

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет**

Кафедра метрологии и управления качеством

**МЕТРОЛОГИЯ. ЧАСТЬ 2
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ**

*Методические указания по курсовому проектированию
для студентов бакалавриата направления 27.03.01*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2019**

УДК 389 (073)

МЕТРОЛОГИЯ. ЧАСТЬ 2. Обеспечение единства измерений:
Методические указания по курсовому проектированию / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *Т.А. Стрижова, Г.А. Юсупов*. СПб, 2019. 21 с.

Изложены основные этапы выполнения курсового проекта по дисциплине «Метрология, часть 2: Обеспечение единства измерений». Представлены требования к оформлению и содержанию курсового проекта, изложены методические основы для проектирования установки, калибровки средств измерений и даны темы по курсовому проектированию. В приложениях представлена справочная информация, используемая при выполнении курсового проекта.

Предназначены для студентов бакалавриата направления 27.03.01 «Стандартизация и метрология» по профилю «Метрология и метрологическое обеспечение».

Научный редактор доц. *Э.А. Кремчев*

Рецензент проф. *Б.Я. Литвинов* (ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»)

ВВЕДЕНИЕ

В практической жизни человек часто имеет дело с измерениями, которые являются одним из важнейших элементов во всех видах экономической деятельности и в быту. При этом необходима сопоставимость результатов измерений, выполняемых в разных регионах Российской Федерации и в разных организациях. Деятельность, направленную на взаимное признание результатов измерений, выполняемых в разное время в разных местах, называют обеспечением единства измерений (ОЕИ).

Единством измерений называется состояние измерений, при котором их результаты выражены в допущенных к применению в Российской Федерации единицах величин, а показатели точности измерений не выходят за установленные пределы. Для обеспечения единства измерений необходимо, чтобы единицы величин, хранимых средствами измерений, были приведены к единицам величин, хранимых эталонами этих единиц величин. С этой целью проводится калибровка средств измерений. Для проведения процедуры калибровки разрабатываются установки и рабочие места. Для каждого рабочего места разрабатываются методики калибровки с привязкой к конкретным средствам измерений и метрологическим задачам.

При выполнении курсового проекта студент должен показать умение применять знания, полученные в период теоретического обучения и прохождения производственной практики, проявить навыки самостоятельной работы, овладеть методикой решения поставленных в проекте задач на уровне современных достижений науки и техники.

В процессе проектирования студент обязан пользоваться нормативной и научно-технической литературой, ссылки на которую в тексте пояснительной записки обязательны. В конце пояснительной записки приводится библиографический список.

Выполнение данного проекта подготавливает студента к выполнению курсовых проектов и работ по другим специальным дисциплинам, а также к выполнению выпускной квалификационной работы.

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Цель курсового проекта - систематизация, углубление и закрепление теоретических знаний студентов по дисциплине «Метрология часть 2: Обеспечение единства измерений».

В ходе выполнения курсового проекта студенты должны:

- получить навыки проектирования рабочего места для калибровки средств измерений;
- уметь производить выбор средств измерений для решения конкретных метрологических задач;
- уметь разрабатывать структурные схемы установок для калибровки средств измерений;
- уметь оценивать неопределенность измерений, составлять бюджет неопределенности;
- приобрести навыки по оформлению технических документов.

2. ПОРЯДОК ВЫДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект выдается индивидуально каждому студенту в начале семестра. Задание базируется на знаниях, полученных студентами при изучении таких дисциплин как «Метрология часть 1. Общая теория измерений», «Теория информации», «Физические основы измерений» а также на дисциплинах «Математика», «Основы проектирования продукции», «Информатика».

В данном методическом указании перечислены примерные варианты тем курсового проекта.

3. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект включает три части:

- теоретическую;
- модель рабочего места для калибровки;
- расчетную (расчет для конкретных данных).

В теоретической части должно быть показано поэтапное решение задачи, поставленной перед студентом в задании курсового проекта.

Освещение теоретических вопросов осуществляется, главным образом, по литературным источникам и результатам производственной практики. Поэтому, при выполнении проекта следует использовать материалы отчета по производственной практике, а также нормативные документы и литературные источники:

- из библиографического списка, приведенного в данных методических указаниях;
- по результатам собственного поиска в соответствии с заданием на курсовой проект.

В этой части проекта следует провести анализ существующих методов и средств измерений, позволяющих решить поставленную метрологическую задачу. На базе проведенного анализа необходимо выбрать конкретные средства измерений и методы измерений, на основе которых будет состоять разрабатываемая структурная схема установки. Необходимо осуществить привязку к соответствующим полям поверочной схемы для указанного в задании вида измерений.

Модель рабочего места для калибровки должна содержать:

- Структурную схему установки.
- Уточненные метрологические характеристики средств измерений в соответствии с выбранным методом калибровки.
- Методику калибровки.

В этой части необходимо привести логическую цепочку формул, по которым студент будет делать расчетную часть, а также может быть составлена и модель программы, с помощью которой, в дальнейшем, будет получен результат. Алгоритм расчета приводится, как правило, в методике калибровки.

Расчетная часть должна содержать расчет по исходным данным, анализ полученных данных. Следует указать литературные источники (при необходимости со ссылками на страницы), из которых взяты расчетные формулы.

В целом, в курсовой проект входит:

- титульный лист;
- задание на курсовой проект;
- аннотация на русском и английском языках;
- содержание;
- введение;
- теоретическая часть;
- модель рабочего места для калибровки;
- расчетная часть;
- графический материал;
- список использованной литературы.

4. ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Пояснительная записка должна быть оформлена средствами **Microsoft Word**. Для правильного оформления пояснительной записки следует осуществить перечисленные ниже назначения.

1. Включение режима автоматического переноса слов. Перевод строки Microsoft Word делает автоматически. Переноса слов в заголовках не производить.

2. Страницы курсового проекта следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту, включая приложения. Номера страниц на титульном листе и на листе с заданием не проставляются, но страницы эти включаются в общую нумерацию.

3. Печать должна быть односторонней, ориентация, в основном, книжная. Поля: верхнее, нижнее и правое по 2,5 см, левое 3,0 см; колонтитулы: от края до колонтитула верхнего 1,25 см; нижнего 1,6 см; переплет 0 см.

4. Абзацный отступ (отступ первой строки) должен быть равен 1,25 см.

5. Выравнивание строк текста в абзаце в общем случае должно быть по ширине, а выравнивание строк заголовков - по центру символического поля.

6. В пояснительной записке межстрочный интервал должен быть полуторным, в заголовке между названиями разделов и

подразделов – одинарным.

7. Шрифт Times New Roman, по начертанию – обычный, для заголовков – полужирный, прописными буквами, размер 12 пт. В случае заголовка, занимающего три строки и более, размер шрифта 11 пт. Размер шрифта колонтитула 10 пт. (например, номеров страниц).

8. Части, разделы и пр. имеют нумерацию арабскими цифрами. Система нумерации должна быть сквозной, например: 1; 1.1; 1.1.1; 1.1.2; 1.1.3; 1.2; 1.3; 1.3.1; 1.3.2 и т.д.

Образцы титульного листа и задания на курсовой проект приведены в прил. 1, 2.

Аннотацию выполняют на русском и иностранном языке (английском) на отдельном листе. Полный объем текста аннотации на двух языках должен составлять не более одной страницы. Аннотация содержит краткое изложение тематики работы, её актуальности, перечень основных проектных решений и данные об их эффективности. Указывают объём пояснительной записки (в страницах), количество таблиц, иллюстраций и приложений. Лист с аннотацией имеет номер «3» (номера страниц проставляют, начиная с этого листа), его располагают после листа с заданием.

Иллюстрации (рисунки, схемы) можно выполнить, пользуясь кнопками панели инструментов Рисование (команда меню Microsoft Word Вид | Панели инструментов | Рисование). Рисунки, схемы, фотографии и диаграммы также можно поместить в текст из других файлов и приложений.

Иллюстрации, занимающие отдельную страницу, размещаются на странице, следующей за первой ссылкой на данную иллюстрацию. Небольшие иллюстрации размещаются после первой ссылки в тексте работы на данную иллюстрацию. Подписи набирают по центру шрифтом Times New Roman, начертание обычное, размер 10 пт.

Библиографический список составляется в алфавитном порядке, шрифт Times New Roman, размер 10 пунктов, начертание обычное. Фамилия и инициалы автора выделяются курсивом.

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Методические указания приводятся на примере рабочего места для калибровки резистивных шунтов измерительных с номинальными значениями 1 мОм и 0,1 мОм.

5.1. Введение

Во введении проводится анализ исходных данных, приведенных в задании на курсовую работу, и обосновывается направление исследований.

Пример: если в задании требуется обеспечить калибровку измерительных резистивных шунтов, то возможны варианты применения микроомметра и прямого измерения или вариант применения канала измерения электрического сопротивления мультиметра с использованием метода замещения. Выбор и его обоснование остается за студентом.

5.2. Теоретическая часть

Проводится анализ существующих методов и средств измерений. Завершается раздел описанием конкретных средств измерений и выбранных методов, приводятся конкретные метрологические характеристики.

Пример.

Проводится анализ следующих методов измерений электрического сопротивления:

- Прямое измерение с помощью цифрового омметра.
- Измерение с помощью моста постоянного тока.
- Метод замещения.
- Метод перестановки.
- Измерение с помощью потенциометров.

Рассматриваются обобщенные варианты калибровки, средства измерений, подлежащие калибровке, осуществляется выбор средств измерений, при помощи которых будет проводиться калибровка. Предположим, что для включения в установку для калибровки был выбран мультиметр Agilent 34420A. Необходимо

указать используемый диапазон измерений (1 Ом), класс точности, рассмотреть теоретическую возможность калибровки шунтов с номинальными значениями сопротивления 0,001 Ом и 0,0001 Ом с учетом разрешающей способности в семь с половиной разрядов. Результаты следует сопроводить рисунком, который может иметь следующий вид (рис. 1).

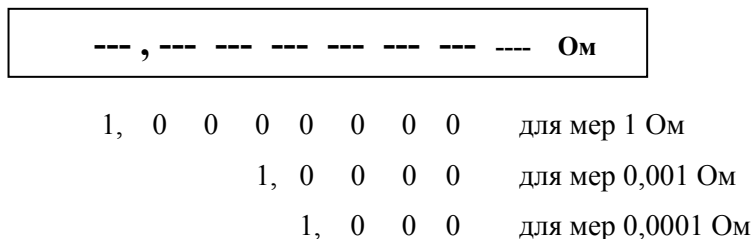


Рис. 1. Оценка разрешающей способности Agilent 34420A

Метод замещения предполагает наличие эталонных мер электрического сопротивления (ЭМЭС). При этом номинальные значения ЭМЭС и калибруемых мер (шунтов), могут совпадать, а могут и не совпадать. Применение ЭМЭС с номинальным значением 1 Ом возможно, но не является оптимальным, поскольку придется применять термостатирование.

При использовании ЭМЭС с номинальными значениями 0,001 Ом и 0,0001 Ом термостат может не понадобиться. Студенту следует теоретически обосновать соответствующий выбор.

Далее проводится выбор ЭМЭС. Необходимо рассмотреть несколько типов мер, их метрологические характеристики, номинальные значения, конструктивные особенности, чувствительность к токам нагрузки, воздействию температуры окружающей среды.

Предположим, что в качестве эталонных были выбраны МЭС типа Р310 для номинального значения 0,001 Ом (рис. 2) и МЭС типа ОКН-5 для номинального значения 0,0001 Ом (рис. 3).

Далее в курсовом проекте должен быть решен вопрос о средствах измерений для контроля параметров окружающей среды,

источниках бесперебойного питания и ПЭВМ. В заключении рассматривается вопрос о взаимосвязи выбранных средств измерений с поверочной схемой. Стандарт на поверочную схему должен быть действующим на момент выполнения курсового проекта. Сама поверочная схема приводится в приложении к пояснительной записке курсового проекта.



Рис. 2. Мера типа P310



Рис. 3. Мера типа ОКН-5

Пример: С первого января 2013 года вступил в силу новый национальный стандарт ГОСТ Р 8.764-2011 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений электрического сопротивления» (прил. 3).

В этой части проекта студент должен провести анализ существующих методов и средств измерений, позволяющих решить поставленную метрологическую задачу. На основе проведенного анализа необходимо выбрать конкретные средства измерений и

методы измерений, на основе которых будет разработана структурная схема установки. Необходимо осуществить привязку к соответствующим полям поверочной схемы для указанного в задании вида измерений.

5.3 Модель рабочего места для калибровки

Приводится общая структурная схема соединения средств измерений (рис.4) и другого измерительного оборудования, входящих в состав рабочего места для калибровки согласно заданию на курсовое проектирование. В соответствии с выбранным методом калибровки приводятся уточненные метрологические характеристики средств измерений из состава рабочего места. Приводится бюджет неопределенности и алгоритм вычисления.

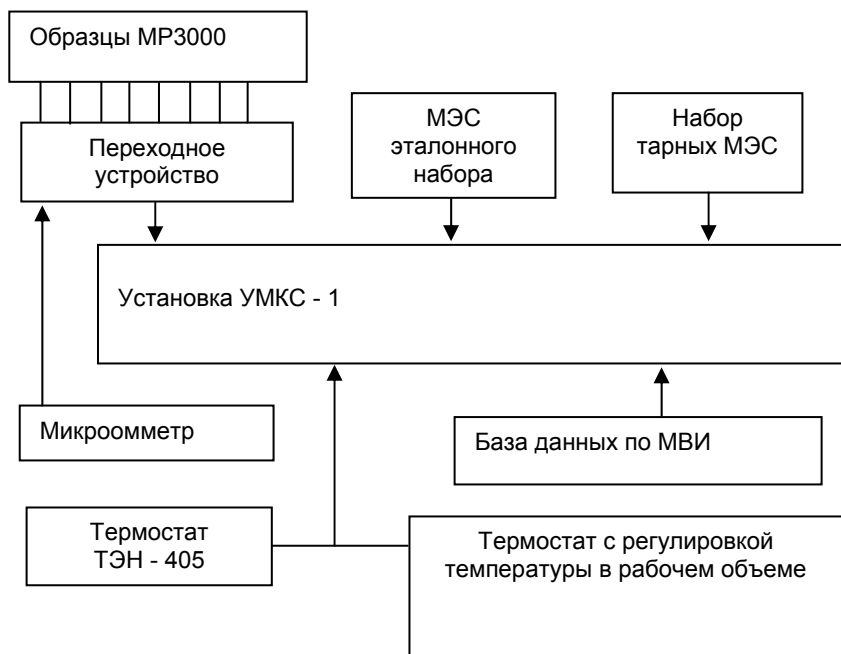


Рис. 4 Структурная схема комплекса для исследования интегральных пленочных резисторных схем

Модель рабочего места для калибровки должна содержать:

- Структурную схему установки.
- Уточненные метрологические характеристики средств измерений в соответствии с выбранным методом калибровки.
- Методику калибровки.

Пример составляющих неопределенности результата измерений приводится в табл. 1.

Таблица 1

Составляющие неопределенности результата измерений

Источник возмущающих воздействий	Стандартное отклонение (аналог стандартного отклонения)	Числовое значение, 10^{-8}
Компаратор Р3015	S	4,879
Вариации контактных соединений	u_1	1,73
Температурные воздействия в помещении лаборатории	u_2	1,73
Температурные воздействия в рабочем объеме термостата	u_3	2,9
Кратковременная нестабильность МЭС	u_4	1,73
Влияние атмосферного давления и влажности	u_5	0,173

Суммарная стандартная неопределенность $u_{\Sigma} = 6.4 \cdot 10^{-8}$.

Расширенная неопределенность ($k = 2$) $U = 12.8 \cdot 10^{-8}$.

ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ

Тема курсового проекта: «Разработка установки для калибровки средств измерений» является общей, варьируются только средства измерений, которые должны быть откалиброваны, например:

Установка для калибровки пирометра.

Установка для калибровки калибратора-измерителя напряжения и силы тока Keitley 2612.

Установка для калибровки мультиметра цифрового АРРА-107N.

Установка для калибровки счетчика воды ВСХд-15.

Установка для калибровки анализатора ртути УКР-1МЦ.

Установка для калибровки газоанализатора озона 3.02П-А.

Установка для калибровки омметра Щ 306-1.

Установка для калибровки бомбового калориметра «ВИМ».

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника: Учебное пособие / К.К. Ким, Г.Н. Анисимов, В.Ю. Барбарович, Б.Я. Литвинов. – СПб.: Питер, 2010. 368 с.

2. *Шишкин, И.Ф.* Теоретическая метрология. Часть.2. Обеспечение единства измерений: Учебник для вузов. / И.Ф. Шишкин. – СПб.: Питер, 2012. 240 с.

3. *Шишкин, И.Ф.* Теоретическая метрология. Часть.1. Общая теория измерений: Учебник для вузов. / И.Ф. Шишкин. – СПб.: Питер, 2010. 192 с.

4. *Фридман, А.Э.* Основы метрологии. Современный курс. – СПб.: НПО «Профессионал», 2008. 284 с.

5. *Брянский, Л.Н.* Метрология. Шкалы, эталоны, практика / Л.Н. Брянский, А.С. Дойников, Б.Н. Крупин. – М.: ВНИИФТРИ, 2004. 222 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации



**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра метрологии и управления качеством

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

По дисциплине: Метрология Ч.2 Обеспечение единства измерений

ТЕМА ПРОЕКТА

ВЫПОЛНИЛ: студент гр. _____
(подпись) (Ф.И.О.)

ОЦЕНКА:

ПРОВЕРИЛ: _____
(должность) (подпись) (Ф.И.О.)

Санкт-Петербург
2019

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации



**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра метрологии и управления качеством

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

_____/_____/_____
« » » » 20 г.

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

По дисциплине: Метрология Ч.2 Обеспечение единства измерений

ЗАДАНИЕ

Студенту группы _____ группа _____ Ф.И.О. _____

1. Тема проекта _____

2. Исходные данные к проекту: _____

3. Содержание пояснительной записки: _____

4. Графический материал: _____

5. Срок сдачи законченного проекта: _____

Руководитель проекта: _____ должность _____ подпись _____ Ф.И.О. _____

Дата выдачи задания: _____

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Единицы некоторых величин и соотношения между ними в разных системах единиц

Величина	Система единиц		
	Международная (СИ)	Техническая (МКГСС)	Физическая (СГС)
Длина	1 м	1 м	1 см = 10^{-2} м
Масса	1 кг	1 кг · с ² /м	1 г = 10^{-3} кг
Время	1 с	1 с	1 с
Сила	1 Н = 1 кг · м/с ²	1 кгс = 9,81 Н	1 дин = 1 г · м/с ² = 10^{-5} Н
Плотность	1 кг/м ³	1 кгс · с ² /м ⁴	1 г/см ³
Удельный вес	1 Н/м ³	1 кгс/м ³	1 дин/см ³
Динамический коэффициент вязкости	1 кг/(м · с)	1 кгс · с/м ²	1 П (пуаз) = 1 г/(см · с)
Кинематический коэффициент вязкости	1 м ² /с	1 м ² /с	1 Ст (стокс) = 1 см ² /с
Давление	1 Па = 1 Н/м ² (10^5 Па = 1 бар)	1 кгс/м ² (10^4 кгс/м ² = 1 ат)	1 дин/см ²
Энергия (работа)	1 Дж = 1 Н · м	1 кгс · м	1 эрг = 1 дин · см

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Плотность некоторых веществ

Жидкость (при температуре)	Плотность кг/м³	Жидкость (при температуре)	Плотность кг/м³
Глицерин безводный (20 °С)	1250	Штейны цветной металлургии (1200 °С – 1400 °С)	4000-8500*
Керосин (20 °С)	790-750	<i>Жидкие металлы:</i>	
Бензин авиационный (20 °С)	740-750	Медь (1085 °С)	8400
Масло минеральное (20 °С)	880-890	Железо (1550 °С)	710
Нефть (20 °С)	850-890	Цинк (419 °С)	6920
Ртуть (20 °С)	13550	Свинец (327 °С)	10640
Спирт этиловый безводный (20 °С)	790	Алюминий (660 °С)	2460
Четыреххлористый углерод (20 °С)	1600	Никель (1460 °С)	8790
Мазут (20 °С)	870-900	Шлаки цветной металлургии (1200 °С – 1400 °С)	2000-4000*

* - в зависимости от состава

ПРИЛОЖЕНИЕ 6**Коэффициент объемного расширения жидкостей
(при нормальном атмосферном давлении)**

Жидкость (при температуре)	$\beta_t, 1/^\circ\text{C}$	Жидкость (при температуре)	$\beta_t, 1/^\circ\text{C}$
Вода (5-10 °С)	0,000053	Бензин (20 °С)	0,00081
- « - (20-40 °С)	0,000302	Ртуть (20 °С)	0,00018
- « - (60-80 °С)	0,000587	Спирт этиловый (20 °С)	0,00110

ПРИЛОЖЕНИЕ 7**Плотность воды при разных температурах**

Температура, °С	Плотность, кг/м³	Температура, °С	Плотность, кг/м³
0	999,87	60	983,24
4	1000,0	80	971,83
20	998,23	90	965,34
40	992,24	100	958,38

ПРИЛОЖЕНИЕ 8**Кинематический коэффициент вязкости жидкостей и газов
(при нормальном давлении)**

Жидкость (при температуре)	$\nu, \text{см}^2/\text{с}$	Газ (при температуре)	$\nu, \text{см}^2/\text{с}$
Вода (4 °С)	0,0156	Воздух (20 °С)	0,157
- « - (20 °С)	0,0101	- « - (40 °С)	0,176
- « - (60 °С)	0,0045	- « - (100 °С)	0,238
- « - (80 °С)	0,0035	- « - (500 °С)	0,793
Спирт этиловый (20 °С)	0,0151	- « - (1000 °С)	1,780
Мазут (20 °С)	0,2-0,5	Дымовые газы	0,10-0,15

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

Эквивалентная абсолютная шероховатость стенок трубы k_s

Трубы	Состояние трубы	k_s , мм
Тянутые из стекла и цветных металлов	Новые технические гладкие	0,0005-0,002
Бесшовные стальные	Новые и чистые	0,01-0,02
	После нескольких лет эксплуатации	0,15-0,3
Сварные стальные	Новые и чистые	0,03-0,1
	Умеренно заржавевшие	0,3-0,7
	Сильно заржавевшие	2,0-4,0
Чугунные	Бывшие в употреблении	0,5-1,5
Деревянные	Тщательно оструганные	0,1-0,3
	Необструганные	1,0-2,5
Бетонные	Гладкий бетон	0,01-0,05
	Необработанный бетон	1,0-3,0

ПРИЛОЖЕНИЕ 10

Коэффициент шероховатости

<i>Безнапорные трубы и тоннели:</i>	
Стекланные и латунные трубы	0,010
Стальные сварные трубы	0,012
Чугунные трубы	0,015
Деревянная клепка	0,012
Чистая цементная поверхность	0,011
Бетонная поверхность средней чистоты	0,013
Бутовая кладка	0,025
<i>Открытые русла (каналы):</i>	
В скальном грунте без растительности	0,018
С небольшой растительностью на берегах	0,05
С густым кустарником по берегам	0,100

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель и задачи курсового проекта	4
2. Порядок выдачи курсового проекта.....	4
3. Содержание курсового проекта.....	4
4. Оформление курсового проекта.....	6
5. Методические указания.....	8
5.1. Введение	8
5.2. Теоретическая часть	8
5.3 Модель рабочего места для калибровки	11
Примерная тематика курсовых проектов	13
Рекомендуемый библиографический список	13
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	14
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	15
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	16
ПРИЛОЖЕНИЕ 5	18
ПРИЛОЖЕНИЕ 6	19
ПРИЛОЖЕНИЕ 7	19
ПРИЛОЖЕНИЕ 8	19
ПРИЛОЖЕНИЕ 9	20
ПРИЛОЖЕНИЕ 10	20

МЕТРОЛОГИЯ. ЧАСТЬ 2
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

*Методические указания по курсовому проектированию
для студентов бакалавриата направления 27.03.01*

Сост.: *Т.А. Стрижова, Г.А. Юсупов*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
метрологии и управления качеством

Ответственный за выпуск *Т.А. Стрижова*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 28.06.2019. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 1,2. Усл.кр.-отт. 1,2. Уч.-изд.л. 1,0. Тираж 50 экз. Заказ 639. С 237.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2