателя. Для этого собирается схема, представленная согласно рис. 12.1.

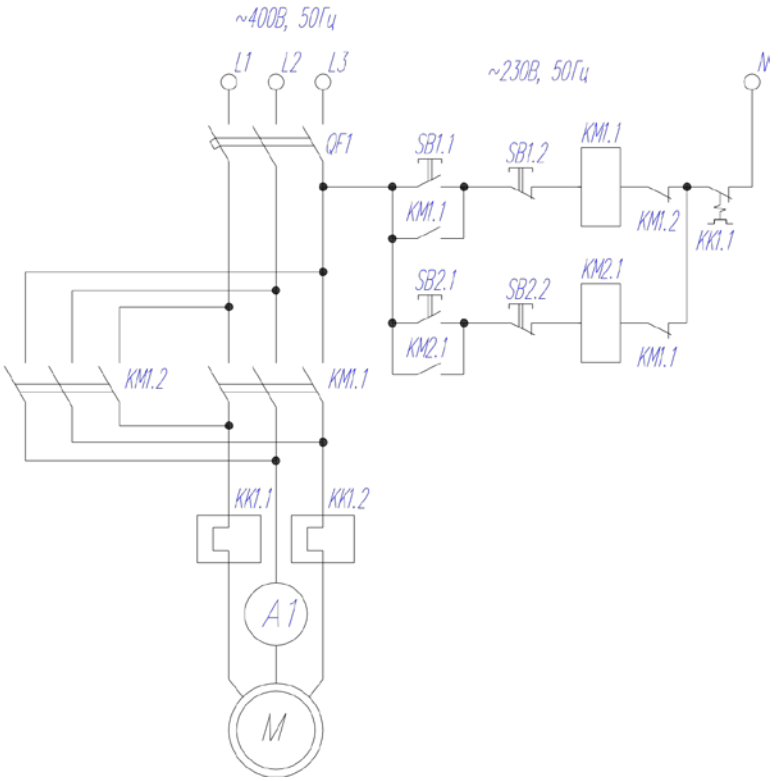


Рисунок 12.1 – Схема электрическая принципиальная реверса АД

По заданию преподавателя студенты могут доработать схему, добавив реле времени (КТ1–КТ3), промежуточные реле (К1–К2) и переключатель SA1, которые будут управлять автоматическим циклом работы электродвигателя, а также элементы сигнализации, такие как сигнальная лампа HE1 и звонок HA1. Монтаж схемы следует выполнить согласно рисунку 12.1.

Перед началом работы необходимо отключить питание стенда и проверить схему с помощью тестера. Сначала прозвоните силовые цепи, проверяя их на предмет короткого замыкания между фазами и между фазой и нейтралью. Затем проверьте цепи управления как в состоянии покоя (при не нажатых кнопках), так и при нажатии кнопок. После проверки преподавателем подключите стенд к сети и включите автомат QF1.

Проверьте работу схемы, начиная с кнопочного поста SB1 для запуска (включится пускатель КМ1), затем выполните остановку. Далее включите пускатель КМ2 с помощью кнопочного поста SB2 и снова остановите его. Затем проверьте работу блокировки реверса: при включенном пускателе КМ1 нажмите черную кнопку на кнопочном посте SB2 – изменений не должно произойти.

Преподаватель введет ошибки в схему управления, такие как обрыв в цепи блок-контакта магнитного пускателя или обрыв в цепи питания схемы управления, и предложит студентам найти и устранить эти неисправности. Студенты исследуют работу схемы и электропривода в целом при указанных неисправностях и изучают методы их устранения. По результатам проведенного опыта необходимо составить таблицу основных неисправностей и методов их проверки и устранения.

Контрольные вопросы

1. Для чего применяют компенсацию реактивной мощности?
2. Что такое коэффициент мощности?
3. Какие устройства применяют для повышения коэффициента мощности?

ЛИТЕРАТУРА

1. Грунтович, Н. В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования : учебное пособие / Н. В. Грунтович. – Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2019. – 270 с.

2. Полуянович, Н. К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий : учебное пособие / Н. К. Полуянович. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2018. – 396 с.

3. Щеглов, Н. В. Электрооборудование высокого напряжения и его эксплуатация : учебное пособие / Н. В. Щеглов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск : НГТУ, 2017. – 139 с.

4. Основы монтажа электрооборудования : лабораторный практикум / сост. В. Н. Мазуркевич ; Белорусский национальный технический университет. – Минск : БНТУ, 2008. – 88 с.

5. Манюк, В.И. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей : справочник / В. И. Манюк, Я. И. Каплинский, Э. Б. Хиж и др. – Изд. 4-е. – Москва : Книжный дом ЛИБРОКОМ, 2009. – 432 с.

6. Наладка и испытания теплотехнического оборудования : практикум по выполнению лабораторных работ / сост. В. В. Киселевич. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2022. – 47 с.

7. Проектирование, монтаж и эксплуатация теплотехнологического оборудования [Электронный ресурс] : учебно-методический комплекс / Белорусский национальный технический университет; сост. Э. М. Космачева. – Минск : БНТУ, 2016. – 284 с.

Приложение А

Форма журнала учёта расхода тепловой энергии и теплоносителя у потребителя в водяных системах теплопотребления

ЖУРНАЛ УЧЁТА РАСХОДА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ И ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

По объекту _____ Вид нагрузки _____
(адрес) (отопление, отопление + ГВС, ГВС)

Прибор марки _____ Заводской номер ____ Дата принятия на коммерческий учёт и регистрационный номер _____

Единица измерения энергии _____ Коэффициент перевода в Гкал (К)_____
МВт, ГДж, Гкал (0,86; 0,239; 1,0)

Должностное лицо, ответственное за снятие показаний _____ Приказ № ____ от _____ г.
(должность, Ф.И.О., подпись)

Дата снятия показаний	Время снятия показаний	Подающий трубопровод						Обратный трубопровод						Температура холодной воды, °С		Время работы прибора с ошибкой, $T_{ош}$, ч	Количество тепловой энергии с учётом $K_{прибора}$	Подпись ответственного лица
		Показания прибора учёта тепловой энергии, МВт, ГДж, Гкал	Разница показаний	Параметры теплоносителя			Время работы прибора $T_{общ}$, ч	Показания прибора учёта тепловой энергии, МВт, ГДж, Гкал	Разница показаний	Параметры теплоносителя			Время работы прибора $T_{общ}$, ч	показания датчика	имитатор (норматив)			
				масса (объём), т ($м^3$)	мгновенный расход, т/ч ($м^3$/ч)	температура, °С				масса (объём), т ($м^3$)	мгновенный расход, т/ч ($м^3$/ч)	температура, °С						
Итого за месяц																		

Показания принял (представитель энергоснабжающей организации) _____
(должность, Ф.И.О., подпись)

65

Учебное издание

Наладка и эксплуатация энергетического оборудования

Методические указания к лабораторным работам

Составители:
Жерносек Сергей Васильевич
Мовсесян Владимир Юрьевич
Рудаков Святослав Андреевич

Корректор *А.С. Прокопюк*
Компьютерная верстка *С.А. Рудаков*

Подписано к печати 03.09.2025. Формат $60x90^{1}/_{16}$. Усл. печ. листов 4,1.
Уч.-изд. листов 5,2. Тираж 30 экз. Заказ № 171.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.
Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Витебский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.