

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

**Кафедра информационно-измерительных технологий
и систем управления**

ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ

Методические указания для курсового проекта



**Санкт-Петербург
2016**

УДК 676.012.1:681.2(07)

Технические измерения и приборы: методические указания для курсового проекта/ сост. А.В. Бахтин; ВШТЭ СПбГУПТД. СПб., 2016. – 28 с.

В настоящих методических указаниях сформулированы цели и задачи курсового проектирования, перечислены требования к содержанию и оформлению каждой из основных частей проекта, приведен пример выполнения первой (общей) части проекта, указан рекомендуемый порядок выполнения курсового проекта.

Предназначены для бакалавров, обучающихся по направлению 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» Может быть использованы при самостоятельном изучении курса и подготовке к занятиям студентами всех форм обучения и направлений.

Рецензенты:

доцент кафедры АПХП Санкт-Петербургского государственного технологического института (Технического университета), канд. техн. наук И.В. Рудакова;
зав. кафедрой АЭИЭ Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД, канд. техн. наук, доцент Е.В. Хардигов.

Подготовлены и рекомендованы к печати кафедрой информационно-измерительных технологий и систем управления СПбГУПТД (протокол № 10 от 23.06.2016 г.).

Утверждены к изданию методической комиссией института энергетики и автоматизации (протокол № 6 от 31.05.2016г.).

Редактор и корректор Т.А. Смирнова

Техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2016 г. , поз. 54

Подп. к печати 31.05.2016. Формат 60х84/16. Бумага тип № 1.
Печать офсетная. Печ. л. 1,75; 1,75 уч.-изд.л. Тираж 70 экз. Изд. № 54.
Цена «С». Заказ

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД, 198095,
СПб., ул. Ивана Черных , 4.

© Высшая школа технологии
и энергетики СПбГУПТД, 2016

© Бахтин А.В., 2016

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В настоящее время чрезвычайно расширяется ассортимент измерительных средств общего и специального назначения (датчиков, приборов и измерительных систем), устройство и применение которых осваивается студентами в курсе «Технические измерения и приборы».

При курсовом проектировании *студент должен:*

- развить навыки самостоятельной творческой работы;
- использовать элементы научно-исследовательского подхода при решении инженерных задач.

Выполнение курсового проекта должно способствовать закреплению, углублению и обобщению знаний, получаемых студентами в процессе изучения настоящего курса: знаний принципа действия; устройства основных узлов и приборов в целом; особенности характеристик и прикладные вопросы используемых измерительных устройств; общие соображения по выбору конкретных средств измерения (СИ), имея в виду их особенности, качество, возможность сочетания и обслуживания с другими устройствами для измерений и автоматизации; эксплуатационные характеристики при использовании СИ; правила приемки и поверки СИ. Кроме того, в процессе работы усваиваются навыки применения этих знаний к комплексным разработкам конкретных инженерных проблем, подготавливая тем самым студентов к выполнению дипломного проектирования и к текущей самостоятельной работе на производстве. Все это преследует цель – развитие способностей к самостоятельному инженерному творчеству.

Наряду с этим выполнение курсового проекта должно научить студентов пользоваться всякого рода справочной литературой, каталогами и типовыми проектными разработками отечественных и зарубежных фирм. В ходе курсового проектирования студентам необходимо освоить практику проведения расчетов, применяемых для конкретных СИ, при оценке

погрешностей результатов измерений в реальных условиях эксплуатации, а также научиться технически грамотно составлять пояснительные записки, включая составление спецификации по контрольно-измерительной аппаратуре при разработке принципиальных схем технологического контроля, измерения и автоматизации для рассматриваемого технологического процесса и обоснование выбора конкретных элементов и комплектов измерительной техники для систем контроля и управления.

2. ТЕМАТИКА КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Так как от правильного определения тематики курсовых проектов зависят научность, современность и реальность разрабатываемого проекта, то ее выбору должно уделяться большое внимание. Последнее тем более справедливо, что задание на курсовое проектирование обязательно должно быть индивидуальным и согласованно с интересами, способностями и направлением работы каждого студента без снижения требований.

3. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект состоит из *графической части* и *пояснительной записки* к ней.

Графическая часть включает в себя:

- функциональную схему автоматизации (в части выбора средств измерения) технологического участка на одном листе формата А4;
- принципиальную механическую или электрическую схему выделенного из схемы измерительного устройства на одном листе формата А4;

- установочный чертеж выделенного из схемы измерительного датчика или прибора или монтажный чертеж установки прибора на щите на 1 листе формата А4.

Требования к оформлению графической части

Графическая часть должна быть выполнена в соответствии с требованиями стандартов на обозначения основных величин и условное изображение приборов в схемах автоматизации производственных процессов.

Пояснительная записка содержит:

- титульный лист (Приложение 1);
- задание на разработку проекта, подписанное руководителем проектирования и студентом, выполняющим проект (Приложение 2);
- *первую часть*, посвященную краткому описанию технологических процессов, их характеристик и параметров, а также особенности эксплуатационных характеристик используемого оборудования для выбранного участка (цеха) производства, подробной спецификации на измерительные устройства, используемые в схеме управления или контроля с подробным описанием обоснования выбора основных 5-6 измерительных комплектов;
- *вторую часть*, состоящую из расчета метрологических характеристик (мх) измерительного канала информационно-измерительной системы для определения одного из выбранных СИ;
- *третью часть*, - реферат, содержащий описание СИ (принцип действия, устройство, характеристики, область и особенности применения);
- библиографический список;
- содержание.

Требования к оформлению пояснительной записки

Пояснительная записка должна быть напечатана и изложена технически грамотно, четко и сжато. Решения, приводимые в ней, должны иметь обоснования путем сравнения имеющихся и возможных вариантов и выбором лучших из них под углом зрения метрологического обеспечения систем контроля, измерения и управления, унификации, простоты, дешевизны, а также удобства эксплуатации, ремонта и обеспечения техники безопасности в работе. Расчеты должны сопровождаться необходимыми схемами, графиками и эскизами. Располагать расчеты в записке следует в той последовательности, в которой они выполнялись. Все расчетные формулы, приведенные в записке, следует вначале написать в буквенном выражении, а затем в том же порядке, в каком даны буквы, в формулы подставить их численные значения и полученные результаты. Входящие в формулы буквенные обозначения, за исключением общепринятых, должны иметь пояснения. Во всех расчетах должна применяться Международная система единиц. Приводимые расчеты должны быть обоснованы ссылкой на соответствующую литературу и источники, список которых помещается в конце пояснительной записки.

4. УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Первая часть курсового проекта включает в себя:

- *краткое описание технологического процесса;*

при этом необходимо:

- дать краткое описание места данного технологического процесса в общем процессе выработки продукции;
- по возможности привести стехиометрические уравнения реакций, происходящие в данном аппарате, реакторе, цехе и дать краткое описание технологического процесса;

- привести технологический регламент работы оборудования данного участка производства;
- дать краткую техническую характеристику каждой единице оборудования, принадлежащей рассматриваемому объекту, аппарату, цеху;
- указать особое условие эксплуатации СИ с указанием температуры, статического давления, специфические характеристики измеряемой среды, агрессивность окружающей среды и ее параметры;

- выбор параметров, подлежащих контролю и управлению;

при этом необходимо, помимо перечня параметров, определить погрешности, допускаемые при контроле или измерении того или иного технологического параметра, руководствуясь основными условиями ведения технологического процесса и постановкой измерительной задачи.

- таблица контролируемых параметров;

в таблице необходимо указать специфические характеристики измеряемой среды и условия работы СИ, а также средние (номинальные) значения измеряемого параметра и необходимую погрешность измерения параметра в абсолютных или относительных значениях.

Форма таблицы представлена табл. 1. В таблицу заносятся все параметры, подлежащие контролю или измерению. Условия работы СИ и места их установки уточняются во время ознакомительной практики, либо используются литературные данные;

Контролируемые параметры технологического процесса

Измеряемый параметр		особенности измеряемого параметра, характеристика измеряемой среды	характеристика окружающей среды	требования к погрешности	примечание
наименование	пределы измерения				
1	2	3	4	5	6

- обоснование выбора измерительных комплектов;

подробное обоснование выбора измерительного комплекта должно производиться в соответствии с:

- постановкой измерительной задачи, при этом указывается, какой технологический параметр, где и в каких эксплуатационных условиях, при каких дополнительных требованиях должен быть измерен с заданными метрологическими характеристиками, удовлетворяющими требованиями технологического контроля производственного процесса;
- перечислением возможных вариантов принципиального решения измерительной задачи, при этом необходимо перечислить все измерительные устройства, которые могут решать поставленную задачу с точки зрения принципа действия;
- выбором вариантов измерительных комплектов, реализующих метрологические требования: здесь проводится расчет основных метрологических характеристик измерительных комплектов для измерения данного информативного параметра в соответствии с имеющимися

метрологическими характеристиками датчиков и приборов и правилами их нормирования и суммирования;

- *выбор окончательного варианта измерительного комплекта*, при выборе окончательного варианта измерительной аппаратуры, если сравнение по метрологическим характеристикам равнозначно, должно отдаваться предпочтение:

- а) современным средствам измерения;
- б) комплектам ГСП, унифицированным по принципу действия с остальной аппаратурой, используемой на производстве;
- в) наиболее простым, надежным и дешевым средствам измерения из сравниваемых вариантов;

- заполнение спецификации на контрольно-измерительные приборы;

порядок заполнения спецификации желателен следующий:

- 1) температура;
- 2) давление;
- 3) расход;
- 4) уровень;
- 5) физико-химические свойства;
- 6) специальные приборы.

После заполнения спецификации на функциональную схему автоматизации проставляются номера измерительных комплектов согласно номерам позиций спецификации.

Форма спецификации должна соответствовать табл. 2.

Таблица 2

Позиция	Наименование и техническая характеристика	Тип, марка	Завод-изготовитель	Количество

5. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ПЕРВОЙ ОБЩЕЙ ЧАСТИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

5.1. Описание технологического процесса на примере процесса сульфатной варки

Варка сульфатной целлюлозы осуществляется периодическим способом в вертикальных стационарных котлах клепаной или сварной конструкции, стальной корпус которых изнутри защищен кислотоупорной футеровкой.

Котел загружают щепой из бункера, заливают варочным раствором и герметически закрывают. Затем содержимое котла нагревают паром до температуры 105-110°C (заварка) и выдерживают при этой температуре для завершения пропитки щепы кислотой. Далее нагрев продолжают до конечной температуры варки – до 128-155°C. Различают прямой и непрямой нагрев варочного котла. При прямом нагреве пар поступает непосредственно в котел и там конденсируется, при непрямом нагреве пар поступает в установленный рядом с котлом поверхностный подогреватель, через который непрерывно прогоняется циркуляционным насосом варочная жидкость. В последнем случае конденсат пара не смешивается с раствором. Рабочее давление в котле может составлять от 0,6 до 1 МПа.

В зависимости от условий продолжительность варки колеблется в широких пределах – примерно от 5 до 12 ч. В процессе варки из котла периодически производят сдувки, т.е. удаляют из верхней части котла водяной пар и сернистый газ в систему регенерации, где они смешиваются с сырой щелочью, образуя варочные щелока.

Ход варки контролируется варщиком по показанию приборов и по результатам анализа варочной жидкости. В конце варки иногда отбирают из котла пробы сваренной массы. Отработанная варочная жидкость носит название черного сульфатного щелока.

По окончании варки котел опоражнивают в ссезу или приемный резервуар способом выдувки или вымывки. При выдувке давление в котле

снижают до 0,15-0,25МПа, открывают шабер на выдувном трубопроводе и целлюлозная масса остаточным давлением выдувается вместе со щелоком в выдувной резервуар. Продолжительность выдувки 10-20 минут. При вымывке давление в котле снижают до 0,25-0,35МПа и предварительно отбирают из котла сульфатный щелок, направляемый на регенерацию, то есть восстановление. В котел, заполняя его до верха, подают воду или слабый оборотный щелок и еще некоторое время продолжают отбор крепкого щелока под гидравлическим давлением, затем выпускают массу с оставшимся слабым щелоком из котла в вымывной резервуар. Продолжительность всех операций при вымывке составляет 1,5-2 ч.

5.2. Выбор и анализ параметров, подлежащих контролю и управлению

Функциональная схема контроля, измерения и автоматизации процесса варки сульфатной целлюлозы приведена на рис. 1.

В процессе варки целлюлозы в котле наиболее важной величиной является **температура варочной жидкости**, так как она непосредственно влияет на пропитку древесины щелоком, время варки, выход и качество целлюлозы. Чрезмерная температура снижает потенциальный выход котла за счет физического и химического разрушения целлюлозы и ее частичного разложения на растворимые продукты, которые в дальнейшем удаляются из массы в процессе промывки. В это же время для обеспечения приемлемого качества целлюлозы температура в варочном котле должна быть достаточно высокой. Измерение температуры должно производиться с минимальной погрешностью дистанционно.

Давление газа, выделяющегося из щелока в процессе варки, непосредственно связано с крепостью щелока и скоростью проникновения последнего в щепу. Это давление должно быть достаточно высоким, чтобы обеспечить максимальную производительность котла, а для равномерной пропитки и получения продукции с минимальным содержанием серы

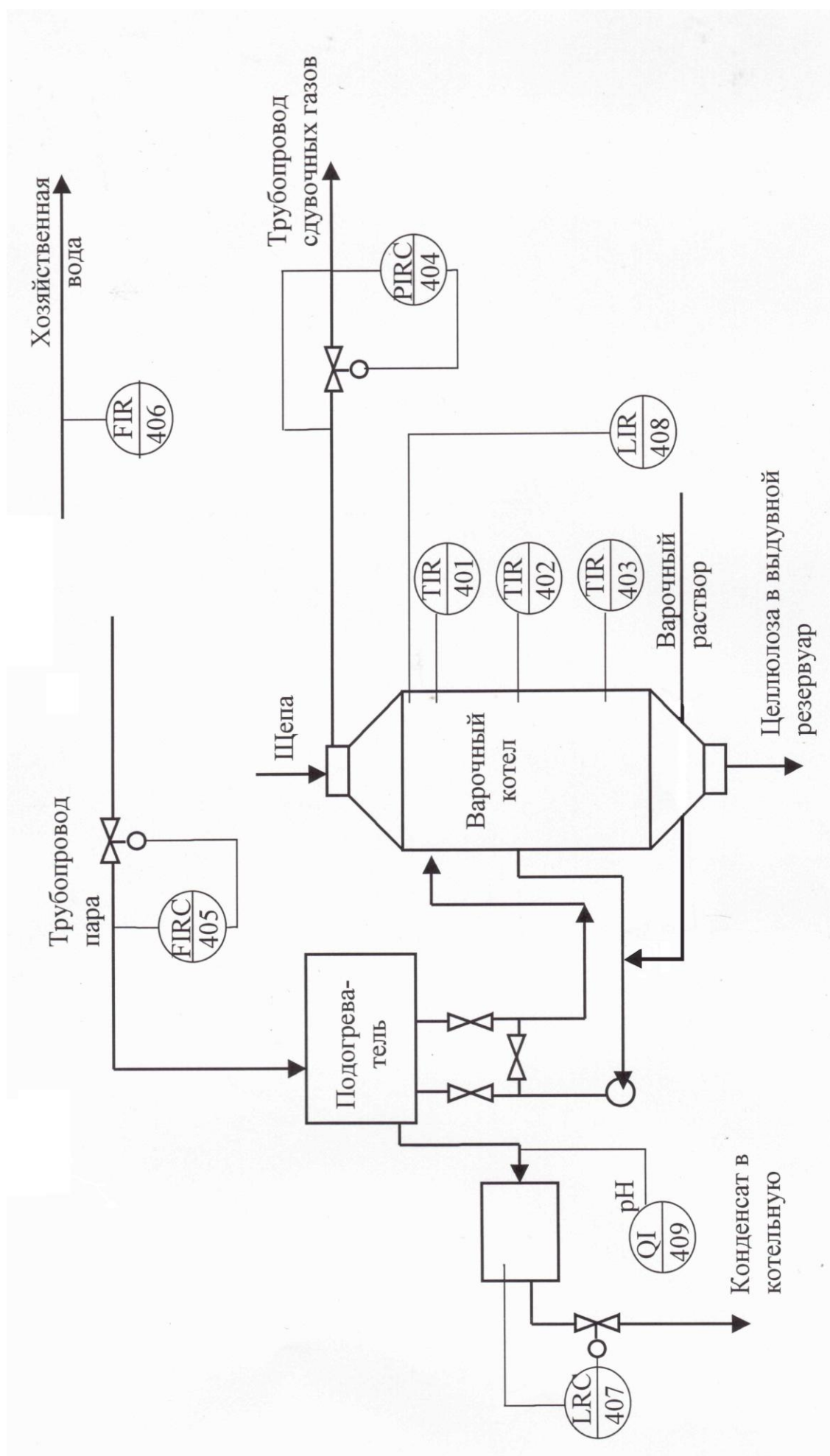


Рис. 1 Функциональная схема автоматизации процесса варки сульфатной целлюлозы

указанное давление необходимо стабилизировать с помощью системы автоматического управления. Управление предельным давлением сдувок имеет важное значение на протяжении всего варочного процесса, но особенно его значение возрастает во время заключительного периода сдувок газа в конце варки.

Необходимо осуществлять контроль **уровня щелока** в котле, он должен быть достаточным, чтобы накрывать щепу в начале варки, в то же время над щелоком должно оставаться некоторое пространство в верхней части варочного котла, позволяющее обеспечить максимальное извлечение газа и предотвратить «сырую» варку. Уровень в котле должен измеряться уровнемером с дистанционным представлением результатов измерений.

В подогревателе на линии конденсата пара необходимо контролировать **уровень конденсата и возможность попадания в конденсат варочной жидкости** в случае течи трубок. Для этого следует предусмотреть установку рН-метра с сигнальным устройством.

Кроме того, важными контролируемыми параметрами являются температура, давление и расход пара, требуемого для нагревания содержимого варочного котла, а также температура, давление и расход хозяйственной воды.

5.3. Таблица контролируемых параметров

Все описанные в п. 5.2. контролируемые параметры заносятся в таблицу, указываются специфические характеристики измеряемой среды, номинальные значения измеряемого параметра и необходимую погрешность измерения.

5.4. Обоснование выбора измерительных комплексов

Рассмотрим пример обоснования выбора измерительных комплексов при измерении температуры в варочном котле.

Таблица 3

Контролируемые параметры процесса варки сульфатной целлюлозы

Измеряемый параметр		Место измерения параметра	Характеристика среды	Абсолютная погрешность	Примечание
наименование параметра	пределы измерения				
Температура варочной жидкости	0-200 °С	3 зоны варочного котла	Среда агрессивная, загазованная, T=200 °С	$\Delta \leq \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\delta = \frac{1 \cdot 100}{200} = \pm 0,5\%$
Уровень варочной жидкости	13-18 мм	Варочный котел	Среда агрессивная, загазованная, T=200 °С	$\Delta = \pm 0,20 \text{ м}$	$\delta = \frac{0,2 \cdot 100}{5} = \pm 1\%$
Давление сдувочных газов	0-1 МПа	Трубопровод сдувочных газов	Среда агрессивная, загазованная, T=200 °С	$\Delta = \pm 0,05 \text{ МПа}$ $\pm 0,01 \text{ МПа}$ $\pm 0,02 \text{ МПа}$	$\delta = \frac{0,05 \cdot 100}{1} = \pm 5\%$
Уровень конденсата	0-5м	Подогреватель	Среда неагрессивная, p=0,5 МПа T=200 °С	$\Delta = \pm 0,05 \text{ м}$	$\delta = \frac{0,05 \cdot 100}{5} = \pm 1\%$
pH	0-7 pH	Паропроводник подачи пара в подогреватель	-----	$\Delta = \pm 0,05 \text{ pH}$	$\delta = \frac{0,05 \cdot 100}{7} = \pm 0,9\%$
Температура пара	180 °С	---	---	$\Delta = \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\delta = \frac{1 \cdot 100}{180} = \pm 0,5\%$
Давление пара	10 кг/см ²	---	P=1 МПа	$\Delta = \pm 1 \text{ кг/см}^2$	$\delta = \frac{0,1 \cdot 100}{10} = \pm 1\%$
Расход пара	0-200 м ³ /ч	---	Среда неагрессивная, p=0,5 МПа T=200 °С	$\Delta = \pm 1 \text{ м}^3/\text{ч}$	$\delta = \frac{10 \cdot 100}{200} = \pm 0,5\%$
Температура воды	40 °С	Трубопровод хозяйственной воды	P=5 кг/см ²	$\Delta = \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\delta = \frac{1 \cdot 100}{40} = \pm 2,5\%$
Давление воды	5 кг/см ²	---	T=40 °С	$\Delta = \pm 1 \text{ кг/см}^2$	$\delta = \frac{0,1 \cdot 100}{5} = \pm 2\%$
Расход воды	40 м ³ /ч	---	P=0,5 МПа T=40 °С	$\Delta = \pm 0,5 \text{ м}^3/\text{ч}$	$\delta = \frac{0,5 \cdot 100}{40} = \pm 1,25\%$

1. Сформулируем измерительную задачу: требуется измерить температуру от 80 до 200 °С в варочном котле при значительном давлении P=1,0 МПа. Требование к погрешности измерения температуры самые жесткие, т.е.

следует выбирать наиболее точные и быстродействующие средства измерения. Измеряемую величину следует определять с помощью показывающего прибора, регистрировать дистанционно и предусмотреть унифицированный выходной сигнал для использования в системе управления.

2. Перечислим средства измерения, которые могут определять указанную температуру дистанционно (по принципу действия) и контактно (иначе говоря, с наибольшей чувствительностью).

К ним относятся:

- манометрические термометры (дистанция до 60 м);
- термометры электрического сопротивления (ТЭС) (проводниковые и полупроводниковые с измерительными унифицирующими преобразователями (для унификации измерительного сигнала) и приборами (для регистрации);
- термоэлектрические термометры с измерительными унифицирующими преобразователями (для унификации измерительного сигнала) и приборами (для регистрации).

Манометрический термометр характеризуется по точности приведенной погрешностью $\gamma = \pm(1,5-2,5)\%$, что не соответствует заданным требованиям, не говоря о динамических характеристиках.

Термоэлектрические термометры стандартные из благородных материалов имеют, как правило, погрешность невоспроизводимости $\Delta = \pm 0,01 \text{ мВ}$, а при температуре, равной 200°С , развивают ЭДС равную $E = 1,436 \text{ мВ}$. Тогда относительная погрешность измерения составит:

$$\delta = \pm \frac{\Delta \cdot 100}{X} = \pm \frac{\Delta \cdot 100}{E} = \pm \frac{0,01 \cdot 100}{1,436} = \pm 0,7 \%$$

или по абсолютной величине температуры:

$$\Delta = \pm \frac{\delta \cdot T}{100} = \pm \frac{0,7 \cdot 200}{100} = \pm 1,4^\circ\text{С},$$

что не соответствует заданным требованиям к измерениям температуры.

Стандартные термоэлектрические термометры из неблагородных металлов оцениваются погрешностью невоспроизводимости около $\Delta = \pm 0,2 \text{ мВ}$. Тогда относительная погрешность измерения заданной температуры для наиболее чувствительной термопары типа К (никель-хром/никель-алюминий) при $E_{(200\text{C})} = 14,66 \text{ мВ}$ составит:

$$\delta = \pm \frac{\Delta \cdot 100}{E} = \frac{0,2 \cdot 100}{14,66} = \pm 1,36 \%,$$

а абсолютная погрешность равна:

$$\Delta = \frac{\delta \cdot T}{100} \pm \frac{1,36 \cdot 200}{100} = \pm 2,73^\circ \text{C}.$$

Сделаем вывод о непригодности термоэлектрических термометров для решения поставленной задачи, т.е. для измерения низких температур с малыми погрешностями.

ТЭС из платины (как наиболее стабильные и точные) выпускаются с допуском отклонением номинального значения сопротивления $\Delta R \cdot 100 / R_0 = \pm 0,06\%$ (группа А) и поэтому являются датчиками температуры с наименьшей погрешностью в диапазоне измеряемых температур от -260 до $+1100^\circ \text{C}$.

Выбор номинального значения сопротивления термопреобразователей при 0°C , т.е. R_0 в пределах от 1 до 2000 Ом должен учитывать то обстоятельство, что чем больше R_0 , тем больше абсолютная чувствительность ТЭС, которая в первом приближении:

$$S_{abc} = R_0 \cdot \alpha,$$

где α - температурный коэффициент электрического сопротивления материала ТЭС, в данном случае платины.

Предпочтительные значения R_0 следует выбирать: 100, 200, 500 или 1000 Ом с учетом незначительной массы провода при разумном его диаметре для исключения большой инерционности и обрывов провода соответственно.

Тогда выберем $R_0=500$ Ом. Погрешности измерения ТЭС можно определить из следующих соображений, выбрав соответствующую марку платинного датчика, а именно, ТСПУ 015, который используется для измерения температур в диапазоне $0-200^{\circ}\text{C}$. Он имеет следующие метрологические характеристики: основная приведенная погрешность $\gamma_0 = \pm 0,5\%$, дополнительная погрешность от изменения напряжения питания $\gamma_0 = \pm 0,1\%$; в диапазоне изменения температуры окружающей среды $T_{cp}=(-50\div+70)^{\circ}\text{C}$ дополнительная температурная погрешность составляет $\Delta\gamma_T = \frac{\pm 0,2\%}{\pm 10^{\circ}\text{C}}$; дополнительная погрешность от изменения сопротивления нагрузки $\gamma_{R_{ннa}} = \pm 0,1\%$; инерционность – 15с ; допускаемое давление среды $P_{cp} \leq 16$ МПа (что соответствует требованиям измерительной задачи)

Тогда основная абсолютная погрешность составит:

$$\Delta_0 = \frac{\gamma_0 \cdot T_{max}}{100\%} = \frac{\pm 0,5\% \cdot 200^{\circ}\text{C}}{100\%} = \pm 1^{\circ}\text{C}$$

Дополнительная погрешность при изменении температуры внешней среды от $T_n=(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ до $T_{cp}=40^{\circ}\text{C}$ (температуры окружающей среды) составит:

$$\gamma_{T_{доп}} = \gamma_T \cdot (T_{cp} - T_{nmax}) = \gamma_T \cdot (40 - 25)^{\circ}\text{C} = \pm \frac{0,2\%}{10^{\circ}\text{C}} \cdot 15^{\circ}\text{C} = \pm 0,3\%$$

Суммарная дополнительная погрешность ТЭС с учетом всех внешних влияющих факторов будет равна:

$$\gamma_{допТЭС} = \left(\sum_{i=1}^3 \gamma_i^2 \right)^{1/2} = (\gamma_n^2 + \gamma_{T_{доп}}^2 + \gamma_{R_{ннa}}^2)^{1/2} = \pm (0,1^2 + 0,3^2 + 0,1^2)^{1/2} \cong \pm 0,3\% \quad \text{или} \quad \text{в}$$

абсолютной форме:

$$\Delta_{допТЭС} = \frac{\gamma_{допТЭС} \cdot T_{max}}{100\%} = \pm \frac{0,3 \cdot 200}{100} = \pm 0,6^{\circ}\text{C}$$

Тогда полная погрешность ТСА Δ_p в реальных условиях эксплуатации составит:

$$\Delta_p = \Delta_0 + \Delta_{допТЭС} = \pm (1 + 0,6)^{\circ}\text{C} = \pm 1,6^{\circ}\text{C}.$$

Для работы в комплексе с ТЭС используются (если необходимо устанавливать показывающие и (или) регистрирующие приборы):

- логометры магнитоэлектрической системы;
- неуравновешанные мосты постоянного и переменного тока с указателями неравновесия в виде логометров, милливольтметров или миллиамперметров (обычно магнитоэлектрической системы с выпрямителями, если используется мост переменного тока);
- пирометрические магнитоэлектрические узкопрофильные милливольтметры со встроенными предварительными преобразователями мостового типа, например, из серии АСК типов МВУ6 (последние со встроенными сигнализаторами, позиционными регуляторами и выходными преобразователями);
- миллиамперметры магнитоэлектрической системы в комплекте с блоками унифицированных стандартных преобразователей, имеющих выходной стандартный сигнал постоянного тока 4-20мА;
- автоматические электронные уравновешенные мосты постоянного тока, например, приборы типа КМС (самопишущие) и КПМ (показывающие).

Алгебраическая сумма абсолютных погрешностей датчика и моста дает максимально возможную абсолютную погрешность выбранного комплекта.

Геометрическая сумма абсолютных погрешностей как независимых случайных величин дает значение абсолютной погрешности выбранного комплекта для определения температуры:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_o^2 + \Delta_M^2} = \sqrt{1,6^2 + 0,5^2} = \sqrt{2,56 + 0,25} = \pm\sqrt{0,25} = \pm 0,5^0 C$$

Таким образом, из возможных вариантов следует остановиться на измерительном комплекте платинового ТЭС, класса точности А и КСМ-4 класса точности 0,25 со временем установления показаний 20 с и со встроенными преобразователями унифицированных сигналов с $I_{\text{вых}}=4-20\text{мА}$ для использования в системе управления.

При выборе конкретных типов КСМ-4 и ТЭС следует учитывать условия работы в варочном цехе при изменении температуры варочного щелока (агрессивного вещества) в трубопроводе с учетом рабочего статистического давления $P=1\text{МПа}$.

Правила установки датчика температуры должны соответствовать следующим основным положениям, вытекающим из анализа погрешностей измерения температур датчиками через потери тепла:

- датчики температур следует погружать как можно глубже в измеряемую среду;
- датчик устанавливают в месте наибольшей скорости движения среды и против направления ее движения;
- трубопровод или объект исследования в месте установки датчика тщательно теплоизолирован, защищая головку датчика от воздействия температуры окружающей среды.

После выбора средств измерений их заносят в спецификацию как показано в примере табл. 4.

Таблица 4

Спецификация на СИ для варочного котла

Позиция	Наименование и техническая характеристика	Тип, марка	Завод – изготовитель	Количество
	Приборы и средства автоматизации			
TIR-401	Контроль температуры в верхней зоне варочного котла	ТСПУ 015	СКБ Термоприбор, Москва	1
	Температура 80-155°C			
РС-404	Регулирование давления сдувок в трубопроводе сдувочных газов. Давление 1 МПа			
РЕ-404-1	Отбор импульсов давления с разделительным устройством			1
РЕ-404-2	Измерительный преобразователь разности давлений. Выход 4...20мА. Приведенная погрешность $\gamma=\pm 0,5\%$	Метран 100 Д	Теплоприбор, г. Челябинск	1
ФС-405	Регулирование расхода пара в трубопроводе. Расход 200 м ³ /ч			
FE-405-1	Сужающее устройство.	ДК-10-200	Теплоприбор, г. Челябинск	1
FT-405-2	Измерительный преобразователь разности давлений. Выход 4...20мА. Приведенная погрешность $\gamma=\pm 0,5\%$	Метран 100 ДД		1

Позиция	Наименование и техническая характеристика	Тип, марка	Завод – изготовитель	Количество
FIR-406	Контроль расхода хоз. воды $F=180-200 \text{ м}^3/\text{ч}$			
FIR-406-1	Сужающее устройство	ДК-10-200		1
FT-406-2	Измерит. преобразователь разности давлений. Выход 4...20мА. Привед. погрешность $\gamma=\pm 0,5\%$	Метран 100 ДД	Теплоприбор, г. Челябинск	1
LRC-407	Регулирование уровня конденсата в подогревателе. Уровень 5м.			
LE-407-1	Отбор импульсов давления: разделительное устройство	Метран 100 ДД	Теплоприбор, г. Челябинск	1
LT-407-2	Измерит. преобразователь разности давлений. Выход 4...20мА. Привед. погрешность $\gamma=\pm 0,5\%$	Метран 100 ДД	Теплоприбор, г. Челябинск	1
LIR-408	Контроль уровня варочной жидкости в варочном котле. Уровень 13-18м			
LE-408-1	Отбор импульсов давления: разделительное устройство	Метран 100 ДД	Теплоприбор, г. Челябинск	1
LT-408-2	Измерит. преобразователь разности давлений. Выход 4...20мА. Привед. погрешность $\gamma=\pm 0,5\%$	Метран 100 ДД	Теплоприбор, г. Челябинск	1
QIR-409	Контроль pH конденсата в подогревателе. pH=7			
QE-409-1	Стеклянный электрод; хлорсеребряный электрод	«Атлант» Мод. 2101	ООО «Артеко», Москва	1
QE-409-2	pH-метр. Диапазон измерения pH = 0÷14. Выход 4...20мА. Погрешности $\Delta_o = \pm 0,05 \text{ pH}$; $\Delta_u = \pm 2 \text{ мВ}$; $\Delta_T = \pm 0,2^\circ\text{C}$; $U_{\text{вых}} = 0 - 2500 \text{ мВ}$; $T_{\text{ср}} = (+1,0 \div +80)^\circ\text{C}$; $P_{\text{ср}} = (0,1 \div 0,6) \text{ МПа}$	П-215М	Гомельский завод измерительных приборов	1

6. ПРИМЕР ОРИЕНТИРОВОЧНОГО РАСЧЕТА МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА ПО МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ЕГО ЭЛЕМЕНТОВ

Ориентировочный расчет метрологических характеристик измерительного канала необходимый для основания выбора средств измерения, составляющих измерительный канал при их проектировании.

Так как при проектировании неизвестны условия эксплуатации, а также подробные характеристики средств измерения (СИ), то ориентировочный расчет метрологических характеристик (МХ) измерительного канала (ИК) ведется с рядом допущений:

1. СИ, входящие в состав ИК, являются линейными либо линеаризуемыми средствами автоматизации, так как, как правило, при контроле и управлении технологических параметров измерения осуществляется в незначительном диапазоне изменения физической величины, т.е. это допущение реализуется.

2. Погрешности СИ и результирующие погрешности каналов ИК представляют величины второго порядка малости по сравнению с параметрами соответствующих номинальных статических характеристик преобразования средств измерения в ИК.

3. Отклонения значений метрологических характеристик ИК, вызванные изменением погрешности под действием изменения внешних влияющих величин (ВВВ) в статических и динамических режимах малы по сравнению с самими номинальными значениями характеристик СИ.

4. Погрешности СИ ИК независимы друг от друга, т.е. коэффициенты их корреляции можно считать близкие к значениям, характеризующим независимые величины ($\rho=0\div 0,7$).

5. Оценки пределов допускаемых погрешностей назначают по ГОСТ 8.401-80 для всех СИ ИК. Сопротивление отдельных элементов канала согласованы между собой. Взаимное влияние между ИК не учитывается.

Поскольку сделанные допущения не всегда справедливы, то конкретные значения погрешности ИК в реальных условиях эксплуатации определяются практикой, а именно в период опытно-промышленной эксплуатации каналов после их монтажа и отладки, проводится поверка или калибровка ИК.

Структура измерительного канала представлена на рис. 2.

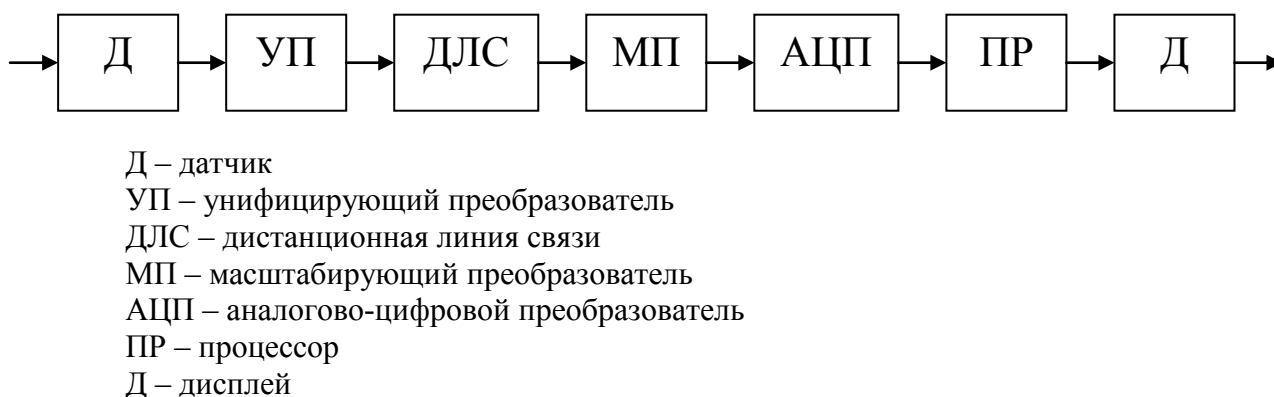


Рис. 2. Структура измерительного канала

Для примера расчета МХ ИК рассмотрим канал измерения температуры в варочном котле, конкретная структура которого приведена на рис. 3.

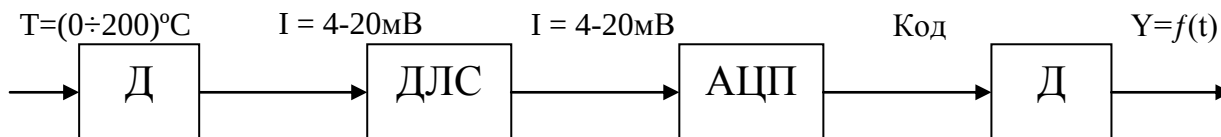


Рис. 3. Структурная схема канала измерения температуры в варочном

Исходные данные

1. ДТ – ТЭС тип ТСПУ 014. Предел измерения температуры (0-200)°C. Погрешности датчика: основная – $\gamma_u = \pm 0,5 \%$ /R0=500 Ом/; дополнительные: по напряжению $\gamma_u = \pm 0,1\%$; по температуре для интервала температур $T_{\text{окр.ср}} = (-50 \div +70)^\circ\text{C}$ $\gamma_T = \pm 0,2\% / \pm 10^\circ\text{C}$; по изменению нагрузки следующего преобразователя $\gamma_{R_{\text{нагр}}} = \pm 0,1 \%$.

2. ДЛС – витая пара. Погрешность для условий варочного цеха по экспериментальным данным составляет $\gamma_p = \pm 0,5 \%$.

3. АЦП – аналого-цифровой преобразователь с линейно-изменяющимся напряжением. Погрешность основная относительная $0,2/_{0,1}$. Дополнительная погрешность из-за изменения температуры $T_{\text{окр.ср}} = (15 \div 40)^\circ\text{C}$ составит $\Delta\gamma_T = \frac{\pm 0,1\%}{\pm 10^\circ\text{C}}$, дополнительная погрешность от изменения напряжения питания $\Delta\gamma_u = \pm 0,1 \%$.

4. Контроллер типа Simatik S7-300 или Simatik S7-700. Погрешность представления температуры $\delta = \pm 0,05 \%$.

Вычисления при $X = T_{\text{max}}$

1. Как показано выше, для ТСПУ 014 полная погрешность ТЭС в реальных условиях эксплуатации на варочном котле составит

$$\Delta_p^1 = \pm 1,6^\circ\text{C},$$

или в приведенной форме

$$\gamma_p^1 = \frac{\pm \Delta_p^1 \cdot 100\%}{T_n (= T_{\text{max}})} = \frac{\pm 1,6^\circ\text{C} \cdot 100}{200^\circ\text{C}} = \pm 0,8 \%$$

2. Для ДЛС приведенная погрешность

$$\gamma_p^2 = \pm 0,5 \%$$

3. Для АЦП основная относительная погрешность составит

$$\delta = \pm \left[c + d \left| \frac{X_k}{X} - 1 \right| \right]$$

или $\delta^3 = \pm \left[0,2 + 0,1 \left| \frac{200}{200} - 1 \right| \right] = \pm 0,2\%$, где $c = \pm 0,2\%$, $d = 0,1\%$, $X_k = T_{\max} = 200^\circ\text{C}$, и в

приведенной форме, так как $\delta = \frac{\pm \Delta^3 \cdot 100}{X}$ и $X = T_{\max}$ по условию расчета, то

$$\gamma^3 = \frac{\pm \Delta^3 \cdot 100}{T_{\max}} = \delta^3 = \pm 0,2\%.$$

4. Контроллер имеет приведенную погрешность представления $\delta^4 = \gamma^4 = \pm 0,05$. Тогда результирующие погрешности ИК составят

$$\gamma_{\text{ИК}} \Big|_{\min} = \pm \left[(\delta^1)^2 + (\delta^2)^2 + (\delta^3)^2 + (\delta^4)^2 \right]^{1/2} = \pm [0,8^2 + 0,5^2 + 0,2^2 + 0,05^2]^{1/2},$$

$$\gamma_{\text{ИК}} \Big|_{\max} = \pm (\delta + \delta + \delta + \delta) = \pm (0,8 + 0,5 + 0,2 + 0,05) = \pm 1,55\%$$

Следовательно, погрешность ИК лежит в интервале

$$\gamma_{\text{ИК}} \Big|_{\min} < \gamma_{\text{ИК}} < \gamma_{\text{ИК}} \Big|_{\max} = 1 < \gamma_{\text{ИК}} < \pm 1,55\%.$$

Это следует подтвердить при метрологической аттестации и поверке ИК при опытно-промышленной эксплуатации канала ИИС.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

Институт энергетики и автоматизации
Кафедра информационно-измерительных технологий и систем управления

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

по дисциплине «Название дисциплины»

на тему:

Тема курсового проекта без кавычек

Выполнил

студент учебной группы №

(фамилия, имя, отчество)

Проверил

(должность, фамилия, имя, отчество)

**Санкт-Петербург
2016**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

Институт энергетики и автоматизации

Кафедра информационно-измерительных технологий и систем управления

ЗАДАНИЕ на курсовое проектирование

По дисциплине «Технические измерения и приборы»

Студенту _____ группа _____

Тема проекта Разработка системы контроля и измерения

Содержание

1. Задание на курсовой проект

Часть 1

1. Описание технологического процесса и оборудования
2. Требование к средствам измерения технологических параметров
3. Обоснование выбора каждого средства измерения для Т, Р, F, L, Q
4. Спецификация КТС для контроля и измерения
5. Схемы контроля и измерения

Часть 2

6. Расчет метрологических характеристик измерительного канала информационно-измерительной системы для определения ...

Часть 3

7. Реферат: Устройство и характеристики средства измерения для измерения ...
8. Библиографический список

Задание на курсовой проект выдано «__» _____ 20__ г.

Срок предоставления курсового проекта к защите «__» _____ 201__ г.

Руководитель _____
подпись

Исполнитель _____
подпись

Библиографический список

1. Дятлова Е.П., Сафонова М.Р. Проектирование автоматизированных систем управления технологическими процессами ЦБП. — СПб.: СПбГТУ РП, 2006. — 51с.
2. Ким К.К. Электрические измерения неэлектрических величин [Электрон. ресурс]: учеб. пособие —М.: УМЦ ЖДТ, 2014. —136 с. — (“КнигаФонд”. Режим доступа: <http://www.knigafund/books/173450>)
3. Латышенко К.П. Технические измерения и приборы. Часть I [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Саратов: Вузовское образование, 2013. —480 с. ЭБС «IPRbooks». — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20403>
4. Латышенко К.П. Технические измерения и приборы. Часть II [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Саратов: Вузовское образование, 2013. — 515 с. ЭБС «IPRbooks» — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20404>

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель и задачи курсового проектирования	3
2. Тематика курсового проекта	4
3. Содержание курсового проекта	4
4. Указания по выполнению курсового проекта	6
5. Пример выполнения первой общей части курсового проекта	10
5.1. Описание технологического процесса на примере процесса сульфатной варки	10
5.2. Выбор и анализ параметров, подлежащих контролю и управлению	11
5.3. Таблица контролируемых параметров	13
5.4. Обоснование выбора измерительных комплексов.....	13
6. Пример ориентировочного расчета метрологических характеристик измерительного канала по метрологическим характеристикам его элементов.....	22
Приложения.....	26
Приложение 1	26
Приложение 2	27
Библиографический список.....	28