

**ВЫБОР ПРИБОРОВ И ОСНАСТКИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ  
ПУСКОНАЛАДОЧНЫХ РАБОТ  
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ  
СИСТЕМ КОНТРОЛЯ**

**Издательство ТГТУ**

Министерство образования Российской Федерации  
Тамбовский государственный технический университет

**ВЫБОР ПРИБОРОВ И ОСНАСТКИ  
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ  
ПУСКОНАЛАДОЧНЫХ РАБОТ  
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ  
СИСТЕМ КОНТРОЛЯ**

Методические указания  
для студентов дневного и заочного отделений  
специальностей 210200, 072000, 311400

Тамбов  
Издательство ТГТУ  
2003

УДК 681. 20  
ББК § 965  
ч 932

Утверждено редакционно-издательским советом университета

Р е ц е н з е н т  
Кандидат технических наук, доцент  
*К. А. Набатов*

ч 932 Выбор приборов и оснастки при проведении пусконаладочных работ автоматизированных систем контроля: Метод. указания / Сост.: А. А. Чуриков, А. Г. Дивин, Г. В. Шишкина. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. 36 с.

Рассмотрен алгоритм подготовки и выполнения пусконаладочных работ, даются основы выбора аппаратуры по ее метрологическим характеристикам для предмонтажной поверки и автономной наладки средств измерения. Приводятся справочные данные о приборах, используемых в процессе выполнения пусконаладочных работ. Приведен пример выполнения контрольной работы. Даны варианты заданий для выполнения контрольной работы.

Методические указания предназначены для выполнения самостоятельных и контрольных работ студентами дневного и заочного отделений специальностей 210200, 072000, 311400 по дисциплинам «Монтаж, наладка и эксплуатация средств контроля и автоматизации» и «Эксплуатация средств автоматизации».

УДК 681. 20  
ББК § 965

© Тамбовский государственный  
технический университет  
(ТГТУ), 2003



Учебное издание

**ВЫБОР ПРИБОРОВ И ОСНАСТКИ  
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ  
ПУСКОНАЛАДОЧНЫХ РАБОТ  
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ  
СИСТЕМ КОНТРОЛЯ**

Методические указания

Составители: **Чуриков** Александр Алексеевич,  
**Дивин** Александр Георгиевич,  
**Шишкина** Галина Викторовна

Редактор В. Н. Митрофанова  
Компьютерное макетирование Е. В. Кораблевой

Подписано к печати 14.03.2003  
Формат 60 × 84/16. Бумага газетная. Печать офсетная  
Объем: 2,09 усл. печ. л.; 2,0 уч. изд. л.  
Тираж 150 экз. С. 161

Издательско-полиграфический центр ТГТУ  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

## ИНЖЕНЕРНАЯ ПОДГОТОВКА ПУСКОНАЛАДОЧНЫХ РАБОТ

Инженерная подготовка пусконаладочных работ предусматривает:

- 1 Изучение проектной документации, проверку и уточнение смет на пусконаладочные работы.
- 2 Составление и выпуск справочного материала по проекту автоматизации.
- 3 Составление заявок и комплектование приобъектной лаборатории стандартными образцовыми и контрольными приборами и оборудованием.
- 4 Изучение новых, примененных в проекте, средств автоматизации, разработку методов и оснастки для их предмонтажной поверки, автономной и комплексной наладки.
- 5 Составление заявок и комплектование нестандартными устройствами и оснасткой для наладки приборов и систем автоматизации.
- 6 Разбивку комплекса работ на участки, составление графика производства пусконаладочных работ по видам и объектам пускового комплекса, предварительный расчет численности и квалификации пусконаладочных бригад; назначение бригадиров (старших по объектам) и руководителя работ.
- 7 Составление и выпуск подготовительного отчета.
- 8 Составление подготовительных материалов для рабочих бригад:
  - журнала учета выполненных работ;
  - журнала поступления приборов и предмонтажную поверку и Госповерку;
  - рабочих тетрадей по объектам;
  - экрана производства работ.
- 9 Мероприятия по обеспечению безопасности производства работ.

При составлении заявок на стандартное оборудование подбираются группы однотипных приборов, и в зависимости от их количества в проекте рассчитывается число рабочих мест для предмонтажной поверки приборов пирометрии, давления, расхода, уровня, физико-химического контроля и т.п.

В соответствии с объемом работ и установленными сроками оборудуются места для поверки однотипных по средствам поверки и методам крепления групп приборов:

- приборов расхода, давления, уровня (манометры и дифманометры);
- буйковых уровнемеров и ротаметров;
- термоэлектрических и манометрических термометров, сигнализаторов температуры и др.;
- приборов физико-химического анализа, рН-метров, кондуктометров, датчиков газового анализа и т.д.;
- вторичных пирометрических приборов и приборов токовой ветви ГСП;
- пневматических вторичных приборов, регуляторов, функциональных блоков, электропневматических преобразователей;
- электронных регуляторов, нормирующих преобразователей, функциональных блоков и модулей ввода-вывода информации, переработки информации и систем сигнализации.

Подготовительный отчет содержит основные материалы по подготовке производства и предназначен как для эксплуатационного, так и для пусконаладочного персонала в период ознакомления с проектной документацией и особенностями объекта.

Этот отчет содержит обычно следующие материалы:

- описание технологии производства, сведения об оснащении приборами и требования к системам автоматизации;
- технологическую записку по технике безопасности проведения пусконаладочных работ;
- упрощенные функциональные и структурные схемы автоматизации, позволяющие быстро усвоить основные задачи автоматизации и особенности технологии;
- описание аппаратуры контроля, методов наладки, вопросов организации предмонтажной поверки, метрологии;

–описание сложных схем контроля и регулирования, разработанных методов статической и динамической настройки, особенностей предмонтажной поверки аппаратуры и т.п.

Дополнительные материалы подготовки производства позволяют облегчить работу с документацией бригадам наладчиков, формализовать учет выполненных работ, дать общее представление о состоянии работ.

Рабочие тетради ведут, как правило, старшие по объектам (бригадиры); форма этих материалов достаточно индивидуальна. Обычно на первых страницах приводятся структуры отдельных позиций проекта и упрощенная функциональная схема отделения или блока, а также перечень позиций.

Экран производства работ выполняется либо в виде перечня позиций, либо в виде функциональной схемы. Но в обоих случаях у каждой позиции отмечаются разным цветом этапы предмонтажной поверки, окончания монтажа, автономной наладки (систем передачи показаний, дистанционного управления) и включения в работу.

## **ПРИБОРЫ И ОСНАСТКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПУСКОНАЛАДОЧНЫХ РАБОТ**

### *Основы метрологии и выбора аппаратуры для предмонтажной поверки и автономной наладки средств измерения*

В соответствии с основными нормативными документами (ГОСТ 12997-76 «Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации. Технические требования» и ГОСТ 22261-76 «Средства измерений электрических величин. Общие технические условия») основной метрологической характеристикой измерительного прибора является класс точности, предел допускаемой основной погрешности или допускаемой систематической составляющей и допускаемого отклонения случайной составляющей погрешности.

Для большинства типов приборов в качестве основной характеристики устанавливается класс точности, который является обобщенной характеристикой средств измерений, определяющей пределы допускаемых основных и дополнительных погрешностей.

*Основная погрешность* – это погрешность средства измерений, используемого в нормальных (паспортных) условиях эксплуатации (например, при паспортных значениях температуры окружающей среды, относительной влажности, давления и т.п.).

В связи с тем, что реальные условия эксплуатации отличаются от нормальных, все приборы разбиты на семь групп по допустимым значениям влияющих величин для рабочих условий применения и предельным условиям транспортирования.

В частности, рабочим условием для приборов первой группы по температуре окружающей среды принят диапазон 10 ... 25 °С, а седьмой группы – диапазон –30 ... +70 °С. Аналогично различаются условия применения по относительной влажности, атмосферному давлению, вибрации, допустимости ударов и т.п.

Поэтому при применении для пусконаладочных работ лабораторных или переносных приборов необходимо обращать внимание, к какой группе относится прибор по устойчивости к воздействию температуры окружающей среды, механическим воздействиям и т.п.

К метрологическим характеристикам также относятся: предел допускаемой погрешности в интервале значений влияющей величины и предел дополнительной погрешности, обусловленный изменением влияющей величины.

Пределы допускаемых основных и дополнительных погрешностей устанавливаются в виде абсолютных ( $\Delta$ ), приведенных ( $\gamma$ ) или относительных ( $\delta$ ) погрешностей, которые могут определяться по следующим формулам:

$$\Delta_1 = \pm a ; \quad (1)$$

$$\Delta_2 = a + bX ; \quad (2)$$

$$\gamma_1 = \pm \frac{\Delta}{X_H} 100 \% ; \quad (3)$$

$$\gamma_1 = \pm \frac{a + bN}{X_n} 100 \% ; \quad (4)$$

$$\delta_1 = \pm \frac{\Delta_1}{X} 100 \% ; \quad (5)$$

$$\delta_2 = \pm [c + d(X_k / X - 1)], \quad (6)$$

где  $a, b, c, d$  – постоянные размерные и безразмерные величины;  $X$  – измеряемые или влияющие величины, применяемые без учета знака;  $X_k$  – конечное значение диапазона измерений;  $X_n$  – нормирующее значение измеряемой величины.

Для большинства применяемых в наладочной практике приборов (табл. 1 – 3) используются одночленные или двучленные обозначения класса точности. Например, обозначение класса точности 0,5 показывает, что пределы допускаемых погрешностей выражаются в процентах нормирующего значения. Обозначение класса точности 0,1/0,02 означает, что предел допускаемой относительной погрешности в процентах значения измеряемой величины определяется формулой (6), где  $c = 0,1$ , а  $d = 0,02$ .

Рассмотрим пример определения относительной погрешности прибора.

**Пример 1.** Комбинированный прибор Ш-68003 (табл. 1) имеет класс точности 0,1/0,05. Найдем его относительную погрешность при измерении различных значений тока:

а) прибором измеряется ток  $I = 5$  мА.

Для этого переключатель диапазонов измерения прибора Ш-68003 устанавливается на поддиапазон 10 мА, т.е.  $I_k = 10$  мА.

По (6) находим допускаемую относительную погрешность измерения

$$\delta = \pm [0,1 + 0,05(10/5 - 1)] = \pm 0,15 \% ;$$

б) прибором измеряется ток  $I = 20$  мА.

Для этого переключатель диапазонов прибора устанавливается на поддиапазон 100 мА, т.е.  $I_k = 100$  мА.

Допускаемая относительная погрешность

$$\delta = \pm [0,1 + 0,05(100/20 - 1)] = \pm 0,3 \% .$$

Одним из первых этапов монтажно-наладочных работ является предмонтажная поверка, которая может совмещаться с государственной или ведомственной поверкой. Поверка средств измерений на этом этапе проводится для нормальных условий.

При этом температура окружающего воздуха должна быть  $20$  °С с допустимыми отклонениями:

- 3 или  $\pm 5$  °С для датчиков давления и его перепада с электрическим и пневматическим выходными сигналами классов точности до 0,6 или 1,0 и хуже, соответственно;
- 2 или  $\pm 5$  °С, соответственно классов точности до 1,0 или хуже, для вторичных приборов давления, мостов, потенциометров, газоанализаторов, нормирующих преобразователей и т.д.;
- 2 или  $\pm 5$  °С, соответственно классов точности до 2,5 или 4,0 и хуже, для влагомеров.

Относительная влажность воздуха должна находиться в пределах 30 ... 80 %. Напряжение электропитания должно отличаться от номинального не более чем на 2 %, частота тока питания ( $50 \pm 0,2$ ) Гц.

Давление питания воздуха пневматических систем ( $140 \pm 4,2$ ) кПа, воздух должен быть чистым, не должен содержать масла и влаги.

Тряска, вибрация, внешние электрические и магнитные поля должны отсутствовать.

При выборе образцовой и контрольной аппаратуры для пусконаладочных работ, прежде всего, должна учитываться необходимость обеспечения требуемой точности поверки.

Для поверки измерительных приборов выбранное средство измерения по точности должно удовлетворять следующему условию

$$\delta_{\text{обр}} = \Delta_{\text{обр}} \cdot 100 / X_m \leq C_1 \delta_{\text{пов}}, \quad (7)$$

где  $\Delta_{\text{обр}}$  – предел допускаемой основной погрешности образцового прибора при сигнале, равном верхнему пределу измерения поверяемого прибора  $X_m$ ;  $\delta_{\text{пов}}$  – предел допускаемой основной погрешности поверяемого прибора;  $C_1$  – коэффициент запаса точности, равный:

- 1/5 – для милливольтметров и логометров;
- 1/3 – для вторичных приборов и преобразователей токовой ветви ГСП и т.п.;
- 1/4 – для датчиков давления, перепада давлений и т. п. (допускается с разрешения Госстандарта принимать  $C_1 = 1/3$ ; 1/2 – для рН-метров).

Для поверки измерительных и нормирующих преобразователей выбранные средства измерения должны удовлетворять условию

$$(\Delta_{\text{обр1}} / X_{m \text{ вх}} + \Delta_{\text{обр2}} / X_{m \text{ вых}}) \cdot 100 \leq C_1 \delta_{\text{пов}}, \quad (8)$$

где  $\Delta_{\text{обр1}}$ ,  $\Delta_{\text{обр2}}$  – пределы допускаемой основной погрешности образцовых приборов при сигналах, равных верхним пределам измерений поверяемого преобразователя (соответственно входного  $X_{\text{вх}}$  и выходного  $X_{\text{вых}}$ ).

В некоторых случаях условия (7) и (8) могут не выполняться. Это допускается, когда к образцовому средству измерений имеются поправки, а вариация его показаний незначительна, т.е. речь идет о систематических, а не о случайных составляющих погрешности. Например, если к манометру класса 0,25 имеются поправки, а вариация его показаний не выходит за пределы, установленные для прибора класса 0,15, то этим манометром с учетом поправок можно пользоваться как образцовым наравне со средством измерения класса 0,15.

### *Серийная аппаратура и приборы для пусконаладочных работ*

Перечень основных выпускаемых серийно приборов, наиболее часто применяемых при наладке средств измерения и систем технологического контроля, приведен в табл. 1 – 4.

Условия выбора образцовых средств измерения по точности определяются выражением (7) или (8).

Кроме приборов, указанных в табл. 1 – 4, в практике производства пусконаладочных работ используются разнообразные приборы, устройства и приспособления ведомственного малосерийного или индивидуального производства.

Большинство из этих устройств представляют собой комплекс серийных образцовых средств измерения, позволяющих производительно выполнять поверку и настройку той или иной группы приборов технологического контроля, не собирая каждый раз новую схему поверки.

**Пример 2. Определить допустимость поверки вторичного прибора А542 с входным токовым сигналом 0 – 5 мА милливольтамперметром М2020.**

Для решения поставленной задачи проверяем выполнение неравенства (7), приняв  $C_1 = 1/3$ . Для измерения тока до 5 мА вольтамперметр устанавливают на поддиапазон 6 мА. Так как милливольтамперметр М2020 (табл. 1) имеет класс точности 0,2, то на поддиапазоне 6 мА абсолютная погрешность составляет

$$\Delta_{\text{обр}} = 0,002 \cdot 6 = 0,012 \text{ мА.}$$













Предел допускаемой основной погрешности А542 по показаниям равен  $\delta_{\text{пов}} = 0,5\%$ .  
Проверим выполнение условия (7) при измерении тока  $I = 5$  мА:

$$0,012/5 \cdot 100 \leq (1/3) \cdot 0,5, \text{ т.е. } 0,24 > 0,167.$$

Условие (7) не выполняется, и, следовательно, применять в качестве средства поверки милливольтметр М2020 нельзя.

**Пример 3.** Проверить допустимость поверки вторичного прибора А542 с входным сигналом 0 ... 5 мА образцовым прибором Щ68003.

Из примера 1 для Щ68003 на поддиапазоне 10 мА погрешность  $\delta_{\text{обр}} = 0,15\%$ .

Условие пригодности (7) запишется как  $0,15 \leq (1/3) \cdot 0,5$ , т.е.  $0,15 < 0,167$ . Так как условие соблюдается, то прибор Щ68003 можно применять для поверки прибора А542.

**Пример 4.** Для поверки вторичного прибора А542 проверить допустимость применения цифрового вольтметра Щ1413 с образцовой катушкой Р331 на 100 Ом.

При токе 5 мА на сопротивлении 100 Ом создается падение напряжения  $\Delta U = 5/1000 \cdot 100 = 0,5$  В. Поэтому измерение производится прибором Щ1413 на поддиапазоне  $\Delta U_{\text{к}} = 1$  В.

При этом основная допускаемая погрешность Щ1413 (см. класс точности по табл. 1)

$$\delta_{\text{обр1}} = [0,05 + 0,02(1/0,5 - 1)] = 0,07 \%$$

Поскольку в данном случае применены два образцовых средства: вольтметр и катушка класса  $\delta_{\text{обр2}} = 0,01 \%$ , то

$$\delta_{\text{обр}} = \delta_{\text{обр1}} + \delta_{\text{обр2}} = 0,07 + 0,01 = 0,08 \%$$

Условие пригодности (7):  $0,08 < 0,167$  соблюдается. Следовательно, применение таких средств поверки допустимо.

**Пример 5.** Определить допустимость поверки вторичного прибора А542 с входным токовым сигналом 0 ... 20 мА цифровым прибором Щ68003.

Как показано в примере 1, при измерении тока 20 мА на поддиапазоне 100 мА основная погрешность  $\delta_{\text{обр}} = 0,3 \%$ .

В этом случае условие (7) не выполняется, так как  $0,3 > (1/3) \cdot 0,5$ . Следовательно, в отличие от примера 3 применение образцового прибора Щ68003 недопустимо.

**Пример 6.** Для поверки прибора А542 с входным сигналом 0 ... 20 мА проверить допустимость применения образцового прибора Щ1413 с образцовой катушкой 100 Ом, класса точности 0,01.

При токе  $I = 20$  мА на сопротивлении 100 Ом создается падение напряжения 2 В. Следовательно, измерение должно проводиться на поддиапазоне 10 В прибора Щ1413.

Основная допускаемая погрешность Щ1413 на поддиапазоне 10 В при измерении 2 В по (6)

$$\delta_{\text{обр1}} = [0,05 + 0,02(10/2 - 1)] = 0,13 \%$$

Погрешность образцовой катушки  $\delta_{\text{обр2}} = 0,01 \%$ .

Погрешность средств измерения

$$\delta_{\text{обр}} = \delta_{\text{обр1}} + \delta_{\text{обр2}} = 0,13 + 0,01 = 0,14 \%$$

Условие (7)  $0,14 \leq (1/3) \cdot 0,5$ , т.е.  $0,14 < 0,167$  выполняется; применение таких средств для поверки допустимо.

**Пример 7.** Определить допустимость настройки устройства сигнализации прибора А542 с входным сигналом 0 ... 5 мА с помощью комбинированного прибора Щ4313.

Прежде всего отметим, что класс точности прибора А542 по показаниям – 0,5; по регистрации – 1,0, а по сигнализации – 1,5.

Так как  $I = 5$  мА, то для настройки будет использоваться поддиапазон 5 мА прибора Щ4313, т.е.  $I_k = 5$  мА.

Предел относительной погрешности

$$\delta_{\text{обр}} = [0,05 + 0,02(5/5 - 1)] = 0,05 \%$$

Для устройства сигнализации прибора А542 относительная погрешность  $\delta_{\text{пов}} = 1,5 \%$ .

Условие (7)  $\delta_{\text{обр}} < \delta_{\text{пов}}/3$  запишется следующим образом:  $0,05 \leq (1/3) \cdot 1,5$ , т.е.  $0,05 = 0,05$  – условие (7) выполняется на пределе.

**Пример 8.** Требуется выбрать из табл. 1 – 3 аппаратуру для поверки блока извлечения квадратного корня БИК-1, имеющего класс точности 0,5 при входном и выходном сигналах 4 и 20 мА соответственно.

В данном случае условие применимости средств поверки определяется выражением (8). Определим возможность использования для поверки аппаратуры из примера 6.

Условие (8) запишется следующим образом

$$0,14 + 0,14 \leq (1/3) \cdot 0,5, \text{ т.е. } 0,28 > 0,17.$$

Следовательно, прибор Щ1413 с образцовой катушкой 100 Ом, класса точности 0,01 применять для поверки БИК-1 нельзя.

Основной причиной является то, что приборостроительная промышленность не выпускает приборы высокого класса точности с поддиапазоном 2 В.

Напряжение 2 В приходится измерять на поддиапазоне 10 В, что в соответствии с (6) дает высокую погрешность измерения.

Для решения вопроса можно рекомендовать в этом случае применение прибора Щ1413 с двумя образцовыми катушками Р331 по 100 Ом, соединенными параллельно.

При токе 20 мА на этих катушках будет падение напряжения

$$\Delta U = 20 \cdot 100 \cdot 100 / [1000 \cdot (100 + 100)] = 1 \text{ В.}$$

Следовательно, измерения можно производить прибором Щ1413 на поддиапазоне 1 В, класс точности 0,05/0,02 (табл. 1).

Погрешность измерения (6)

$$\delta_{\text{обр}1} = [0,05 + 0,02(1/1 - 1)] = 0,05 \%$$

Погрешности образцовых катушек класса 0,01 равны

$$\delta_{\text{обр}2} = \delta_{\text{обр}3} = 0,01 \%$$

Погрешность средств измерений (прибор Щ1413 и две образцовые катушки)

$$\delta_{\text{обр}} = 0,05 + 0,01 + 0,01 = 0,07 \%$$

Для поверки БИК-1 собирается схема с подключением к входу и выходу по прибору Щ1413 с двумя образцовыми катушками Р331.

Условие (8) запишется следующим образом:

$$(\delta_{\text{обр вх}} + \delta_{\text{обр вых}}) \leq C_1 \delta_{\text{пов}},$$

где  $\delta_{\text{обр вх}} = \delta_{\text{обр вых}} = \delta_{\text{обр}}$ .

Следовательно, условие (8):  $0,07 + 0,07 \leq (1/3) \cdot 0,5$ , т.е.  $0,14 < 0,17$  выполняется.

Таким образом, схема поверки получается несколько громоздкой, но при этом возможно применение для поверки в качестве средств измерения прибора Щ1413.

### Пример выполнения контрольной работы

Исходные данные

*Поверяемые приборы:*

- 1 Вторичный прибор «Диск-250»:
  - основная погрешность показаний – 0,5 %;
  - погрешность по сигнализации – 1,5 %;
  - погрешность по регистрации – 1,0 %;
  - входной сигнал 0 ... 20 мА;
  - шкала 0 ... 100°С.
- 2 Преобразователь давления «Сапфир-22ДД»:
  - входной сигнал 0 ... 0,6 кПа;
  - выходной сигнал 0 ... 5 мА;
  - класс точности – 0,5.
- 3 Измерительный преобразователь Ш72:
  - НСХ типа ХА;
  - выходной сигнал 0 ... 5 мА;
  - диапазон 0 ... 400 °С;
  - класс точности – 0,4;
  - предел допускаемой основной погрешности – 0,4 %.
- 4 Преобразователь Ш71:
  - НСХ типа 50М (100М, 50П);
  - выходной сигнал 4 ... 20 мА
  - диапазон 0 ... 250 °С;
  - класс точности – 0,4.

*Образцовые приборы:*

- 1 Вольтметр универсальный постоянного тока Щ68003:

Класс точности	Верхние значения диапазонов измерения
0,1/0,05	10 мВ, 1 ... 10 мкА, 10 мА, 100 мА, 1А, 1 кОм
0,06/0,02	100 мВ, 1 ... 100 ... 1000 В, 100 мкА, 1 мА, 10 ... 100 кОм, 1 МОм
0,05/0,02	10 В
0,1/0,05	10 МОм

- 2 Образцовая катушка Р331:
  - сопротивление 100 Ом;
  - класс точности – 0,01.
- 3 Микроманометр «МКВ-250»:
  - верхнее значение диапазона – 25 кПа
  - класс точности – 0,02.
- 4 Милливольтамперметр М2020:

Класс точности	Верхние значения диапазонов измерения
0,2	0,15 ... 0,3 ... 0,6 ... 1,5 ... 6 ... 15 ... 60 мА
	15 ... 30 ... 60 ... 150 ... 300 ... 1500 ... 3000 мВ

- 5 Комбинированный прибор Щ302:

Класс точности	Верхние значения диапазонов измерения
0,006/0,02	0 ... 10 В
0,05/0,02	0 ... 100 мВ, 0 ... 1000 мВ
0,1/0,04	0 ... 1 мкА, 0 ... 10 мкА, 0 ... 1000 мкА

### Задача 1

Вольтметр универсальный постоянного тока Щ68003 имеет класс точности 0,1/0,05 (табл. 1). Найти его относительную погрешность при измерении различных значений тока:

а) прибором измеряется ток от 0 до 5 мА.

*Решение:*

Переключатель диапазонов измерения прибора Щ68003 устанавливается на поддиапазон 10 мА, т.е.  $I_k = 10$  мА.

Допускаемая относительная погрешность измерения определяется по формуле

$$\delta = \pm [c + d(X_k / X - 1)],$$

где  $c, d$  – постоянные безразмерные величины, обозначающие класс точности 0,1/0,05 прибора, т.е.  $c = 0,1, d = 0,05$ ;  $X$  – измеряемая или влияющая величина, применяемая без учета знака;  $X_k$  – конечное значение диапазона измерений

$$\delta = \pm [0,1 + 0,05(10/5 - 1)] = \pm 0,15 \%;$$

б) прибором измеряется ток  $I = 20$  мА.

*Решение:*

Переключатель диапазонов измерения прибора Щ68003 устанавливается на поддиапазон 100 мА, т.е.  $I_k = 100$  мА. Допускаемая относительная погрешность измерения

$$\delta = \pm [0,1 + 0,05(100/20 - 1)] = \pm 0,3 \% .$$

*Ответ:* При измерении тока  $I = 5$  мА на поддиапазоне 10 мА допускаемая относительная погрешность прибора Щ68003  $\delta = \pm 0,15 \%$ ; при измерении тока  $I = 20$  мА на поддиапазоне 100 мА допускаемая относительная погрешность  $\delta = \pm 0,3 \%$ .

### Задача 2

Определить допустимость поверки вторичного прибора «Диск-250» с входным сигналом 0 ... 20 мА универсальным вольтметром Щ68003 (табл. 1).

*Решение:*

Для поверки измерительных приборов выбранное средство измерения по точности должно удовлетворять следующему условию

$$\delta_{\text{обр}} = \Delta_{\text{обр}} \cdot 100 / X_m \leq C_1 \delta_{\text{пов}},$$

где  $\Delta_{\text{обр}}$  – предел допускаемой основной погрешности образцового прибора при сигнале, равном верхнему пределу измерения поверяемого прибора  $X_m$ ;  $\delta_{\text{пов}}$  – предел допускаемой основной погрешности поверяемого прибора;  $C_1$  – коэффициент запаса точности, равный:

–1/5 – для милливольтметров и логометров;

–1/3 – для мостов, потенциометров, вторичных приборов таковой ветви ГСП и т.п.;

–1/4 – для датчиков давления, перепада давлений и т.п.

Для прибора «Диск-250»  $\delta_{\text{пов}} = 0,5 \%$ . Из задачи 1 известно, что на поддиапазоне 100 мА прибор Щ68003 имеет погрешность  $\delta_{\text{обр}} = 0,3 \%$ .

Проверяем выполнение неравенства

$$0,3 \% \leq (1/3) \cdot 0,5 \%, \text{ т.е. } 0,3 \% > 0,167 \%$$

Так как условие не выполняется, то применять прибор Щ68003 для поверки прибора «Диск-250» нельзя.

*Ответ:* Прибор Щ68003 нельзя использовать в качестве образцового прибора при поверке вторичного прибора «Диск-250».

*Задача 3*

Определить допустимость поверки вторичного прибора «Диск-250» с входным сигналом 0 ... 20 мА универсальным вольтметром Щ68003 с образцовой катушкой Р331 на 100 Ом, класса точности 0,01.

*Решение:*

При токе 20 мА на сопротивлении 100 Ом создается падение напряжения

$$\Delta U = \frac{20}{1000} \cdot 100 = 2 \text{ В.}$$

Таким образом, измерение должно производиться на поддиапазоне 10 В прибора Щ68003, у которого класс точности 0,05/0,02.

Находим основную допускаемую погрешность прибора Щ68003 на поддиапазоне 10 В при измерении 2 В

$$\delta_{\text{обр1}} = [0,05 + 0,02 (10 / 2 - 1)] = 0,13 \%$$

Погрешность образцовой катушки  $\delta_{\text{обр2}} = 0,01 \%$ .

Так как в данном случае применены два образцовых средства: универсальный вольтметр Щ68003 и катушка Р331, то погрешность средств измерения будет равна сумме погрешностей двух образцовых средств

$$\delta_{\text{обр}} = \delta_{\text{обр1}} + \delta_{\text{обр2}} = 0,13 + 0,01 = 0,14 \%$$

Проверяем условие пригодности образцового средства измерения для поверки вторичного прибора  $\delta_{\text{обр}} \leq C_1 \delta_{\text{пов}}$

$$0,14 \% < 0,167 \%$$

Условие выполняется.

*Ответ:* Применение универсального вольтметра Щ68003 с образцовой катушкой Р331 допустимо при поверке вторичного прибора «Диск-250» с входным сигналом 0 ... 20 мА.

*Задача 4*

Определить допустимость настройки устройства сигнализации прибора «Диск-250» с входным сигналом 0 ... 20 мА с помощью универсального вольтметра Щ68003.

*Решение:*

Класс точности прибора «Диск-250» по показаниям – 0,5; по регистрации – 1,0; по сигнализации – 1,5. Так как  $I = 20$  мА, то для настройки будет использоваться поддиапазон 100 мА прибора Щ68003, т.е.  $I_k = 100$  мА.

Определяем основную допускаемую погрешность прибора Щ68003

$$\delta_{\text{обр}} = [0,1 + 0,05 (100 / 20 - 1)] = 0,3 \%$$

Абсолютную погрешность устройства сигнализации прибора «Диск-250»  $\Delta_{\text{max}}$  определяем по формуле

$$\Delta_{\text{max}} = \frac{k_m (X^* - X_*)}{100 \%},$$

где  $k_m = 1,5$  – класс точности прибора «Диск-250» по сигнализации;  $X^* = 20$  мА – верхний предел измерения;  $X_* = 0$  мА – нижний предел измерения

$$\Delta_{\text{max}} = \frac{1,5 \cdot (20 - 0)}{100 \%} = 0,3 \text{ мА.}$$

Находим допускаемую относительную погрешность измерения по формуле

$$\delta = \pm \frac{100 \cdot \Delta_{\text{max}}}{X},$$

где  $X = 20$  мА – измеряемая величина.

$$\delta = \pm \frac{100 \cdot 0,3}{20} = 1,5 \%$$

Таким образом, устройство сигнализации поверяемого прибора «Диск-250» имеет относительную погрешность  $\delta_{\text{пов}} = 1,5 \%$ .

Проверим выполнение условия:

$$\delta_{\text{обр}} \leq C_1 \delta_{\text{пов}};$$

$$0,3 \% \leq (1/3) \cdot 1,5 \%, \text{ т.е. } 0,3 \% < 0,5 \%$$

Условие выполняется.

*Ответ:* Прибор Щ68003 можно использовать для настройки устройства сигнализации прибора «Диск-250».

### Задача 5

Требуется выбрать аппаратуру для поверки измерительного преобразователя давления типа «Сапфир-22ДД» класса точности 0,5 с верхним пределом измерения 0,6 кПа и выходным сигналом 0 ... 5 мА.

*Решение:*

На входе поверяемого преобразователя подключаем образцовый микроманометр типа «МКВ-250» класса точности 0,02 (табл. 4), а на выходе – универсальный вольтметр типа Щ68003 класса точности 0,1/0,05 на поддиапазоне измерения 10 мА.

Предел допускаемой основной погрешности прибора «МКВ-250» составляет

$$\Delta_{\text{обр1}} = \pm \frac{0,02 \cdot 0,6}{100 \%} = \pm 0,00012 \text{ кПа.}$$

Предел допускаемой основной погрешности прибора Щ68003 на верхнем предельном значении выходного сигнала составляет

$$\Delta_{\text{обр2}} = 0,1 + 0,05(I_{\text{к}} / I_{\text{х}} - 1) = 0,1 + 0,05 (10 / 5 - 1) = 0,15 \%,$$

или в единицах тока:

$$\Delta_{\text{обр2}} = \frac{0,15}{100 \%} \cdot 5 = 0,0075 \text{ мА.}$$

Условие поверки имеет вид

$$\left( \frac{\Delta_{\text{обр1}}}{P_{\text{max}}} + \frac{\Delta_{\text{обр2}}}{I_{\text{max}} - I_0} \right) \cdot 100 \% \leq C_1 Y_{\text{пов}},$$

где  $\Delta_{\text{обр1}}$  – предел допускаемой абсолютной погрешности образцового прибора на входе преобразователя при давлении, равном верхнему пределу измерения поверяемого преобразователя;  $\Delta_{\text{обр2}}$  – предел допускаемой абсолютной погрешности образцового прибора на выходе преобразователя при максимальном значении выходного сигнала;  $P_{\text{max}}$  – верхний предел измерения поверяемого преобразователя;  $I_{\text{max}}$ ,  $I_0$  – соответственно верхнее и нижнее значения выходного сигнала;  $Y_{\text{пов}}$  – предел допускаемой основной погрешности поверяемого преобразователя в процентах нормирующего значения;  $C_1$  – коэффициент запаса точности, равный 1/4.

$$\left( \frac{0,00012}{0,6} + \frac{0,0075}{5 - 0} \right) \cdot 100\% \leq (1/4) \cdot 0,5 \%;$$

$$0,17 \% > 0,125 \%. .$$

Условие не выполняется. Выбранные средства измерения в данном составе не могут быть использованы в качестве образцовых для поверки преобразователя «Сапфир-22ДД».

В нашем случае большая часть общей погрешности образцовых средств измерения приходится на прибор Щ68003, который на поддиапазоне 10 мА дает высокую погрешность измерения. Поэтому на входе все оставляем без изменения (микроманометр «МКВ-250»), а на выходе устанавливаем вместе с прибором Щ68003 образцовую катушку Р331 сопротивлением 100 Ом, подключенную параллельно токовому выходу.

При токе 5 мА на сопротивлении 100 Ом создается падение напряжения

$$\Delta U = \frac{5}{1000} \cdot 100 = 0,5 \text{ В.}$$

Измерение производится прибором Щ68003 на поддиапазоне 1 В, для которого класс точности 0,06/0,02.

Тогда предел допускаемой основной погрешности прибора Щ68003 на верхнем предельном значении выходного сигнала составит

$$\Delta_{\text{обр2}} = 0,06 + 0,02 (1/0,5 - 1) = 0,08 \%. .$$

Погрешность образцовой катушки

$$\Delta_{\text{обр}3} = 0,01 \%$$

Погрешность средств измерения на выходе преобразователя

$$\Delta_{\text{обр вых}} = 0,08 + 0,01 = 0,09 \%$$

или в единицах тока

$$\Delta_{\text{обр вых}} = \frac{0,09}{100 \%} \cdot 5 = 0,0045 \text{ мА.}$$

Проверяем условие поверки:

$$\left( \frac{0,00012}{0,6} + \frac{0,0045}{5-0} \right) \cdot 100 \% \leq (1/4) \cdot 0,5 \%;$$

$$0,11 \% < 0,125 \% .$$

Условие поверки выполняется. Выбранные образцовые средства пригодны для поверки преобразователя.

*Ответ:* Для поверки преобразователя «Сапфир-22ДД» необходимо на его входе подключить микроанометр «МКВ-250», а на выходе – универсальный вольтметр Щ68003 с образцовой катушкой Р331 сопротивлением 100 Ом.

*Задача 6*

Определить допустимость поверки милливольтметром М2020 измерительного преобразователя Ш72 с НСХ типа ХА, имеющего максимальный входной сигнал  $U_{\text{вх}} = 16 \text{ мВ}$  (это соответствует эдс термоэлектрического преобразователя типа ХА при температуре  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  [6]), максимальный выходной сигнал  $I_{\text{вых}} = 20 \text{ мА}$ , предел допускаемой основной погрешности –  $0,4 \%$ .

*Решение:*

При поверке измерительных преобразователей средства измерения должны удовлетворять условию

$$\left( \frac{\Delta_{\text{обр}1}}{X_{\text{вх}}} + \frac{\Delta_{\text{обр}2}}{X_{\text{вых}}} \right) \cdot 100 \% \leq C_1 \delta_{\text{пов}},$$

где  $\Delta_{\text{обр}1}$ ,  $\Delta_{\text{обр}2}$  – пределы допускаемой абсолютной погрешности образцового прибора М2020 при сигналах, равных верхним пределам измерений поверяемого преобразователя (соответственно входного  $X_{\text{вх}}$  и выходного  $X_{\text{вых}}$ ). Эти значения находим через класс точности (к.т.) образцового прибора

$$\Delta_{\text{обр}1} = \frac{\text{к.т. } U_{\text{н}}}{100 \%}, \quad \Delta_{\text{обр}2} = \frac{\text{к.т. } I_{\text{н}}}{100 \%},$$

где  $U_{\text{н}}$ ,  $I_{\text{н}}$  – верхние значения диапазонов измерения образцового прибора на входе и выходе поверяемого преобразователя. В данном случае  $U_{\text{н}} = 30 \text{ мВ}$ ,  $I_{\text{н}} = 60 \text{ мА}$  (табл. 1):

$$\Delta_{\text{обр}1} = \frac{0,2 \cdot 30}{100} = 0,06 \text{ мВ};$$

$$\Delta_{\text{обр}2} = \frac{0,2 \cdot 60}{100} = 0,12 \text{ мА.}$$

Проверяем условие поверки:

$$\left( \frac{0,06}{16} + \frac{0,12}{20} \right) \cdot 100 \% \leq (1/3) \cdot 0,4 \% ;$$

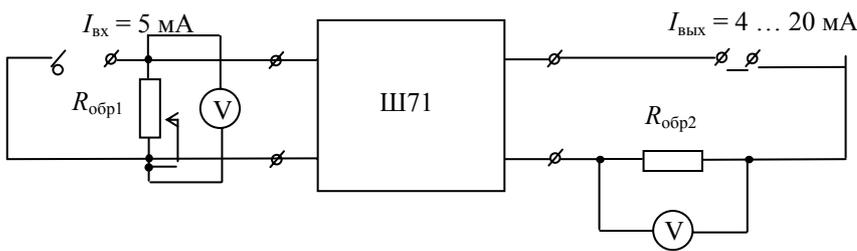
$$0,975 \% > 0,13 \% .$$

Условие не выполняется.

*Ответ:* Милливольтамперметр М2020 нельзя использовать для поверки измерительного преобразователя Ш72.

### Задача 7

Определить допустимость поверки нормирующего преобразователя Ш71 с НСХ типа 50М, входной сигнал – изменение электрического сопротивления от 50 Ом до 103,25 Ом (это соответствует сопротивлению термообразователя сопротивления типа 50М при температуре 250 °С [6]), выходной сигнал  $I_{\text{вых}} = 4 \dots 20$  мА, комбинированным прибором Ц302. Входной сигнал будет создаваться с помощью магазина сопротивлений МСР-60М (табл. 3) с классом точности 0,02. Так как Ц302 не может быть омметром, то используется схема поверки, показанная на рис. 1, где  $R_{\text{обр}1}$  – МСР-60М,  $R_{\text{обр}2}$  – образцовая катушка Р331, а  $I_{\text{вх}} = 5$  мА, – источник постоянного тока. По показаниям Ц302 можно судить о величине  $R_{\text{обр}1}$ .



**Рис. 1**

При поверке преобразователей должно соблюдаться условие

$$(\delta_{\text{обр вх}} + \delta_{\text{обр вых}}) \cdot 100 \% \leq C_1 \delta_{\text{пов}} ,$$

где  $\delta_{\text{обр вх}}$ ,  $\delta_{\text{обр вых}}$  – пределы допускаемых основных погрешностей образцовых приборов на входе и выходе поверяемого преобразователя, соответственно.

**Погрешность образцового прибора на входе преобразователя  $\delta_{\text{обр вх}}$  складывается из погрешности  $\delta_{\text{Ц302}}$  комбинированного прибора Ц302 и погрешности  $\delta_{\text{МСР}}$  магазина сопротивлений**

$$\delta_{\text{обр вх}} = \delta_{\text{Ц302}} + \delta_{\text{МСР}} ,$$

где  $\delta_{\text{МСР}} = 0,01 \%$ ,  $\delta_{\text{Ц302}}$  определяется по формуле

$$\delta_{\text{Ц302}} = \pm [c + d(U_k / U - 1)] ,$$

где  $c, d$  – постоянные безразмерные величины, обозначающие класс точности прибора;  $U$  – измеряемая величина;  $U_k$  – конечное значение диапазона измерений. Находим величину  $U$  для наибольшего сопротивления  $R_{MCP} = 103,25 \text{ Ом}$ .

$$U = I_{вх} R_{обр} = 0,005 \cdot 103,25 = 0,516 \text{ В} = 516 \text{ мВ}.$$

Тогда конечное значение диапазона измерений  $U_k = 1000 \text{ мВ}$ , класс точности образцового прибора Ц302 – 0,05/0,02 (табл. 1).

$$\delta_{Ц302} = 0,05 + 0,02(1000/516 - 1) = 0,069 \text{ \%};$$

$$\delta_{обр\ вх} = 0,069 + 0,02 \cong 0,09 \text{ \%}.$$

**Погрешность образцового прибора на выходе преобразователя  $\delta_{обр\ вых}$  складывается также из погрешности  $\delta_{Ц302}$  комбинированного прибора Ц302 и погрешности  $\delta_{кат}$  образцовой катушки  $R_{обр2}$ :**

$$\delta_{обр\ вых} = \delta_{Ц302} + \delta_{кат} \cdot$$

Находим величину  $U$

$$U = I_{вых} R_{обр2} = 0,02 \cdot 100 = 2 \text{ В}.$$

В данном случае конечное значение диапазона измерений  $U_k = 2 \text{ В}$ , класс точности образцового прибора Ц302 – 0,06/0,02.

$$\delta_{Ц302} = 0,06 + 0,02(10/2 - 1) = 0,14 \text{ \%};$$

$$\delta_{обр\ вых} = 0,14 + 0,01 = 0,15 \text{ \%}.$$

Предел допускаемой основной погрешности поверяемого преобразователя находим из зависимости:

$$\text{к.т.} = \frac{\Delta_{пов}}{I_H} \cdot 100 \text{ \%};$$

$$\Delta_{пов} = \frac{\text{к.т.} \cdot I_H}{100 \text{ \%}} = \frac{0,4 \cdot (20 - 4)}{100 \text{ \%}} = 0,064 \text{ мА};$$

$$\delta_{пов} = \frac{0,064}{20} \cdot 100 \text{ \%} = 0,32 \text{ \%}.$$

Проверяем условие выполнимости поверки:

$$0,09 \text{ \%} + 0,15 \text{ \%} \leq (1/3) \cdot 0,32 \text{ \%};$$

$$0,24 \text{ \%} > 0,167 \text{ \%}.$$

Условие не выполняется.

*Ответ:* Комбинированный прибор Ц302 в комплекте с магазином сопротивлений MCP-60M и образцовой катушкой P331 нельзя использовать для поверки преобразователя Ш71.

## ЗАДАНИЕ

**Примечание:** 1 – поверяемый прибор; 2 – образцовый прибор; 3 – анализируемый преобразователь

### Вариант 1

- 1 *Вторичный прибор «Диск-250»:*
  - входной сигнал 0 ... 5 мА;
  - класс точности 0,5;
  - пределы измерения 0 ... 150 °С.
- 2 *Вольтметр универсальный Щ68003 (табл. 1).*
- 3 *Измерительный преобразователь Ш72:*
  - НСХ типа ХК;
  - пределы измерения 0 ... 150 °С;
  - выходной сигнал 0 ... 5 мА;
  - класс точности 0,4.

### Вариант 2

1. *Вторичный прибор РП160:*
  - НСХ типа ХК;
  - пределы измерения 0 ... 200 °С;
  - **класс точности 0,5.**
- 2 *Вольтметр постоянного тока М2018 (табл. 1).*
- 3 *Преобразователь «Сапфир-22ДД»:*
  - входной сигнал 0 ... 4 МПа;
  - выходной сигнал 4 ... 20 мА;
  - класс точности 1.

### Вариант 3

- 1 *Вторичный прибор А502:*
  - входной сигнал 0 ... 10 В;
  - пределы измерения 0 ... 200 °С;
  - класс точности 1,5.
- 2 *Вольтметр цифровой постоянного тока М2020 (табл. 1).*
- 3 *Преобразователь Ш71:*
  - пределы измерения 0 ... 200 °С;
  - выходной сигнал 0 ... 5 мА;
  - класс точности 0,4;
  - НСХ типа 50М.

### Вариант 4

- 1 *Вторичный прибор А542:*
  - входной сигнал 05 мА;
  - пределы измерения 0 ... 4 МПа;
  - класс точности 1.
- 2 *Комбинированный прибор Щ302 (табл. 1).*
- 3 *Преобразователь «Сапфир-22ДИ»:*
  - входной сигнал 0 ... 4 МПа;
  - выходной сигнал 0 ... 5 мА;

- класс точности 0,5.

### **Вариант 5**

1 *Вторичный прибор РП160:*

- входной сигнал 0 ... 5 мА;
- пределы измерения 0 ... 10 МПа;
- класс точности 1.

2 *Вольтметр постоянного тока М2018 (табл. 1).*

3 *Преобразователь «Сапфир-22ДИ»:*

- входной сигнал 0 ... 10 МПа;
- выходной сигнал 0 ... 10 мА;
- класс точности 0,4.

### **Вариант 6**

1 *Вторичный прибор КВП2:*

- НСХ типа ХА;
- класс точности 1,5;
- пределы измерения 0 ... 400 °С.

2 *Милливольтамперметр М2020 (табл. 1).*

3 *Измерительный преобразователь Ш72:*

- НСХ типа ХА;
- пределы измерения 0 ... 400 °С;
- выходной сигнал 0 ... 10 В;
- класс точности 0,4.

### **Вариант 7**

1 *Вторичный прибор «Диск-250»:*

- НСХ типа ХК;
- класс точности 0,5;
- пределы измерения 0 ... 400 °С.

2 *Вольтметр цифровой постоянного тока Щ1413 (табл. 1).*

3 *Измерительный преобразователь Ш72:*

- НСХ типа ХА;
- пределы измерения 0 ... 500 °С;
- выходной сигнал 0 ... 5 мА;
- класс точности 1.

### **Вариант 8**

1 *Вторичный прибор А502:*

- входной сигнал 0 ... 10 мА;
- пределы измерения 0 ... 300 °С;
- класс точности 0,4.

2 *Милливольтамперметр М2020 (табл. 1).*

3 *Преобразователь Ш708:*

- пределы измерения 0 ... 300 °С;
- класс точности 0,25.
- НСХ типа 100П;
- выходной сигнал 0 ... 5 мА.

## Вариант 9

1 Вторичный прибор «Диск-250»:

- входной сигнал 0 ... 10 В;
- класс точности 0,5;
- пределы измерения 0 ... 10 МПа.

2 Вольтметр универсальный Щ68003 (табл. 1).

3 Преобразователь «Сапфир-22ДИ»:

- входной сигнал 0 ... 10 МПа;
- выходной сигнал 4 ... 20 мА;
- класс точности 0,25.

**Примечание:** Задание может складываться из разделов перечисленных вариантов. Например, задание 2.1; 4.2; 5.3 расшифровывается следующим образом:

а) 1 пункт из варианта 2:

Вторичный прибор РП160:

- НСХ типа ХК;
- пределы измерения 0 ... 200 °С;
- класс точности 0,5.

б) 2 пункт из варианта 4:

Комбинированный прибор Щ302 (табл. 1).

в) 3 пункт из варианта 5:

Преобразователь «Сапфир-22ДИ»:

- входной сигнал 0 ... 10 МПа;
- выходной сигнал 0 ... 10 мА;
- класс точности 0,4.

**Задание:** С помощью образцового комбинированного прибора Щ302 выполнить подготовку к пусконаладочным работам, при этом ответить на вопрос, *можно ли* с его помощью проводить предмонтажную поверку анализируемых систем аналитического контроля.

**Варианты задания выдаются преподавателем на занятиях или консультациях по курсам «Монтаж, наладка и эксплуатация средств контроля и автоматизации» и «Эксплуатация средств автоматизации».**

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Наладка электрооборудования: Справочник / В. К. Варварин, В. Я. Койлер, П. А. Панов. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Россельхозиздат, 1984. 349 с.
- 2 Промышленные приборы и средства автоматизации: Справочник / Под ред. В. Н. Черенкова. Л.: Машиностроение, 1987. 847 с.
- 3 Наладка средств измерений и систем технологического контроля: Справочное пособие / А. С. Ключев, Л. М. Пин, Е. И. Коломиец, С. А. Ключев; Под ред. А. С. Ключева. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1990. 400 с.
- 4 Монтаж средств измерений и автоматизации: Справочник / К. А. Алексеев, В. С. Антипин и др.; Под ред. А. С. Ключева. 3-е изд. перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1988. 488 с.

5 Наладка автоматических систем и устройств управления технологическими процессами: Справочное пособие / А. С. Клюев, А. Т. Лебедев, Н. П. Семенов и др.: Под ред. А. С. Ключева. М.: Энергия, 1991. 408 с.

6 Чистяков В. С. Краткий справочник по теплотехническим измерениям: Справочное пособие. М.: Энергоиздат, 1990. 320 с.