

344-2021

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ
для студентов направления 13.03.01
«Теплоэнергетика и теплотехника»
(профиль «Промышленная теплоэнергетика»)
всех форм обучения

Воронеж 2021

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра теоретической и промышленной теплоэнергетики

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

*МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторных работ
для студентов направления 13.03.01
«Теплоэнергетика и теплотехника»
(профиль «Промышленная теплоэнергетика»)
всех форм обучения*

Воронеж 2021

УДК 621.31(075)
ББК 31.3я7

Составители:

Муравьев А.В., Кожухов Н.Н., Надеев А.А.

Теплотехнические измерения и автоматизация: методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов направления 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (профиль «Промышленная теплоэнергетика») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: А. В. Муравьев, Н. Н. Кожухов, А. А. Надеев. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. – 39 с.

В методических указаниях приведена последовательность выполнения лабораторных работ по дисциплине «Теплотехнические измерения и автоматизация»: цель работы, соответствующие теоретические данные, описание применяемого оборудования, порядок проведения экспериментов, порядок обработки полученных результатов экспериментальных исследований. Также приведены контрольные вопросы к каждой работе.

Предназначены для студентов направления подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (профиль «Промышленная теплоэнергетика») всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ ЛР ТИиА.pdf.

Ил. 19. Табл. 1. Библиогр.: 5 назв.

УДК 621.31 (075)
ББК 31.3я7

Рецензент – В.В. Портнов, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой теоретической и промышленной теплоэнергетики ВГТУ

Печатается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные работы по дисциплине «Теплотехнические измерения и автоматизация» предназначены для закрепления теоретического материала и приобретения необходимых навыков измерения давления и градуировки пружинных манометров, измерения температуры контактным и бесконтактным методами, а также для создания автоматизированных систем обработки измеряемых теплофизических параметров.

Для выполнения каждой работы студент заранее знакомится с методическими указаниями, изучает соответствующий раздел изучаемой дисциплины и готовит необходимые таблицы наблюдений или измерений. По каждой работе студент оформляет письменный отчёт, который должен включать цель работы, краткие теоретические сведения, схему лабораторной установки, протокол опытов, результаты обработки опытных данных и выводы.

По окончании опытов каждый студент должен показать полученные результаты преподавателю и после их одобрения отключить лабораторную установку или персональный компьютер и привести в порядок рабочее место.

Все расчёты выполняются в Международной системе единиц СИ. По каждой работе студент сдаёт зачёт преподавателю. Студенты, не сдавшие зачёт по двум работам, к выполнению следующих работ не допускаются.

Лабораторные работы предназначены для студентов, обучающихся по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», профиль «Промышленная теплоэнергетика». Умения и навыки, полученные при выполнении данных работ, необходимы при освоении дисциплины «Котельные установки и парогенераторы» и «Тепловые электрические станции».

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

К выполнению работ в лаборатории технической термодинамики и теплотехнических измерений кафедры теоретической и промышленной теплоэнергетики допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности у преподавателя, ведущего занятия, о чём должна быть сделана запись в журнале инструктажа по технике безопасности. Перед выполнением работ студенты обязаны ознакомиться с данным методическим руководством.

Перед включением лабораторных стендов необходимо проверить исходное положение органов управления и исправность контрольно-измерительного оборудования.

Включение и выключение лабораторных стендов и установок, а также изменение режима работы производятся студентом под наблюдением преподавателя или лаборанта.

В случае возгорания проводки или в других случаях, угрожающих целостности оборудования лаборатории, необходимо немедленно обесточить стенд и сообщить об этом преподавателю или лаборанту. Работать на неисправной установке запрещено.

В случае поражения электрическим током необходимо принять меры по освобождению пострадавшего от тока, оказать первую медицинскую помощь, вызвать врача, сообщить о случившемся администрации высшего учебного заведения.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТЕРМОМЕТРОМ И ГРАДУИРОВКА ТЕРМОПАР

Цель работы: изучить принцип действия и свойства термоэлектрических термометров, методы измерения температуры и возможные погрешности измерения, способы устранения погрешностей измерения, а также приобрести практические навыки измерения температуры термоэлектрическими термометрами и освоить методику проверочных испытаний этих термометров.

Краткие теоретические сведения

Температура является одним из важнейших параметров технологических процессов. Температура может быть определена как параметр теплового состояния. Значение этого параметра обуславливается средней кинетической энергией поступательного движения молекул данного тела.

Согласно уравнению Больцмана, средняя кинетическая энергия поступательно движущихся молекул пропорциональна температуре идеального газа и не зависит от массы молекулы

$$E = \frac{2}{3} \cdot k \cdot T, \text{ Дж}, \quad (1.1)$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ – постоянная Больцмана, Дж/К;

T – абсолютная температура тела, К.

Абсолютный ноль температуры ($T = 0$ К или $t = -273,15$ °С) должен соответствовать такому состоянию тела, при котором прекращается поступательное движение молекул идеального газа.

Температура, отсчитываемая от этого абсолютного нуля, называется абсолютной температурой T , а шкала температур называется шкалой Кельвина (1848 г.). С 01.01.1976 г. были установлены практические температурные шкалы, предназначенные для обеспечения единства измерений температуры от 0,01 до 100000 К, и методы их осуществления. Международная практическая температурная шкала редакции 1968 г. (МПТШ-68) устанавливается для температур от 13,81 до 6300 К. Она основана на ряде воспроизводимых равновесных состояний, которым присвоены точные значения температур – основных реперных (постоянных) точек, и на эталонных приборах, градуированных при этих температурах. Развитием данной шкалы является действующая в настоящее время Международная шкала температур МТШ-90.

Единицей температуры по практическим шкалам, так же, как и единицей термодинамической температуры, является кельвин (К), т.е. 1/273,15 часть тер-

динамической температуры равновесия между твёрдой, жидкой и газообразной фазами воды (тройная точка воды). Допускается применение единицы температуры – градус Цельсия ($^{\circ}\text{C}$). Между температурой T , выраженной в кельвинах, и температурой, выраженной в градусах Цельсия, установлено соотношение

$$t = T - T_0, \text{ }^{\circ}\text{C}, \quad (1.2)$$

где $T_0 = 273,15 \text{ К}$.

Разность температур выражают как в кельвинах, так и в градусах Цельсия.

В основу измерения температур с помощью термоэлектрических термометров положены термоэлектрические явления, открытые Зеебеком в 1822 г. Применение этих явлений к измерению температур основано на зависимости термоэлектродвижущей силы (термо-э.д.с.), возникающей в цепи, составленной из разнородных проводников, от температуры мест их соединения (горячий спай).

Основное уравнение термоэлектрического термометра (термопары), выражающее в общем виде зависимость суммарного термо-э.д.с., возникающей в цепи из двух разнородных термоэлектродов А и В, от температуры мест их соединения можно представить в следующем виде:

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) + e_{BA}(t_0), \text{ мВ}; \quad (1.3)$$

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0), \text{ мВ}, \quad (1.4)$$

где $e_{AB}(t)$, $e_{AB}(t_0)$ – величина контактной термо-э.д.с. в рабочем спайе термопары при температуре t и t_0 , соответственно, мВ;

$e_{BA}(t_0)$ – величина контактной термо-э.д.с. на соединённых свободных концах термопары (т.е. в случае образования электрической цепи из термоэлектродов А и В) при температуре t_0 , мВ.

Содержание работы

В процессе выполнения работы необходимо:

- 1) ознакомиться с различными типами термоэлектрических термометров (термопар), их основными техническими данными и конструктивными особенностями;
- 2) изучить аппаратуру и приборы, необходимые для градуировки термопар, и ознакомиться с методикой градуировки;
- 3) произвести градуировку термопары при температуре свободных концов, равной $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и при температуре окружающей среды (комнатной);
- 4) установить соответствие градуировочной характеристики испытуемой термопары стандартной градуировке и оценить погрешность.

Описание лабораторной установки и порядок градуировки термопар

Схема лабораторной установки, предназначенной для градуировки термоэлектрических термометров (термопар) приведена на рис. 1.1.

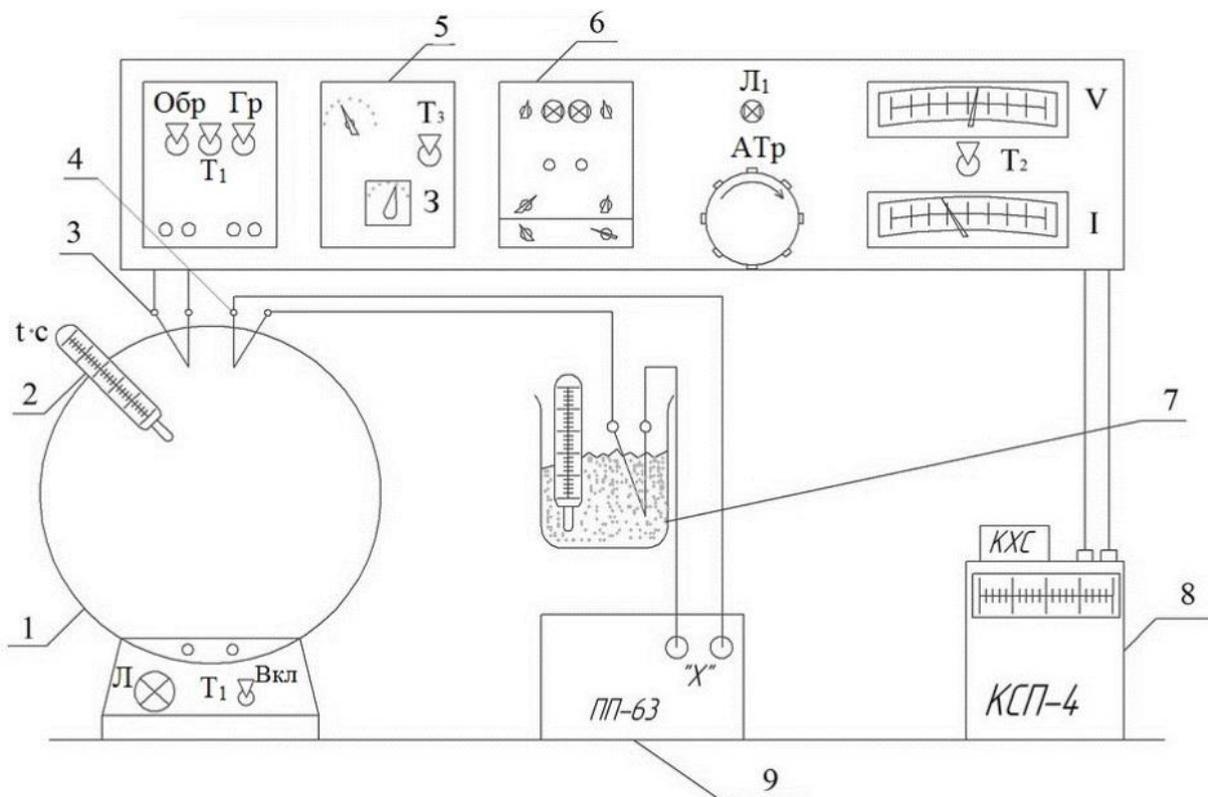


Рис. 1.1. Схема установки для градуировки термопар:

1 – электропечь; 2 – ртутный термометр; 3 – образцовая термопара; 4 – поверяемая термопара; 5 – датчик температуры в печи; 6 – регулятор температуры в печи; 7 – сосуд со льдом и водой (термостат); 8 – автоматический потенциометр КСП-4; 9 – переносной потенциометр ПП-63

Перед испытанием термопар следует изучить схему установки и её отдельные элементы, приборы, применяемые в ходе работы, подготовить таблицы и графики. Градуируемую (или поверяемую) и образцовую термопары помещают в электропечь. Свободные концы термопар (холодные спаи) погружают в сосуд с водой и льдом. Температуру смеси в сосуде контролировать ртутным термометром. Смесь воды и льда в сосуде должна быть хорошо уплотнена. Кроме того, не следует допускать излишка воды, так как лёд в этом случае может всплыть. Проверить схему подключения термопар к потенциометрам ПП-63 и КСП-4.

Градуировка термопар производится при постепенном повышении и понижении температуры (нагрев и охлаждение). Первоначальная температура в

печи задаётся задатчиком (50 °С), затем тумблером Т2 на приборной панели включается печь, при этом загорается сигнальная лампочка Л1 («сеть включена»). Переводят тумблер Т1 в положение «ВКЛ» и по вольтметру с помощью автотрансформатора «АТр» устанавливают напряжение на спирали электропечи 220 В. Тумблером Т3 включают регулятор температуры в печи. Включают автоматический потенциометр КСП-4 переводом тумблеров «ПРИБОР» и «ДИАГРАММА» в положение «ВКЛ». Подключают образцовую термопару к автоматическому потенциометру КСП-4 переводом тумблера Т4 в положение «КСП-4» и по показаниям потенциометра следят за изменением температуры в печи. Вблизи намеченной для градуировки (поверки) температурной точки скорость изменения температуры в печи не должна превышать $\pm 0,4$ К/мин. Если в момент отсчёта и не менее чем за 5 минут до отсчёта такая скорость не выдерживается, то отсчёт производить нельзя. Требуемую скорость изменения температуры легче выдержать изменением настройки задатчика.

Отсчёт термо-э.д.с. термопар в поверяемой точке производят последовательно, начиная с образцовой, потом 1-й, 2-й и т.д. градуируемых (поверяемых) термопар и затем в обратном порядке. Отсчёты повторяются несколько раз и заканчиваются тогда, когда для каждой термопары будет сделано не менее четырёх отсчётов. Результаты испытаний записываются в протокол, форма которого приведена в прил. 1.

Переход к следующей температурной точке производится переводом задатчика в следующее положение. Градуировка (поверка) термопар производится не менее чем в четырёх точках, равномерно расположенных в интервале температур градуировки.

Обработка результатов испытаний

Действительная температура в каждой температурной точке определяется по среднему арифметическому значению образцовой термопары. Если градуировка производилась при температуре свободных концов термопар, не равной 0 °С, то в среднеарифметические значения термо-э.д.с. термопар вводятся поправки. При температуре свободных концов, равной температуре окружающей среды t_0 , поправка численно равна значению термо-э.д.с. термопары при температуре рабочего конца, равной t_0 и температуре свободного конца 0 °С. После вычисления поправок необходимо построить градуировочные кривые для градуируемой и стандартной термопар. Градуировочные характеристики стандартных термопар приведены на рис. 1.2.

Значения термо-э.д.с. стандартной термопары выбираются из стандартных градуировочных таблиц. Сравнением градуировочных кривых поверяемой и стандартной термопар определяется отклонение значений термо-э.д.с. поверяемой термопары от стандартной, и по величине этих отклонений делается заключение о соответствии поверяемой термопары стандартной градуировке.

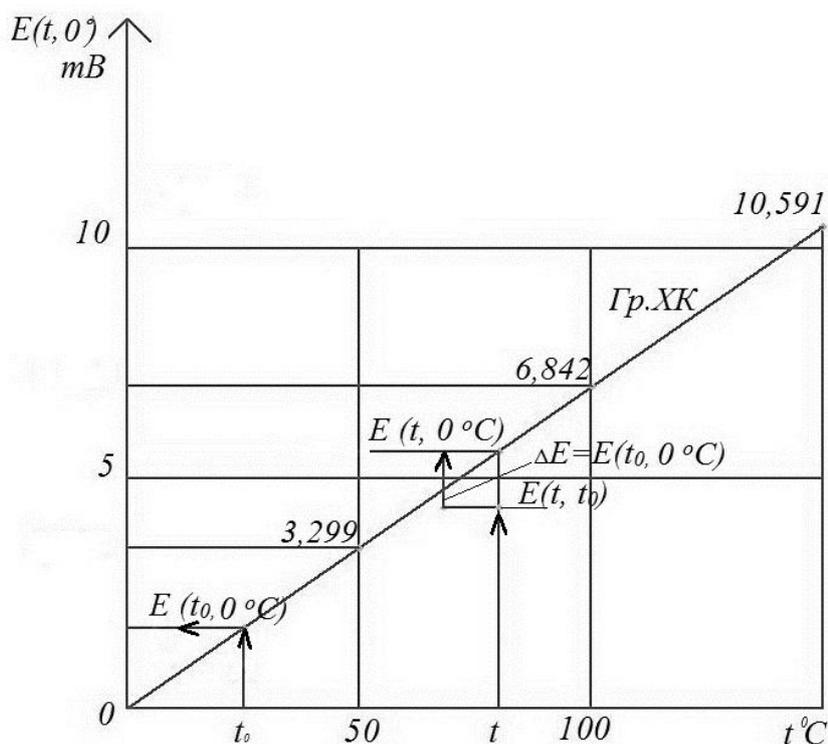


Рис. 1.2. Градуировочные характеристики стандартных термопар

Предел допускаемого отклонения термо-э.д.с. от номинального значения $\pm\Delta E$, мВ в диапазоне температур от 0 до 300 °С для стандартной градуировки ХК(L) вычисляется по формуле

$$\pm\Delta E = 0,140 + 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot t. \quad (1.5)$$

Значение допустимой погрешности должно быть занесено в протокол поверки.

Отчёт по лабораторной работе

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

1. Краткие сведения о термопарах и методах поверки и градуировки.
2. Принципиальную схему и описание экспериментальной установки.
3. Протокол градуировки (поверки) термопар и градуировочные кривые.
4. Заключение о соответствии поверяемой термопары стандартной градуировке.
5. Выводы по лабораторной работе.

Контрольные вопросы

1. На чём основан принцип действия термоэлектрических термометров (термопар)?
2. Из каких материалов можно изготовить термопару?
3. От чего зависит величина термо-э.д.с. термопары?
4. Для чего введено понятие «стандартная градуировка»?

5. Как обеспечивается постоянство температуры свободных концов термоэлектрического термометра при его градуировке?

6. Как вводится поправка на температуру свободных концов?

7. По какому признаку судят о возможности применения термопары в комплекте со вторичными приборами со стандартными градуировочными характеристиками?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ БЕСКОНТАКТНЫМИ МЕТОДАМИ

Цель работы: изучить бесконтактные методы измерения температуры пирометрами, принцип действия и устройство оптического пирометра, правила его применения, определение действительной температуры поверхности тела и оценки погрешности её измерения, а также приобрести практические навыки измерения температуры пирометром.

Краткие теоретические сведения

Верхний предел применения контактных методов измерения температуры ограничивается диапазоном значений от 2000 до 2500 °С. Однако в ряде случаев в промышленности и при исследованиях тепловых процессов возникает необходимость измерения более высоких температур. Кроме того, часто недопустим непосредственный контакт термометра с измеряемым телом или средой. В таких случаях применяют бесконтактные методы по тепловому излучению.

Интенсивность частичного (монохроматического) излучения чёрного тела $B_{\lambda T}$, Вт/м³, или спектральное распределение энергетической яркости тела от температуры описывается законом Планка:

$$B_{\lambda T} = \frac{C_1}{\pi} \cdot \lambda^{-5} \cdot (e^{-\frac{C_2}{\lambda T}} - 1)^{-1}, \text{ Вт/м}^3, \quad (2.1)$$

где C_1 , C_2 – первая и вторая постоянные излучения, соответственно.
($C_1 = 3,7415 \cdot 10^{-16}$ Вт·м²; $C_2 = 1,43879 \cdot 10^{-2}$ м·К);

λ – длина волны, м;

T – абсолютная температура, К.

Таким образом, с повышением температуры нагретого тела интенсивность теплового излучения в виде электромагнитных волн различной длины быстро возрастает. При нагреве до 500 °С тело излучает невидимые инфракрасные лучи большой длины волны, а при дальнейшем увеличении температуры появляются и видимые лучи меньшей длины.

Смещение максимума изотермы спектрального распределения плотности излучения зависит от температуры и определяется по закону смещения Вина произведением

$$\lambda_{\max} \cdot T = 0,28978 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{К}. \quad (2.2)$$

Поэтому с увеличением температуры максимум излучения смещается в сторону коротких волн, в область видимого спектра.

При интегрировании спектральной плотности излучения абсолютно чёрного тела по длинам волн от нуля до бесконечности получаем закон Стефана-Больцмана для интегральной энергетической яркости

$$B_{oT} = \int_0^{\infty} B_{o\lambda T} d\lambda = \int_0^{\infty} \frac{C_1}{\pi} \cdot \lambda^{-5} \left(e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1 \right)^{-1} d\lambda = \frac{\sigma}{\pi} \cdot T^4, \text{ Вт/м}^3. \quad (2.3)$$

Фактически B_{oT} характеризует мощность излучения (тепловую радиацию) в телесном угле, равном одному стерadianу.

Все законы излучения установлены для абсолютно чёрного тела. Реальные тела имеют меньшую излучательную способность, которая определяется коэффициентом теплового излучения или коэффициентом поглощения (соответственно $\varepsilon_{\lambda T}$ и $\alpha_{\lambda T}$), зависящими от длины волны излучения и температуры тела.

По закону Кирхгофа отношение спектральной энергетической яркости любого источника теплового излучения $B_{\lambda T}$ к его спектральному коэффициенту поглощения равно спектральной энергетической яркости абсолютно чёрного тела $B_{o\lambda T}$ при одной и той же длине волны λ и температуре T

$$B_{\lambda T} / \alpha_{\lambda T} = B_{o\lambda T}. \quad (2.4)$$

Существует большое число различных методов измерения температуры тел по излучению, но для измерения высоких температур в реальных технологических процессах применяются следующие типы пирометров: квазимонохроматический, полного излучения и спектрального отношения.

Пирометр, действие которого основано на зависимости спектральной энергетической яркости от температуры, описываемой законом Планка, называется квазимонохроматическим.

Пирометр, действие которого основано на зависимости от температуры интегральной энергетической яркости излучения, описываемой законом Стефана-Больцмана для абсолютно чёрного тела, называется пирометром полного излучения или радиационным.

Пирометр, действие которого основано на зависимости температуры тела, отношения спектральной энергетической яркости для двух (или более) фиксированных длин волн (цветов), называется пирометром спектрального отношения или цветовым.

Все пирометры излучения градуируются по чёрному излучателю, излучательные свойства которого близки к свойствам абсолютно чёрного тела. Так квазимонохроматический пирометр градуируется по яркостной температуре.

Яркостной температурой реального тела называют такую температуру абсолютно чёрного тела T_y , при которой спектральные энергетические яркости абсолютно чёрного тела $B_{\lambda T_y}$ при температуре T_y и реального тела $B_{\lambda T}$ при температуре T равны (рис. 2.1).

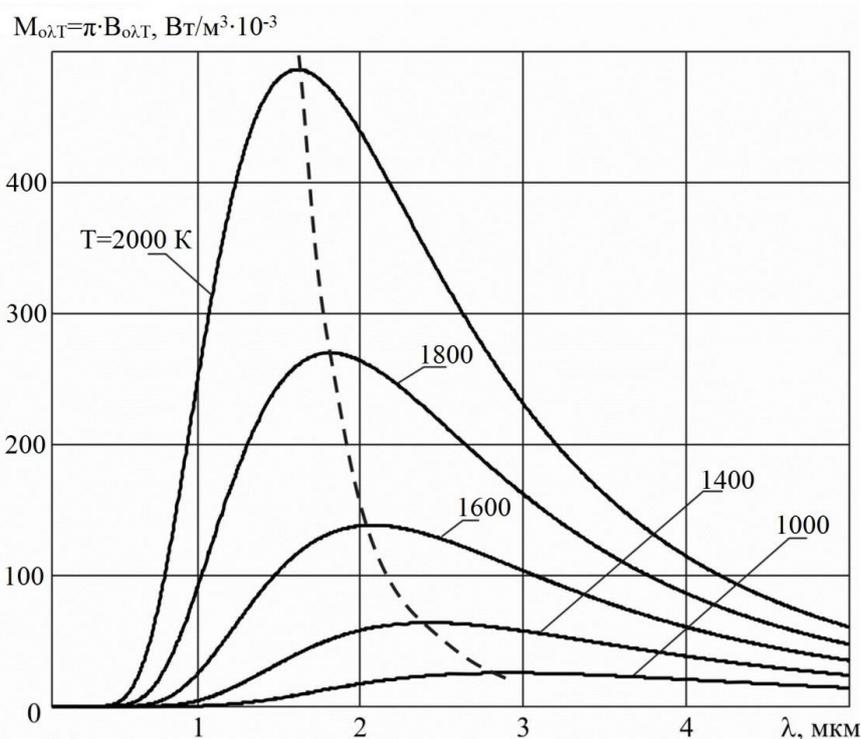


Рис. 2.1. Спектральное распределение плотности излучения $M_{\lambda T}$ для различных значений температуры

По закону Кирхгофа $B_{\lambda T} = \alpha_{\lambda T} \cdot B_{\lambda T_y}$ или $B_{\lambda T} = \varepsilon_{\lambda T} \cdot B_{\lambda T_y}$, но, с другой стороны, $B_{\lambda T} = B_{\lambda T_y}$, откуда $B_{\lambda T_y} = \varepsilon_{\lambda T} \cdot B_{\lambda T}$, тогда действительная температура

$$T = \frac{T_y}{1 - \alpha_{\lambda T}}, \text{ где } \alpha = \frac{\lambda}{C_2} \ln \frac{1}{\varepsilon_{\lambda T}}.$$

Длина волны, при которой работают квазимонохроматические пирометры $\lambda = 0,65 \text{ мкм}$. Коэффициент теплового излучения для каждого материала имеет своё значение, которое меняется в зависимости от состояния поверхности тела и температуры. Поэтому в каждом конкретном случае желательно с помощью других средств измерения уточнить значение коэффициента теплового излучения.

Содержание работы

В процессе выполнения работы необходимо:

- 1) изучить бесконтактные методы измерения температуры пирометрами, преимущества и недостатки каждого метода;
- 2) ознакомиться с принципом действия и схемой квазимонохроматического пирометра, с порядком подготовки и пользования пирометра;
- 3) приобрести практические навыки обращения с оптическим пирометром и определения действительной температуры.

Описание пирометра

Оптический пирометр типа ОППИР-09 относится к квазимонохроматическим пирометрам. Принципиальная схема приведена на рис. 2.2.

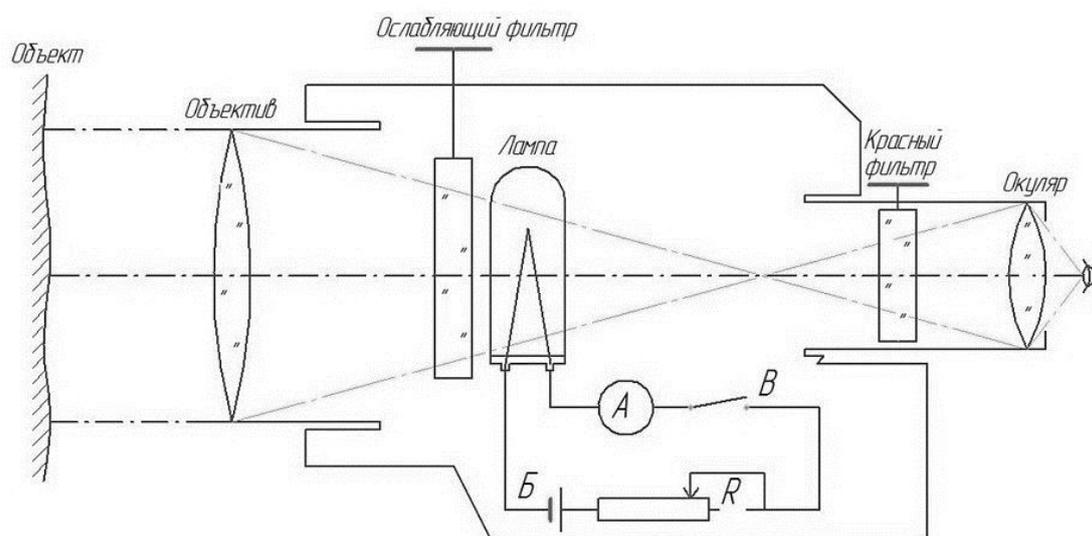


Рис. 2.2. Принципиальная схема оптического пирометра ОППИР-09

Прибор включает в себя следующие основные элементы:

- оптическую систему, состоящую из объектива, ослабляющего светофильтра, монохроматического (красного) светофильтра и окуляра;
- электрическую схему, состоящую из фотометрической лампы накаливания, являющейся эталоном измеряемой яркостной температуры, реостата для регулирования тока накала нити лампы, выключателя питания «ВКЛ», источника питания «Б» и амперметра «А», градуированного в градусах яркостной температуры.

Основные технические данные пирометра:

- диапазон измерения: без фильтра – от 800 до 1400 °С, с ослабляющим фильтром – от 1200 до 2000 °С;

- градуировка по яркостной (монокроматической) температуре на длине волны $\lambda = 0,65$ мкм;
- минимальное расстояние от объектива до объекта 0,7 м;
- выдвигной окуляр для глаз от +5 до минус 7,5 диоптрий.

Порядок работы с пирометром

1. Проверить, что ток не включён. Убедиться, что белая нулевая отметка «0» на поворотном кольце реостата находится против такой же отметки на крышке корпуса. Если совпадения нет, повернуть.

2. Проверить, что стрелка не включённого прибора стоит на нулевой отметке шкалы. Если этого совпадения нет, установить стрелку на нуль винтом корректора.

3. Включить ток поворотом кольца реостата и довести накал нити приблизительно до 1000 °С (по шкале прибора).

4. Установить чёткое изображение нити, направив телескоп на неяркую поверхность (тёмную), перемещением тубуса.

5. Направить телескоп на тело, температура которого подлежит измерению и, приложив глаз к выходной диафрагме окуляра, медленно перемещать тубус объектива до появления чёткого изображения поверхности тела и нити лампы.

6. Поворотом обоймы ввести красный светофильтр.

7. Поворотом кольца реостата изменять яркость нити лампы до тех пор, пока не исчезнет средний участок (вершина дуги) нити лампы на фоне поверхности тела, температура которого измеряется.

8. Для измерения температур выше 1400 °С ввести ослабляющий светофильтр поворотом накатанной головки привода фильтра. Отсчитать значение яркостной температуры по положению стрелки показывающего прибора относительно шкалы соответствующего диапазона измерения.

9. Выключить ток накала нити поворотом кольца реостата против часовой стрелки до упора или совпадения отметок «0».

10. Рассчитать действительную температуру тела.

Отчёт по лабораторной работе

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

- 1) краткие теоретические сведения о бесконтактных методах измерения температуры по тепловому излучению;
- 2) принципиальную схему оптического пирометра;
- 3) краткое описание оптического пирометра типа ОППИР-09, принципа его действия и порядка работы с ним;
- 4) результаты измерения температуры тела;
- 5) выводы по лабораторной работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое монохроматическая интенсивность и спектральная энергетическая яркость излучения?
2. Законы излучения Планка, Вина и Стефана-Больцмана.
3. Что характеризует коэффициент теплового излучения?
4. Какие применяются методы измерения температуры тел по их тепловому излучению?
5. Что такое яркостная температура?
6. Как определяется действительная температура по яркостной?
7. Из каких основных элементов состоит оптический пирометр?
8. Для чего в пирометре применяется ослабляющий светофильтр?
9. Для чего в пирометрах применяется красный светофильтр?
10. Порядок работы с пирометром ОППИР-09.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ И ГРАДУИРОВКИ ПРУЖИННЫХ МАНОМЕТРОВ

Цель работы: изучить методы измерения давления, принцип действия грузопоршневых и пружинных манометров, методику поверочных испытаний манометров и приобрести практические навыки градуировки приборов давления.

Краткие теоретические сведения

Давление является параметром состояния рабочего тела (пар, газ, жидкость). Абсолютное давление представляет собой силу, действующую по нормали к поверхности тела и отнесённую к единице площади этой поверхности. Под термином «абсолютное давление» подразумевается полное давление, под которым находится пар, газ или жидкость. Оно равно сумме давлений атмосферного p_{am} и избыточного p_u .

Прибор, измеряющий атмосферное давление, называют барометром.

При контроле технологических процессов в большинстве случаев приходится измерять избыточное давление (манометрическое) и разность давлений.

Единицей измерения давления в системе СИ является паскаль (Па), который равен давлению, создаваемому силой в один ньютон (Н), действующей на площадь в один квадратный метр ($\text{Н}/\text{м}^2$). Допускается использование таких единиц, как $\text{кгс}/\text{см}^2$, $\text{кгс}/\text{м}^2$, мм вод.ст., мм рт.ст. При измерении давления жидкостным столбом последний должен быть отнесён для воды к $4\text{ }^\circ\text{C}$, ртути к $0\text{ }^\circ\text{C}$ и нормальному ускорению свободного падения, равному $9,80665\text{ м}/\text{с}^2$.

В жидкостных манометрах измеряемое давление или разность давлений уравнивается давлением столба жидкости. В грузопоршневых манометрах измеряемое давление уравнивается силой тяжести поршня с грузами.

В деформационных манометрах используется зависимость деформации чувствительного элемента или развиваемой им силы от измеряемого давления. Большинство деформационных манометров преобразуют давление в пропорциональное перемещение рабочей точки. Наиболее распространённые чувствительные элементы деформационных манометров выполняются в виде трубчатых пружин, сильфонов (гармониковых элементов), плоских и гофрированных мембран. Их применяют как в приборах прямого действия, так и в комплекте с электрическими и пневматическими преобразователями для централизованного контроля тепловыми процессами и теплоэнергетическими установками с дистанционной передачей информации.

В электрических приборах при измерении переменного давления происходит либо изменение электрического сопротивления проводников и полупроводников (тензопреобразователи), либо изменение электрического заряда на поверхности пластины, которая вырезается перпендикулярно электрической оси кристаллов кварца (пьезоэлектрические манометры), либо изменение индуктивности, ёмкости.

Точность измерений давления или разности давлений зависит от выбранного метода измерения, метрологических характеристик средств измерений, условий измерения и ряда других причин. От правильности показаний манометров зависит не только экономичность работы объекта, но и безопасность, в связи с этим все приборы давления подвергаются периодическим поверкам. Для проведения поверок рабочих приборов давления используются образцовые приборы и устройства с допустимой основной погрешностью, в диапазоне от 3 до 5 раз меньшей, чем у поверяемого прибора. У грузопоршневых манометров эти функции могут быть совмещены.

При поверке манометров, предназначенных для измерения давления химически активных газов, например, кислорода, нельзя использовать грузопоршневые манометры, заполненные маслом.

Манометры, предназначенные для измерения давления кислорода, окрашиваются в голубой цвет, а на шкале прибора делается предупреждающая надпись КИСЛОРОД или МАСЛООПАСНО.

Содержание работы

В процессе выполнения работы необходимо:

- 1) изучить методы измерения давления, принцип действия приборов, применяемых в этих методах, преимущества и недостатки каждого метода;
- 2) изучить устройство пружинного и грузопоршневого манометров, правила установки и применения, оценки погрешности измерения;

- 3) ознакомиться с поверочной установкой и методом поверки манометров;
- 4) приобрести практические навыки поверки манометров и использования грузопоршневого манометра для градуировки рабочих приборов давления.

Описание лабораторной установки

Схема лабораторной установки для поверки манометров различного типа приведена на рис. 3.1.

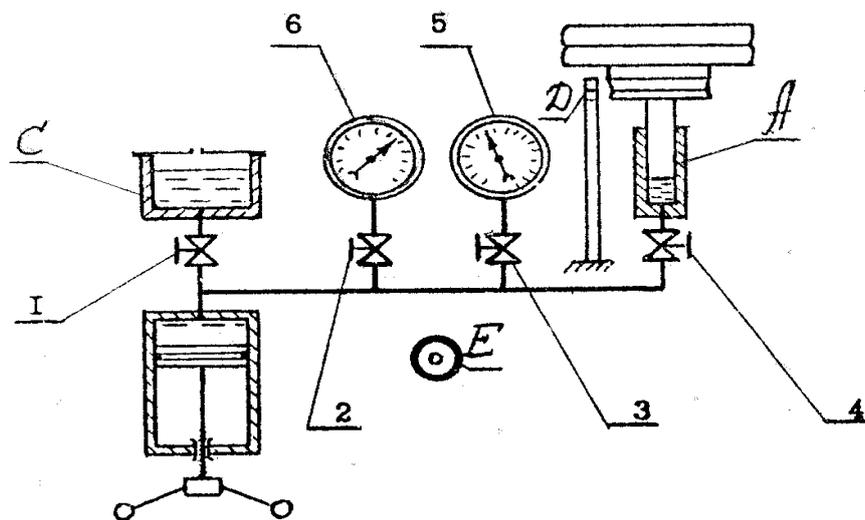


Рис. 3.1. Принципиальная схема лабораторной установки:
 1, 2, 3, 4 – запорные вентили; 5 – образцовый пружинный манометр;
 6 – поверяемый манометр; А – измерительный блок (узел поршень-цилиндр
 грузопоршневого манометра МТ-60); В – питающий насос;
 С – масляный бак; Д – указатель; Е – уровень

Лабораторная установка состоит из грузопоршневого манометра, образцового манометра и поверяемого манометра. Грузопоршневой манометр типа МТ-60 (отеч. МП-60) имеет диапазон измерения от 0,1 до 6,0 МПа (от 1,0 до 60 кгс/см²), класс точности 0,05 и служит для точных измерений давлений в лабораторных условиях. Он состоит из измерительного блока, питающего насоса поршневого типа с ручным приводом, масляного бака, соединительных трубок с запорными вентилями и присоединительных штуцеров.

Рабочее положение поршня фиксируется с помощью указателя. Это давление с помощью соединительных трубок передаётся образцовому и поверяемому манометрам. Подача масла в измерительный блок производится питающим насосом с ручным приводом. Подпитка маслом осуществляется от масляного бака. Измерительный блок, питающий насос, и масляный бак установлены на плите с уровнем для контроля и установки плиты в горизонтальное положение с помощью винтовых ножек. К прибору прилагается набор тарированных грузов с указанным значением давления (кгс/см²).

Величина создаваемого грузами давления определяется по формуле

$$p = \frac{Y_1 + Y_2}{F}, \text{ кгс/см}^2, \quad (3.1)$$

где Y_1 – масса поршня с тарелью, кгс;

Y_2 – масса грузов, кгс;

F – рабочая площадь поршня, см².

За рабочую площадь поршня F принимают площадь сечения поршня плюс половина площади кольцевого зазора между поршнем и цилиндром. Для манометра МТ-60 при температуре 20 °С рабочая площадь поршня, или измерительное эффективное сечение, равна 1,00204 см².

Методика и проведение поверки манометров

Поверка манометров начинается с их внешнего осмотра. Внешний осмотр является мероприятием, определяющим до некоторой степени годность прибора к работе до начала его поверки.

Поверка манометров производится при соблюдении следующих условий:

1. Поверяемые приборы должны быть в исправном состоянии и не иметь очагов коррозии, загрязнений, трещин и повреждений стекла, циферблата, стрелки и резьбы ниппеля.

2. Внутри прибора не должно находиться никаких посторонних предметов.

3. В рабочем положении прибора при отсутствии давления конец стрелки должен совпадать с нулевой отметкой шкалы или прижиматься к упорному штифту. У приборов без штифта отклонение стрелки от нулевой отметки не должно превышать допустимой погрешности.

4. Приборы, не удовлетворяющие вышеуказанным требованиям, на поверку не принимаются и направляются в ремонт.

5. Температура окружающей среды при поверке не должна отличаться от нормальной (20 °С) более чем на +5 °С.

6. Прибор должен поверяться в рабочем положении.

7. Поверка манометров класса 1,0; 1,5; 2,5 должна проводиться не менее чем в пяти отметках, а класса 4,0 – в трёх отметках, распределённых равномерно в пределах всей шкалы поверяемого манометра.

8. Поверку ведут сначала при повышении давления, затем поверяемый прибор выдерживается в течение 5 мин под предельным давлением (на конечной отметке шкалы поверяемого манометра), и после этого производят поверку на тех же отметках при понижении давления.

9. Отсчёт показаний поверяемого прибора производят на каждой отметке два раза: сначала непосредственно после создания требуемого давления, затем

после постукивания по корпусу манометра. Показания до и после постукивания и их разность заносят в протокол.

10. По окончании поверки избыточное давление в поверяемом манометре медленно приводят к нулю и замечают положение его стрелки по отношению к нулевой отметке.

После подготовки установки и поверяемого прибора приступают к градуировке прибора в такой последовательности:

1. В протокол поверки заносят технические данные образцового и поверяемого приборов.

2. При открытых вентилях отмечают начальное положение стрелки и заносят данные в протокол поверки, форма которого приведена в прил. 2.

3. Для подпитки питающего насоса маслом закрывают вентили 2, 3 и 4, а вентиль 1 открывают и вращением маховика насоса против часовой стрелки до упора набирают масло под поршень насоса.

4. Для создания необходимого давления вентиль 1 закрывают, вентили 2, 3 и 4 открывают и, вращая маховик насоса по часовой стрелке, нагнетают масло в измерительный блок до совмещения черты на тарели со средней отметкой на указателе. Для устранения влияния трения покоя поршня о стенки цилиндра лёгким усилием по касательной к тарели придают ей вращательное движение.

5. Отсчитывают показания поверяемого манометра с точностью до одной десятой наименьшего деления шкалы прибора. Заносят показания прибора в протокол поверки. По грузопоршневому манометру определяют действительное давление и заносят в протокол.

6. Для определения величины гистерезиса прибора производят легкое постукивание по корпусу прибора при том же давлении. Отсчитывают показания прибора после постукивания и заносят в протокол.

7. Для поверки последующих отметок добавляют соответствующее количество грузов и производят отсчёт показаний в той же последовательности (см. пп. 4, 5 и 6).

8. На предельной отметке шкалы поверяемый прибор выдерживают под давлением в течение 5 мин и приступают к поверке прибора на тех же отметках при уменьшении давления.

Обработка результатов поверки

За действительное давление принимают показания грузопоршневого манометра, приведённые к нормальному значению ускорения свободного падения $g = 9,80665 \text{ м/с}^2$ (для г. Воронежа $g = 9,8156 \text{ м/с}^2$).

За допустимую основную погрешность можно принять величину класса точности, выраженную в процентах или в абсолютных отклонениях:

$$\Delta_d = \frac{P_k - P_n}{100} \cdot K, \text{ кгс/см}^2, \quad (4.2)$$

где p_n, p_k – диапазон измерения прибора, кгс/см²;

K – класс точности поверяемого прибора.

С величиной допустимой основной погрешности сравнивают погрешности, полученные при прямом (увеличение давления) и обратном (уменьшение давления) ходе стрелки.

Величина погрешности прибора определяется как разность между показаниями поверяемого прибора (без постукивания) и соответствующим им действительным давлением:

- при прямом ходе

$$\Delta_1 = p_1 - p_d, \text{ кгс/см}^2; \quad (4.3)$$

- при обратном ходе

$$\Delta_2 = p_2 - p_d, \text{ кгс/см}^2. \quad (4.4)$$

Вариация определяется как разность показаний поверяемого манометра (без постукивания) при прямом и обратном ходе

$$V = p_2 - p_1, \text{ кгс/см}^2. \quad (4.5)$$

По результатам испытаний строят градуировочную кривую и анализируют результаты поверки.

Манометры признаются годными по результатам поверки, если они удовлетворяют следующим требованиям:

- а) если их основные погрешности и вариации не превышают допустимых;
- б) если смещение стрелки от постукивания не превышает половины допустимой погрешности;
- в) если движение стрелки в пределах всей шкалы происходит плавно без скачков на расстоянии от 1,5 до 3 мм от циферблата (в зависимости от диаметра корпуса);
- г) если стрелка после поверки возвращается к нулевой отметке с отклонением, не превышающим допустимой погрешности, а при наличии упорного штифта прижимается к нему.

Отчёт по лабораторной работе

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

- 1) краткие сведения о методах измерения давления и принципе действия грузопоршневых и пружинных манометров;
- 2) принципиальную схему и описание лабораторной установки;
- 3) протокол поверки и градуировочную кривую;

- 4) заключение о пригодности поверяемого прибора для работы;
- 5) выводы по лабораторной работе.

Контрольные вопросы

1. Какие методы измерения давления применяются в промышленной теплоэнергетике и в лабораторной практике?
2. На чём основан принцип действия пружинных манометров?
3. На чём основан принцип действия поршневых манометров?
4. Какие элементарные правила должны выполняться при эксплуатации грузопоршневых манометров?
5. С какой целью производят постукивание по корпусу манометра?
6. Чем объясняется вариация показаний пружинных манометров?
7. Что характеризует класс точности прибора?
8. Какие условия учитывают при выборе манометра?
9. В какой последовательности проводят поверку манометра?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

КОНФИГУРИРОВАНИЕ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВНЕШНЕГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Цель работы: приобрести практические навыки настройки программируемого логического контроллера, изучить внешние средства программирования.

Краткие сведения

Настройка параметров ПЛК является неотъемлемой частью при создании автоматических систем управления технологическими процессами. Использование встроенных средств настройки и программирования позволяет решать такие задачи только лишь на месте установки ПЛК. Скорость настройки при этом не обладает высокими значениями. Зачастую при различных режимах работы производства необходимо изменять конфигурацию ПЛК в сжатые сроки. Различные варианты конфигураций, записанные в файл и при необходимости загруженные в прибор, значительно ускоряют процесс преобразования автоматической системы управления технологическим процессом. При использовании множества ПЛК в производстве становится актуальной задача их удалённой настройки.

Решением указанных задач является программное обеспечение (ПО), часто разрабатываемое производителем ПЛК. Такое ПО позволяет считывать, записывать и редактировать конфигурации прибора. В зависимости от интерфей-

са, расположенного в ПЛК, имеется возможность его соединения с компьютером либо напрямую, либо с использованием различных преобразователей сигналов.

Для настройки и конфигурирования ПЛК ТРМ148 предназначено ПО «Конфигуратор ТРМ148» (Конфигуратор). Конфигуратор позволяет считывать конфигурации из прибора, редактировать их и записывать конфигурации в прибор. Также Конфигуратор имеет возможность работать с файлами конфигураций, которые можно сохранять на диске или загружать их с диска. В Конфигураторе реализована возможность работы без подключённого прибора. Например, в Конфигуратор может быть загружена любая из шести модификаций прибора ТРМ148, отредактирована в соответствии с конкретными потребностями пользователя и сохранена в файл. Впоследствии пользователь сможет подключить прибор к компьютеру, установить между ними связь и записать ранее подготовленную Конфигурацию в прибор.

Процесс редактирования конфигураций допускает возможность полностью стереть конфигурацию с использованием процедуры инициализации, а затем осуществить конфигурирование (задание параметров) в строгой технологической последовательности, при этом может быть, например, сохранена конфигурация с «пустыми» (незаполненными) полями параметров, которая затем послужит отправной точкой для создания конфигураций.

ТРМ148 обладает встроенным интерфейсом RS-485. Для организации связи компьютера (с ПО) и прибора необходим адаптер интерфейса RS-232/RS485. Связь прибора по интерфейсу RS-485 выполняется по двухпроводной схеме. Длина линии связи должна быть не более 800 метров. Подключение осуществляется витой парой проводов, соблюдая полярность (Приложение В). Провод А подключается к выводу А прибора. Выводы В соединяются между собой аналогично. При прокладке линии связи RS-485 на длину более 10 м может возникнуть потребность в установке шунтирующих резисторов на концах линии. Резисторы должны быть одного номинала. Подбор резисторов осуществляется по контролю устойчивости связи приборов и по количеству ошибок. Номинал резисторов подбирается из диапазона от 100 до 250 Ом. При подключении линии RS-485 необходимо обязательно отключить питание обоих устройств.

После запуска Конфигуратора на компьютере происходит проверка связи с прибором. Для этого необходимо совпадение сетевых настроек прибора и настроек ПО: скорость, длина слова данных, чётность, количество стоп-бит, длина адреса, адрес прибора.

Затем необходимо выбрать одну из шести конфигураций ТРМ148. Каждая из конфигураций уже содержит заданные параметры для выполнения различных задач автоматизации технологических процессов (табл. 4.1). Принципиальные схемы модификаций приведены в прил. 3.

Конфигурации прибора ТРМ148

№	Описание конфигурации	Применение
1	8 каналов регулирования, каждый из которых подключен к своему Выходному элементу. Каждый регулятор может работать в режимах ПИД и ON/OFF	Работа с нагревателями. Одновременное регулирование до 8-ми независимых физических величин
2	8 каналов регулирования, в каждый из которых включены только Инспекторы	Аварийная и прочая сигнализации. Сигнализация выхода нескольких параметров за границы установленного диапазона или входа в установленный диапазон
3	4 канала ПИД-регулирования задвижками с датчиком положения или с его математической моделью	Осуществление регулирования физическими объектами, управляемыми задвижками – с датчиками положения или без таковых
4	4 канала регулирования (ПИД или ON/OFF), каждый из которых сопровождается Инспектором (контролем нахождения регулируемой величины в допустимом диапазоне)	Осуществление регулирования максимум 4-мя физическими величинами с системой аварийной сигнализации в каждом. В каждом канале регулирования используется 2 входа, что позволяет регулировать величины, измеряемые 2-мя датчиками. Регулирование может быть задано уставкой – постоянной или изменяемой по времени величиной (графиком)
5	4 канала регулирования (ПИД или ON/OFF) по графику уставки, каждый из которых сопровождается аварийной сигнализацией	Коррекция уставки по графику позволяет создавать сложные системы регулирования с изменяющейся в процессе регулировки уставкой, которая зависит от входной величины или от времени. График от входной величины позволяет создавать различные климатозависимые системы
6	2 канала ПИД-регулирования задвижками с датчиком положения. Регулируемая величина может быть вычислена Вычислителем	Системы регулирования соотношения (газов, воды), управляющие, например, 2-мя кранами; системы, требующие сложного регулирования по нескольким (до 3-х) входным величинам

Для конфигурирования параметров прибора ТРМ148 при помощи Конфигуратора существуют различные уровни доступа: минимальный – для просмотра и редактирования заданных параметров уставок; средний – для задания параметров Конфигурации ТРМ148 (доступ ко всем параметрам, определяю-

щим настройки модификации); полный – для свободного переконфигурирования прибора. В Конфигураторе имеется возможность включить режим автоматической записи параметров или режим автоматического чтения параметров.

После предварительной настройки программы и её последующего запуска появляется рабочее окно программы, в котором находятся главное меню, панель инструментов и сгруппированные ветви для определения параметров. В целом окно Конфигуратора напоминает стандартный проводник Windows. А для настройки требуется выбрать нужную ветвь и изменить значение необходимого параметра. После изменения конфигурации прибора нужно записать изменения или осуществить полную запись всех параметров из Конфигуратора в ТРМ148.

Содержание работы

В процессе выполнения работы необходимо:

- 1) изучить принцип работы и устройство измерителя-регулятора (логического контроллера) ТРМ148;
- 2) изучить ПО «Конфигуратор ТРМ148»;
- 3) произвести подключение к ТРМ148 датчика измерения температуры и настроить прибор с использованием внешнего ПО;
- 4) приобрести практические навыки измерения температуры объекта, а также определения максимальной, минимальной и средней температуры объекта.

Порядок выполнения работы

1. Произвести монтаж прибора, термоэлектрических преобразователей (датчиков), преобразователя интерфейса и компьютера. Схема присоединения термопары к входу прибора и схема самого ТРМ-148 изображены на рисунке 4.1 и в прил. 4.

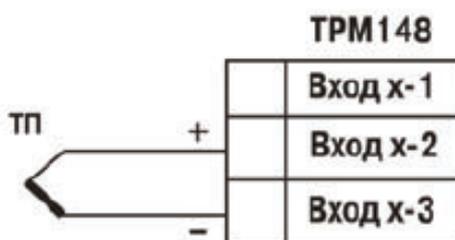


Рис. 4.1. Схема подключения термопары

2. Включить ТРМ148 в сеть 220 В.
3. Войти в режим программирования прибора. Для этого на лицевой панели прибора нажать  + . Появится Главное меню прибора. На цифровом индикаторе 1 отображаются имена папок, в которые сгруппированы парамет-

ры. Для выбора папки необходимо воспользоваться кнопками «вверх» и «вниз», после этого нажать «Ввод».

4. Настроить сетевые параметры TPM148. Для этого необходимо зайти в папку **FLTr**, настроить и записать (запомнить) следующие параметры: **bPS**, **LEn**, **PrtY**, **Sbit**, **A.Len**, **Addr**. Значения этих параметров будут необходимы для настройки параметров связи с прибором в Конфигураторе.

5. Загрузить Конфигуратор TPM148. Настроить параметры связи с прибором. Выполнить проверку связи с прибором TPM148. Выбрать Модификацию № 1 прибора, а затем полный уровень доступа. Пароль к этому уровню – 1. Включить режим автоматического чтения (параметры из TPM148 передадутся в программу). Нажать кнопку «Готово».

6. Отредактировать типы датчиков для каждого из каналов. Для этого необходимо открыть ветвь «Входы» и необходимый «Вход». Установить требуемые значения параметров (**in.t**, **in.SH**) для входов (прил. 5).

7. Установить параметры Вычислителей. Для этого необходимо открыть одноименную ветвь и для каждого из Вычислителей задать формулу вычислителя (**CAL.t**) и количество аргументов вычислителя (**n.in.C**). Затем необходимо настроить формулы вычислителя (**t.in**, **in.**). Учёт формул для вычислителя зависит от количества аргументов Вычислителя (прил. 5).

8. Записать изменения параметров в TPM148. Для этого необходимо выполнить команду «Записать только измененные» либо нажать кнопку «Записать изменения».

9. Убедиться, что настройка прибора прошла верно. Для этого необходимо на приборе наблюдать измеряемые параметры температур.

10. Произвести тарирование подключённых термопар таким же способом, как и в предыдущей лабораторной работе, но с использованием Конфигуратора.

Оборудование, инструменты, материалы

При проведении лабораторной работы применяются следующее оборудование, инструменты, материалы:

- 1) измеритель-регулятор TPM148;
- 2) термоэлектрические термопреобразователи (термопары) градуировки ХК (L). Данной градуировке на цифровом индикаторе TPM148 соответствует значение E_L ;
- 3) шнур сетевой с вилкой и USB-кабель;
- 4) преобразователь интерфейсов RS-485 <-> USB типа AC4-M;
- 5) соединительные медные провода;
- 6) сосуд с кипящей водой;
- 7) сосуд с водой и льдом (сосуд Дьюара).

Отчёт по лабораторной работе

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

- 1) краткие теоретические сведения об измерителе-регуляторе ТРМ148;
- 2) технические параметры термоэлектрических термопреобразователей и схему их подключения к ТРМ148;
- 3) результаты измерения температуры воды;
- 4) выводы по лабораторной работе.

Контрольные вопросы

1. Каким образом настроить параметры ТРМ148 удалённо?
2. Как повысить скорость изменения системных параметров ПЛК?
3. Что влияет на организацию связи ТРМ148 с компьютером?
4. Какова максимальная длина линии связи ТРМ148 и управляющего компьютера?
5. Что такое «Конфигурация» (модификация) ТРМ148? Какое количество их в приборе и в чём их отличия?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванова, Г. М. Теплотехнические измерения и приборы: учебник для вузов / Г. М. Иванова, Н. Д. Кузнецов, В. С. Чистяков. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 232 с.
2. Лабораторный практикум по теплотехническим измерениям и приборам: учеб. пособие / под ред. С. Ф. Чистякова. – М. : Высш. шк., 1970. – 269 с.
3. Баранников, Н. М. Методические указания к проведению лабораторных работ «Математическая обработка опытных данных в лабораторных работах» для студентов специальности 0308 «Промышленная теплоэнергетика» / Н. М. Баранников. – Воронеж: ВПИ, 1979.
4. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: справочник / Е. В. Аметистов, В. А. Григорьев, Б. Т. Емцев и др.; Под общ. ред. В. А. Григорьева и В. М. Зорина. – М.: Энергоиздат, 1982. – 512 с.
5. Шишов, О. В. Технические средства автоматизации и управления: учебное пособие / О. В. Шишов. – М.: ИНФРА-М, 2012. – 397 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ПРОТОКОЛ

поверки рабочих термопар градуировки _____

Поверка производится по образцовым приборам:

- образцовая термопара _____

- образцовый потенциометр _____

- образцовый термометр _____

Замечания по внешнему осмотру _____

Условия поверки:

- температура свободных концов _____ °С

Температурные точки		Термопара									
		образцовая					поверяемая				
Значения термо-э.д.с., мВ	1										
	2										
	3										
	4										
	5										
Среднее арифметическое значение термо-э.д.с., мВ											
Термо-э.д.с., приведённая к температуре свободных концов 0 °С											
Температура, °С											
Допустимая погрешность											
Погрешность поверяемой термопары											

Заключение _____

Поверку производил _____

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ПРОТОКОЛ

поверки рабочих приборов для измерения давления

Образцовый прибор _____
 Изготовитель _____
 Поршневой манометр _____
 Допустимое давление _____
 Поверяемый манометр _____
 Класс точности _____

Номер замера	I	II	III	IV	V	VI
Показания образцового манометра, кгс/см ²						
Действительное давление, кгс/см ²						
Показания поверяемого манометра:						
а) при увеличении давления:						
до постукивания, кгс/см ²						
после постукивания, кгс/см ²						
б) при уменьшении давления:						
до постукивания, кгс/см ²						
после постукивания, кгс/см ²						
Смещение стрелки прибора:						
а) при увеличении давления, кгс/см ²						
б) при уменьшении давления, кгс/см ²						
Погрешность прибора:						
а) при увеличении давления, кгс/см ²						
б) при уменьшении давления, кгс/см ²						
Вариации, кгс/см ²						
Предел допустимой основной погрешности и условия поверки						

Поверку произвёл _____

Прибор _____ № _____
(годен, не годен для эксплуатации)

Забракован (подлежит ремонту) _____
(указать причину)

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Принципиальные схемы модификаций прибора ТРМ148

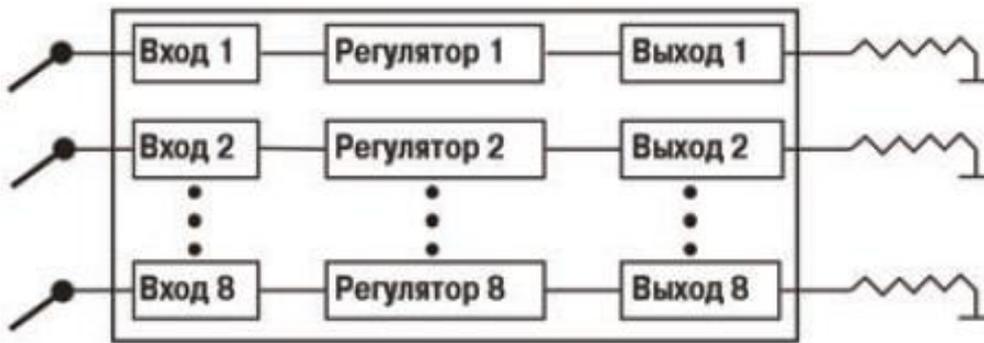


Рис. П.3.1. Принципиальная схема прибора модификации 1 прибора



Рис. П.3.2. Принципиальная схема прибора модификации 2 прибора



Рис. П.3.3. Принципиальная схема прибора модификации 3 прибора

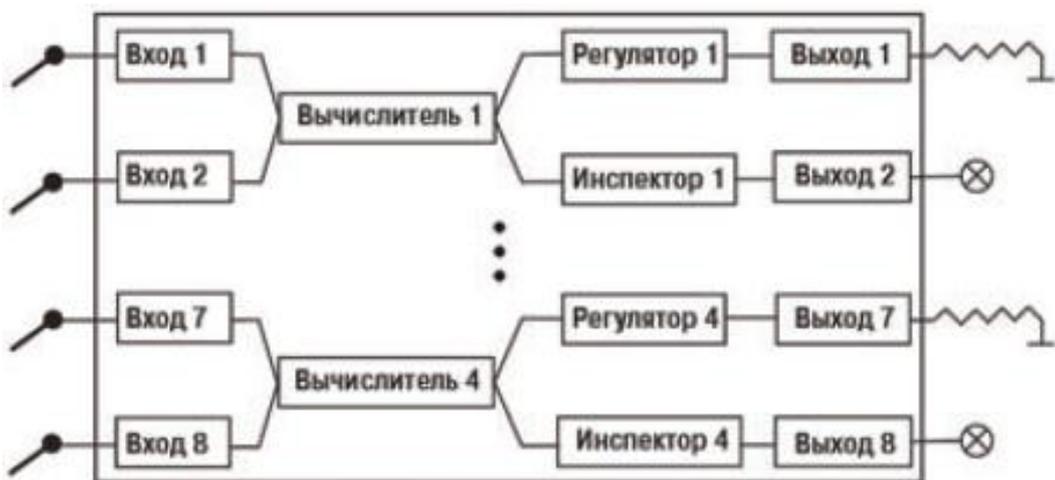


Рис. П.3.4. Принципиальная схема прибора модификации 4 прибора

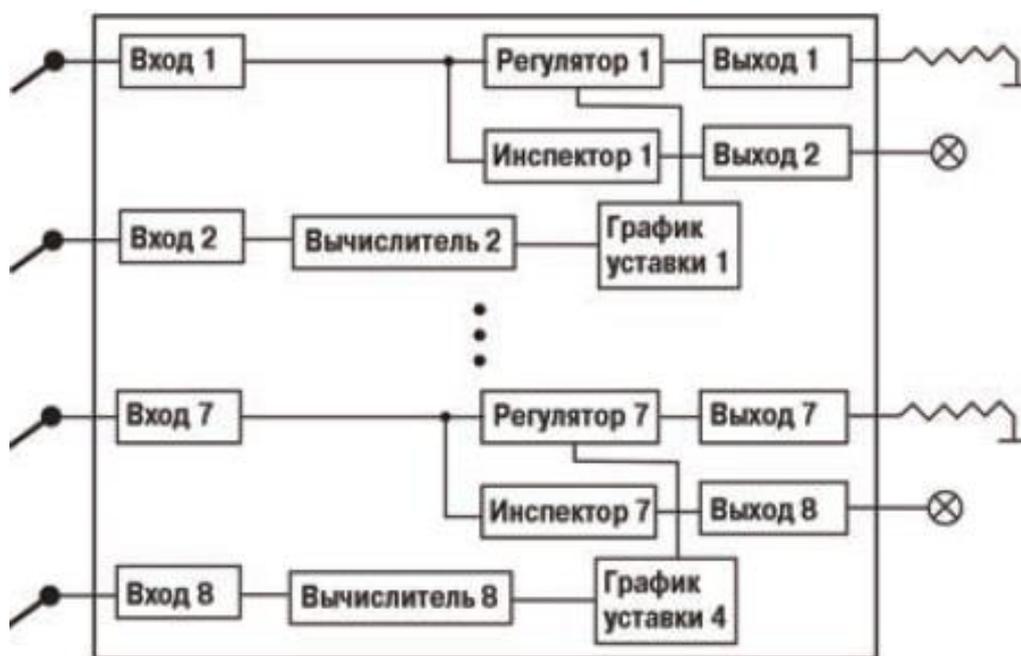


Рис. П.3.5. Принципиальная схема прибора модификации 5 прибора

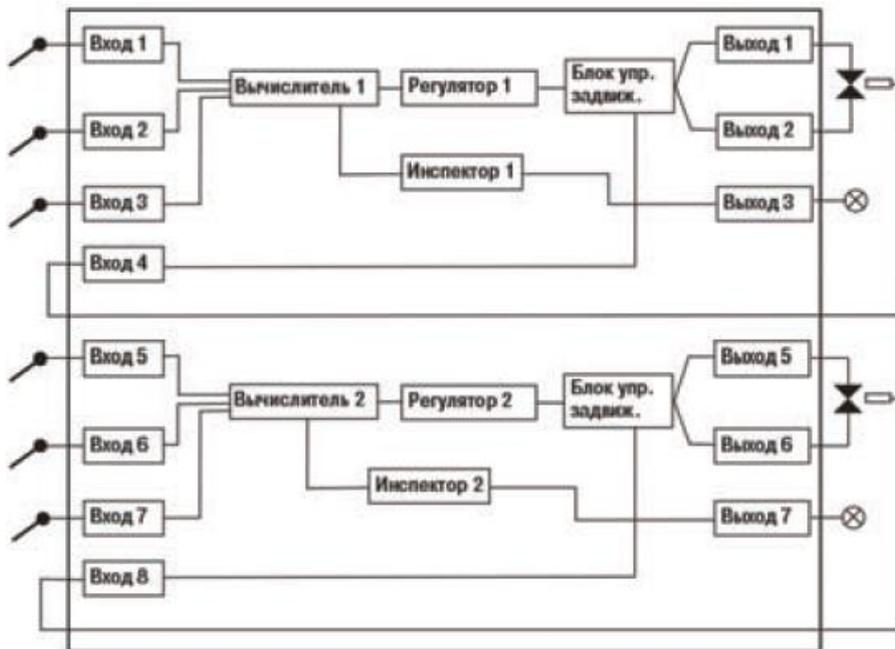


Рис. П.3.6. Принципиальная схема прибора модификации 6 прибора

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Схема расположения контактов для подключения внешних связей к прибору ТРМ148

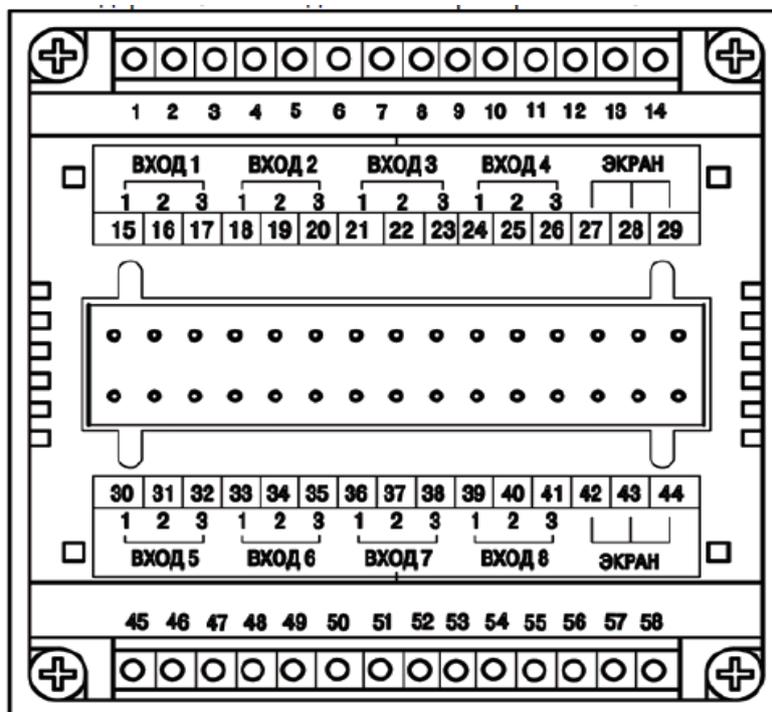


Рис. П.4.1. Схема расположения контактов для подключения внешних связей к прибору

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Режим программирования прибора ТРМ148

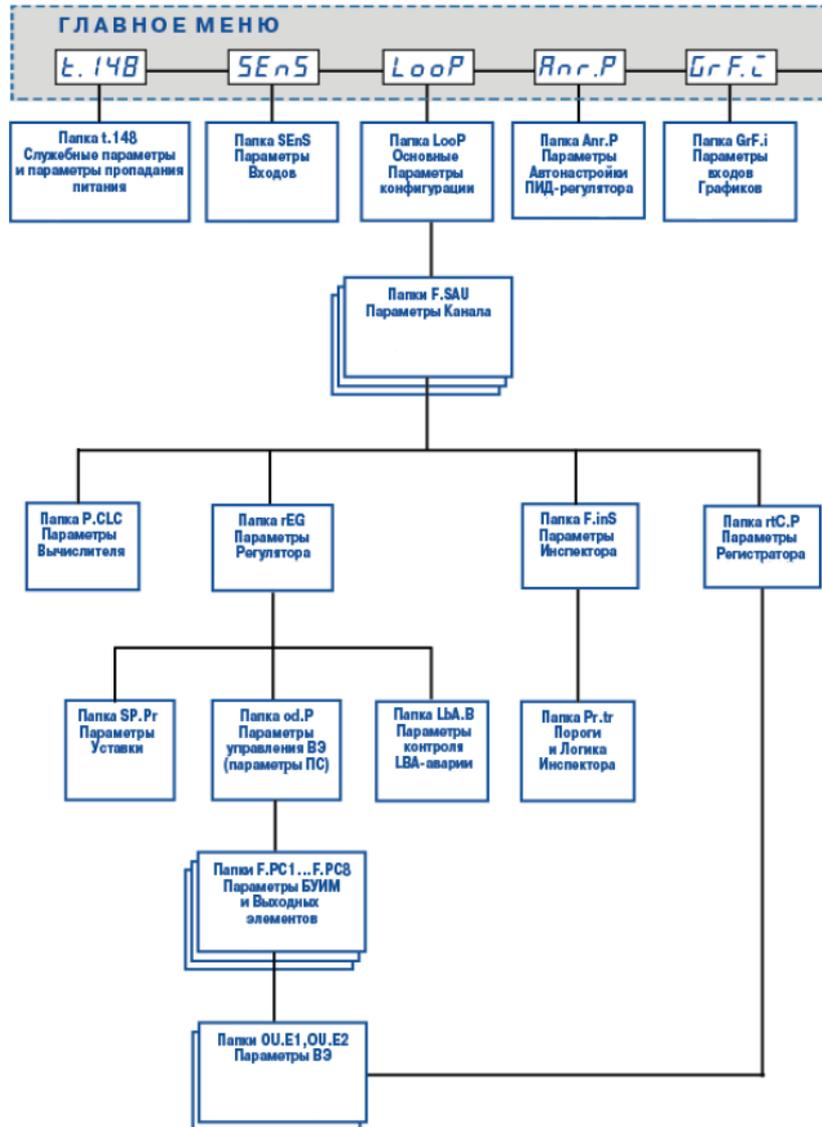


Рис. П.5.1. Общая схема задания параметров прибора

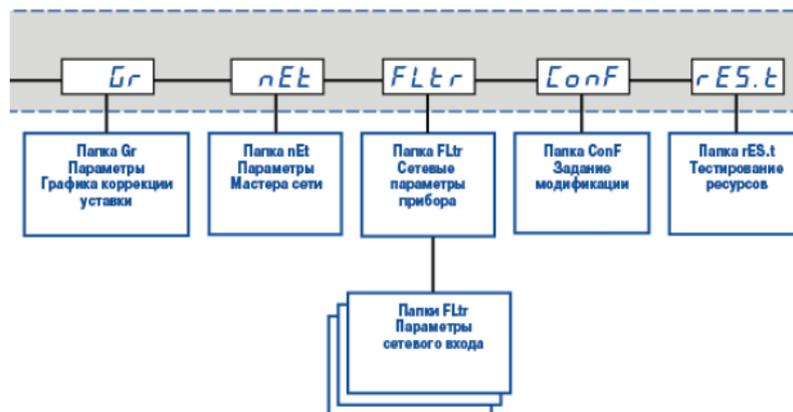


Рис. П.5.1. Общая схема задания прибора (продолжение)

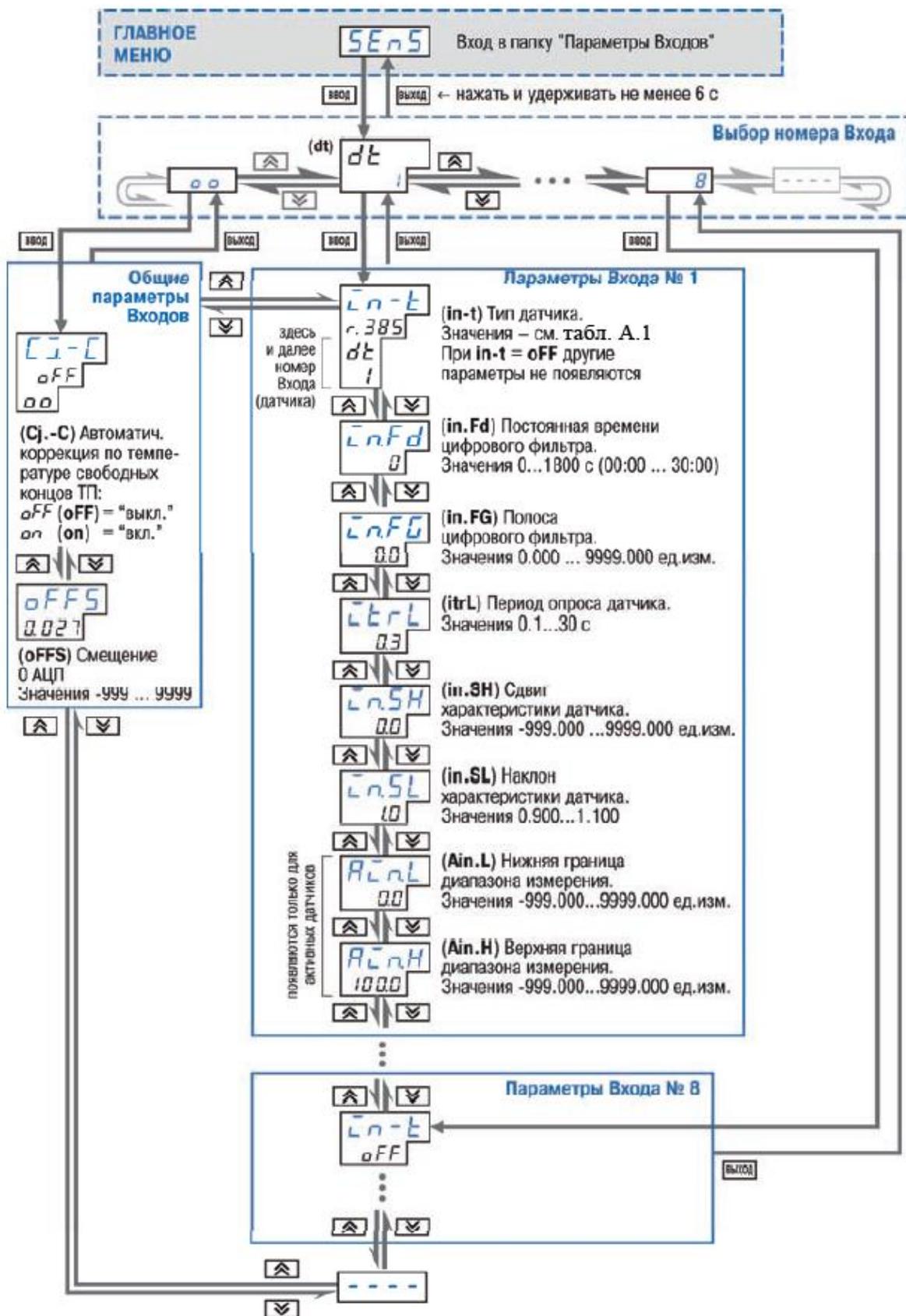


Рис. П.5.2. Схема задания параметров Входов

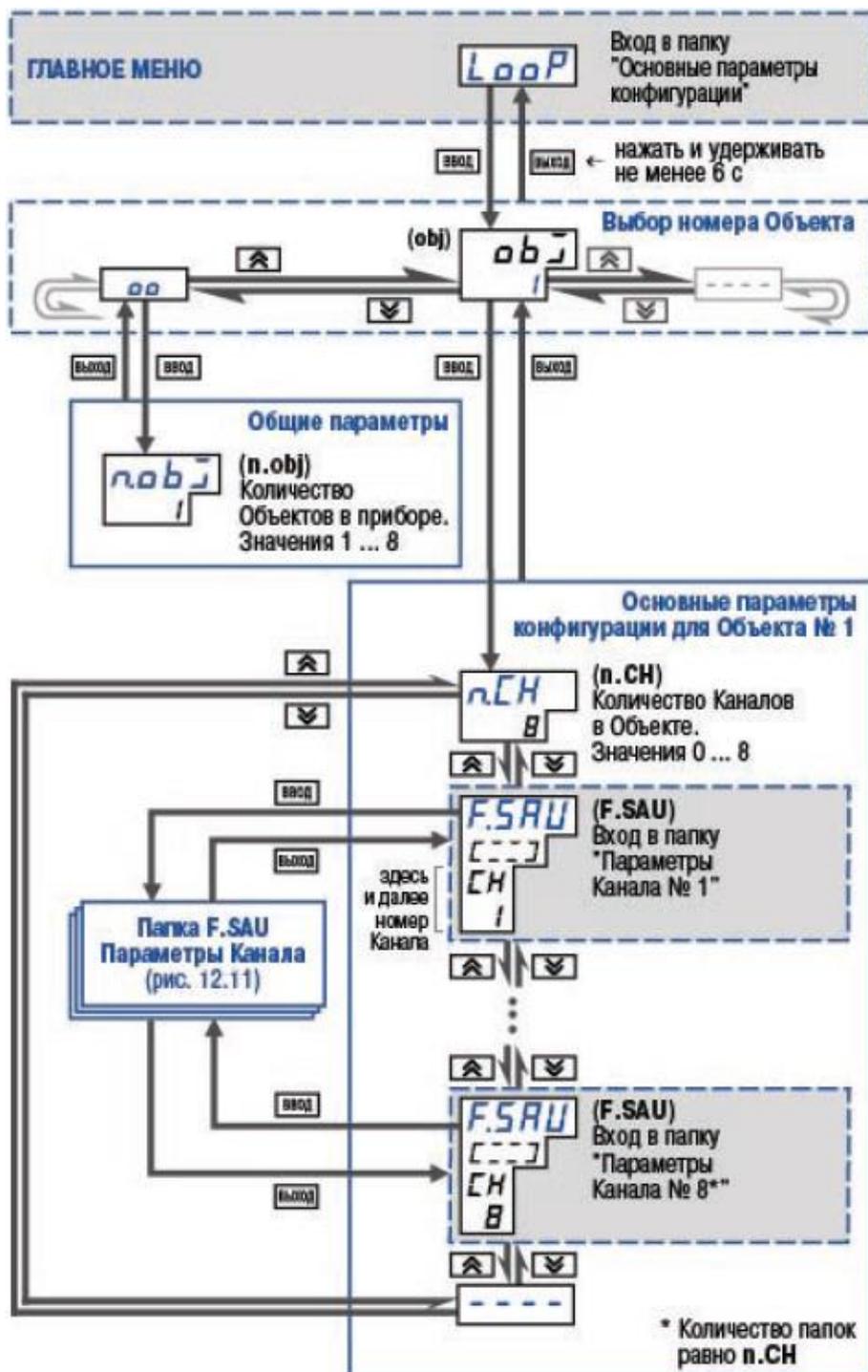


Рис. П.5.3. Схема задания основных параметров конфигурации

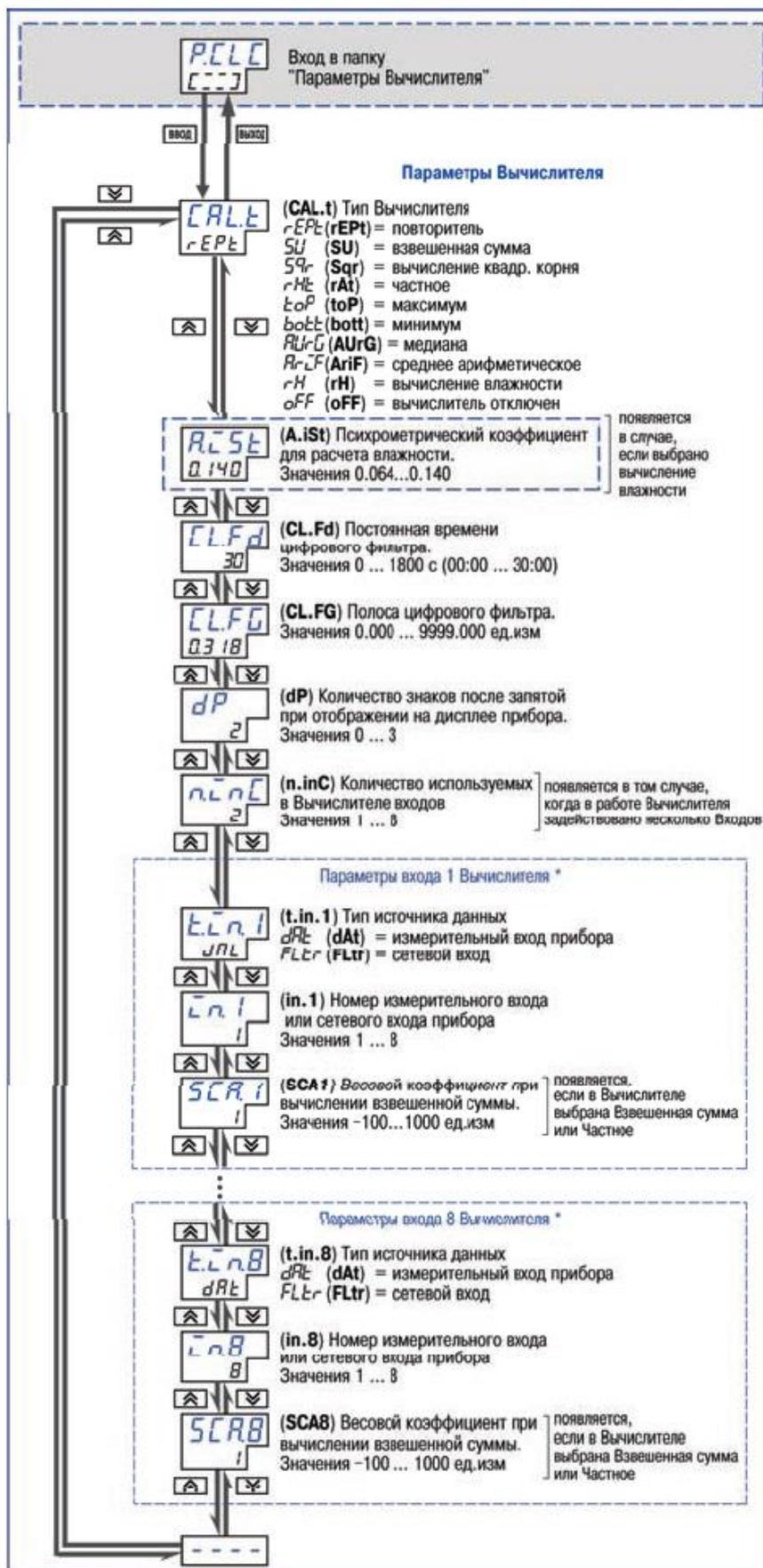


Рис. П.5.5. Схема задания параметров Вычислителей

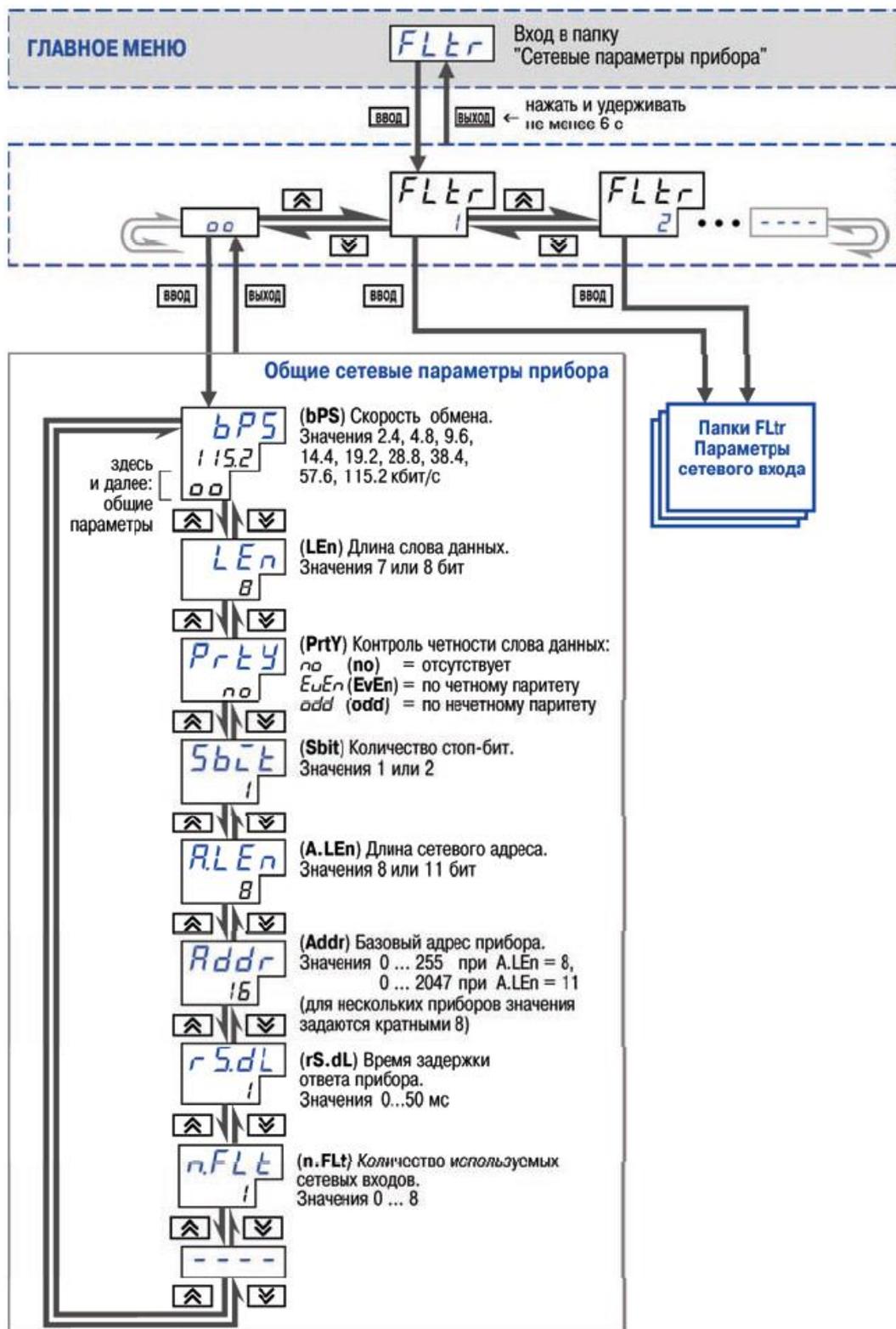


Рис. П.5.6. Схема задания сетевых параметров прибора

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ.....	4
Лабораторная работа № 1. Измерение температуры термоэлектрическим термометром и градуировка термопар.....	5
Лабораторная работа № 2. Измерение температуры бесконтактными методами...	10
Лабораторная работа № 3. Измерение давления и градуировки пружинных манометров.....	15
Лабораторная работа № 4. Конфигурирование программируемого логического контроллера с использованием внешнего программного обеспечения.....	21
Библиографический список.....	27
Приложение 1.....	28
Приложение 2.....	29
Приложение 3.....	30
Приложение 4.....	32
Приложение 5.....	33

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

*МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторных работ
для студентов направления 13.03.01
«Теплоэнергетика и теплотехника»
(профиль «Промышленная теплоэнергетика»)
всех форм обучения*

Составители:

Муравьев Анатолий Викторович

Кожухов Николай Николаевич

Надеев Александр Александрович

Издается в авторской редакции

Подписано к изданию 19.10.2021.

Объем данных 1 469 Кб

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14