

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**Санкт-Петербургский государственный технологический
университет растительных полимеров**

ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ

**Методические указания для выполнения
курсового проекта**

Санкт-Петербург
2011

1-60

Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования

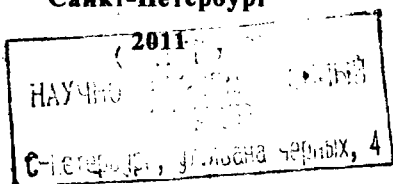
«Санкт-Петербургский государственный технологический
университет растительных полимеров»

Кафедра информационно-измерительных технологий и систем управления

ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ

Методические указания для выполнения курсового проекта

Санкт-Петербург



Технические измерения и приборы: методические указания для выполнения курсового проекта / сост. И.В. Бондаренкова, И.С. Ковчин, Г.А. Кондрашкова, Г.А. Кнодель, А.В. Черникова; СПбГТУ РП. – СПб., 2011–28 с.

В методических указаниях сформулированы цель 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. Методические указания предназначены для бакалавров, обучающихся по направлению 220400 «Управление в технических системах» и магистров – по направлению 220700 «Автоматизация технологических процессов и производств».

Рецензент: профессор кафедры автоматизации процессов химической промышленности Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета), д-р техн. наук Русинов Л.А.

Подготовлены и рекомендованы к печати кафедрой информационно-измерительных технологий и систем управления СПбГТУ РП (протокол № 11 от 26 мая 2011 г.).

Рекомендованы методической комиссией факультета автоматизированных систем управления технологических процессов СПбГТУ РП (протокол № 5 от 30 мая 2011 г.).

© ГОУ ВПО Санкт-Петербургский
государственный технологический
университет растительных полимеров,
2011

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В настоящее время быстро увеличивается ассортимент измерительных средств общего и специального назначения (датчиков, приборов и измерительных систем), устройство и применение которых должно быть освоено студентами в курсе «Технические измерения и приборы».

При работе над курсовым проектом *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: знать принципы 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 прививаются 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 при выполнении курсового проекта студенты должны научиться пользоваться справочной литературой, каталогами и типовыми проектными разработками отечественных и зарубежных фирм. В ходе курсового проектирования студенты должны освоить практику проведения расчетов, необходимых при применении конкретных СИ при оценке погрешностей результатов измерений в реальных условиях эксплуатации, а также научиться технически грамотно составлять пояснительные записки, включая составление спецификации по кон-

трольно-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. При этом 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:

- функционально-структурную схему контроля, измерения и автоматизации (в части выбора средств измерения) технологического участка на 1 листе формата А4 [1];
- принципиальную механическую или электрическую схему выделенного из схемы измерительного устройства на 1 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 [5];
- вторую часть, включающую изучение, методику расчета и расчет расходомеров переменного перепада давлений [6];
- третью часть, состоящую из расчета метрологических характеристик (МХ) измерительного канала информационно-измерительной системы для определения одного из выбранных параметров [2];
- четвертую часть, –реферат, содержащий описание СИ (принцип действия, устройство, характеристики, область и особенности применения) [3,4];
- список литературы;
- 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.

- **таблицу 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 соответствует 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.

Таблица 1

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;**

- дробное обоснование выбора измерительного комплекта должно производиться в соответствии со следующими этапами:
 - **постановка 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, удовлетворяю-

щими требованиями технологического контроля производственного процесса;

- перечисление возможных вариантов принципиального решения измерительной задачи, при этом необходимо перечислить все измерительные устройства, которые могут решать поставленную задачу с точки зрения принципа действия [5];
- выбор 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) комплектam 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 рекомендуется следующий:

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

После заполнения спецификации на функционально-структурную схему контроля, измерения и автоматизации проставляются номера измерительных комплектов согласно номерам позиций спецификации.

Форма спецификации должна соответствовать табл. 2.

ВНИМАНИЕ! При применении для целей контроля ИИС или информационных каналов (ИК) АСУТП производится расчет метрологических характеристик ИК в соответствии с рекомендованной методикой [2].

Таблица 2

Форма спецификации

Позиция	Наименование и техническая характеристика	Тип, марка	Завод-изготовитель	Количество
1	2	3	4	5

5. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ПЕРВОЙ ОБЩЕЙ ЧАСТИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

5.1. Описание технологического процесса на примере процесса сульфатной варки

Варка сульфатной целлюлозы [5] 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, то есть 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 опорожняют в ссезу или приемный резервуар способом выдувки или вымывки. При выдувке давление в котле снижают до 0,15-0,25МПа, открывают шабар 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 доверху, 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.

Функциональная схема контроля, измерения и автоматизации процесса варки сульфатной целлюлозы приведена на рис. 1 [5].

5.2. Выбор и анализ параметров, подлежащих контролю и управлению

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 ва-

рочном 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 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 уровнем 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 pH-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 необходимая погрешность измерения.

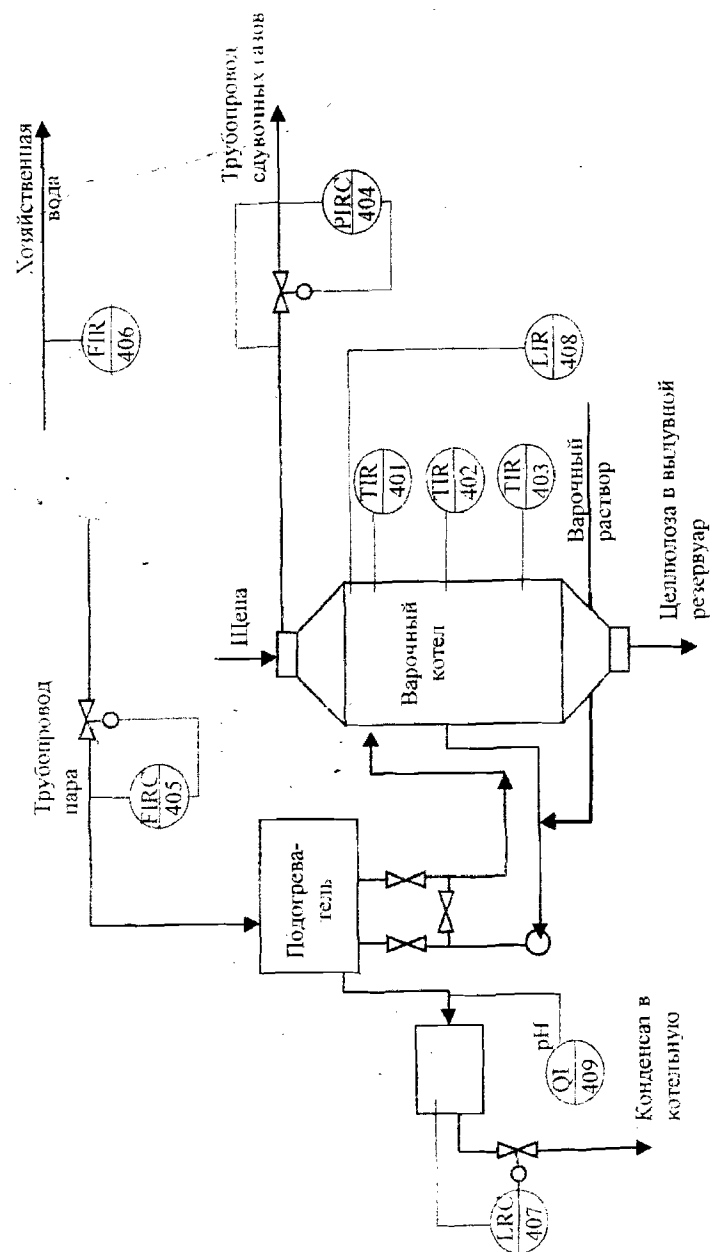


Рис.1. Функциональная схема автоматизации процесса варки сульфатной целлюлозы

Таблица 3
Контролируемые параметры процесса варки сульфатной целлюлозы

Измеряемый параметр		Место измеряемого параметра	Характеристика среды	Требования к абсолютной погрешности	Примечание
наименование параметра	пределы измерения				
1	2	3	4	5	6
Температура варочной жидкости	0-200 °C	3 зоны варочного котла	Среда агрессивная, загазованная, T=200	$\Delta \leq \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\delta = \frac{2 \cdot 100}{200} = \pm 1\%$
Уровень варочной жидкости	13-18 мм	Варочный котел		$\Delta = \pm 0,20 \text{ м}$	$\delta = \frac{0,2 \cdot 100}{5} = \pm 1\%$
Давление сдувочных газов	0-1 МПа	Трубопровод сдувочных газов	Среда агрессивная, загазованная, T=200	$\Delta = \pm 0,05 \text{ МПа}$ $\pm 0,01 \text{ МПа}$ $\pm 0,02 \text{ МПа}$	$\delta = \frac{0,05 \cdot 100}{1} = \pm 5\%$
Уровень конденсата	0-5 м	Подогреватель	Среда неагрессивная, p=0,5 МПа T=200	$\Delta = \pm 0,05 \text{ м}$	$\delta = \frac{0,05 \cdot 100}{5} = \pm 1\%$
pH	0-7 pH	Паропровод подачи пара в подогреватель		$\Delta = \pm 0,05 \text{ pH}$	$\delta = \frac{0,05 \cdot 100}{7} = \pm 0,9\%$
Температура	180 °C	---		$\Delta = \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\delta = \frac{1 \cdot 100}{180} = \pm 0,5\%$
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	$\Delta = \pm 1 \text{ м}^3/\text{ч}$	$\delta = \frac{10 \cdot 100}{200} = \pm 0,5\%$
Температура хозяйственной воды	40 °C	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 хозяйственной воды	5 кг/см ²	---	T=40 °C	$\Delta = \pm 0,1 \text{ кг/см}^2$	$\delta = \frac{0,1 \cdot 100}{5} = \pm 2\%$
Расход хозяйственной воды	40 м ³ /ч	---	P=0,5 МПа T=40 °C	$\Delta = \pm 0,5 \text{ м}^3/\text{ч}$	$\delta = \frac{0,5 \cdot 100}{40} = \pm 1,25\%$

5.4. Пример расчета результирующей погрешности измерительного канала для измерения температуры [3,4]

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

1) Сформулируем измерительную задачу: требуется измерить температуру от 80 до 200°C в варочном котле при значительном давлении $P=1,0\text{МПа}$. Требования к погрешности измерения температуры самые жесткие, то есть 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 (то есть 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).

3) Манометрический термометр характеризуется по точности приведенной погрешности $\gamma = \pm(1,5-2,5) \%$, 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°C развивают ЭДС равную $E = 1,436\text{мВ}$. Тогда относительная погрешность измерения составит:

или по абсолютной величине температуры:

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

что не соответствует заданным требованиям к измерениям температуры.

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

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

а абсолютная погрешность равна:

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

Иначе говоря, термоэлектрические термометры для решения поставленной задачи измерения низких температур с малыми погрешностями непригодны.

4) ТЭС из платины (как наиболее стабильные и точные) выпускаются с допускаемым 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°C.

Выбор номинального значения сопротивления термопреобразователей при 0°C, то есть 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 равна:

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

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 проводов соответственно.

Поэтому выберем соответствующую марку платинного датчика, а именно, ТСПУ 015, который используется для измерения температур в диапазоне 0–200°C при $R_0 = 500$ Ом. Он имеет следующие метрологические характеристики: основная приведенная погрешность $\gamma_0 = \pm 0.5\%$, дополнительная погрешность от изменения напряжения питания $\gamma_n = \pm 0.1\%$; 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 $\gamma_n = \pm 0.1\%$; инерционность – 15 с; 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:

$$\gamma_{\text{доп}} = \gamma_T \cdot (T_{cp} - T_{nmax}) = \gamma_T \cdot (40 - 25)^\circ\text{C} = \pm \frac{0.2\%}{10^\circ\text{C}} \cdot 15^\circ\text{C} = \pm 0.3\%$$

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

$$\gamma_{\text{допТЭС}} = \left(\sum_{i=1}^3 \gamma_i^2 \right)^{1/2} = (\gamma_n^2 + \gamma_{\text{доп}}^2 + \gamma_{R_{load}}^2)^{1/2} = \pm (0.1^2 + 0.3^2 + 0.1^2)^{1/2} \approx \pm 0.3\% \quad \text{или в абсо-}$$

лютной форме:

$$\Delta_{\text{допТЭС}} = \frac{\gamma_{\text{допТЭС}} \cdot T_{max}}{100\%} = \pm \frac{0.3 \cdot 200}{100} = \pm 0.6^\circ\text{C}$$

Полная погрешность ТСА Δ_p в реальных условиях эксплуатации составит:

$$\Delta_p = \Delta_0 + \Delta_{\text{допТЭС}} = \pm (1 + 0.6)^\circ\text{C} = \pm 1.6^\circ\text{C}$$

и не превышает заданного в измерительной задаче значения.

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, если в комплекте с ТЭС используются блоки унифицированных преобразователей, имеющих выходной стандартный сигнал постоянного тока 4–20 мА;
- автоматические электронные уравновешенные мосты постоянного тока, например, приборы типа КСМ (самопишущие) и КПМ (показывающие).

В рассматриваемом варианте необходимо остановиться на самых точных регистрирующих приборах с временем установления показаний до 20 с. и имеющими выходной сигнал 4–20 мА. Этим требованиям соответствуют автоматические электронные мосты серии «К» самопишущие, то есть КСМ. Классы точности моста 0,25 и 0,5. Выбираем класс точности моста 0,25, то есть $\gamma = \pm 0.25\%$.

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:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_0^2 + \Delta_M^2} = \sqrt{1.6^2 + 0.5^2} = \sqrt{2.56 + 0.25} = \pm \sqrt{2.8} = \pm 1.6^\circ\text{C}.$$

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 шелока (агрессивного вещества) в трубопроводе с учетом рабочего статистического давления $P=1\text{МПа}$.

После выбора окончательного варианта измерительных комплектов заполняется спецификация, пример заполнения которой приведен ниже (табл. 4). Правила установки датчика температуры должны соответствовать следующим основным положениям, вытекающим из анализа погрешностей измерения температур датчиками из-за потерь 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 теплоизолируется, защищая головку датчика от воздействия температуры окружающей среды.

Таблица 4

Спецификация на СИ для варочного котла

Позиция	Наименование и техническая характеристика	Тип, марка	Завод – изготовитель	Количество
1	2	3	4	5
TIR-401	Приборы и средства автоматизации Контроль температуры в верхней зоне варочного котла	ТСПУ 015	СКБ Термоприбор, Москва	1
РС-404	Температура 80-155°C 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
FC-405	Регулирование расхода пара в трубопроводе. Расход 200 м³/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
FIR-406	Контроль расхода хозяйственной воды $F=180-200\text{ м}^3/\text{ч}$			
FIR-406-1	Сужающее устройство	ДК-10-200		1
FT-405-2	Измерительный преобразователь разности давлений. Выход 4...20мА. Приведенная погрешность $\gamma=\pm 0,5\%$	Метран 100 ДД		1
LRC-407	Регулирование уровня конденсата в подогревателе. Уровень 5м.			

1	2	3	4	5
LE-407-1	Отбор импульсов давления: разделительное устройство	Метран 100 ДД	Теплоприбор, г. Челябинск	1
LT-407-2	Измерительный преобразователь разности давлений. Выход 4...20мА. Приведенная 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	Измерительный преобразователь разности давлений. Выход 4...20мА. Приведенная 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

[illegible]

ЕГО ЭЛЕМЕНТОВ.

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:

2. Погрешности СИ и результирующие погрешности каналов ИК представляют собой 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 близкими к значениям, характеризующим независимые величины ($\rho=0 \div 0,7$).

5. Оценки пределов допускаемых погрешностей назначают по ГОСТу 8.401-80 для всех СИ ИК. Сопротивление отдельных элементов канала согласованы между собой. Взаимное влияние между ИК не учитывается [3].

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 (рис. 2).

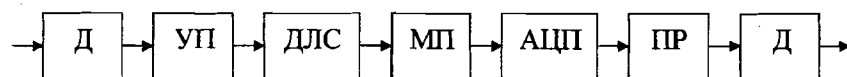


Рис. 2. Структура измерительного канала

Д – датчик
УП – унифицирующий преобразователь
ДЛС – дистанционная линия связи
МП – масштабирующий преобразователь
АЦП – аналого-цифровой преобразователь
ПР – процессор
Д – дисплей

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

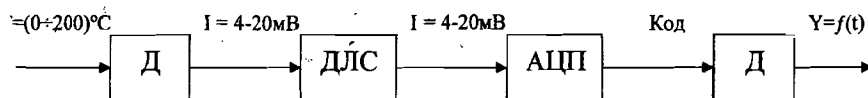


Рис. 3. Канал измерения температуры

Исходные данные

1. ДТ – ТЭС тип ТСПУ 014. Предел измерения температуры (0-200)°C. Погрешности датчика: основная – $\gamma_u = \pm 0,5\%$ / $R_0 = 500 \text{ Ом/}$; дополнительные: по напряжению $\gamma_u = \pm 0,1\%$; по температуре для интервала температур $T_{\text{окр.ср}} = (-50 \div +70)^\circ\text{C}$ $\gamma_T = \frac{\pm 0,2\%}{\pm 10^\circ\text{C}}$; по изменению нагрузки следующего преобразователя $\gamma_{R_n} = \pm 0,1\%$.

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 $\frac{0,2}{0,1}$. 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 равна

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

3. Для АЦП основная относительная погрешность составит

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

или $\delta^3 = \pm \left[0,2 + 0,1 \left| \frac{200}{200} - 1 \right| \right] = \pm 0,2\%$, где $c = \pm 0,2\%$, $d = 0,1\%$,

$X_x = T_{\text{max}} = 200^\circ\text{C}$, и в приведенной форме, т.к. $\delta = \frac{\pm \Delta^3 \cdot 100}{X}$ и $X = T_{\text{max}}$ по условию расчета, то

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

Дополнительная погрешность АЦП не рассматривается, так как его сочетание с контроллером не оговорено: отдельным блоком или встроенным в контроллер.

4. Контроллер имеет приведенную погрешность представления $\delta^4 = \gamma^4 = \pm 0,05$.

Тогда результирующие погрешности ИК составят

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

Используя геометрическое сложение погрешностей составляющих элементов ИК с независимыми характеристиками и

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

применив алгебраическое сложение погрешностей составляющих элементов ИК с основными элементами.

Следовательно, ориентировочное значение погрешности ИК лежит в интервале

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

Полученное значение погрешности ИК не должно превышать её заданный размер по условиям измерительной задачи. В противном случае следует выбрать другие элементы ИК с МХ, обеспечивающими решение поставленной измерительной задачи.

Практическое подтверждение осуществляется при метрологической аттестации и поверке ИК в период опытно-промышленной эксплуатации канала ИИС.

Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

«Санкт-Петербургский государственный технологический университет
растительных полимеров»

Факультет автоматизированных систем управления технологическими процессами
Кафедра информационно-измерительных технологии и систем управления

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

На тему: _____

студент _____

руководитель _____

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

«Санкт-Петербургский государственный технологический университет
растительных полимеров»

Факультет автоматизированных систем управления технологическими процессами
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
- ч. I 2. Описание технологического процесса и оборудования
3. Требования к средствам измерения технологических параметров
4. Обоснование выбора каждого средства измерения для T, P, F, L, Q
5. Спецификация КТС для контроля и измерения
6. Схемы контроля и измерения
- ч. II 7. Методика расчета расходомеров переменного перепада давления
8. Расчет параметров расходомера переменного перепада давления
- ч. III 9. Расчет метрологических характеристик измерительного канала
информационно-измерительной системы для определения ...
- ч. IV 10. Реферат: Устройство и характеристики средства измерения для
измерения ...
11. Список литературы

/Проставить страницы/

Задание на курсовой проект выдано «__» _____ 201 г.

Срок предоставления курсового проекта к защите «25» 04 201 г.

Руководитель _____ Исполнитель _____
подпись подпись

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дятлова Е.П., Сафонова М.Р. Проектирование автоматизированных систем управления технологическими процессами ЦБП. – СПб.: СПбГТУ РП, 1999. – 51с.
2. Методика ориентировочного расчета метрологических характеристик измерительных каналов информационно-измерительных систем АСУ по метрологическим характеристикам их элементов: методические указания к выполнению курсовых и дипломных работ. – Л.:ЛТИЦБП, 1986. – 16с.
3. Кондрашкова Г.А. Технологические измерения и приборы в целлюлозно-бумажной промышленности. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 376с.
4. Сергеев А.Г., Латышев М.В., Терегер В.В. Метрология, стандартизация и сертификация - учебное пособие. – М.: Логос, 2004. – 550с.
5. Технология целлюлозно-бумажного производства. Автоматизация, стандартизация и экономия в ЦБП: справочник ВНИИБа. Т.3. – СПб.: Политехника, 2008. – 521с.
6. Кремлёвский П.П. Расходомеры и счётчики количества вещества: справочник: Кн.1.-СПб.: Политехника, 2002. – 409с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель и задачи курсового проектирования	3
2. Тематика курсового проекта	4
3. Содержание курсового проекта	—
4. Указания по выполнению курсового проекта	6
5. Пример выполнения первой общей части курсового проекта	9
5.1. Описание технологического процесса на примере процесса сульфатной варки	—
5.2. Выбор и анализ параметров, подлежащих контролю и управлению	10
5.3. Таблица контролируемых параметров	11
5.4. Пример расчета результирующей погрешности измерительного канала для измерения температуры	14
6. Пример ориентировочного расчета метрологических характеристик измерительного канала по метрологическим характеристикам его элементов	21
Приложение 1	25
Приложение 2	26
Библиографический список	27

Ирина Владимировна Бондаренкова

Игорь Сергеевич Ковчин

Галина Анатольевна Кондрашкова

Георгий Александрович Кнодель

Анна Владимировна Черникова

ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ

Методические указания для выполнения курсового проекта

Корректор Т.А.Смирнова
Техн. редактор Л.Я.Титова

Темплан 2011 г., поз.53

Подп. к печати 24.05.2011. Формат 60x84/16. Бумага тип. № 1.
Печать офсетная. Печ. л. 1,75. Уч.-изд. л. 1,75. Тираж 70 экз. Изд. №. 53.
Цена «С». Заказ № 2444

Ризограф Санкт-Петербургского государственного технологического универси-
тета растительных полимеров, 198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.