

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»

*Г.А. Клундук*

# **МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ**

*Рекомендовано учебно-методическим советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Красноярский государственный аграрный университет» для внутривузовского использования в качестве учебного пособия для студентов по направлению подготовки 35.03.06 «Агроинженерия»*

*Электронное издание*

Красноярск 2019

ББК 30.10я73

К 51

*Рецензенты:*

*В.П. Довгун*, д-р техн. наук, проф. каф. СААУП ИКИТ СФУ

*С.В. Покровский*, главный метролог филиала  
ПАО ФСК ЕЭС МЭС Сибири

*Клундук, Г.А.*

К 51 **Метрология, стандартизация и сертификация** [Электронный ресурс]: учеб. пособие / *Г.А. Клундук*; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2019. – 121 с.

Представлены лабораторные и курсовая работы по теме курса, список рекомендованной литературы. Пособие окажет помощь в изучении дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация», а также при выполнении лабораторных и курсовой работ (включены задания и методические указания) по данной дисциплине.

Предназначено для студентов всех форм обучения направления подготовки 35.03.06 «Агроинженерия», направленность «Электрооборудование и электротехнологии в АПК».

ББК 30.10я73

© Клундук Г.А., 2019

© ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», 2019

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ .....	8
Лабораторная работа № 1. Обработка и представление результатов однократных измерений при наличии систематической погрешности .....	9
1.1. Цель работы .....	9
1.2. Сведения, необходимые для выполнения работы .....	9
1.3. Описание лабораторного стенда .....	13
1.4. Рабочее задание .....	15
1.5. Оформление отчета .....	18
Контрольные вопросы .....	19
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 .....	20
Лабораторная работа № 2. Определение погрешности электронного вольтметра методом сличения .....	25
2.1. Цель работы .....	25
2.2. Общие сведения об организации и проведении поверки средств измерений .....	25
2.3. Сведения, необходимые для выполнения работы .....	30
2.4. Описание лабораторного стенда .....	31
2.5. Рабочее задание .....	32
2.6. Оформление отчета .....	35
Контрольные вопросы .....	36
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 .....	37
Лабораторная работа № 3. Прямые и косвенные однократные измерения .....	40
3.1. Цель работы .....	40
3.2. Сведения, необходимые для выполнения работы .....	40
3.3. Описание лабораторного стенда .....	42
3.4. Рабочее задание .....	44
3.5. Оформление отчета .....	46
Контрольные вопросы .....	48
ПРИЛОЖЕНИЕ 3 .....	49
Лабораторная работа № 4. Определение погрешности цифрового вольтметра методом прямых измерений .....	50
4.1. Цель работы .....	50
4.2. Задание для домашней подготовки .....	50
4.3. Сведения, необходимые для выполнения работы .....	50

4.4. Описание лабораторного стенда .....	50
4.5. Рабочее задание .....	52
4.6. Оформление отчета .....	54
Контрольные вопросы .....	55
ПРИЛОЖЕНИЕ 4 .....	56
Лабораторная работа № 5. Измерение переменного электрического напряжения .....	58
5.1. Цель работы .....	58
5.2. Задание для домашней подготовки .....	58
5.3. Сведения, необходимые для выполнения работы .....	58
5.4. Описание лабораторного стенда .....	61
5.5. Рабочее задание .....	63
5.6. Оформление отчета .....	65
Контрольные вопросы .....	67
ПРИЛОЖЕНИЕ 5 .....	69
Лабораторная работа № 6. Изучение Федерального закона «О техническом регулировании» .....	77
6.1. Цель работы .....	77
6.2. Справочный материал .....	77
6.3. Рабочие задания .....	78
Контрольные вопросы .....	81
Лабораторная работа № 7. Классификация, построение и содержание стандартов .....	82
7.1. Цель работы .....	82
7.2. Справочный материал .....	82
7.3. Рабочие задания .....	83
Контрольные вопросы .....	84
Лабораторная работа № 8. Изучение порядка проведения сертификации продукции и правил заполнения сертификата соответствия .....	85
8.1. Цель работы .....	85
8.2. Справочный материал .....	85
8.3. Рабочие задания .....	88
Контрольные вопросы .....	90
2. КУРСОВАЯ РАБОТА .....	91
Тема 1. Прямые измерения с многократными наблюдениями ...	92
1.1. Краткие теоретические сведения .....	92
1.1.1. Точность методов и результатов измерений .....	92
1.1.2. Обработка результатов измерений .....	93

<i>1.1.3. Алгоритм обработки прямых многократные результатов измерения</i> .....	95
<i>1.2. Пример обработки результатов с многократными измерениями</i> .....	98
<i>Задание 1</i> .....	101
<i>Контрольные вопросы</i> .....	103
ПРИЛОЖЕНИЕ 6 .....	104
Тема 2. Измерение активной мощности в трехфазных сетях электрических сетях .....	106
<i>2.1. Краткие теоретические сведения</i> .....	106
<i>Задание 2</i> .....	107
<i>Задание 2.1. Измерение активной мощности в трехфазной цепи при соединении приемников по схеме треугольника</i> .....	107
<i>Задание 2.2. Измерение активной мощности в трехфазной четырехпроводной цепи</i> .....	108
<i>2.2. Примеры расчета</i> .....	110
<i>Пример расчета задания 2.1</i> .....	110
<i>Пример расчета задания 2.2</i> .....	114
<i>Контрольные вопросы</i> .....	118
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	119
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	120

## ВВЕДЕНИЕ

Метрология и стандартизация являются инструментами обеспечения качества и безопасности продукции, работ и услуг – важного аспекта многогранной деятельности. Качество и безопасность являются основными фактором реализации товара. Целью преподавания дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация» является изложение понятий, формирование у студентов знаний, умений и навыков в области стандартизации, метрологии и сертификации для обеспечения эффективности производственной и других видов деятельности.

Данное пособие предназначено для закрепления теоретических основ метрологии, методов измерений, порядка проведения измерений значений физических величин и правил обработки результатов измерений, нормативно-правовых основ метрологии, а также теоретических положений деятельности по стандартизации, принципов построения и правил пользования стандартами, комплексами стандартов и другой нормативной документацией.

В современном понимании **метрология** – *это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.*

*Предметом метрологии* является извлечение количественной информации о свойствах объектов и процессов с требуемой (заданной) точностью и достоверностью.

*Измерение* – нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств. В этом определении отражены три главных признака понятия «измерение»:

- 1) измерять можно свойства реально существующих объектов познания (физические величины);
- 2) измерение требует проведения опытов (теоретические рассуждения и расчет не могут заменить эксперимента);
- 3) для проведения опыта требуются *специальные технические средства – средства измерений.*

Таким образом, измерение – информационный процесс, результатом которого является получение *измерительной информации* (количественной информации об измеряемых физических величинах).

Одной из основных задач изучения метрологических дисциплин в вузе является освоение методов получения достоверной измерительной информации и правильного ее использования, а также при-

обретение практических навыков обработки данных при выполнении различных видов измерений.

Практически нет ни одной сферы деятельности, где бы интенсивно не использовались результаты измерений, испытаний и контроля.

На современном этапе развития мирового сообщества значительно возросла роль стандартизации. Стандартизация изучает вопросы разработки и применения таких правил и норм, которые отражают действие общественных технико-экономических законов, играют большую роль в развитии промышленного производства. Стандартизация имеет непосредственное отношение к совершенствованию управления производством, повышению качества всех видов товаров и услуг.

Большое значение для регулирования механизмов рыночной экономики приобрела сертификация. Сертификация рассматривается как официальное подтверждение соответствия стандартам и во многом определяет конкурентоспособность продукции.

Целью изучения данной дисциплины является формирование у студентов знаний, умений и навыков в указанных областях знаний, что подтверждается выполнением курсовой работы.

# 1. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

## *Общие методические рекомендации и указания по выполнению лабораторных работ и технике безопасности*

Прежде чем приступить к выполнению предлагаемых работ, студенту необходимо предварительно изучить теоретические вопросы по темам занятий и методику выполнения измерений по темам лабораторных работ, а также подготовить необходимые таблицы для внесения результатов измерения и обработки полученных данных.

Студент допускается к выполнению работ после предварительного опроса по их содержанию и порядку выполнения.

*После того как измерения проведены, их результаты необходимо показать преподавателю. Если данные удовлетворительны, лабораторную работу закрывают и при необходимости выключают компьютер.*

*Общие рекомендации по оформлению отчета* одинаковы для всех работ. Отчет должен содержать:

- 1) сведения о цели и порядке выполнения работы;
- 2) сведения об использованных методах измерений;
- 3) сведения о характеристиках использованных средств измерений;
- 4) схемы включения приборов при выполнении измерений и необходимые электрические схемы;
- 5) данные, на основании которых выбирались средства измерений для выполнения каждого из пунктов задания;
- 6) экспериментальные данные;
- 7) полностью заполненные таблицы по рекомендованной форме, а также примеры расчетов, выполнявшихся при заполнении таблиц;
- 8) анализ полученных данных и вывод об особенностях и качестве проведенных измерений и результатах проделанной работы.

В разделе 5 могут содержаться также дополнительные требования к оформлению и содержанию отчета, характерные для каждой конкретной работы.

В работах кроме общего задания предусмотрено выполнение индивидуальных заданий по указанию преподавателя.

Преподаватель в конце занятия должен проверить правильность выполнения работы и поставить свою подпись, подтверждающую выполнение студентом данной работы. Проверку полученных знаний и умений необходимо проводить по каждой работе.



*Защита лабораторных работ проводится индивидуально в виде собеседования при наличии отчета, оформленного в соответствии с требованиями. При защите необходимо показать достаточные теоретические знания по данному вопросу, умение объяснить построенные графики и диаграммы, а также сделать обоснованный и технически грамотный вывод по работе.*

## ***Лабораторная работа № 1. Обработка и представление результатов однократных измерений при наличии систематической погрешности***

### ***1.1. Цель работы***

Получение навыков обнаружения и устранения влияния систематических погрешностей на результаты прямых однократных измерений.

### ***1.2. Сведения, необходимые для выполнения работы***

Перед выполнением работы необходимо изучить следующие вопросы:

- Классификация и характеристики систематических погрешностей измерений.
- Результат измерений, погрешность результата измерений.
- Поправки и их практическое использование.
- Способы получения и представления результатов измерений при наличии систематической погрешности.
- Принцип действия, устройство и характеристики средств измерений, используемых при выполнении настоящей работы.

Подавляющее большинство измерений являются однократными. Систематические погрешности могут существенно исказить результаты таких измерений. Поэтому обнаружению и устранению источников систематических погрешностей придается большое значение.

Систематические погрешности являются величинами детерминированными, поэтому в принципе всегда могут быть вычислены и учтены. Для исправления результатов измерений, содержащих систематическую погрешность, эти результаты складывают с поправками, равными систематическим погрешностям по величине и противоположными им по знаку. Поправки могут быть определены как экспе-

риментально, так и теоретически. Поправки, определяемые экспериментально, задаются в виде таблиц или графиков, теоретически – в виде формул. Результат измерений, полученный после внесения поправки, называется исправленным результатом измерений.

На практике часто приходится сталкиваться с необходимостью учета систематической погрешности, возникающей из-за несовершенства принятого метода измерений. Эта погрешность известна как методическая. Для учета влияния методических погрешностей на результаты измерений обычно применяются математические зависимости, используемые для описания явления, положенного в основу измерения. В такой ситуации оценки погрешностей формул и физических констант, как правило, известны.

В процессе выполнения настоящей работы измеряется ЭДС источника постоянного напряжения, обладающего переменным внутренним сопротивлением. Значение измеряемой ЭДС лежит в диапазоне от 10 до 30 В. Для таких измерений можно использовать электромеханические и электронные аналоговые вольтметры, цифровые вольтметры и компенсаторы (потенциометры) постоянного тока.

Электромеханические вольтметры и простые цифровые вольтметры выбираются для работы, если требования к точности измерений сравнительно невысоки, а значение измеряемого напряжения лежит в диапазоне от десятков милливольт до сотен вольт. Измерения в этом случае выполняются методом непосредственной оценки. На практике очень удобно использовать простые и дешевые аналоговые вольтметры, например магнитоэлектрической системы. В отличие от электронных вольтметров они не требуют дополнительного источника питания и более просты в эксплуатации, а по сравнению с электромеханическими вольтметрами других систем имеют лучшие характеристики.

Магнитоэлектрические вольтметры имеют линейную шкалу, характеризуются весьма высокой точностью и чувствительностью, малым собственным потреблением энергии. На показания магнитоэлектрических вольтметров мало влияют колебания температуры окружающей среды и изменения напряженности внешнего электромагнитного поля. Входное сопротивление магнитоэлектрических вольтметров постоянного тока относительно невелико и колеблется в диапазоне от 10 до 100 кОм, по этому показателю они уступают как электронным аналоговым, так и цифровым вольтметрам.

Упрощенная электрическая схема магнитоэлектрического вольтметра приведена на рисунке 1.1.1. В состав схемы входят измерительный механизм (ИМ), обладающий собственным омическим сопротивлением  $R_{\text{ИМ}}$ , и добавочное сопротивление  $R_{\text{Д}}$ . Показания вольтметра отсчитываются по отклонению стрелки ИМ относительно неподвижной шкалы. Угол этого отклонения  $\alpha$  определяется в соответствии с уравнением преобразования механизма и равен следующему:

$$\alpha = S \cdot I,$$

где  $S$  – чувствительность ИМ;

$I$  – значение тока, протекающего через него.

Соответственно для вольтметра получаем

$$\alpha = \frac{S \cdot U}{R_{\text{ВХ}}} = \frac{S \cdot U}{R_{\text{ИМ}} + R_{\text{Д}}}. \quad (1.1.1)$$

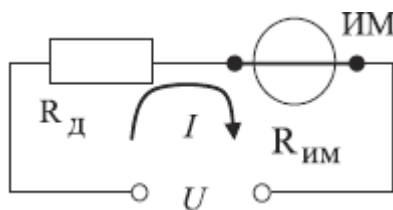


Рисунок 1.1.1 – Упрощенная схема магнитоэлектрического вольтметра

Отметим, что ток, протекающий через ИМ, не должен превышать некоторой номинальной величины, которая называется током полного отклонения. Значение этого тока для магнитоэлектрических ИМ лежит обычно в диапазоне от 1 мкА до 50 мА.

При использовании магнитоэлектрического вольтметра погрешность измерений в нормальных условиях определяется главным образом инструментальной погрешностью вольтметра и методической погрешностью измерений. Инструментальная погрешность определяется классом точности средства измерений, который составляет для магнитоэлектрических вольтметров от 0,2 до 2,5. Методическая погрешность зависит от соотношения между входным сопротивлением вольтметра и внутренним сопротивлением источника измеряемой ЭДС. Как указывалось, входное сопротивление магнитоэлектрического вольтметра сравнительно невелико, поэтому методическая состав-

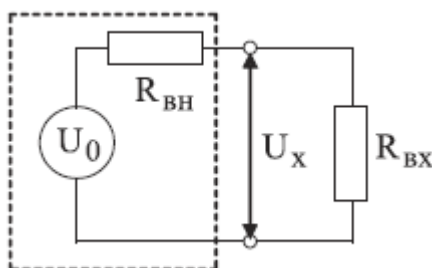
ляющая погрешности может вносить определяющий вклад в результирующую погрешность измерений.

Для определения методической составляющей погрешности представим источник измеряемого напряжения в виде активного двухполюсника (рис. 1.1.2), к которому подключен вольтметр, имеющий входное сопротивление:

$$R_{\text{вх}} = R_{\text{им}} + R_{\text{д}}.$$

Пусть активный двухполюсник имеет ЭДС –  $U_0$  и внутреннее сопротивление –  $R_{\text{вн}}$ , тогда напряжение  $U_x$  на зажимах вольтметра можно вычислить по формуле

$$U_x = \frac{U_0 \cdot R_{\text{вх}}}{R_{\text{вн}} + R_{\text{вх}}}. \quad (1.1.2)$$



*Рисунок 1.1.2 – Схема для определения методической погрешности измерения постоянного напряжения*

Отсюда находим, что значение абсолютной методической погрешности  $\Delta U$  равно следующему:

$$\Delta U = U_x - U_0 = -\frac{U_0 \cdot R_{\text{вн}}}{R_{\text{вн}} + R_{\text{вх}}}. \quad (1.1.3)$$

Кроме того, для модуля значения относительной методической погрешности  $\delta U$  имеем

$$\delta U = \left| \frac{\Delta U}{U_0} \right| = \frac{R_{\text{вн}}}{R_{\text{вн}} + R_{\text{вх}}}. \quad (1.1.4)$$

Как правило,  $R_{\text{вн}} \ll R_{\text{вх}}$ , поэтому можно принять, что модуль относительной методической погрешности приблизительно равен следующему:

$$\delta U \approx \frac{R_{\text{ВН}}}{R_{\text{ВХ}}}. \quad (1.1.5)$$

В рассматриваемом случае методическая погрешность проявляется как систематическая, поэтому она может быть исключена внесением поправки

$$q = -\Delta U,$$

прибавленной к показанию вольтметра.

Даже после внесения поправки всегда остается неисключенный остаток методической погрешности, в нашем случае такой остаток может возникнуть из-за отличия истинных значений сопротивлений от тех, которые использованы при расчетах. Кроме того, в качестве составляющих неисключенной систематической погрешности могут выступать систематические погрешности средства измерений и систематические погрешности, вызванные другими источниками. При определении границ неисключенной систематической погрешности результата измерений все такие составляющие рассматриваются как случайные величины и строится их композиция. Мы не будем здесь рассматривать правила построения такой композиции и остановимся только на важном частном случае.

Пусть значение допустимого предела основной абсолютной инструментальной погрешности, определяемой классом точности средства измерений, равно  $\Delta_{\text{пр}}$ , а значение неисключенного остатка абсолютной методической составляющей погрешности равно  $\Delta_{\text{м}}$ , тогда границы абсолютной погрешности результата измерений  $\Delta_{\text{изм}}$  можно с приемлемой точностью вычислить по формуле

$$\Delta_{\text{изм}} = \sqrt{\Delta_{\text{м}}^2 + \Delta_{\text{пр}}^2}. \quad (1.1.6)$$

### ***1.3. Описание лабораторного стенда***

Лабораторный стенд представляет собой Lab VIEW компьютерную модель, располагающуюся на рабочем столе персонального компьютера. На стенде находятся модели магнитоэлектрического вольт-амперметра (приложение 1), электронного цифрового вольтметра, магазина сопротивлений, универсального источника питания (УИП) и коммутационного устройства (КУ) (рис. 1.1.3).

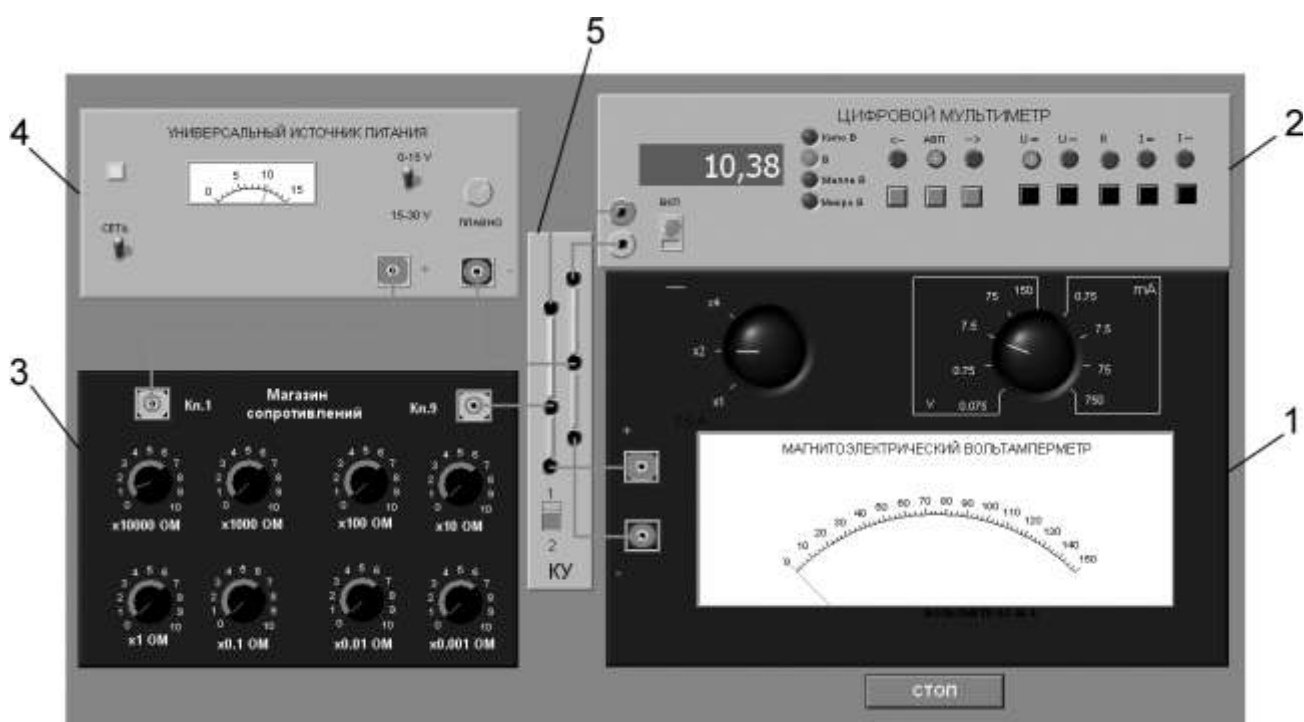
При выполнении работы модели средств измерений и вспомогательных устройств служат для решения описанных ниже задач.

Модель магнитоэлектрического вольтамперметра используется при моделировании процесса прямых измерений постоянного напряжения методом непосредственной оценки.

Модель электронного цифрового мультиметра используется в процессе работы как цифровой вольтметр при моделировании процесса прямых измерений постоянного напряжения методом непосредственной оценки.

Модель магазина сопротивлений используется при моделировании работы многозначной меры электрического сопротивления.

Модель УИП используется при моделировании работы регулируемого источника стабилизированного постоянного напряжения.



*Рисунок 1.1.3 – Модель лабораторного стенда на рабочем столе компьютера при выполнении лабораторной работы: 1 – магнитоэлектрический вольтамперметр; 2 – электронный цифровой мультиметр; 3 – магазин сопротивлений; 4 – универсальный источник питания; 5 – коммутационное устройство*

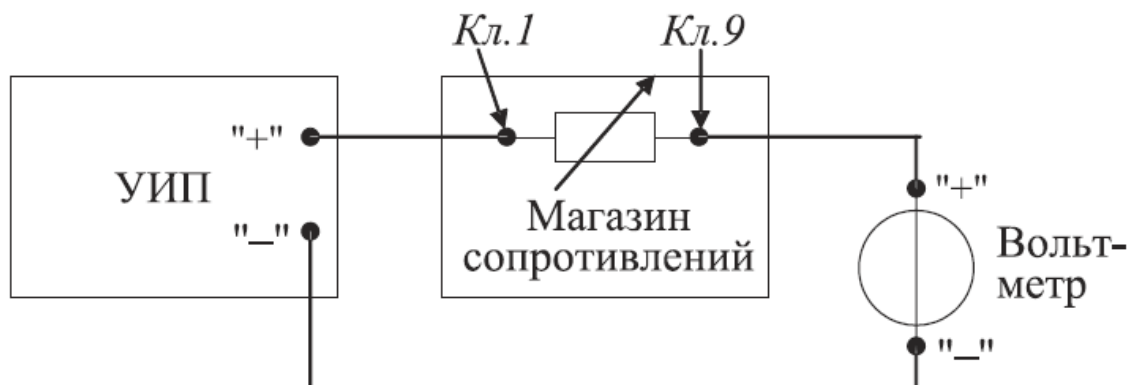
При выполнении работы модель магазина сопротивлений и модель УИП используются совместно, таким образом, моделируется источник постоянного напряжения, обладающий переменным внутренним сопротивлением. Для этого модель магазина сопротивлений под-

ключается последовательно с выходом модели УИП (см. рис. 1.1.3). В результате создается источник напряжения с выходами «Кл. 9» магазина сопротивлений и «-» УИП, напряжение на выходе которого измеряется одним из вольтметров. Внутреннее сопротивление полученного источника напряжения равно сумме установленного сопротивления магазина и внутреннего сопротивления УИП, которое не превышает 0,3 Ом.

Модель КУ используется при моделировании подключения входа вольтметров к выходу источника измеряемого напряжения. Подключение моделей вольтметров к модели источника производится путем установки переключателя КУ либо к магнитоэлектрическому милливольтметру, либо к электронному цифровому мультиметру.

#### *1.4. Рабочее задание*

1. Запустите программу лабораторного практикума и выберите лабораторную работу № 1 в группе работ «Обработка и представление результатов измерений». На рабочем столе компьютера автоматически появятся модель лабораторного стенда с моделями средств измерений и вспомогательных устройств (рис. 1.1.4) и окно созданного в среде MS Excel лабораторного журнала, который служит для формирования отчета по результатам выполнения лабораторной работы.



*Рисунок 1.1.4 – Схема соединения приборов при выполнении работы*

2. Ознакомьтесь с расположением моделей отдельных средств измерений и вспомогательных устройств на лабораторном стенде. Включите модели и опробуйте их органы управления. Плавно изменяя напряжение на выходе УИП и подключая к нему поочередно с помощью КУ вольтметры, проследите за изменениями их показаний. Поменяйте пределы измерений вольтметров и снова проследите за

изменениями их показаний по мере изменения напряжения на выходе УИП. После того как вы убедитесь в работоспособности приборов, выключите модели.

3. Подготовьте к работе модель магнитоэлектрического вольтметра:

- установите переключатель пределов и рода работ магнитоэлектрического вольтметра в положение «7,5 В»;
- установите переключатель множителя пределов измерения магнитоэлектрического вольтметра в положение «× 2».

4. Подготовьте к работе модель электронного цифрового мультиметра:

- включите тумблер «СЕТЬ»;
- с помощью переключателя U, расположенного на передней панели мультиметра, выберите род работы модели, соответствующий измерению постоянного напряжения, при этом на передней панели загорится соответствующий красный индикатор;
- с помощью переключателя АВП, расположенного на передней панели мультиметра, установите автоматический выбор пределов измерения, при этом на передней панели загорится соответствующий красный индикатор.

5. Подготовьте к работе модель УИП:

- тумблер переключения поддиапазонов УИП установите в положение «0–15 В»;
- включите тумблер «СЕТЬ».

6. Приступите к выполнению заданий лабораторной работы.

***Задание 1. Измерение электрического напряжения на выходе источника с регулируемым внутренним сопротивлением***

а) Подключите магнитоэлектрический вольтметр к выходу источника постоянного напряжения (переключатель коммутационного устройства должен быть установлен в положение (2) согласно схеме соединений (см. рис. 1.1.3, 1.1.4).

б) Установите предел измерения магнитоэлектрического вольтметра равным 15 В и, ориентируясь на индикатор, установите на выходе УИП напряжение, значение которого несколько меньше выбранного предела измерений.

в) Рассчитайте на выбранном пределе измерений входное сопротивление вольтметра (входное сопротивление определяется по току полного отклонения в соответствующем диапазоне измерений) и запишите в отчет.



г) Установите последовательно значение сопротивления магазина равным 0; 3; 30; 300; 3000 Ом и 30 кОм. При каждом значении установленного сопротивления снимите показания магнитоэлектрического вольтметра, результаты запишите в отчет.

д) Подключите цифровой мультиметр (в режиме вольтметра) к выходу источника постоянного напряжения (переключатель коммутационного устройства должен быть установлен в положение согласно схеме соединений (см. рис. 1.1.4)). Напряжение на выходе УИП при этом должно остаться таким же, как при выполнении задания по п. «б».

е) Устанавливая последовательно те же значения сопротивления магазина, что и в п. «г», снимите показания цифрового вольтметра. Результаты запишите в отчет.

ж) Установите предел измерения магнитоэлектрического вольтметра равным 30 В и, ориентируясь на индикатор, установите на выходе УИП напряжение, значение которого несколько меньше выбранного предела измерений.

з) Для вновь установленного значения выходного напряжения УИП выполните задание, сформулированное в пп. «в»–«е».

***Задание 2. Исследование влияния соотношения между внутренним сопротивлением источника напряжения  $R_{вн}$  и входным сопротивлением вольтметра  $R_{вх}$  на результаты измерения электрического напряжения***

Используя сведения о классе точности магнитоэлектрического вольтметра и цифрового мультиметра, формулы (1.1.4)–(1.1.6) и полученные экспериментальные данные, определите:

- абсолютную и относительную инструментальную погрешность измерения напряжения на выходе источника с переменным внутренним сопротивлением;
- абсолютную и относительную методическую погрешность измерения напряжения на выходе источника с переменным внутренним сопротивлением;
- поправки к показаниям магнитоэлектрического вольтметра;
- неисправленные и исправленные результаты измерений, полученные с помощью магнитоэлектрического вольтметра;
- предельное значение неисключенной методической погрешности, если ошибка в оценке внутреннего сопротивления источника составляет 1 %;

- абсолютную и относительную результирующую погрешность измерения напряжения на выходе источника с переменным внутренним сопротивлением;
- полученные данные запишите в отчет;
- сравните результаты измерений, полученные с помощью разных вольтметров, и объясните их. Результаты запишите в отчет;
- постройте, пользуясь средствами MS Excel, график зависимости методической погрешности измерений от отношения выходного сопротивления источника напряжения к входному сопротивлению вольтметра. По экспериментальным данным и расчетным путем определите, при каком значении внутреннего сопротивления источника напряжения методическая составляющая погрешности измерений не превышает ее инструментальной составляющей и когда методической погрешностью измерений можно пренебречь.

7. Сохраните результаты.

8. После сохранения результатов закройте приложение LabVIEW и при необходимости выключите компьютер.

### ***1.5. Оформление отчета***

Отчет должен быть оформлен в соответствии с требованиями, приведенными во введении, а также включать графики зависимости методической погрешности измерений от отношения выходного сопротивления источника напряжения к входному сопротивлению вольтметра. Рекомендованные формы таблиц для записи результатов приведены ниже.

Таблица 1.1.1 – Измерение постоянного напряжения магнитоэлектрическим вольтметром в диапазоне до 15 (30) В

Вольтметр: класс точности \_\_\_\_, используемый диапазон измерения \_\_\_\_\_;

Магазин сопротивлений: класс точности \_\_\_\_\_

Установленное сопротивление магазина, Ом	Показания вольтметра, В	Абсолютная погрешность, мВ		Поправка, мВ	Исправленные показания, В	Результат измерения, В
		метод.	инстр.			
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
0						
3						
30						
300						
3000						
30000						

Таблица 1.1.2 – Измерение постоянного напряжения цифровым вольтметром в диапазоне до 15 (30) В

Вольтметр: класс точности \_\_\_\_, используемый диапазон измерения \_\_\_\_

Магазин сопротивлений: класс точности \_\_\_\_

Сопротивление магазина, Ом	Показания вольтметра, В	Абсолютная погрешность, В	Относительная погрешность, %	Результат из- мерения, В
1	2	3	4	5
0				
3				
30				
300				
3000				
30000				

### ***Контрольные вопросы***

1. Что такое систематическая погрешность измерений? Дайте классификацию систематических погрешностей.

2. Что такое методическая погрешность измерений? Всегда ли она оказывает влияние на результаты измерений? Когда ее влиянием можно пренебречь?

3. Что такое инструментальная погрешность измерений? Всегда ли она оказывает влияние на результаты измерений? Когда ее влиянием можно пренебречь?

4. Как оценить методическую составляющую погрешности?

5. Что такое поправка к показаниям прибора? Как ее вычислить, как и когда она вносится?

6. Как оценить инструментальную составляющую погрешности?

7. Можно ли устранить инструментальную погрешность, вычисленную по классу точности прибора, введением поправки?

8. В каком случае инструментальная погрешность может быть исключена введением поправки?

9. Как вычислить погрешность измерений, если на результаты одновременно влияют инструментальная и методическая составляющие погрешности?

10. Что следует сделать для того, чтобы влияние методической погрешности на результат измерения было минимальным?

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### Сведения о LabVIEW моделях средств измерений и вспомогательных устройств

Ниже приводятся сведения о моделях средств измерений и вспомогательных устройств. При работе с моделями род работы и пределы измерения выбираются с помощью переключателей, расположенных на лицевой панели, при этом манипуляция органами управления производится с помощью мыши в таком же порядке, как это происходит при работе с реальными приборами и устройствами. Следует принять во внимание, что при выполнении конкретной работы могут использоваться не все функциональные возможности модели, а только те, которые требуются для выполнения рабочего задания.

#### 1. Магнитоэлектрический вольтамперметр

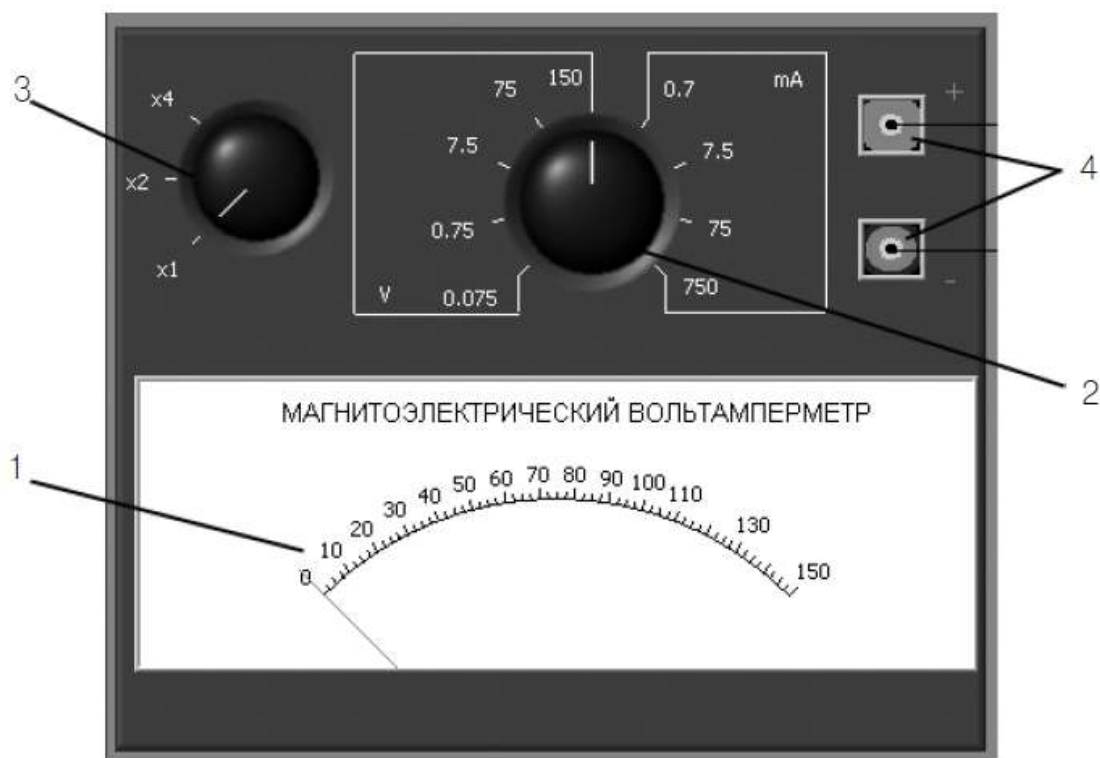
Модель магнитоэлектрического вольтамперметра служит для измерения постоянного напряжения и силы постоянного тока.

Ниже приведены некоторые характеристики модели:

- в режиме измерения постоянного напряжения пределы измерения могут выбираться в диапазоне от 0,075 до 600 В;
- в режиме измерения постоянного тока пределы измерения могут выбираться в диапазоне от 0,075 мА до 3 А;
- класс точности нормирован для приведенной погрешности и равен 0,5;
- входное сопротивление в режиме измерения напряжения равно 30 кОм;
- внутреннее сопротивление в режиме измерения тока составляет 0,1 Ом.

На лицевой панели модели расположены (рис. П.1.1):

- шкала (1) отсчетного устройства со стрелочным указателем;
- ручка (2) переключателя пределов измерения и выбора рода работ (ток или напряжение);
- ручка (3) переключателя множителя пределов измерения;
- клеммы (4) для подключения к электрической цепи.



*Рисунок П.1.1 – Внешний вид модели магнитоэлектрического вольтамперметра*

## 2. Электронный цифровой мультиметр

Модель электронного цифрового мультиметра служит для измерения постоянного тока и напряжения, измерения среднеквадратических значений тока и напряжения в цепях переменного тока синусоидальной формы, измерения сопротивления постоянному току.

Ниже приведены некоторые характеристики модели:

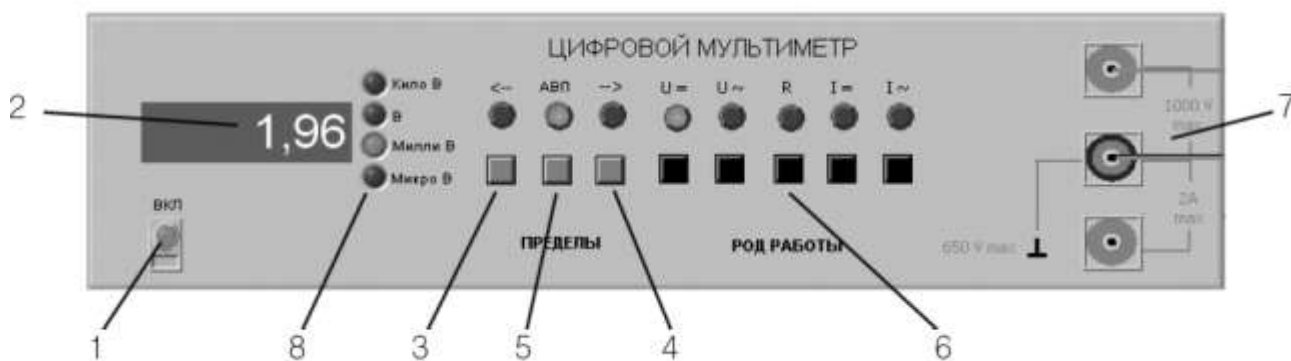
- в режиме измерения постоянного и переменного напряжения пределы измерения могут выбираться в диапазоне от 1,0 мВ до 300 В;
- при измерении напряжения могут быть установлены следующие поддиапазоны: от 0,0 до 199,9 мВ; от 0,000 до 1,999 В; от 0,00 до 19,99 В; от 0,0 до 199,9 В; от 0 до 1999 В.
- диапазон рабочих частот от 20 Гц до 100 кГц;
- пределы допускаемых значений основной относительной погрешности при измерении напряжения равны следующему:

$$\delta = \pm \left[ 0,1 + 0,2 \left( \frac{U_{\kappa}}{U} - 1 \right) \right]$$
 – при измерении постоянного напряжения (в процентах),

где  $U_{\kappa}$  – конечное значение установленного предела измерений;  
 $U$  – значение измеряемого сопротивления.

На лицевой панели модели расположены (рис. П.1.2):

- тумблер (1) «ВКЛ» включения питания со световым индикатором;
- четырехразрядный индикатор (2) цифрового отсчетного устройства;
- кнопка (3) «<←» со световым индикатором для выбора меньшего рабочего предела;
- кнопка (4) «<→» со световым индикатором для выбора большего рабочего предела;
- кнопка (5) автоматического выбора предела работы «АВП» со световым индикатором;
- группа кнопок (6) выбора рода работы (при измерении постоянного напряжения должна быть нажата кнопка «U=») со световыми индикаторами;
- электрические разъемы (7) для подключения к электрической цепи;
- световые индикаторы (8) значения измеряемого напряжения «кило В», «В», «милли В», «микро В».



*Рисунок П.1.2 – Внешний вид модели электронного цифрового мультиметра*

### **3. Универсальный источник питания**

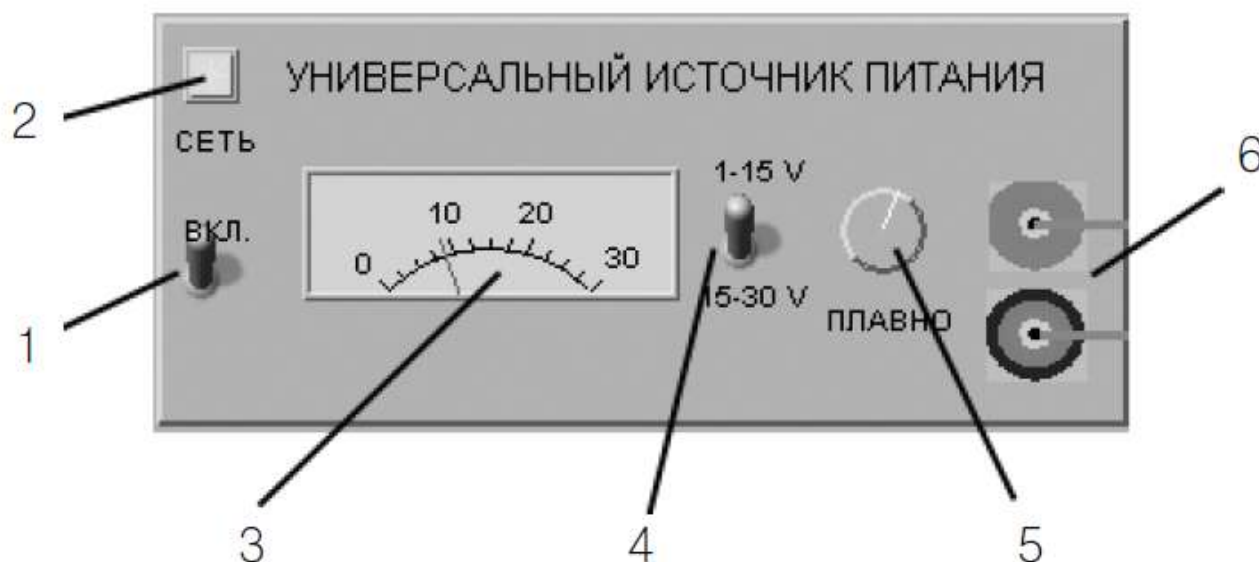
Модель УИП служит для формирования стабилизированного постоянного электрического напряжения с регулируемой амплитудой.

Некоторые характеристики модели:

- диапазон регулировки выходного напряжения от 0 до 30 В с двумя поддиапазонами, первый – от 0 до 15 В и второй – от 15 до 30 В;
- максимальная величина выходного тока до 2 А;
- внутреннее сопротивление не более 0,3 Ом.

На лицевой панели модели расположены (рис. П.1.3):

- тумблер (1) «ВКЛ.» включения питания;
- световой индикатор (2) включения «СЕТЬ»;
- стрелочный индикатор (3) выходного напряжения;
- тумблер (4) переключения поддиапазонов выходного напряжения;
- ручка (5) плавной регулировки амплитуды выходного напряжения;
- клеммы (6) для подключения к электрической цепи.



*Рисунок П.1.3 – Внешний вид модели универсального источника питания*

#### **4. Магазин сопротивлений**

Некоторые характеристики модели:

- сопротивление магазина устанавливается с помощью расположенного на его передней панели восьмипозиционного переключателя;
- предел допускаемого отклонения действительного значения установленного сопротивления магазина от номинального значения в процентах определяется по формуле

$$\frac{\Delta R}{R} = \pm \left[ 0,02 + 0,000002 \left( \frac{R_k}{R} - 1 \right) \right],$$

где  $R$  – номинальное значение включенного сопротивления в омах,  $R_k = 111\,111,110$  Ом.

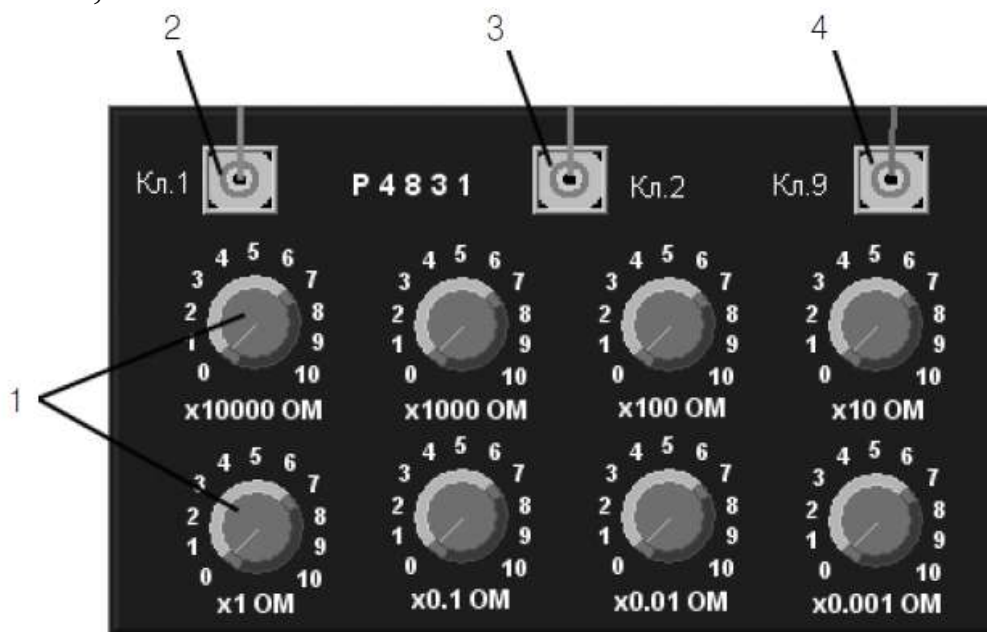


Рисунок П.1.4 – Внешний вид модели магазина сопротивлений

На лицевой панели модели магазина сопротивлений расположен восьмидекадный переключатель (1), с помощью которого устанавливается выбранное сопротивление. Кроме того, на передней панели имеются клеммы «Кл. 1» (2), «Кл. 2» (3), «Кл. 3» (4), позволяющие использовать магазин в различных электрических схемах, в частности в качестве делителя напряжения. Электрическая схема модели магазина сопротивлений приведена на рисунке П.1.5.

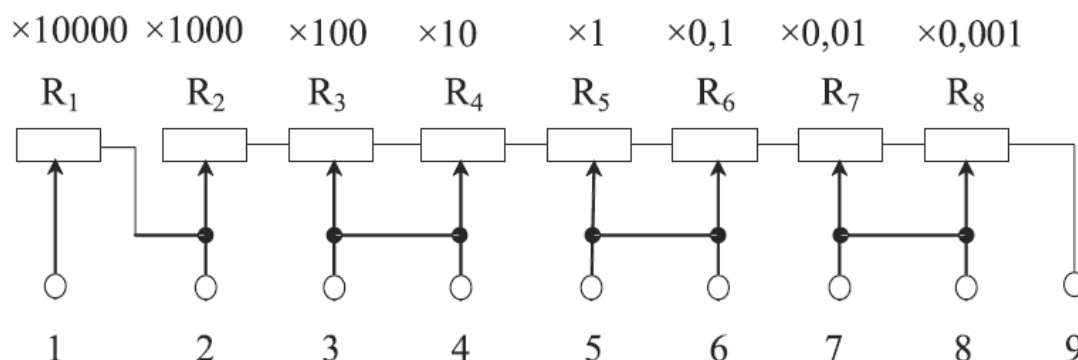


Рисунок П.1.5 – Электрическая схема магазина сопротивлений



## **Лабораторная работа № 2. Определение погрешности электронного вольтметра методом сличения**

### ***2.1. Цель работы***

Получение навыков проведения метрологических работ в процессе определения (контроля) погрешности электронного вольтметра методом сличения.

### ***2.2. Общие сведения об организации и проведении поверки средств измерений***

Использование в измерительной практике только пригодных к применению средств измерений является одним из важнейших условий обеспечения единства измерений. Основным инструментом, с помощью которого проверяется пригодность средств измерений к практическому применению, является поверка.

**Поверка** – способ признания средства измерений пригодным к применению на основании результатов контроля соответствия установленным требованиям его метрологических характеристик, определяемых экспериментально.

Из определения видно, что понятие поверки следует рассматривать с двух точек зрения, а именно: с метрологической и правовой. С метрологической точки зрения поверка заключается в определении метрологическим органом погрешностей средств измерений и установлении на этом основании их пригодности к применению. С правовой точки зрения поверка – это вид метрологического надзора (контроль) за средством измерений, которое ранее было признано пригодным к применению на законных основаниях. В дальнейшем мы будем интересоваться только метрологической стороной дела.

Средства измерений подвергаются первичной, периодической, внеочередной, инспекционной и экспертной поверкам. Порядок организации и проведения поверки средств измерений регламентируется целым рядом нормативных документов, в которых подробно рассматривается содержание операций, выполняемых для определения (контроля) погрешности поверяемого средства измерений.

Поверку средств измерений производят органы государственной метрологической службы, аттестованные в установленном порядке на право ее проведения.

Лица, которые непосредственно производят поверку, также подлежат аттестации в установленном порядке. Таким образом, в учебной лаборатории (за исключением случаев, когда она и ее работники соответствующим образом аттестованы) можно только посредством определенного метода (аналогичного тому, который используется при поверке) определить метрологические характеристики некоторого средства измерений, а саму поверку провести нельзя.

Поверка средств измерений производится в соответствии с методиками, которые утверждаются в установленном порядке.

При выборе методов и средств поверки всегда исходят из того, что они должны соответствовать методам и средствам, предусмотренным в соответствующих государственных поверочных схемах. Поверочная схема представляет собой исходный документ, устанавливающий метрологическое соподчинение эталонов, образцовых средств измерений и порядок передачи размера единицы образцовым и рабочим средствам измерений. Вопрос о конкретном содержании и построении поверочных схем решается в соответствии с ГОСТ 8.061-80 «Государственная система обеспечения единства измерений. Поверочные схемы. Содержание и построение».

Поверочные схемы состоят из текстовой части и чертежа. На чертежах поверочной схемы указываются: наименования средств измерений, диапазон значений физических величин, обозначение и оценка погрешностей, наименование методов поверки. Текстовая часть состоит из вводной части и пояснений к элементам поверочной схемы.

В верхнем поле чертежа поверочной схемы указывают наименование эталонов. Наименование первичного эталона заключают в прямоугольник, обведенный двойной линией. Ниже первичного эталона в определенном порядке помещают наименования нижестоящих по поверочной схеме средств измерений. Подполем образцовых средств измерений низшего для данной схемы разряда помещают поле рабочих средств измерений. Рабочие средства измерений группируются на поверочной схеме по диапазонам значений измеряемых величин, по точности и методам поверки, группы располагаются в порядке убывающей точности так, чтобы наименования наиболее точных средств измерений находились в левой части поля. Кроме наименований рабочих средств измерений, указывают диапазоны измерений и характеристики точности в виде класса точности, предела допускаемой погрешности или цены деления.

На рисунке 1.2.1 приведен пример компоновки элементов поверочной схемы.

Погрешность поверки указывают в виде погрешности передачи размера единицы от предыдущего высшего звена поверочной схемы данному образцовому средству измерений.

Поверка измерительных приборов осуществляется одним из двух методов:

- *методом измерения величин*, воспроизводимых образцовыми мерами соответствующего разряда или класса точности, значения которых выбирают равными оцифрованным отметкам шкалы прибора. Наибольшая разность между результатами измерения и соответствующими им размерами мер является в этом случае основной погрешностью прибора;

- *методом сличения* поверяемого и некоторого образцового прибора при измерении одной и той же величины, при этом разность их показаний определяет погрешность поверяемого прибора.

*Метод сличения* можно реализовать двумя способами:

- измеряемая величина изменяется в определенных, заранее оговоренных пределах, устанавливаемых по показаниям образцового прибора, а погрешность находится по показаниям поверяемого прибора. Этот метод особенно удобен при автоматизации поверочных работ, так как позволяет поверять одновременно несколько приборов с помощью одного образцового;

- измеряемая величина изменяется в определенных, заранее оговоренных пределах, устанавливаемых по показаниям поверяемого прибора, а погрешность находится по показаниям образцового прибора как отклонение от соответствующего деления шкалы или отсчета. Преимущество этого метода заключается в том, что с его помощью определить погрешность можно более точно, так как шкала образцового прибора имеет обычно большее число делений, а отсчетное устройство – меньшую цену деления единицы младшего разряда.

На поверочной схеме указывают в кругах (или – если наименование метода состоит из нескольких слов – в овале) конкретные методы поверки, применяемые в данной области измерений.

Круги располагают между наименованиями объектов поверки и образцовых средств измерений, применяемых для их поверки, причем, если эти круги находятся не в поле эталонов, их располагают в разрывах пунктирной линии, разделяющей соответствующие поля схемы.

Передачу размеров единиц от эталонов образцовым и рабочим средствам измерений изображают соединительными линиями, проходящими через круг, в котором указан метод поверки. Соединительные линии, как правило, не должны пересекаться.

Важным при поверке является вопрос о выборе соотношения между допускаемыми погрешностями образцового и поверяемого приборов. Как правило, рекомендуется принимать это соотношение равным 1 : 3. В общем случае оно может лежать в интервале от 1 : 2 до 1 : 10, необходимая точность образцовых средств, а иногда и их типы регламентируются нормативными документами на методы поверки.

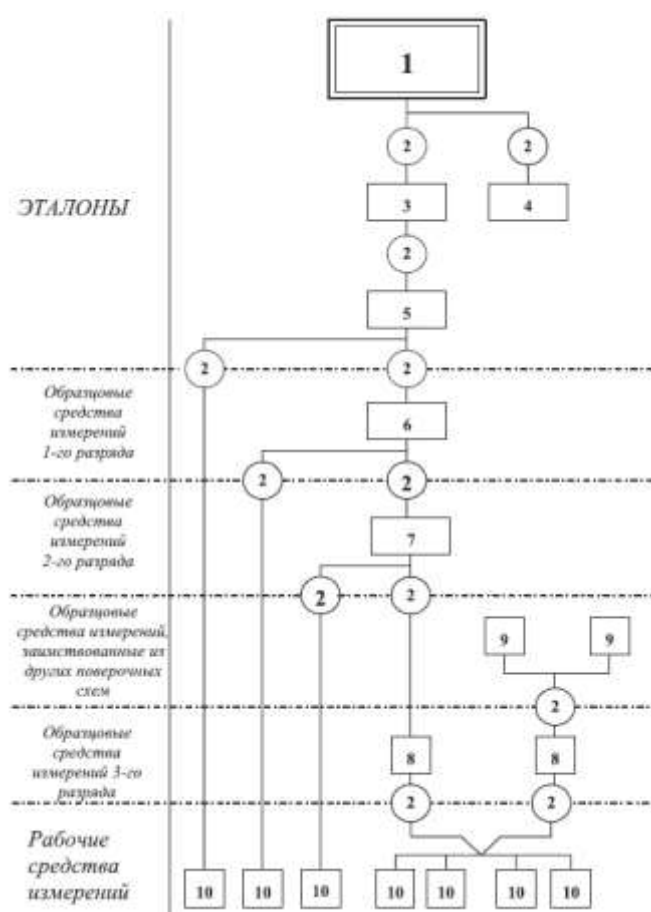


Рисунок 1.2.1 – Пример компоновки элементов поверочной схемы:  
 1 – государственный эталон; 2 – метод передачи размера единицы;  
 3 – эталон-копия; 4 – эталон-свидетель; 5 – рабочий эталон; 6–8 – образцовые средства измерений соответствующих разрядов; 9 – образцовые средства измерений, заимствованные из других поверочных схем; 10 – рабочие средства измерений

Собственно поверка состоит из нескольких этапов, среди которых:

- выбор операций и средств поверки;
- организация работ по поверке в соответствии с требованиями безопасности и охраны труда;
- проверка условий поверки и подготовка к ней;
- проведение поверки;
- обработка результатов поверки;
- оформление результатов поверки.

*При проведении поверки следует:*

- выполнить внешний осмотр, в процессе которого устанавливается соответствие требованиям по комплектности и внешнему виду поверяемого средства измерений;
- произвести опробование для проверки действия поверяемого средства измерений и/или действия и взаимодействия его отдельных частей и элементов;
- установить наиболее рациональные методы определения (контроля) метрологических характеристик;
- определить (проконтролировать) метрологические характеристики, подлежащие определению (контролю) при поверке.

В процессе поверки необходимо вести протокол записи результатов измерений. В протоколе должны содержаться:

- описание метода поверки;
- схемы подключения;
- чертежи, графики, таблицы с пояснением входящих в них обозначений, указания о предельно допускаемой погрешности отсчета;
- рекомендации по числу значащих цифр, фиксируемых в протоколе;
- рекомендации о пределах измерений и точках шкалы (показаниях отчетного устройства) поверяемого прибора, в которых необходимо установить (проконтролировать) погрешность средства измерений.

Обработка результатов измерений проводится в соответствии с рекомендациями, зафиксированными в нормативно-технической документации на поверку. Отчет о результатах поверки обязательно должен содержать заключение о пригодности средства измерений к применению, которое должно оформляться в виде свидетельства по установленной форме или содержать указания о запрещении применения средства измерений, если оно прошло поверку с отрицательными результатами.

### ***2.3. Сведения, необходимые для выполнения работы***

Перед проведением лабораторной работы ознакомьтесь со следующими вопросами:

- Сущность и область применения понятий: единство измерений, метрологическая аттестация, поверка средств измерений, метрологические характеристики средств измерений.
- Организация и порядок проведения поверки средств измерений.
- Требования к построению, содержанию и изложению методик поверки средств измерений.
- Составление, содержание и порядок применения поверочных схем.
- Способы получения и представления результатов поверки.
- Принцип действия, устройство и характеристики средств измерений, используемых при выполнении работы.

#### ***Условия поверки и подготовка к ней***

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

*температура окружающего воздуха*

$(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$  – для классов точности 0,05–0,5;

$(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$  – для классов точности 1,0–5,0;

*относительная влажность воздуха* – 30–80 %;

*атмосферное давление* – 84–106 кПа.

Нормальные значения остальных влияющих величин и допускаемых отклонений – по ГОСТ 8711-93 и ГОСТ 8476-93.

Соотношение пределов допускаемой абсолютной основной погрешности образцовых средств измерений и поверяемых амперметров и вольтметров для каждой проверяемой отметки шкалы должно быть не более 1 : 5 при поверке приборов всех классов точности. Допускается соотношение не более 1 : 3 при поверке амперметров и вольтметров классов точности 0,05–0,5 и не более 1 : 4 – классов точности 1,0–5,0, *при этом вариация показаний прибора, аттестованного в качестве образцового, не должна превышать половины абсолютного значения предела его допускаемой основной погрешности.*

## **Основные расчетные формулы**

Основную погрешность приборов в процентах от нормирующего значения вычисляют по формуле

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_n} \cdot 100 = \frac{A_{\text{изм}} - A_d}{A_n} \cdot 100, \quad (1.2.1)$$

где  $A_{\text{изм}}$  – значение измеряемой величины, определяемое по показаниям поверяемого прибора;

$A_d$  – действительное значение измеряемой величины, определяемое по показаниям образцового средства измерений  $A_d = \frac{A_B - A_V}{2}$ ;

$A_n$  – нормирующее значение.

Основная погрешность поверяемого прибора не должна превышать предела допускаемой основной погрешности по ГОСТ 8476-93 и ГОСТ 8711-93.

Истинное значение напряжения  $A_a = \frac{A_A - A_o}{2}$ .

Вариация показаний  $H = |A_A - A_o|$ .

Относительная погрешность измерения  $\delta = \frac{\Delta A}{A_d} \cdot 100\%$ .

### **2.4. Описание лабораторного стенда**

Лабораторный стенд представляет собой LabVIEW компьютерную модель, располагающуюся на рабочем столе персонального компьютера. На стенде находятся модели электромагнитного вольтметра, электронного вольтметра и генератора сигналов (рис. 1.2.2).

При выполнении работы модели средств измерений и вспомогательных устройств служат для решения описанных ниже задач.

Модель электромагнитного вольтметра используется при моделировании процесса прямых измерений среднеквадратического значения переменного напряжения синусоидальной формы методом непосредственной оценки. При выполнении работы модель электромагнитного вольтметра служит образцовым средством измерений, с помощью которого методом сличения определяется (контролируется) погрешность рабочего средства измерений.

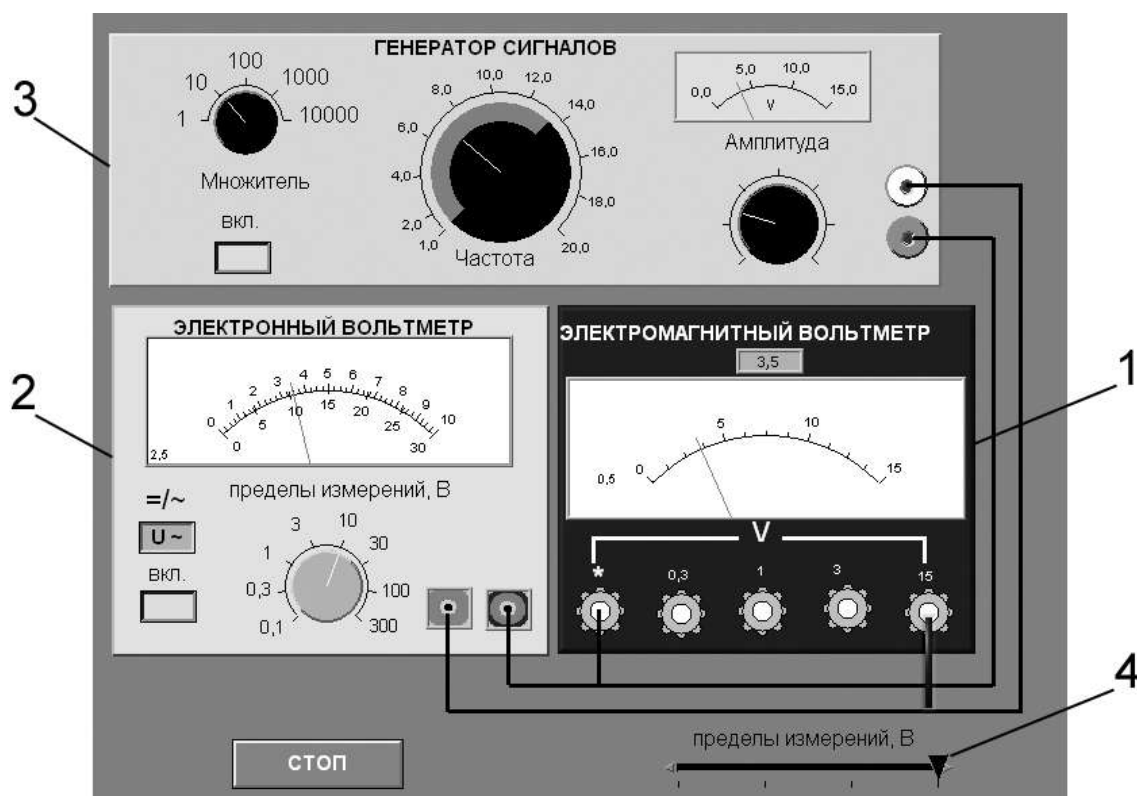


Рисунок 1.2.2 – Вид модели лабораторного стенда на рабочем столе компьютера при выполнении лабораторной работы № 2:

1 – электромагнитный вольтметр; 2 – электронный аналоговый вольтметр; 3 – генератор сигналов; 4 – ползунковый переключатель

Модель электронного вольтметра с амплитудным детектором используется при моделировании процесса прямых измерений среднеквадратического значения переменного напряжения синусоидальной формы. При выполнении работы модель играет роль рабочего средства измерений, погрешность которого подлежит определению.

Модель генератора сигналов используется при моделировании работы источника переменного электрического напряжения синусоидальной формы с плавной регулировкой амплитуды и частоты генерируемого сигнала.

Схема соединения приборов при выполнении лабораторной работы № 2 ясна из рисунка 1.2.2.

## 2.5. Рабочее задание

1. Изучите описание работы, п. 2.2 настоящей лабораторной работы и рекомендованную литературу. Продумайте свои действия за компьютером.



2. Запустите программу лабораторного практикума и выберите лабораторную работу № 2 «Определение погрешности цифрового вольтметра методом прямых измерений» в группе работ «Определение погрешности электронного вольтметра методом сличения». На рабочем столе компьютера автоматически появится модель лабораторного стенда с моделями средств измерений и вспомогательных устройств (см. рис. 1.2.2) и окно созданного в среде MS Excel лабораторного журнала, который служит для формирования отчета по результатам выполнения лабораторной работы.

3. Ознакомьтесь с расположением моделей отдельных средств измерений на рабочем столе.

4. Подготовьте к работе модель электродинамического вольтметра, установив с помощью ползункового переключателя предел измерений равным 15 В.

5. Подготовьте к работе модель электронного вольтметра:

- включите модель вольтметра с помощью кнопки «ВКЛ»;
- с помощью переключателя «~/=» выберите род работы модели, соответствующий измерению переменного напряжения;
- установите предел измерений вольтметра равным 10 В.

6. Подготовьте к работе модель генератора сигналов:

- включите модель генератора с помощью кнопки «ВКЛ»;
- установите, ориентируясь на стрелочный индикатор, амплитуду выходного сигнала равной нулю;
- установите частоту выходного сигнала равной примерно 50 Гц.

7. Опробуйте модели средств измерений. В процессе опробования плавно изменяйте напряжение на выходе генератора сигналов и следите за показаниями вольтметров. Изменяя диапазон измерений вольтметров, амплитуду и частоту выходного сигнала, проследите за изменениями показаний приборов и убедитесь в их работоспособности.

8. Приступите к выполнению лабораторной работы.

***Задание 1. Измерение переменного электрического напряжения образцовым и рабочим вольтметрами***

а) Установите амплитуду выходного сигнала генератора сигналов равной нулю, а частоту выходного сигнала равной примерно 50 Гц.

б) Плавно увеличивая выходное напряжение генератора сигналов от нуля до верхнего предела, а затем, плавно уменьшая от верхнего предела до нуля, последовательно останавливайте стрелку электронного вольтметра на каждом оцифрованном делении шкалы и фиксируйте при этом показания электромагнитного вольтметра. Если

с первой попытки не удалось зафиксировать стрелку электронного вольтметра напротив оцифрованного деления, повторите попытку, сохраняя выбранное направление подхода (снизу-вверх или сверху-вниз).

Занесите полученные результаты в таблицу 1.2.1.

Таблица 1.2.1 – Определение (контроль) погрешности электронного вольтметра методом сличения с показаниями образцового электромагнитного вольтметра при измерении переменного напряжения частотой \_\_\_ Гц на пределе шкалы \_\_\_ В

Результаты измерений			Результаты вычислений				
Показания поверяемого прибора	Показания образцового прибора		$U_d, В$	$\Delta U, В$	$H, В$	$\delta, \%$	$\gamma, \%$
	При увеличении напряжения (тока) $U'_0, В$	При убывании напряжения (тока) $U''_0, В$					
$U_{п}, В$							
0							
1							
2							
-							
-							

в) Повторите пп. а–в задания, выбрав другую частоту переменного напряжения (до 400 Гц) и другой предел измерений вольтметров.

**Задание 2. Определение погрешности рабочего вольтметра методом сличения**

а) Используя полученные экспериментальные данные и сведения о классах точности используемых вольтметров, рассчитайте:

- абсолютную и относительную погрешность электронного вольтметра в оцифрованных точках шкалы;
- поправки к показаниям электронного вольтметра;
- соотношение между фактической и допустимой погрешностями электронного вольтметра.

б) Результаты расчетов запишите в отчет (табл. 1.2.2).

9. Сохраните результаты.

10. После сохранения результатов закройте приложение LabVIEW и, при необходимости, выключите компьютер.

Таблица 1.2.2 – Определение (контроль) погрешности электронного аналогового вольтметра методом сличения с показаниями образцового электромагнитного вольтметра при измерении переменного напряжения частотой \_\_\_ Гц на пределе шкалы \_\_\_ В

Показания рабочего вольтметра, В (мВ)	Показания образцового вольтметра, В (мВ)		Абсолютная погрешность рабочего вольтметра, мВ			Относительная погрешность рабочего вольтметра, %			Вариация показаний рабочего вольтметра	
	Возрастание	Убывание	Расчет	Возрастание	Убывание	Расчет	Возрастание	Убывание	абсолютная, В	относительная, %

## 2.6. Оформление отчета

Отчет должен содержать:

- сведения о цели и порядке выполнения работы;
- сведения об использованных методах измерений;
- сведения о характеристиках использованных средств измерений, включая данные, подтверждающие возможность применения электромагнитного вольтметра в качестве образцового средства измерений, для определения (контроля) погрешности электронного вольтметра;
  - необходимые электрические схемы;
  - экспериментальные данные, включая рекомендации по числу значащих цифр, фиксируемых в протоколе, и рекомендации о пределах измерений и показаниях отсчетного устройства, при которых необходимо установить (проконтролировать) погрешность цифрового вольтметра;
- полностью заполненные таблицы отчета (см. табл. 1.2.1), а также примеры расчетов, выполнявшихся при заполнении таблиц;
- определение класса точности поверяемого прибора по максимальному значению приведенной погрешности  $\gamma$ , заключение о соот-

ветствии поверяемого вольтметра классу точности, указанному на шкале, график  $\delta = f(U)$ ;

– анализ полученных данных и вывод об особенностях и качестве проведенных измерений и результатах проделанной работы.

### ***Контрольные вопросы***

1. Что такое поверка и зачем она выполняется?
2. Дайте определение следующих понятий: погрешность средства измерений, класс точности средства измерений, погрешность поверки.
3. Каким образом осуществляется передача размера единиц от эталонов образцовым и рабочим средствам измерений?
4. Что такое эталон, образцовое средство измерений, рабочее средство измерений?
5. Какими нормативными документами регулируются вопросы организации и проведения поверки, построения и содержания документов по поверке?
6. Каковы основные требования к построению и содержанию поверочной схемы?
7. Какие способы поверки существуют? Чем определяется выбор того или иного способа поверки?
8. Какими критериями необходимо руководствоваться при выборе образцовых средств измерений, с помощью которых поверяются рабочие средства измерений?
9. Что такое нормальные условия при поверке?
10. Какими нормами и правилами необходимо руководствоваться при разработке методики поверки?
11. Можно ли считать операции, выполнявшиеся в работе, поверкой электронного вольтметра? Почему?
12. Как вычислить погрешность средства измерений?
13. В каких случаях при поверке приходится вносить поправки в показания образцовых средств измерений?
14. Как называется метод, использованный в работе, для определения (контроля) погрешностей электронного вольтметра? Почему именно этим методом мы воспользовались?
15. Каковы принцип работы и устройство электромагнитного и электронного вольтметров? Чем определяется их погрешность?

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### 1. Электромагнитный вольтметр

Модель электромагнитного вольтметра служит для измерения переменного электрического напряжения синусоидальной формы.

Ниже приведены некоторые характеристики модели:

- шкала отсчетного устройства проградуирована в действующих значениях;
- пределы измерения могут быть выбраны равными 0,3; 1; 3 или 15 В;
- класс точности нормирован для приведенной погрешности и равен 0,5;
- диапазон рабочих частот от 20 Гц до 1 кГц.

На лицевой панели модели расположены (рис. П.2.1):

- шкала (1) отсчетного устройства со стрелочным указателем;
- клеммы (2) для выбора пределов измерения и подключения к электрической цепи (для удобства пользователя в работе 2.2 пределы измерения могут выбираться с помощью ползункового переключателя (3), находящегося под электромагнитным вольтметром).

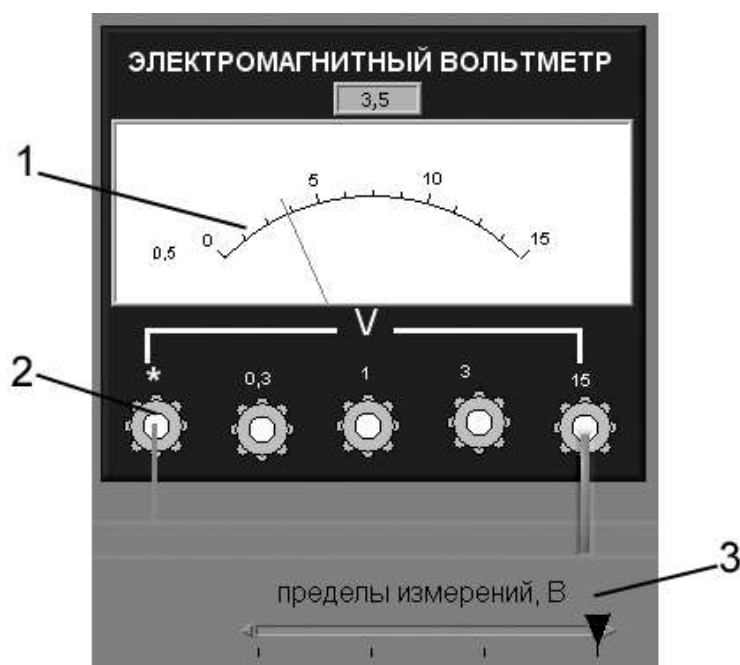


Рисунок П.2.1 – Внешний вид модели электромагнитного вольтметра

## 2. Электронный аналоговый вольтметр

Модель электронного аналогового вольтметра проградуирована в среднеквадратических значениях. Она используется для измерения постоянного напряжения и среднеквадратического значения напряжения в цепях переменного тока синусоидальной формы (в последнем случае для преобразования используется амплитудный детектор).

Ниже приведены некоторые характеристики модели:

- в режиме измерения постоянного и переменного напряжения пределы измерения могут выбираться в диапазоне от 100 мВ до 300 В;
- диапазон рабочих частот от 10 Гц до 100 МГц;
- класс точности вольтметра нормирован для приведенной погрешности и равен 2,5 на всех пределах измерения постоянного напряжения и переменного напряжения в области рабочих частот.

На лицевой панели модели расположены (рис. П.2.2):

- кнопка (1) «ВКЛ» для включения питания;
- шкала (2) отсчетного устройства со стрелочным указателем;
- переключатель (3) пределов измеряемой величины;
- кнопка (4) «~/=» выбора рода работы (измерение постоянного или переменного напряжения);
- электрические разъемы (5) для подключения к источнику измеряемого напряжения.



*Рисунок П.2.2 – Внешний вид модели электронного аналогового вольтметра*

### 3. Генератор сигналов синусоидальной формы

Модель генератора сигналов синусоидальной формы служит для формирования гармонического электрического сигнала с регулируемыми параметрами.

Ниже приведены некоторые характеристики модели:

– диапазон рабочих частот от 1 Гц до 100 кГц;  
– выходное напряжение плавно регулируется в диапазоне от 0 до 15 В;

– погрешность установки частоты выходного сигнала не более 1 %.

На лицевой панели модели генератора сигналов расположены (рис. П.2.3):

- кнопка (1) «Вкл.» для включения питания;
- декадный переключатель (2) частоты выходного сигнала «Множитель»;
- ручка (3) плавной регулировки частоты выходного сигнала «Частота»;
- ручка (4) плавной регулировки уровня выходного сигнала «Амплитуда»;
- стрелочный индикатор (5) амплитуды выходного сигнала;
- электрические разъемы (6) «Выход» – выход гармонического сигнала генератора.



*Рисунок П.2.3 – Внешний вид модели генератора сигналов синусоидальной формы*

## **Лабораторная работа № 3. Прямые и косвенные однократные измерения**

### ***3.1. Цель работы***

Приобретение навыков планирования и выполнения прямых и косвенных однократных измерений.

Получение опыта по выбору средств измерений, обеспечивающих решение поставленной измерительной задачи. Изучение способов обработки и правильного представления результатов прямых и косвенных однократных измерений.

### ***3.2. Сведения, необходимые для выполнения работы***

Перед выполнением работы необходимо ознакомиться со следующими вопросами:

- основные понятия метрологии;
- классификация и характеристики измерений;
- классификация и характеристики средств измерений;
- способы получения и представления результатов однократных измерений;
- принцип действия, устройство и характеристики средств измерений, используемых при выполнении настоящей работы.

подавляющее большинство измерений, выполняемых на практике, являются однократными.

Прежде чем выполнить однократное измерение, необходимо выбрать средство измерения. При выборе средства измерения, исходя из представления об условиях проведения измерения, о свойствах измеряемой величины и ее примерном значении, а также о необходимой точности измерения, определяют, с помощью какого измерительного прибора, какого типа, какого класса точности, на каком пределе шкалы будет лучше проводить измерение. Если об ожидаемом значении измеряемой величины можно судить только с большой неопределенностью, средство измерения выбирают предварительно, устанавливают для него максимальный предел шкалы и проводят пробные измерения, после чего средство измерения и предел шкалы выбирают окончательно и выполняют измерение для получения результата.



За результат однократного измерения принимают показания средства измерения. Результирующая погрешность однократного измерения в общем случае зависит от целого ряда факторов, в частности от инструментальной и методической составляющих погрешности, влияния внешних воздействий и т. д. На практике однократные измерения всегда стремятся организовать так, чтобы результирующая погрешность определялась главным образом инструментальной составляющей погрешности. В таком случае погрешность измерений оценивают, исходя из класса точности выбранного средства измерений.

При проведении однократных измерений всегда стремятся поддерживать нормальные условия и выбрать такой способ измерений, чтобы методическая погрешность и субъективные погрешности оказывали минимальное воздействие на результат. Если, тем не менее, условия измерений отличаются от нормальных, в результат измерения вносят поправки, учитывающие погрешности, обусловленные воздействием влияющих величин. При выполнении данной работы следует предполагать, что условия измерений нормальные, а методические и субъективные погрешности пренебрежимо малы.

При проведении косвенных измерений погрешность определяется по результатам прямых измерений. В общем случае решение этой задачи оказывается весьма сложным. Однако есть несколько случаев, когда оценить пределы погрешности результата косвенного измерения просто:

1. Величины  $X$  и  $Y$  измерены с абсолютными погрешностями  $\Delta X$  и  $\Delta Y$ , соответственно измеряется величина  $Z$ , связанная зависимостью  $Z = X \pm Y$ . В этом случае для оценки предела абсолютной погрешности составляющие погрешности суммируются без учета знака, а именно:  $\Delta Z = \Delta X + \Delta Y$ .

2. Величины  $X$  и  $Y$  измерены с абсолютными погрешностями  $\Delta X$  и  $\Delta Y$ , соответственно измеряется величина  $Z$ , связанная зависимостями  $Z = X \cdot Y$  или  $Z = X / Y$ . В этом случае для оценки предела относительной погрешности составляющие относительные погрешности суммируются без учета знака а именно:  $\Delta Z / Z = \Delta X / X + \Delta Y / Y$ .

3. Величины  $X$  и  $Y$  измерены с абсолютными погрешностями  $\Delta X$  и  $\Delta Y$ , соответственно измеряется величина  $Z$ , связанная с  $X$  и  $Y$  зависимостью  $Z = F(X, Y)$ . В этом случае для оценки предела абсолютной погрешности можно использовать выражение

$$\Delta Z = \left| \frac{dF}{dX} \right| \Delta X + \left| \frac{dF}{dY} \right| \Delta Y .$$

Легко видеть, что предыдущие формулы для погрешностей следуют из последнего, более общего, соотношения.

Использование этих правил позволяет получить удовлетворительную оценку предельной погрешности результата косвенного измерения, в случае, когда число аргументов в функциональной зависимости не превышает четырех-пяти.

При определении погрешности результата измерений по классу точности средства измерений всегда учитываются как систематическая, так и случайная составляющая погрешности. В случае косвенных измерений при вычислении результирующей систематической составляющей погрешности необходимо, казалось бы, учитывать знак отдельных составляющих, что противоречит приведенным в пп. 1–3 рекомендациям. Однако на практике никакого противоречия не возникает, поскольку измерения всегда стремятся организовать так, чтобы влияние систематических погрешностей на результат было исключено. Конечно, полностью исключить систематические погрешности никогда не удастся, но в теории измерений показывается, что для учета неисключенных остатков систематических погрешностей их можно рассматривать как случайные величины, для описания которых подходят методы математической статистики.

Отметим, что приведенные в пп. 1–3 способы оценки предельной погрешности косвенных измерений могут дать завышенную оценку значения результирующей погрешности. Однако с точки зрения достоверности результата измерения и с учетом простоты описанного способа такой подход оказывается, как правило, вполне приемлемым.

### ***3.3. Описание лабораторного стенда***

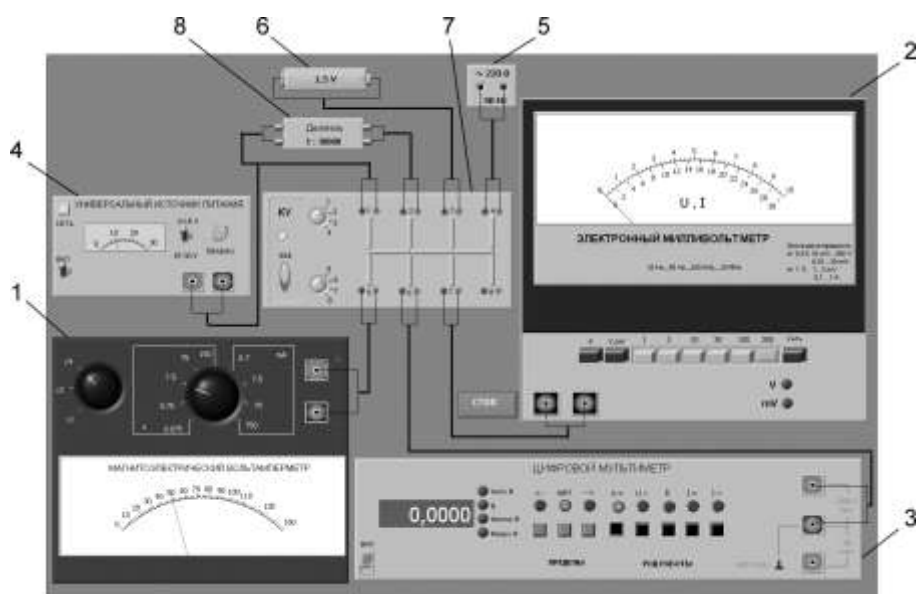
Лабораторный стенд представляет собой LabVIEW компьютерную модель, располагающуюся на рабочем столе персонального компьютера. На стенде находятся модели магнитоэлектрического милливольтметра, электронного аналогового милливольтметра среднеквадратического значения, электронного цифрового мультиметра, источников постоянного и переменного напряжения, делителя напряжения и коммутационного устройства (рис. 1.3.1) (см. приложение 3).

При выполнении работы модели средств измерений и вспомогательных устройств служат для решения описанных ниже задач.

Модель магнитоэлектрического вольтамперметра используется при моделировании процесса прямых измерений постоянного напряжения и силы постоянного тока методом непосредственной оценки.

Модель электронного аналогового милливольтметра используется при моделировании процесса прямых измерений среднеквадратического значения напряжения в цепях переменного тока синусоидальной и искаженной формы методом непосредственной оценки.

Модель цифрового мультиметра при выполнении работы служит в качестве цифрового вольтметра и используется при моделировании процесса прямых измерений постоянного напряжения и среднеквадратического значения переменного напряжения синусоидальной формы методом непосредственной оценки.



*Рисунок 1.3.1 – Модель лабораторного стенда на рабочем столе компьютера при выполнении лабораторной работы № 3: 1 – магнитоэлектрический вольтамперметр; 2 – электронный аналоговый милливольтметр; 3 – электронный цифровой мультиметр; 4 – универсальный источник питания; 5 – источник переменного напряжения; 6 – гальванический элемент; 7 – коммутационное устройство; 8 – делитель напряжения*

Модель универсального источника питания используется при моделировании работы регулируемого источника стабилизированного постоянного напряжения.

Модель источника питания переменного тока моделирует работу источника переменного гармонического напряжения частотой 50 Гц, с действующим значением, равным примерно 220 В, и пренебрежимо малым внутренним сопротивлением.

Модель гальванического элемента моделирует работу имеющего источника постоянной электродвижущей силы с ЭДС, равной примерно 1,5 В, и пренебрежимо малым внутренним сопротивлением.

Модель делителя напряжения используется при моделировании работы делителя с коэффициентом деления  $K = 1 : 10000$  при классе точности, равном 0,05, входном сопротивлении не менее 1 МОм, выходном – не более 1 кОм. Делитель можно использовать на постоянном и переменном токе с напряжением не более 500 В и частотой до 20 кГц.

Модель коммутационного устройства (КУ) используется при моделировании подключения входа вольтметров к выходу источников измеряемого напряжения. Подключение моделей вольтметров к моделям источников измеряемого напряжения производится путем установки верхнего переключателя на номер входа, к которому подключается измеряемый источник, а нижнего переключателя КУ – на номер выхода, к которому подключен измерительный прибор. Установленное соединение индицируется на передней панели КУ желтым цветом. На лицевой панели модели КУ расположены:

- тумблер «ВКЛ» включения КУ;
- тумблеры для выбора способа коммутации входов и выходов КУ между собой.

### ***3.4. Рабочее задание***

1. Запустите программу лабораторного практикума и выберите лабораторную работу № 3 «Прямые и косвенные однократные измерения» в группе работ «Обработка и представление результатов измерений». На рабочем столе компьютера появится модель лабораторного стенда с моделями средств измерений и вспомогательных устройств (см. рис. 1.3.1) и окна созданного в среде MS Excel лабораторного журнала, который служит для формирования отчета по результатам выполнения лабораторной работы.

2. Ознакомьтесь с расположением моделей отдельных средств измерений и других устройств на рабочем столе. Включите модели средств измерений и вспомогательных устройств и опробуйте их органы управления (см. приложение 1). Плавно изменяя напряжение на выходе УИП и поочередно с помощью КУ подключая к выходу вольтметры, проследите за изменениями их показаний. Поменяйте пределы измерений и снова проследите за изменениями показаний

вольтметров при изменении напряжения на выходе УИП. После того как вы убедитесь в работоспособности приборов, выключите все модели и вспомогательные устройства.

3. Приступите к выполнению заданий лабораторной работы.

***Задание 1. Выполнение прямых однократных измерений***

а) Выберите среди имеющихся на лабораторном стенде средств измерений вольтметр для измерения постоянного напряжения на выходе УИП с относительной погрешностью, не превышающей 1 %. При выборе исходите из того, что напряжение на выходе УИП может быть установлено произвольно в диапазоне от 15 до 30 В.

Выбрав вольтметр, включите его, установите подходящий диапазон измерений и с помощью КУ подключите вольтметр к выходу УИП.

Включите УИП и установите на его выходе напряжение в указанном диапазоне.

Снимите показания вольтметра.

Запишите в отчет: показания вольтметра, тип и класс точности вольтметра, выбранный диапазон измерений.

б) Выберите среди имеющихся на лабораторном стенде средств измерений вольтметр для измерения ЭДС гальванического элемента с абсолютной погрешностью, не превышающей 2 мВ (значение ЭДС постоянно и лежит в диапазоне от 1,3 до 1,7 В).

Выбрав вольтметр, включите его, установите подходящий диапазон измерений и с помощью КУ подключите вольтметр к выходу источника ЭДС.

Снимите показания вольтметра.

Запишите в отчет: показания вольтметра, тип и класс точности вольтметра, выбранный диапазон измерений.

в) Выберите среди имеющихся на лабораторном стенде средств измерений вольтметр для измерения значения напряжения на выходе источника переменного напряжения с относительной погрешностью, не превышающей 0,5 %.

Выбрав вольтметр, включите его, установите подходящий диапазон измерений и с помощью КУ подключите вольтметр к выходу источника переменного напряжения.

Снимите показания вольтметра.

Запишите в отчет: показания вольтметра, тип и класс точности вольтметра, выбранный диапазон измерений.

## ***Задание 2. Выполнение косвенных измерений***

а) Выберите среди имеющихся на рабочем столе средств измерений вольтметр для косвенного измерения коэффициента деления делителя напряжения.

б) Выбрав вольтметр, включите его и установите подходящий диапазон измерений.

в) Подключите с помощью КУ делитель к выходу источника напряжения.

г) Подключите с помощью КУ вольтметр поочередно к входу и выходу делителя и снимите в обоих случаях показания вольтметра.

д) Запишите в отчет: показания вольтметра, тип и класс точности вольтметра, выбранные диапазоны измерений, сведения о делителе напряжения.

4. Сохраните результаты.

5. После сохранения результатов закройте приложение LabVIEW и при необходимости выключите компьютер.

### ***3.5. Оформление отчета***

Отчет должен быть оформлен в соответствии с требованиями, приведенными во Введении.

Рекомендованные формы таблиц для записи результатов приведены ниже (1.3.1–1.3.4).

Таблица 1.3.1 – Прямые измерения напряжения на выходе УИП

Вольтметр: тип \_\_\_\_\_, класс точности \_\_\_\_\_

Показания вольтметра, В	Диапазон измерений, В	Абсолютная погрешность, В	Относительная погрешность, %	Результат измерений, В
1	2	3	4	5

Таблица 1.3.2 – Прямые измерения ЭДС гальванического элемента

Вольтметр: тип \_\_\_\_\_, класс точности \_\_\_\_\_

Показания вольтметра, В	Диапазон измерений, В	Абсолютная погрешность, В	Относительная погрешность, %	Результат измерений, В
1	2	3	4	5

Таблица 1.3.3. Прямые измерения напряжения на выходе источника переменного напряжения

Вольтметр: тип \_\_\_\_\_, класс точности \_\_\_\_\_

Показания вольтметра, В	Диапазон измерений, В	Абсолютная погрешность, В	Относительная погрешность, %	Результат измерений, В
1	2	3	4	5

Таблица 1.3.4. Косвенные измерения коэффициента деления делителя

Вольтметр: тип \_\_\_\_\_, класс точности \_\_\_\_\_

Делитель напряжения: тип \_\_\_\_\_, класс точности \_\_\_\_\_

Показания вольтметра на входе делителя	Показания вольтметра на выходе делителя	Установленный диапазон измерений на входе делителя	Установленный диапазон измерений на выходе делителя
Относительная погрешность измерения напряжения на входе делителя, %	Относительная погрешность измерения напряжения на выходе делителя, %	Относительная погрешность измерения коэффициента деления, %	Результат измерения коэффициента деления делителя, %
1	2	3	4

## ***Контрольные вопросы***

1. Дайте определение следующих понятий: измерение, результат измерения, абсолютная погрешность измерения, относительная погрешность измерения.
2. Как классифицируют измерения?
3. В каких случаях проводят однократные измерения?
4. Какие измерения называются прямыми? В каких случаях выполняются прямые измерения?
5. Какие измерения называются косвенными? В каких случаях выполняются косвенные измерения?
6. Что такое средство измерения?
7. Что такое метрологические характеристики средств измерений? Какие метрологические характеристики средств измерений вы знаете?
8. Как связаны метрологические характеристики средств измерений с качеством измерений, которые выполняются с помощью этих средств?
9. Предполагается проводить однократные измерения. Какие критерии используются при выборе средств измерений, какие из этих критериев наиболее важны?



## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

### Электронный аналоговый милливольтметр среднеквадратического значения

Модель электронного аналогового милливольтметра среднеквадратического значения служит для измерения среднеквадратического значения напряжения в цепях переменного тока синусоидальной и искаженной формы.

Ниже приведены некоторые характеристики модели:

- в режиме измерения переменного напряжения пределы измерения могут выбираться в диапазоне от 1,0 мВ до 300 В;
- диапазон рабочих частот от 10 Гц до 10 МГц;
- пределы допускаемой приведенной основной погрешности в области частот от 50 Гц до 100 кГц не превышают значений:
  - $h_{пр} \leq 1\%$  в диапазонах 1–3 мВ или 0,1–1 А;
  - $h_{пр} \leq 0,5\%$  в диапазонах 10 мВ–300 В или 0,01–30 мА.

На лицевой панели модели расположены (рис. П.3.1):

- кнопка (1) «СЕТЬ» для включения питания;
- световые индикаторы (2) включения питания и установленных пределов «V» и «mV»;
- шкала (3) отсчетного устройства со стрелочным указателем и с указанием параметра, для которого выполнялась градуировка;
- кнопка калибровки (4);
- кнопочный переключатель (5) пределов измеряемой величины;
- электрические разъемы (6) для подключения к источнику измеряемого напряжения.

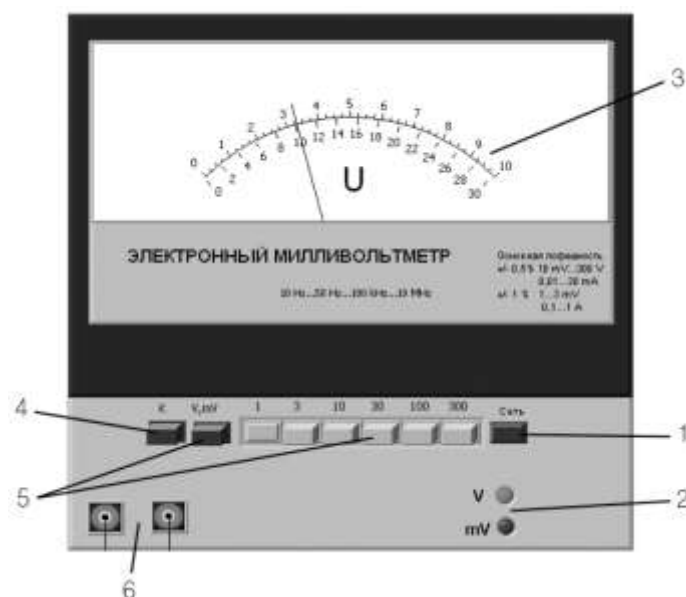


Рисунок П.3.1 – Внешний вид модели электронного аналогового милливольтметра среднеквадратического значения

## **Лабораторная работа № 4. Определение погрешности цифрового вольтметра методом прямых измерений**

### ***4.1. Цель работы***

Получение навыков организации и проведения метрологических работ на примере определения (контроля) погрешности цифрового вольтметра методом прямых измерений.

### ***4.2. Задание для домашней подготовки***

Перед выполнением работы необходимо изучить следующие вопросы:

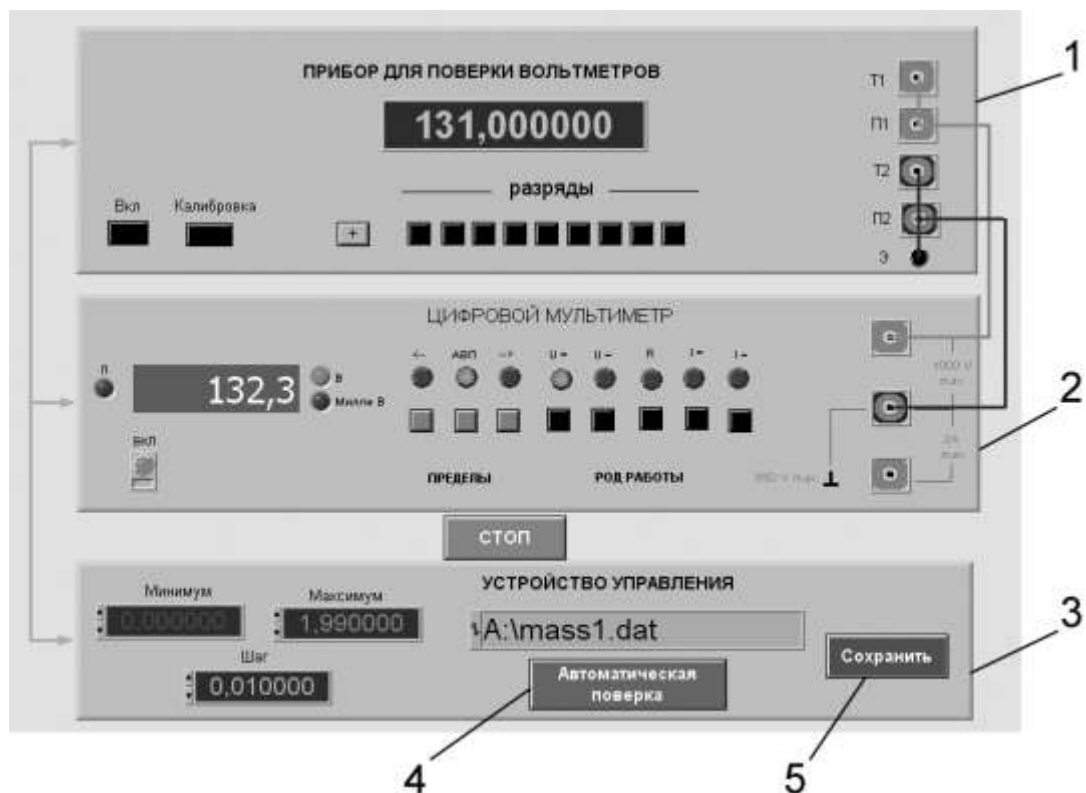
- Сущность и область применения понятий: единство измерений, метрологическая аттестация, поверка средств измерений, метрологические характеристики средств измерений.
- Организация и порядок проведения поверки средств измерений.
- Требованиями к построению, содержанию и изложению методик поверки средств измерений.
- Составление, содержание и порядок применения поверочных схем.
- Способы получения и представления результатов поверки.
- Принцип действия, устройство и характеристики средств измерений, используемых при выполнении работы.

### ***4.3. Сведения, необходимые для выполнения работы***

Необходимые для выполнения работы теоретические сведения содержатся в п. 2.2 лабораторной работы № 2.

### ***4.4. Описание лабораторного стенда***

Лабораторный стенд представляет собой LabVIEW компьютерную модель, располагающуюся на рабочем столе персонального компьютера. На стенде находятся модели прибора для поверки вольтметров, электронного цифрового мультиметра и устройства управления (рис. 1.4.1).



*Рисунок 1.4.1 – Вид модели лабораторного стенда на рабочем столе компьютера при выполнении лабораторной работы № 4: 1 – прибор для поверки вольтметров; 2 – электронный цифровой мультиметр; 3 – устройство управления; 4 – кнопка запуска режима автоматической поверки; 5 – кнопка запуска режима сохранения экспериментальных данных*

При выполнении работы модели средств измерений и вспомогательных устройств служат для решения описанных ниже задач.

Модель прибора для поверки вольтметров (ППВ) используется при моделировании работы регулируемой многозначной меры постоянного напряжения с цифровым управлением. При выполнении работы ППВ является образцовым средством измерений, и обеспечивает воспроизведение с высокой точностью значения постоянного напряжения.

Модель электронного цифрового мультиметра (см. приложение 1) используется при моделировании процесса прямых измерений постоянного напряжения методом непосредственной оценки. В данной работе модель мультиметра играет роль рабочего цифрового вольтметра, погрешность которого подлежит определению.

Модель устройства управления служит для управления работой ППВ и поверяемого вольтметра, сбора измерительной информации,

получаемой в процессе поверки, а также для передачи измерительной информации в компьютер с целью ее сохранения.

Схема соединения ППВ, поверяемого цифрового мультиметра, устройства управления и компьютера показана на рисунке 1.4.2. Отметим, что в качестве компьютера, изображенного на данном рисунке, используется персональный компьютер, на котором выполняется работа.

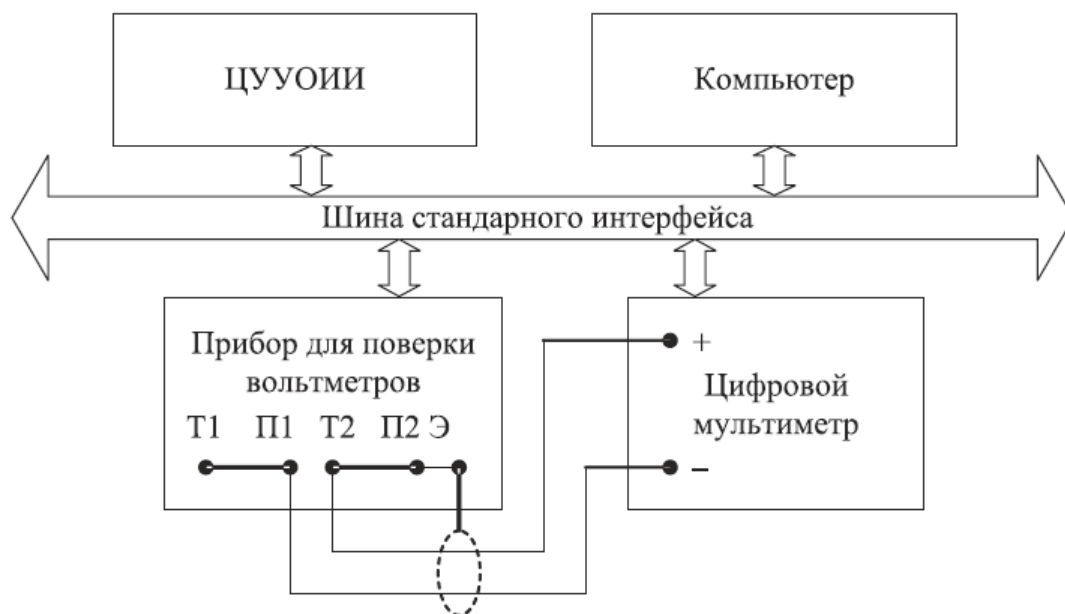


Рисунок 1.4.2 – Схема соединения приборов при выполнении работы

#### 4.5. Рабочее задание

1. Изучите описание работы, п. 4.2 настоящей лабораторной работы и рекомендованную литературу. Продумайте свои действия за компьютером.

2. Запустите программу лабораторного практикума и выберите лабораторную работу «Определение погрешности цифрового вольтметра методом прямых измерений» в группе работ «Поверка средств измерений». На рабочем столе компьютера автоматически появится модель лабораторного стенда с моделями средств измерений и вспомогательных устройств (см. рис. 1.4.1) и окно созданного в среде MS Excel журнала.

3. Ознакомьтесь с расположением моделей отдельных средств измерений на рабочем столе и активизируйте их. Опробуйте органы управления моделями. Изменяя в ручном режиме напряжение на выходе ППВ, проследите за изменениями показаний цифрового мультиметра.

тиметра. Поменяйте пределы измерений и вновь проследите за изменениями показаний мультиметра по мере изменения напряжения на выходе ППВ. После того, как вы убедитесь в работоспособности моделей, выключите их.

4. Подготовьте к работе прибор для проверки вольтметров и цифровой мультиметр:

- Включите ППВ, нажав кнопку «Вкл».
- Откалибруйте ППВ, нажав кнопку «Калибровка».
- Включите цифровой мультиметр, нажав кнопку «Вкл».

5. Приступите к выполнению лабораторной работы.

### ***Задание 1. Определение погрешности цифрового мультиметра в ручном режиме***

а) Установите на выходе ППВ, используя кнопки «Разряды», напряжение 0,000000 мВ.

б) Установите предел измерения цифрового вольтметра равным 200 мВ.

в) Последовательно вручную увеличивайте напряжение на выходе ППВ от 0 до 200 мВ с шагом 25 мВ. Измерьте с помощью цифрового вольтметра напряжение на выходе ППВ во всех полученных точках. Полученные данные запишите в лабораторный журнал.

г) Повторите предыдущий пункт задания с той разницей, что напряжение на выходе ППВ последовательно уменьшайте с шагом 25 мВ от 200 до 0 мВ.

д) Покажите преподавателю или оцените самостоятельно полученные данные, если они удовлетворительны, сохраните результаты в лабораторном журнале.

### ***Задание 2. Определение погрешности цифрового мультиметра в автоматическом режиме***

а) Установите с помощью устройства управления минимальное напряжение на выходе ППВ равным 0,000000 В, а максимальное – 1,990000 В.

б) Выберите и установите шаг изменения напряжения на выходе ППВ (рекомендуемые значения шага составляют 10 мВ).

в) Установите предел измерения вольтметра равным 2 В.

г) Включите с помощью расположенной на передней панели устройства управления кнопки «Автоматическая поверка» режим автоматической поверки и наблюдайте за ходом ее выполнения.

д) Сохраните результаты автоматической поверки, для чего введите имя файла в соответствующий индикатор устройства управления и нажмите кнопку «Сохранить».

е) Считайте сохраненный файл на отдельный лист MS Excel и изучите полученные данные.

7. Сохраните результаты.

8. После сохранения результатов закройте приложение LabVIEW и при необходимости выключите компьютер.

#### ***4.6. Оформление отчета***

Отчет должен содержать:

- сведения о цели и порядке выполнения работы;
- сведения об использованных методах измерений;
- сведения о характеристиках использованных средств измерений, включая сведения о возможности применения прибора для поверки вольтметров в качестве образцового средства измерений, для определения (контроля) погрешности цифрового мультиметра;
  - необходимые электрические схемы;
  - экспериментальные данные, включая рекомендации по числу значащих цифр, фиксируемых в протоколе, и рекомендации о пределах измерений и показаниях отсчетного устройства, при которых необходимо установить (проконтролировать) погрешность цифрового вольтметра;
    - полностью заполненные таблицы отчета (см. табл. 1.4.1), а также примеры расчетов, выполнявшихся при заполнении таблиц;
    - графики зависимости абсолютной и относительной погрешностей рабочего средства измерений от его показаний, с выделенными на них режимами возрастания и убывания показаний, а также полосами допустимых погрешностей;
    - графики зависимостей абсолютной и относительной вариации показаний рабочего средства измерений от его показаний с выделенными на них полосами допустимых погрешностей;
    - анализ полученных данных и вывод об особенностях и качестве проведенных измерений и результатах проделанной работы.

Таблица 1.4.1 – Определение (контроль) погрешности цифрового вольтметра методом прямых измерений постоянного напряжения на выходе прибора для поверки вольтметров (ППВ) на пределе \_\_\_ В

Напряжение на выходе ППВ, В	Показания цифрового вольтметра, В		Абсолютная погрешность вольтметра, мВ			Относительная погрешность вольтметра, %			Вариация показаний вольтметра	
	Возрастание	Убывание	Расчет	Возрастание	Убывание	Расчет	Возрастание	Убывание	абсолютная, мВ	относительная, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

### ***Контрольные вопросы***

1. Что такое поверочная схема?

2. Можно ли на практике для поверки цифрового вольтметра, обладающего метрологическими характеристиками, подобными характеристикам модели, выбрать прибор для поверки вольтметров, с метрологическими характеристиками, аналогичными характеристикам использованной модели?

3. Как называется метод поверки, если в качестве образцового средства измерений выступает прибор для поверки вольтметров, а в качестве рабочего – цифровой вольтметр?

4. Назовите основные признаки методики поверки, использованной в работе.

5. Что является результатом поверки?

6. Какие средства измерения не подлежат поверке?

## ПРИЛОЖЕНИЕ 4

### 1. Цифровое устройство управления и обработки измерительной информации

Цифровое устройство управления и обработки измерительной информации (ЦУУОИИ).

На лицевой панели модели расположены (рис. П.4.1):

- индикатор (1) минимального напряжения, устанавливаемого с помощью цифрового устройства обработки измерительной информации;
- индикатор (2) максимального напряжения, устанавливаемого с помощью цифрового устройства обработки измерительной информации;
- индикатор (3) шага, с которым изменяется устанавливаемое напряжение;
- кнопка (4) запуска режима «Автоматическая поверка»;
- управляющий элемент (5), предназначенный для ввода имени файла измерительной информации;
- кнопка (6) «Сохранить», предназначенная для сохранения файла измерительной информации.



Рисунок П.4.1 – Внешний вид модели устройства управления и обработки измерительной информации

### 2. Прибор для поверки вольтметров

Прибор для поверки вольтметров используется при выполнении лабораторной работы № 4.

Режим (ручной или автоматический), род работы (калибровка ППВ или режим поверки), пределы изменения образцового напряжения на выходе ППВ и шаг изменения этого напряжения устанавливаются с помощью переключателей, расположенных на лицевой панели модели.



Ниже приведены некоторые характеристики модели ППВ:

- диапазон изменения выходного напряжения может изменяться в пределах от 0,000000 до 199,999999 В;
- шаг изменения выходного напряжения регулируется ступенчато в пределах от 1 мкВ до 1,000000 В;
- относительная погрешность воспроизведения выходного  $\delta, \% = \pm(0,0025U + 0,00015 U_{\text{пр.шк.}})$ ;
- электрическое подключение поверяемого вольтметра к выходу ППВ осуществляется по четырехзажимной схеме с экранировкой сигнального кабеля;
- в ручном режиме желаемое напряжение устанавливается с клавиатуры;
- допускается автоматический режим работы под управлением компьютера, с которым ППВ соединяется посредством стандартного интерфейса. Этот режим используется в целях уменьшения трудоемкости и повышения качества работ при поверке.

На лицевой панели прибора для поверки вольтметров расположены (рис. П.4.2):

- кнопка (1) «Вкл.», предназначенная для включения прибора;
- кнопка (2) «Калибровка», предназначенная для калибровки прибора перед использованием;
- кнопка (3) «+», предназначенная для установки полярности выходного напряжения;
- девять кнопок (4) «Разряды», предназначенных для установки значения выходного напряжения в ручном режиме работы;
- индикатор (5) выходного напряжения;
- клеммы (6) для подключения поверяемых вольтметров, из них: две токовые (силовые) клеммы (обозначение Т1 и Т2) и две потенциальные (измерительные) клеммы (обозначение П1 и П2) для реализации при необходимости четырехзажимной схемы подключения нагрузки, а также клемма Э для подключения защитного экрана.



Рисунок П.4.2 – Внешний вид модели прибора для поверки вольтметров

## **Лабораторная работа № 5. Измерение переменного электрического напряжения**

### ***5.1. Цель работы***

Получение навыков измерения переменного электрического напряжения. Ознакомление с особенностями влияния формы и частоты измеряемого напряжения на показания средств измерений. Приобретение представления о порядке работы с электроизмерительными приборами при измерении переменного напряжения.

### ***5.2. Задание для домашней подготовки***

Повторите вопросы обработки и представления результатов прямых и косвенных измерений, и, используя рекомендованную литературу, настоящее описание и приложение 1 к Практикуму по основам измерительных технологий [1], ознакомьтесь со следующими вопросами:

- Переменное электрическое напряжение и параметры, которые его характеризуют.
- Понятия коэффициент формы и коэффициент амплитуды и методика учета влияния этих коэффициентов на результаты измерения переменного напряжения.
- Методы измерения переменного электрического напряжения.
- Причины возникновения и способы учета погрешностей при измерении переменного электрического напряжения.
- Устройство, принцип действия и основные характеристики электромеханических вольтметров переменного тока.
- Устройство, принцип действия и основные характеристики электронных (аналоговых и цифровых) вольтметров переменного тока.
- Содержание и способы реализации методов измерения, используемых при выполнении работы.
- Устройство и характеристики средств измерений, используемых при выполнении работы.

### ***5.3. Сведения, необходимые для выполнения работы***

При измерении переменного напряжения синусоидальной формы, как правило, интересуются его среднеквадратическим (дейст-

вующим) значением. Действующее значение переменного напряжения  $U_d$  находят, используя известную зависимость между напряжением  $u(t)$ :

$$U_d = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} , \quad (1.5.1)$$

где  $T$  – период переменного напряжения.

Действующее значение переменного напряжения может быть измерено:

- электромагнитными (диапазон частот от 20 Гц до 1–2 кГц);
- электродинамическими (диапазон частот от 20 Гц до 2–5 кГц);
- ферродинамическими (диапазон частот от 20 Гц до 1–2 кГц);
- электростатическими (диапазон частот от 20 Гц до 10–20 МГц);
- термоэлектрическими (диапазон частот от 10 Гц до 10–100 мГц);
- электронными (диапазон частот от 20 Гц до 0,1–1 ГГц) вольт-

метрами.

Иногда, особенно в тех случаях, когда форма электрического сигнала отличается от синусоидальной, измеряют средневыпрямленное и амплитудное значения переменного напряжения.

Средневыпрямленное значение переменного напряжения  $U_{св}$  определяют как среднее арифметическое абсолютных мгновенных значений за период:

$$U_{св} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt . \quad (1.5.2)$$

Средневыпрямленное значение может быть измерено выпрямительным электромеханическим вольтметром (диапазон частот от 20 Гц до 10–20 кГц) или электронным вольтметром (диапазон частот от 10 Гц до 10–100 МГц).

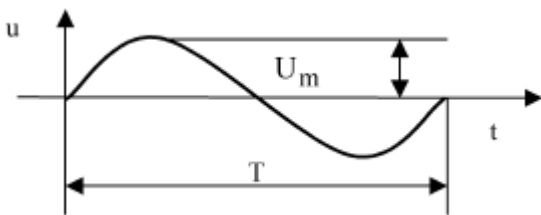
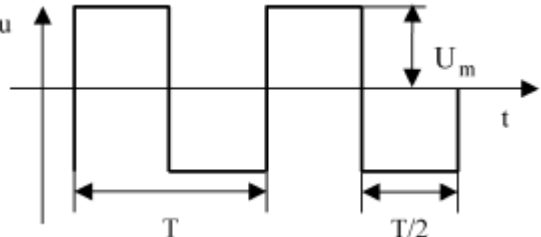
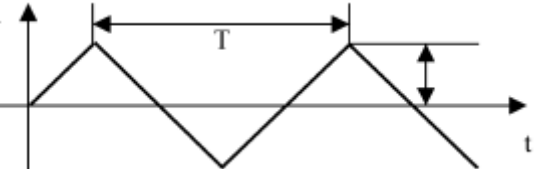
Для периодических колебаний произвольной формы связь между средневыпрямленным и среднеквадратическим значениями определяется соотношением

$$U_d = K_{\phi} \times U_{св} , \quad (1.5.3)$$

где  $K_\phi$  – коэффициент формы, значения которого для некоторых случаев приведены в таблице 1.5.1. Амплитудное значение  $U_m$  гармонического напряжения связано с его текущим  $u(t)$  значением известной зависимостью:

$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi).$$

Таблица 1.5.1 – Значения коэффициентов  $K_\phi$  и  $K_a$  для некоторых сигналов

Форма сигнала	$K_\phi$	$K_a$
	1,11	1,41
	1	1
	1,16	1,73

Для периодических колебаний другой формы эта зависимость может быть сравнительно легко определена. Что касается непериодических сигналов, то они характеризуются пиковыми значениями (максимальными значениями из всех мгновенных значений за время наблюдения).

Амплитудное и пиковое значения могут быть измерены электронными вольтметрами пикового (амплитудного) значения (диапазон частот от 20 Гц до 10–100 МГц), а также с помощью осциллографов различного типа (диапазон частот от 0,1 Гц до 10–100 ГГц).

Для периодических колебаний произвольной формы связь между амплитудой сигнала и его среднеквадратическим значением определяется по формуле

$$U_m = K_a \cdot U_d, \quad (1.5.4)$$

где  $K_a$  – коэффициент амплитуды, значения которого некоторых частот встречающихся случаев приведены в таблице 1.5.1.

#### ***5.4. Описание лабораторного стенда***

Лабораторный стенд представляет собой LabVIEW компьютерную модель, располагающуюся на рабочем столе персонального компьютера.

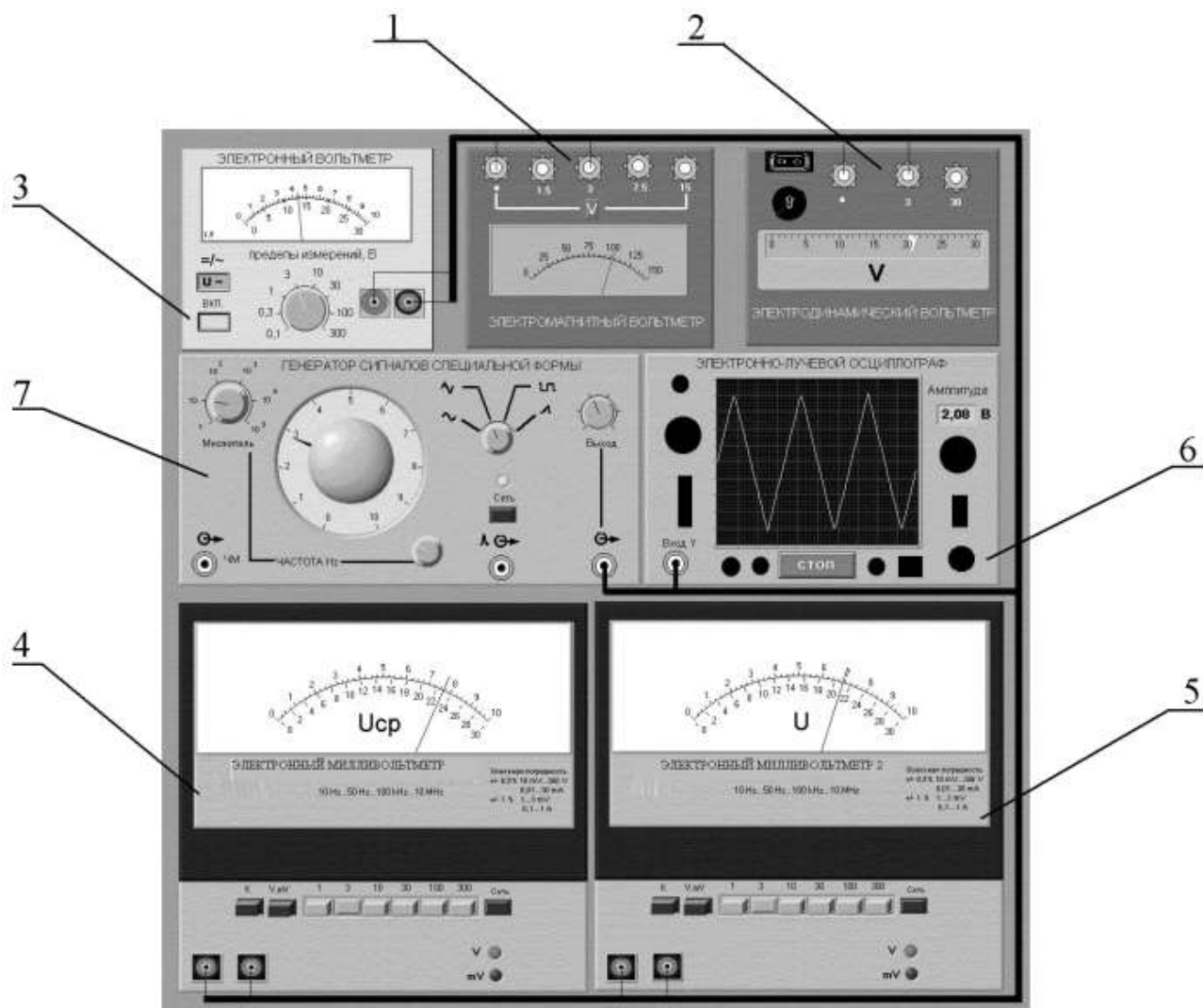
На стенде находятся модели электромагнитного и электродинамического вольтметров, электронного вольтметра с амплитудным детектором, проградуированного в действующих значениях гармонического напряжения, электронных милливольтметров средневыпрямленного и среднеквадратического значения, электронного осциллографа и генератора сигналов специальной формы (рис. 1.5.1).

При выполнении работы модели средств измерений и вспомогательных устройств служат для решения описанных ниже задач.

Модели электромагнитного и электродинамического вольтметров, а также вольтметра с амплитудным детектором используются при моделировании процесса прямых измерений действующего значения переменного электрического напряжения синусоидальной формы методом непосредственной оценки (см. приложение 5).

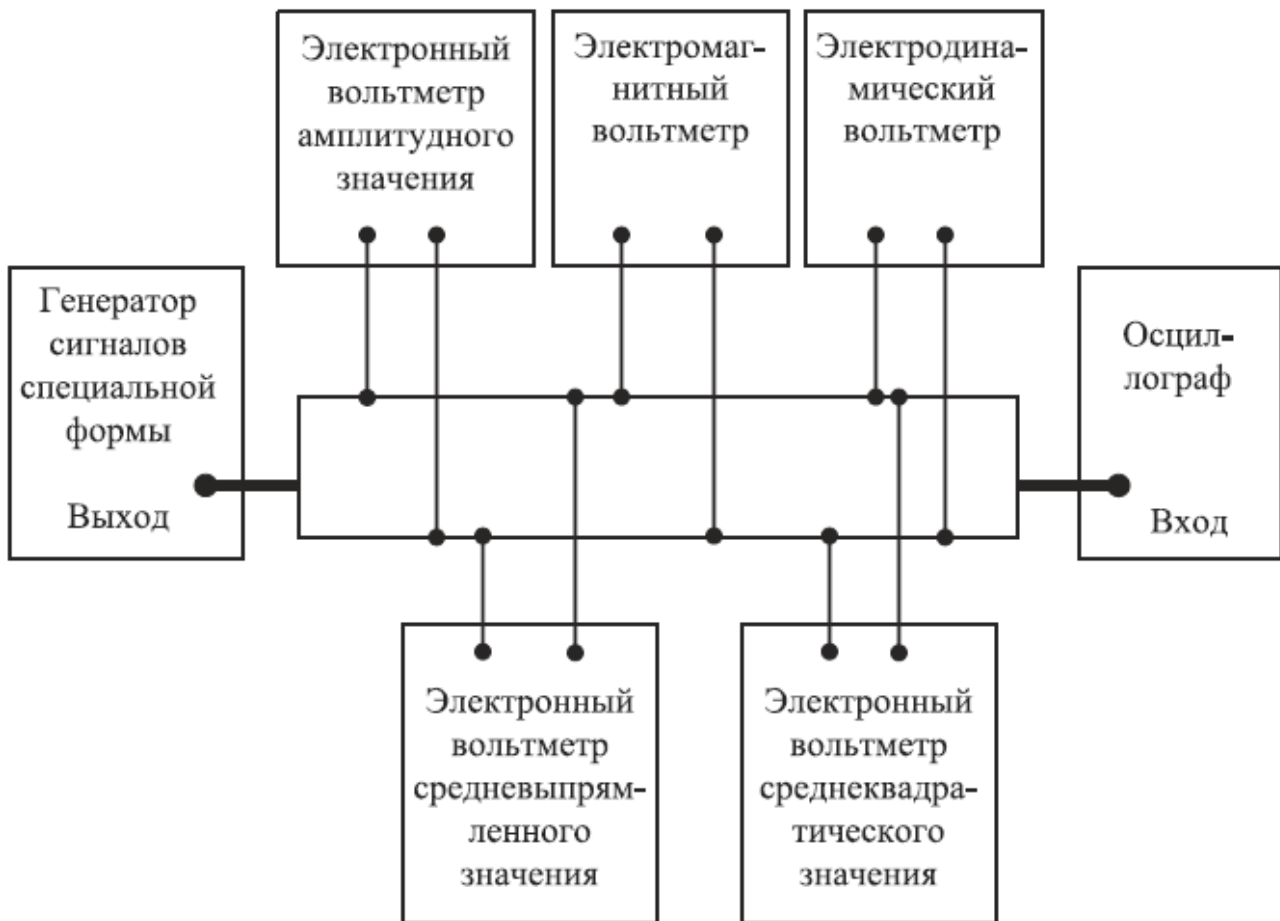
Модели электронных аналоговых милливольтметров средневыпрямленного и среднеквадратического значения используются при моделировании процесса прямых измерений соответственно средневыпрямленного и среднеквадратического значения напряжения в цепях переменного тока синусоидальной и искаженной формы методом непосредственной оценки (см. приложение 5).

Модель электронного осциллографа используется при моделировании процесса измерения параметров переменного напряжения произвольной формы.



*Рисунок 1.5.1 – Модель лабораторного стенда на рабочем столе компьютера при выполнении лабораторной работы: 1 – электромагнитный вольтметр; 2 – электродинамический вольтметр; 3 – электронный вольтметр с амплитудным детектором; 4 – электронный вольтметр средневывпрямленного значения; 5 – электронный вольтметр среднеквадратического значения; 6 – электронный осциллограф; 7 – генератор сигналов специальной формы*

Модель генератора сигналов специальной формы используется при моделировании работы источника переменного напряжения синусоидальной, прямоугольной (меандр), треугольной (двухполярной) и пилообразной формы, с плавной регулировкой амплитуды и частоты выходного сигнала. Схема электрического соединения приборов при выполнении измерений приведена на рисунке 1.5.2.



*Рисунок 1.5.2 – Схема соединения приборов при выполнении лабораторной работы № 5*

### **5.5. Рабочее задание**

1. Изучите описание работы и рекомендованную литературу. Продумайте свои действия за компьютером.

2. Запустите программу лабораторного практикума и выберите лабораторную работу № 5 «Измерение переменного электрического напряжения» в группе работ «Измерение электрических величин». На рабочем столе компьютера автоматически появится модель лабораторного стенда с моделями средств измерений и вспомогательных устройств (рис. 1.5.1) и окно созданного в среде MS Excel лабораторного журнала, который служит для формирования отчета по результатам выполнения лабораторной работы.

3. Ознакомьтесь с расположением моделей отдельных средств измерений и других устройств на рабочем столе.

4. Подготовьте модели к работе:

4.1. Включите электронные вольтметры с помощью тумблеров «СЕТЬ».

4.2. Включите генератор сигналов и установите ручку регулятора выходного напряжения в крайнее левое положение (амплитуда выходного сигнала равна нулю).

4.3. Установите переключатель рода работы генератора сигналов в положение, соответствующее гармоническому напряжению.

4.4. Установите частоту сигнала на выходе генератора, равной 20 Гц. Включите осциллограф

4.5. Опробуйте органы управления моделями и убедитесь в их работоспособности. В процессе опробования установите регулятор напряжения на выходе генератора в среднее положение и наблюдайте форму сигнала на экране осциллографа. Изменяя напряжение, частоту и форму сигнала на выходе генератора, а также диапазон измерений вольтметров, проследите за изменением изображения на экране осциллографа и изменениями показаний вольтметров.

5. Приступите к выполнению лабораторной работы.

### ***Задание 1. Исследование частотных характеристик вольтметров переменного тока***

Используя осциллограф в качестве индикатора, определите в диапазоне частот от 20 Гц до 100 кГц зависимость показаний электромагнитного, электродинамического и электронного вольтметров (тип электронного вольтметра выбирается по своему усмотрению) от частоты измеряемого переменного напряжения:

а) Установите на выходе генератора сигналов гармоническое напряжение частотой 20 Гц.

б) Отрегулируйте амплитуду сигнала на выходе генератора так, чтобы показания вольтметров оказались в последней трети шкалы диапазона 3 В, а стрелка электродинамического вольтметра остановилась напротив оцифрованного деления шкалы.

в) Снимите показания вольтметров.

г) Запишите в отчет показания вольтметров и частоту исследуемого сигнала, а также сведения о классе точности вольтметров.

д) Выполните измерения в соответствии с пп. «б»–«г», оставляя неизменной амплитуду и форму выходного напряжения генератора и последовательно устанавливая частоту сигнала равной 50; 400 Гц, 3; 1; 2; 3; 5; 5; 7; 10; 12; 15; 20 кГц и далее с шагом 10 кГц до 100 кГц. При выполнении задания тщательно следите за показаниями осциллографа (амплитуда измеряемого напряжения должна оставаться неизменной). В случае изменения амплитуды возвратите ее, ориенти-



руясь на показания осциллографа, к исходному значению, используя регулятор выходного напряжения генератора сигналов.

**Задание 2. Исследование зависимости показаний электромагнитного, электродинамического и электронных вольтметров от формы измеряемого напряжения**

а) Установите на выходе генератора сигналов гармоническое напряжение частотой от 50 до 100 Гц.

б) Установите амплитуду выходного напряжения генератора такой, чтобы показания вольтметров оказались в последней трети шкалы диапазона 3 В, а стрелка электродинамического вольтметра остановилась напротив оцифрованного деления шкалы.

в) Зарисуйте осциллограмму исследуемого напряжения.

г) Снимите показания вольтметров.

д) Запишите в отчет показания вольтметров, сведения о частоте и форме исследуемого сигнала, а также сведения о классе точности вольтметров.

6. Оставляя неизменной амплитуду (контроль производится с помощью осциллографа) и частоту выходного напряжения генератора, выполните измерения согласно пп. «а»–«д», последовательно устанавливая на выходе генератора прямоугольную (меандр) и треугольную форму напряжения.

7. Сохраните результаты.

8. После сохранения результатов закройте приложение LabVIEW и при необходимости выключите компьютер.

### **5.6. Оформление отчета**

Отчет должен содержать:

- сведения о цели и порядке выполнения работы;
- сведения об использованных методах измерений;
- сведения о характеристиках использованных средств измерений;
- необходимые электрические схемы;
- данные расчетов, проводившихся при выполнении соответствующих пунктов задания;
  - экспериментальные данные и осциллограммы;
  - полностью заполненные таблицы отчета (см. табл. 1.5.2, 1.5.3), а также примеры расчетов, выполнявшихся при заполнении таблиц;
  - графики зависимости показаний вольтметров различных систем от частоты измеряемого напряжения;
  - таблицу с теоретическими экспериментальными данными о зависимости показаний вольтметров различных систем от формы измеряемого переменного напряжения;

- оценки, где это возможно, частоты измеряемого напряжения и значения его коэффициента формы и/или амплитуды, при которых соответствующая дополнительная погрешность вольтметров будет равна основной погрешности, определяемой классом точности прибора;
- анализ полученных данных и вывод об особенностях и качестве проведенных измерений и по результатам проделанной работы.

Таблица 1.5.2 – Результаты определения частотных характеристик электромагнитного вольтметра класса \_\_ точности (предел шкалы \_\_), электродинамического вольтметра класса точности \_\_\_\_\_ (предел шкалы \_\_\_\_\_), электронного вольтметра \_\_\_\_\_ значения класса точности (предел шкалы \_\_\_\_\_)

Частота сигнала, Гц	Показания вольтметров, В		
	Электромагнитный	Электродинамический	Электронный _____ значения
1	2	3	4
50 Гц			
400 Гц			
1 кГц			
2 кГц			
3 кГц			
5 кГц			
7 кГц			
10 кГц			
12 кГц			
15 кГц			
20 кГц			
30 кГц			
40 кГц			
50 кГц			
60 кГц			
70 кГц			
80 кГц			
90 кГц			
100 кГц			

Таблица 1.5.3 – Исследование зависимости показаний вольтметров различных систем от формы измеряемого переменного напряжения на частоте \_\_\_\_\_ Гц

Форма измеряемого напряжения	Показания вольтметров, В			
	Электро- магнитный	Электронный среднеквадратичного значения с амплитудным детектором	Электронный среднеквадратичного значения	Электронный средневыпрямленного значения
1	2	3	4	5
Синусоидальная				
Меандр				
Треугольная				

### ***Контрольные вопросы***

1. Требуется измерить действующее (среднее, среднеквадратическое, амплитудное) значение переменного напряжения синусоидальной (искаженной) формы. Ориентировочно значение напряжения равно 100 мкВ (10 мВ, 1 В, 100 В), а частота 5 Гц (50 Гц, 5 кГц, 500 кГц, 50 МГц). Как это лучше сделать, если погрешность должна быть минимальной (не превышать 1 %)?

2. Какими параметрами, подлежащими измерению, характеризуется переменное напряжение?

3. Что такое среднеквадратическое, среднее и средневыпрямленное значения переменного напряжения?

4. Какими вольтметрами измеряется среднеквадратическое значение переменного напряжения? Какие из них наиболее точны и почему?

5. Какими вольтметрами измеряется средневыпрямленное значение переменного напряжения?

6. Нужно измерить среднее значение переменного напряжения. Какое средство измерений вы выберите?
7. В каком диапазоне частот можно измерять гармоническое напряжение? Какие вольтметры могут служить образцовыми на низких, средних и высоких частотах?
8. Имеется выпрямительный вольтметр класса 1,0 со шкалой 100 делений, проградуированный в действующих значениях гармонического напряжения. В каком диапазоне может изменяться коэффициент формы и/или амплитуды измеряемого напряжения, чтобы величиной этого изменения можно было пренебречь?
9. Чем определяется зависимость показаний вольтметров различного типа от частоты измеряемого напряжения?
10. Опишите принцип работы и устройство электромеханических вольтметров переменного тока. Чем определяется погрешность этих приборов?
11. Опишите принцип работы и устройство электронных вольтметров переменного тока. Чем определяется погрешность этих приборов?

## ПРИЛОЖЕНИЕ 5

### 1. Электромагнитный вольтметр

Модель электромагнитного вольтметра служит для измерения переменного электрического напряжения синусоидальной формы.

Ниже приведены некоторые характеристики модели:

- шкала отсчетного устройства проградуирована в действующих значениях;
- пределы измерения могут быть выбраны равными 0,3; 1; 3 или 15 В;
- класс точности нормирован для приведенной погрешности и равен 0,5;
- диапазон рабочих частот от 20 Гц до 1 кГц.

На лицевой панели модели расположены (рис. П.5.1):

- шкала (1) отсчетного устройства со стрелочным указателем;
- клеммы (2) для выбора пределов измерения и подключения к электрической цепи (для удобства пользователя пределы измерения могут выбираться с помощью ползункового переключателя (3), находящегося под электромагнитным вольтметром).

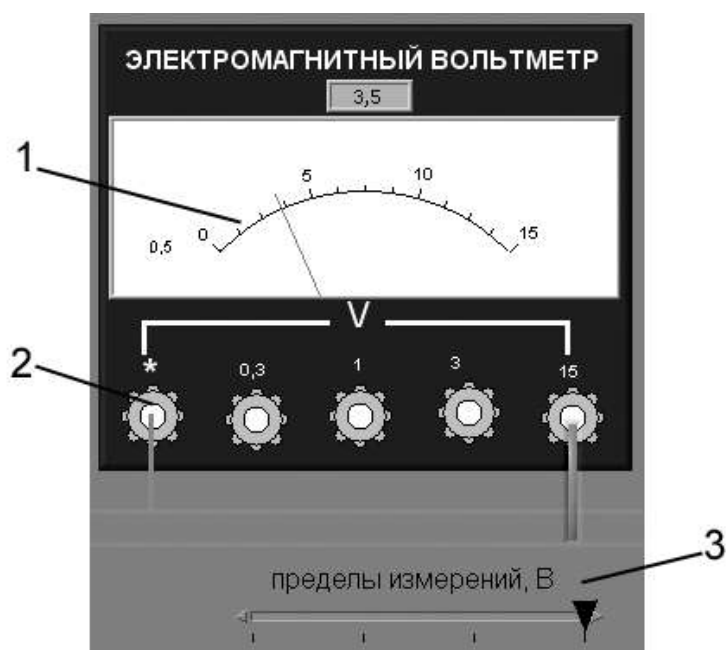


Рисунок П.5.1 – Внешний вид модели электромагнитного вольтметра

## 2. Электродинамический вольтметр

Модель электродинамического вольтметра служит для измерения переменного электрического напряжения синусоидальной формы.

Ниже приведены некоторые характеристики модели:

- шкала (1) отсчетного устройства проградуирована в действующих значениях;
- пределы измерения составляют 3 или 30 В;
- класс точности нормирован для приведенной погрешности и равен 0,2;
- диапазон рабочих частот от 20 Гц до 5 кГц.

На лицевой панели модели расположены (рис. П.5.2):

- шкала отсчетного устройства со световым указателем;
- клеммы (2) для подключения к электрической цепи.

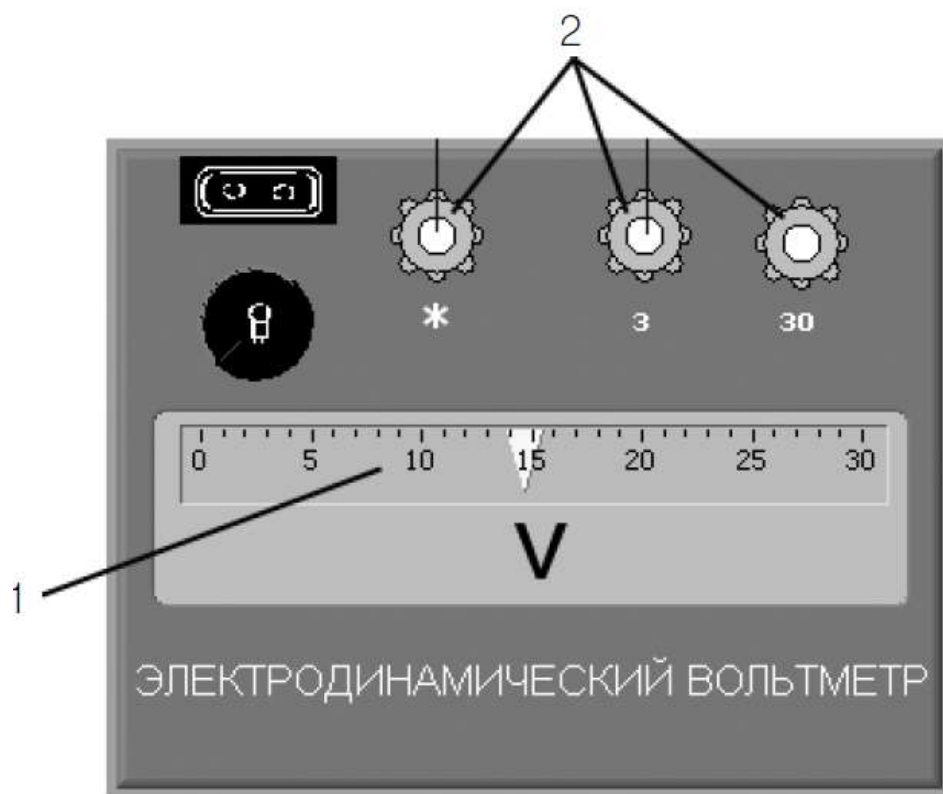


Рисунок П.5.2 – Внешний вид модели электродинамического вольтметра

## 3. Электронный аналоговый вольтметр

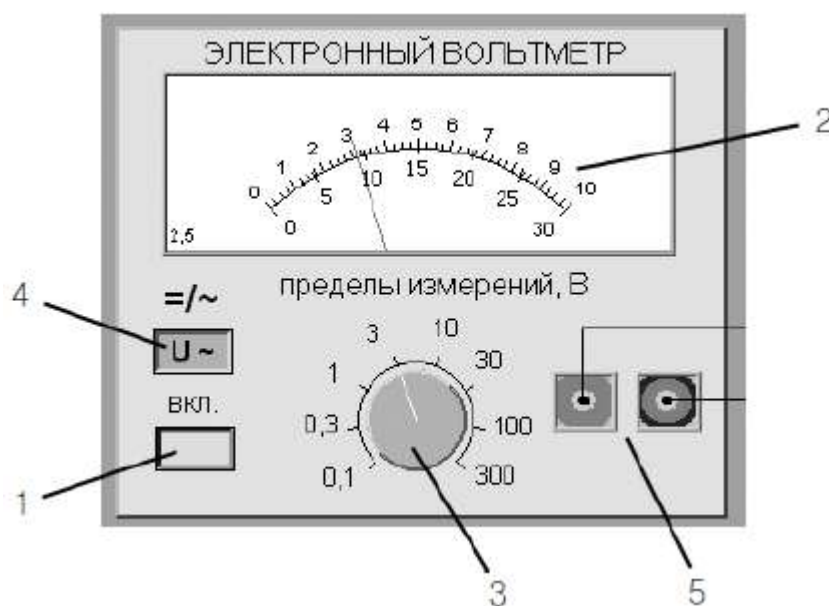
Модель электронного аналогового вольтметра проградуирована в среднеквадратических значениях. Он служит для измерения постоянного напряжения и среднеквадратического значения напряжения в цепях переменного тока синусоидальной формы (в последнем случае для преобразования используется амплитудный детектор).

Ниже приведены некоторые характеристики модели:

- в режиме измерения постоянного и переменного напряжения пределы измерения могут выбираться в диапазоне от 100 мВ до 300 В;
- диапазон рабочих частот от 10 Гц до 100 МГц;
- класс точности вольтметра нормирован для приведенной погрешности и равен 2,5 на всех пределах измерения постоянного напряжения и переменного напряжения в области рабочих частот.

На лицевой панели модели расположены (рис. П.5.3):

- кнопка (1) «ВКЛ» для включения питания;
- шкала (2) отсчетного устройства со стрелочным указателем;
- переключатель (3) пределов измеряемой величины;
- кнопка (4) «~/=» выбора рода работы (измерение постоянного или переменного напряжения);
- электрические разъемы (5) для подключения к источнику измеряемого напряжения.



*Рисунок П.5.3 – Внешний вид модели электронного аналогового вольтметра*

#### **4. Электронный аналоговый милливольтметр средневыпрямленного значения**

Модель электронного аналогового милливольтметра средневыпрямленного значения служит для измерения средневыпрямленного значения напряжения в цепях переменного тока синусоидальной и искаженной формы.

Ниже приведены некоторые характеристики модели:

- в режиме измерения переменного напряжения пределы измерения могут выбираться в диапазоне от 1,0 мВ до 300 В;
- диапазон рабочих частот от 10 Гц до 10 МГц;
- пределы допускаемой приведенной основной погрешности в области частот от 50 Гц до 100 кГц не превышают значений:
  - $h_{пр} \leq 1 \%$  в диапазонах 1–3 мВ или 0,1–1 А;
  - $h_{пр} \leq 0,5 \%$  в диапазонах 10 мВ – 300 В или 0,01–30 мА.

На лицевой панели модели расположены (рис. П.5.4):

- кнопка (1) «СЕТЬ» для включения питания;
- световые индикаторы (2) включения питания и установленных пределов «V» и «mV»;
- шкала (3) отсчетного устройства со стрелочным указателем и с указанием параметра, для которого выполнялась градуировка;
- кнопка калибровки (4);
- кнопочный переключатель (5) пределов измеряемой величины;
- электрические разъемы (6) для подключения к источнику измеряемого напряжения.

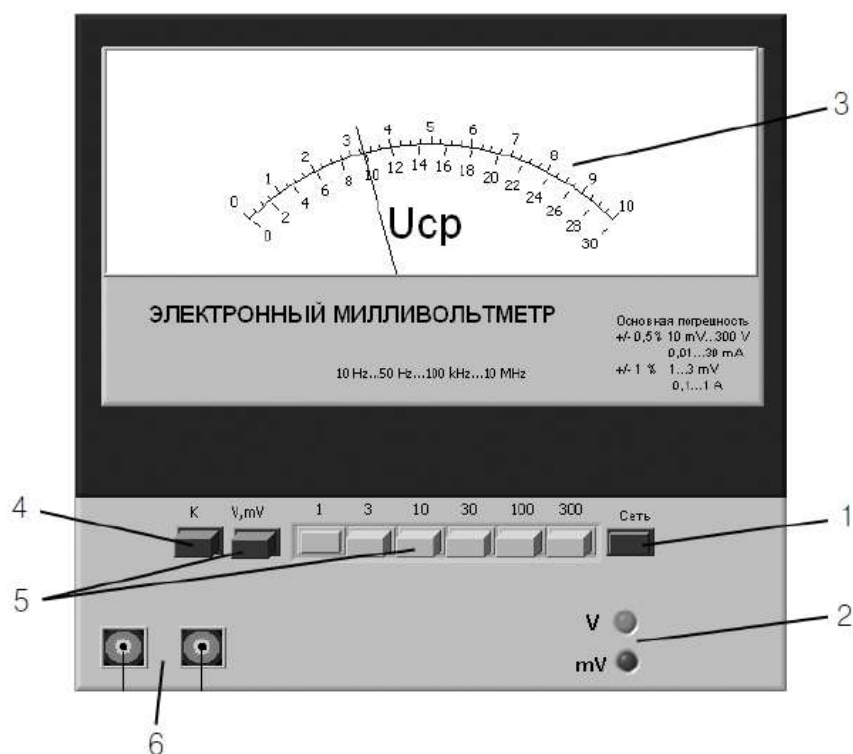


Рисунок П.5.4 – Электронный аналоговый милливольтметр средневыпрямленного значения



## 5. Электронный аналоговый милливольтметр среднеквадратического значения

Модель электронного аналогового милливольтметра среднеквадратического значения служит для измерения среднеквадратического значения напряжения в цепях переменного тока синусоидальной и искаженной формы.

Ниже приведены некоторые характеристики модели:

- в режиме измерения переменного напряжения пределы измерения могут выбираться в диапазоне от 1,0 мВ до 300 В;
- диапазон рабочих частот от 10 Гц до 10 МГц;
- пределы допускаемой приведенной основной погрешности в области частот от 50 Гц до 100 кГц не превышают значений:
  - $h_{пр} \leq 1\%$  в диапазонах 1–3 мВ или 0,1–1 А;
  - $h_{пр} \leq 0,5\%$  в диапазонах 10 мВ–300 В или 0,01–30 мА.

На лицевой панели модели расположены (рис. П.5.5):

- кнопка (1) «СЕТЬ» для включения питания;
- световые индикаторы (2) включения питания и установленных пределов «V» и «mV»;
- шкала (3) отсчетного устройства со стрелочным указателем и с указанием параметра, для которого выполнялась градуировка;
- кнопка калибровки (4);
- кнопочный переключатель (5) пределов измеряемой величины;
- электрические разъемы (6) для подключения к источнику измеряемого напряжения.

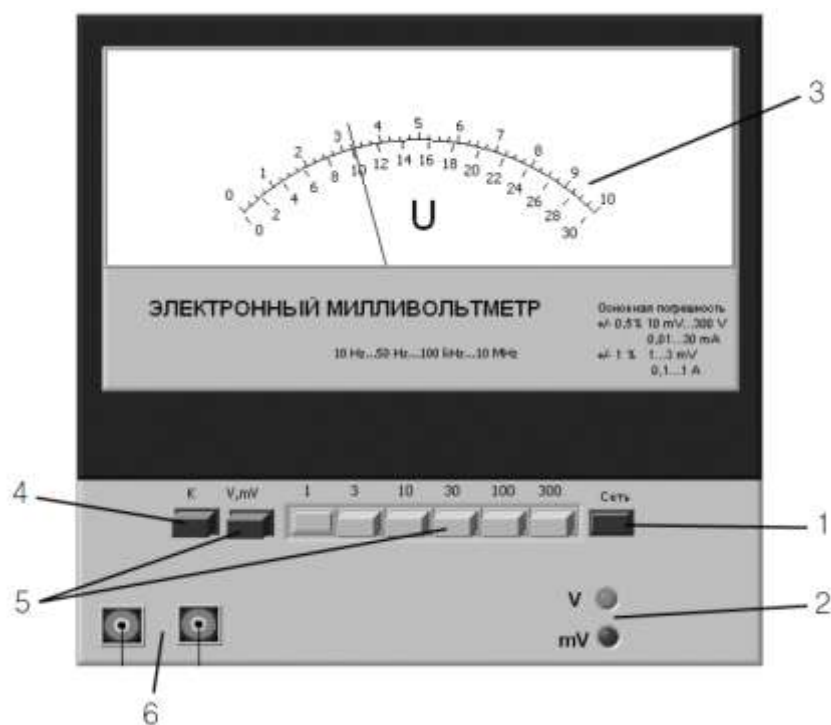


Рисунок П.5.5 – Внешний вид модели электронного аналогового милливольтметра среднеквадратического значения

## 6. Электронный осциллограф

Модель электронного осциллографа служит для измерения параметров и наблюдения электрических сигналов различной формы.

Ниже приведены некоторые характеристики модели:

- диапазон частот измеряемого напряжения от 0 до 1 МГц;
- значения коэффициента развертки устанавливаются ступенями и равны от 20 мс до 1 мкс;
- диапазон амплитуд измеряемого напряжения от 0,05 до 2 В;
- основные погрешности соответствуют нормам для осциллографа II класса.

На лицевой панели модели осциллографа расположены (П.5.6):

- кнопка (1) «СЕТЬ» для включения прибора;
- экран (2) электронно-лучевой трубки для наблюдения за исследуемым сигналом;
- переключатели чувствительности «В/дел.» первого (3) и второго (4) каналов;
- регуляторы перемещения луча в вертикальном направлении первого (5) и второго (6) каналов;
- переключатель (7) управления режимом входных каналов осциллографа «I – II – I+II»;
- регулятор (8) перемещения луча в горизонтальном направлении;
- переключатель (9) коэффициента развертки «Время/дел.» для двух каналов;
- переключатель (10) режима развертки «Внутр./Внеш.» для выбора внутреннего генератора развертки или внешнего источника;
- переключатель (11) режима развертки «X+X/X+Y» (в положении X+X обеспечивается подача исследуемых сигналов на пластины Y, а напряжения развертки – на пластины X (режим линейной развертки), в положении «X+Y» обеспечивается подача одного исследуемого сигнала на пластины Y, а второго исследуемого сигнала – на пластины X (режим круговой развертки));
- переключатель (12) режима запуска развертки;
- регулятор (13) уровня срабатывания синхронизации;
- две коаксиальные розетки входов первого (14) и второго (15) каналов.

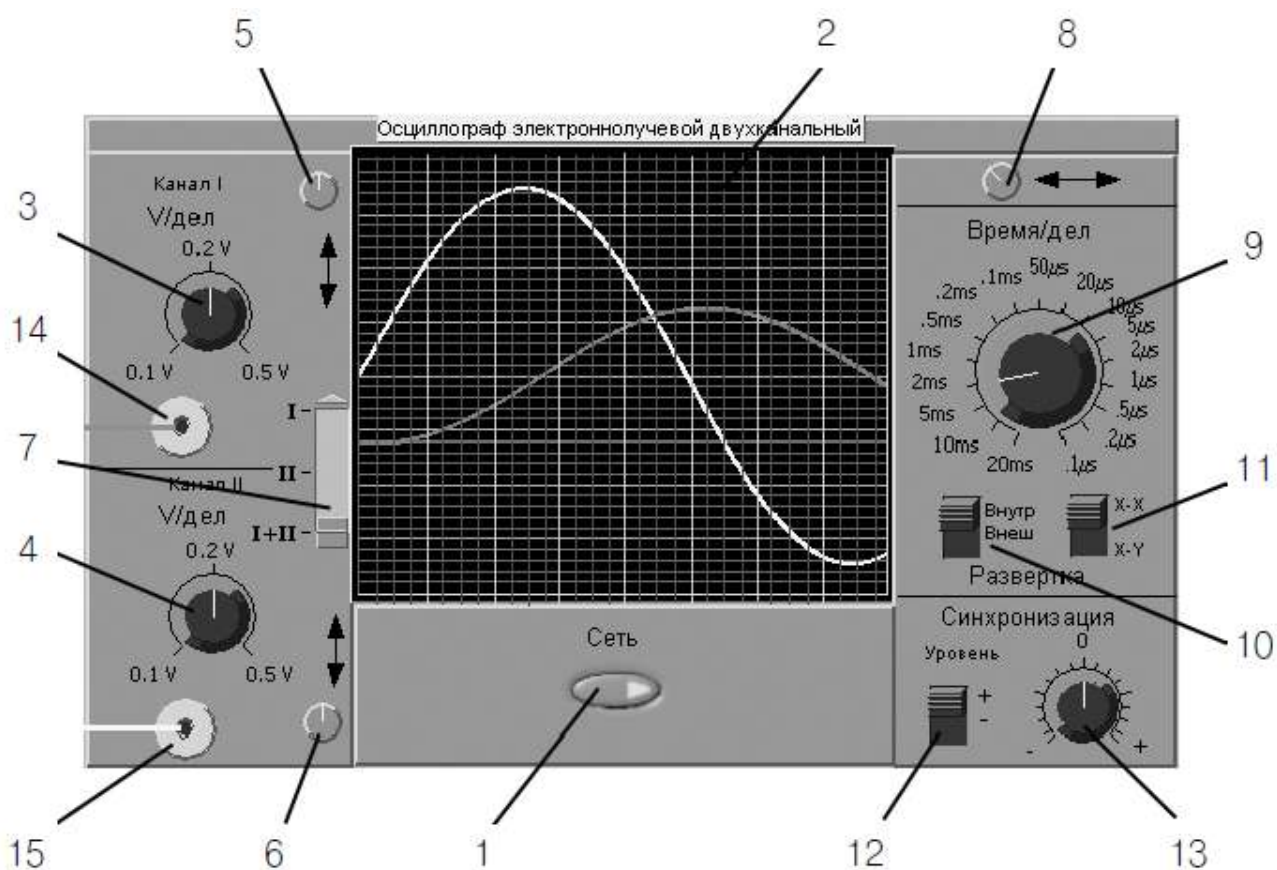


Рисунок П.5.6 – Внешний вид модели электронного осциллографа

## 7. Генератор сигналов специальной формы

Модель генератора сигналов специальной формы служит для формирования гармонических и прямоугольных (меандр), а также периодических треугольных и пилообразных электрических сигналов с регулируемыми параметрами.

Ниже приведены некоторые характеристики модели:

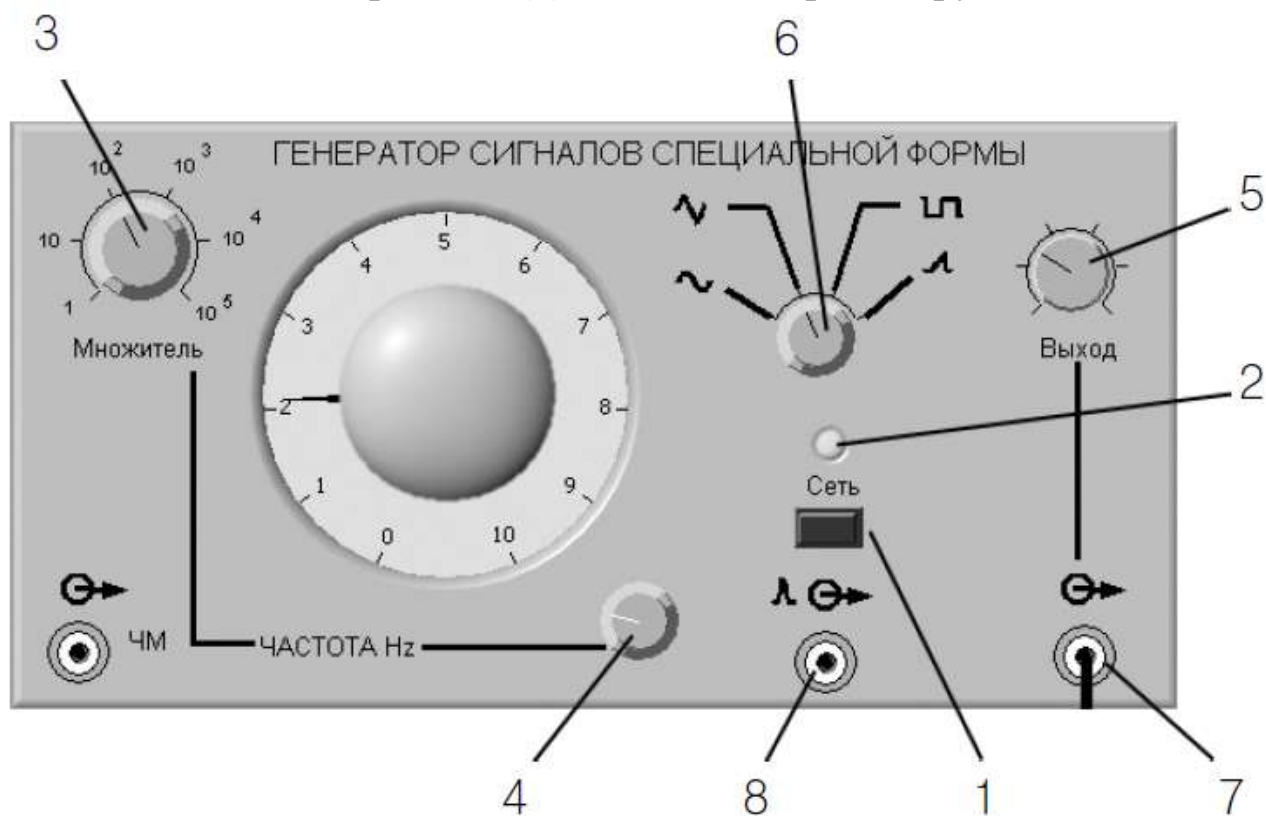
- диапазон рабочих частот от 1 Гц до 100 кГц;
- выходное напряжение плавно регулируется в диапазоне от 0 до 15 В;

- погрешность установки частоты выходного сигнала не более 1 %.

На лицевой панели модели расположены (рис. П.5.7):

- кнопка (1) «СЕТЬ» включения питания;
- световой индикатор (2) включения;
- декадный переключатель (3) частоты выходного сигнала «Множитель»;
- ручка (4) плавной регулировки частоты выходного сигнала «Частота, Hz»;

- ручка (5) плавной регулировки уровня выходного сигнала «Амплитуда»;
- ручка (6) переключения формы выходного сигнала;
- коаксиальная розетка (7) выхода гармонического, прямоугольного (меандр) и треугольного сигналов;
- коаксиальная розетка (8) выхода синхронизирующего сигнала.



*Рисунок П.5.7 – Внешний вид модели генератора сигналов специальной формы*

## **Лабораторная работа № 6. Изучение Федерального закона «О техническом регулировании»**

### ***6.1. Цель работы***

Рассмотрение основных положений Закона, принципов технического регулирования, порядка разработки, принятия, изменения и отмены технического регламента.

Изучение целей и принципов стандартизации, документов в области стандартизации, правил разработки и утверждения национальных стандартов. Изучение основных положений и норм Закона «О техническом регулировании» в области подтверждения соответствия.

### ***6.2. Справочный материал***

Федеральный закон «О техническом регулировании» (выдается на занятии).

*Техническое регулирование* – это правовое регулирование отношений в области установления, применения и исполнения обязательных и добровольных требований к продукции, процессам и услугам, а также правовое регулирование отношений в области оценки соответствия.

Федеральный закон «О техническом регулировании» был принят 27.12.2002 и вступил в силу с 01.07.2003. Принятие этого закона положило начало реорганизации Государственной системы стандартизации РФ (ГСС РФ), которая была необходима для вступления России во Всемирную торговую организацию (ВТО) и устранения технических барьеров в торговле. В результате реорганизации к 2010 году ГСС РФ была преобразована в Национальную систему стандартизации РФ (НСС РФ), с изменением статуса системы с государственного на добровольный.

Закон «О техническом регулировании» направлен на разделение требований к качеству продукции на обязательные к исполнению и добровольные. *Обязательные требования* к продукции устанавливаются техническими регламентами (ТР), имеющими статус федеральных законов и принимаемых Государственной думой. ТР содержат перечень параметров продукции, обеспечивающих безопасность потребителя. *Добровольные требования* к продукции устанавливаются стандартами. Стандарт приобретает статус рыночного стимула.

### **6.3. Рабочие задания**

#### **Задание 1**

Используя текст Закона «О техническом регулировании», охарактеризуйте следующие понятия:

- 1) аккредитация;
- 2) безопасность;
- 3) ветеринарно-санитарные и фитосанитарные меры;
- 4) декларирование соответствия;
- 5) декларация о соответствии;
- 6) заявитель;
- 7) знак обращения на рынке;
- 8) знак соответствия;
- 9) идентификация продукции;
- 10) контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов;
- 11) международный стандарт;
- 12) национальный стандарт;
- 13) орган по сертификации;
- 14) оценка соответствия;
- 15) подтверждение соответствия;
- 16) продукция;
- 17) риск;
- 18) сертификация;
- 19) сертификат соответствия;
- 20) система сертификации;
- 21) стандарт;
- 22) стандартизация;
- 23) техническое регулирование;
- 24) технический регламент;
- 25) формы подтверждения соответствия.

#### **Задание 2**

Изучите принципы технического регулирования по ст. 3 Закона «О техническом регулировании». Результаты оформите в виде таблицы 1.6.1.

Таблица 1.6.1 – Основные принципы технического регулирования

Принцип	Характеристика

### ***Задание 3***

Изучите порядок разработки, принятия, изменения и отмены технического регламента, опираясь на ст. 9 Закона «О техническом регулировании». Составьте схему, наглядно показывающую порядок разработки и применения технического регламента.

### ***Задание 4***

Изучите ст. 11 Закона «О техническом регулировании» и оформите таблицу 1.6.2.

Таблица 1.6.2 – Основные цели стандартизации

Цель стандартизации	Характеристика

### ***Задание 5***

Опираясь на ст. 12 Закона «О техническом регулировании» изучите принципы стандартизации. Результаты оформите в виде таблицы 1.6.3.

Таблица 1.6.3 – Основные принципы стандартизации

Принцип	Сущность принципа	Примеры (по 2–3 примера применительно к конкретным видам товаров и услуг)

### ***Задание 6***

Перечислите нормативные документы, используемые на территории Российской Федерации в настоящее время. Какие из них не предусмотрены Федеральным законом «О техническом регулировании»?

### ***Задание 7***

Согласно постановлению Правительства РФ от 17.06.2004 № 294, федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по оказанию государственных услуг, управлению государственным имуществом в сфере технического регулирования и метрологии является Федеральное агентство по техническому регулированию (Ростехрегулирование).

Опираясь на ст. 14 Закона «О техническом регулировании» перечислите функции Федерального агентства по техническому регулированию в области стандартизации.

**Задание 8**

Ознакомьтесь со ст. 16 Закона «О техническом регулировании». Отчет оформите в виде схемы, отражающей правила разработки и утверждения национального стандарта.

**Задание 9**

Руководствуясь ст. 18 Закона «О техническом регулировании», перечислите цели подтверждения соответствия.

**Задание 10**

Изучите принципы подтверждения соответствия по ст. 19 Закона «О техническом регулировании». Результаты представьте в виде таблицы 1.6.4.

Таблица 1.6.4 – Принципы подтверждения соответствия

Принцип	Сущность принципа

**Задание 11**

Ознакомившись с главой 4 «Подтверждение соответствия» Федерального закона «О техническом регулировании», заполните таблицу 1.6.5.

Таблица 1.6.5 – Сравнительный анализ разных форм подтверждения соответствия

Форма подтверждения соответствия	Основные цели	Объекты	Основание для проведения	Нормативная база	Сущность оценки соответствия
Обязательная сертификация					
Добровольная сертификация					
Декларирование соответствия					



## ***Задание 12***

Изучив главу 6 «Государственный контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов» Федерального закона «О техническом регулировании», перечислите права и обязанности органов государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов.

### ***Контрольные вопросы***

1. Какие законы РФ утратили силу со дня вступления в действие Федерального закона «О техническом регулировании»?
2. Что такое техническое регулирование?
3. Что такое технический регламент?
4. Каковы цели принятия технических регламентов?
5. Какие существуют виды технических регламентов, каков порядок их разработки и принятия?
6. Назовите принципы технического регулирования.
7. Что такое технический барьер?
8. Назовите цели и принципы стандартизации.
9. Какие документы в области стандартизации используются на территории РФ?
10. Какие функции выполняет Федеральное агентство по техническому регулированию?
11. Назовите правила разработки и утверждения национальных стандартов.
12. Каковы цели подтверждения соответствия?
13. Перечислите принципы подтверждения соответствия.
14. Что такое знак обращения на рынке?
15. Что такое знак соответствия?
16. Может ли добровольная сертификация продукции, подлежащей обязательной сертификации, заменить обязательную сертификацию такой продукции?
17. Может ли Заявитель выбирать орган по сертификации?
18. Назовите органы, осуществляющие государственный контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов.
19. Перечислите права органов государственного контроля (надзора) при осуществлении ими своих полномочий.
20. Назовите обязанности органов государственного контроля (надзора) при осуществлении ими своих полномочий.

## **Лабораторная работа № 7. Классификация, построение и содержание стандартов**

### ***7.1. Цель работы***

Изучение классификации, построения и содержания стандартов. Ознакомление с объектами стандартизации и формированием обозначения стандарта.

### ***7.2. Справочный материал***

*Стандарт* – это нормативный документ, разработанный на основе консенсуса, утвержденный признанным органом и направленный на достижение оптимальной степени упорядочения в определенной области.

Стандарты бывают разных категорий и разных видов.

*Категория стандарта* – это статус стандарта в зависимости от сферы действия.

В настоящее время в России используются семь категорий стандартов:

- 1) международные (напр., ИСО 9000);
- 2) региональные (напр., EN 45001);
- 3) межгосударственные (напр., ГОСТ 7454-90);
- 4) государственные (национальные) стандарты РФ (напр., ГОСТ Р 51331-99);
- 5) стандарты отраслей (напр., ОСТ 10-060-95);
- 6) стандарты научно-технических, инженерных обществ и других общественных объединений (напр., СТО РОО 10.01-95);
- 7) стандарты предприятий (напр., СТП 1-97).

*Вид стандарта* – это специфика назначения и содержания стандарта, определяемая объектом стандартизации.

На сегодняшний день в России используются стандарты четырех видов:

- 1) основополагающий;
- 2) стандарт на продукцию (услугу);
- 3) стандарт на работы (процессы);
- 4) стандарт на методы контроля (испытаний, измерений, анализа).

В общем случае *стандарт на продукцию* содержит следующие разделы:

- 1) классификация, основные параметры и размеры;
- 2) общие технические требования;
- 3) правила приемки;
- 4) маркировка, упаковка, транспортирование, хранение.

*Обозначение стандарта* формируется из индекса, регистрационного номера и двух последних цифр года принятия. Для отраслевых стандартов, после индекса указывается условное обозначение министерства (ведомства), а для стандартов организации – аббревиатура общества.

### **7.3. Рабочие задания**

#### **Задание 1**

Получите у преподавателя не менее трех стандартов на конкретную продукцию (по своей специальности), изучите их и заполните таблицу 1.7.1.

Таблица 1.7.1 – Характеристика стандартов разных видов

Вид стандарта	Содержание стандарта	Объекты стандартизации
1. основополагающий стандарт	Общие или руководящие положения для определенной области	Объекты межотраслевого значения; общие положения для стандартов конкретной системы

#### **Задание 2**

Охарактеризуйте стандарты разных видов, заполнив таблицу 1.7.1, согласно приведенному примеру.

#### **Задание 3**

Переведены на русский язык и приняты к использованию в РФ два международных стандарта:

- 1) ГОСТ Р ИСО 9591-93;
- 2) ГОСТ Р 50231-92 (ИСО 7173-89).

Поясните, какой из них используется без изменения текста международного стандарта, а в какой внесены дополнительные требования, отражающие специфику потребностей России.

#### ***Задание 4***

Назовите и охарактеризуйте основные этапы разработки государственного (национального) стандарта РФ.

#### ***Задание 5***

Перечислите крупнейшие международные организации по стандартизации и укажите сферы их деятельности.

### ***Контрольные вопросы***

1. Что такое стандарт?
2. Что такое категория стандарта?
3. Перечислите известные вам категории стандартов.
4. Какие категории стандартов прописаны в Федеральном законе «О техническом регулировании»?
5. Что значит вид стандарта?
6. Назовите виды стандартов, применяемые в международной практике.
7. Какие виды стандартов используются в РФ?
8. Назовите основные международные организации по стандартизации.
9. Какие направления являются приоритетными при разработке международных стандартов?
10. Являются ли международные стандарты обязательными?

## **Лабораторная работа № 8. Изучение порядка проведения сертификации продукции и правил заполнения сертификата соответствия**

### **8.1. Цель работы**

Ознакомление с порядком проведения сертификации продукции. Овладение умением анализировать порядок заполнения бланков сертификатов соответствия.

### **8.2. Справочный материал**

*Сертификация* – это вид деятельности по оценке соответствия. *Оценка соответствия* – это прямое или косвенное определение соблюдения требований, предъявляемых к объекту.

Организация и проведение работ по обязательной и добровольной сертификации основываются на Правилах по сертификации, которые распространяются на все объекты сертификации, как российского, так и зарубежного происхождения. Согласно Правилам сертификация проводится по схемам, установленным системами сертификации однородной продукции или группы услуг.

*Схемы сертификации* – это определенная совокупность действий, официально принимаемая в качестве доказательства соответствия продукции, работы или услуги заданным требованиям. Схемы сертификации продукции включают 10 основных и 6 дополнительных схем. Схемы сертификации работ и услуг включают 7 схем. *Общими критериями выбора схемы сертификации* продукции являются:

- 1) объем производства;
- 2) требования к качеству;
- 3) вид сертификации (обязательная или добровольная);
- 4) специфика продукции;
- 5) необходимые затраты Заявителя.

*В качестве способов доказательства* соответствия продукции заданным требованиям используют четыре способа:

- 1) испытания типа;
- 2) проверку производства (системы качества);
- 3) инспекционный контроль сертифицированной продукции (системы качества производства);
- 4) рассмотрение заявки-декларации о соответствии.

*Порядок сертификации продукции включает семь основных этапов:*

- 1) подача заявки на сертификацию;
- 2) рассмотрение и принятие решения по заявке;
- 3) отбор, идентификация образцов и их испытания;
- 4) проверка производства;
- 5) анализ полученных результатов, принятие решения о возможности выдачи сертификата;
- б) маркировка продукции, на которую выдан сертификат, знаком соответствия, принятым в системе;
- 7) инспекционный контроль за сертифицированной продукцией (если это предусмотрено схемой сертификации).

*Орган по сертификации* после анализа протокола испытаний, анализа документов о соответствии продукции *осуществляет оценку соответствия продукции установленным требованиям*, оформляет сертификат соответствия и регистрирует его. *В сертификате указывают* все документы, служащие основанием для выдачи сертификата в соответствии со схемой сертификации.

*Срок действия сертификата* устанавливает орган по сертификации с учетом действия нормативного документа, но не более чем на три года. Действие сертификата на партию продукции или на каждое изделие, имеющее срок службы, должно распространяться на срок не более срока службы. В сертификате соответствия в данном случае дата окончания срока действия не указывается.

Для приобретения навыков правильного заполнения сертификата на прилагаемом чистом бланке цифрами указаны 13 позиций (рис. 1.8.1).

*Правила заполнения бланка сертификата соответствия* заключаются в указании в графах бланка следующих сведений:

*Позиция 1* – регистрационный номер сертификата, отражающий страну происхождения продукции, область аккредитации органа по сертификации, выдавшего сертификат и порядковый номер сертификата, зарегистрированного в данном органе по сертификации.

*Позиция 2* – срок действия сертификата (число, месяц – арабскими цифрами через точку, год – четыре арабскими цифрами).

*Позиция 3* – регистрационный номер органа по сертификации, его наименование (прописными буквами), адрес, телефон, телефакс (строчными буквами).

*Позиция 4* – наименование, тип, вид, марка продукции с указанием расфасовки и ее веса, обозначение нормативного документа,

номера контракта постановки, а при серийном производстве указывается «серийный выпуск»; здесь же дается ссылка на имеющееся приложение записью «см. приложение, бланк №...».

*Позиция 5* – обозначение нормативных документов, на соответствие которым проведена сертификация и ссылки на нормируемые показатели (по СанПиН, ГОСТ, ГОСТ Р).

*Позиция 6* – код продукции (шесть разрядов с пробелом после первых двух) по Общероссийскому классификатору продукции (ОКП).

*Позиция 7* – код продукции (10 – разрядный) по классификатору Товарной номенклатуры внешней экономической деятельности (ТН ВЭД) для импортируемой и экспортируемой продукции. Этот код является факультативным и сообщается Заявителем.

*Позиция 8* – наименование и адрес изготовителя.

*Позиция 9* – наименование Заявителя и держателя сертификата и его адрес.

*Позиция 10* – перечень документов, на основании которых выдан сертификат: протокол испытаний, его номер и дата; наименование испытательной лаборатории и номер ее государственной регистрации; санитарно-эпидемиологическое заключение, его номер, дата выдачи и срок действия; наименование организации, выдавшей это заключение.

*Позиция 11* – при необходимости указать сведения для импортируемой продукции о транспортных накладных, а если продукция поставляется в упаковках, отметить в каких.

*Позиция 12* – подпись, инициалы, фамилия руководителя органа, выдавшего сертификат.

*Позиция 13* – подпись, инициалы, фамилия эксперта, проводившего сертификацию. *Цвет бланка сертификата соответствия при обязательной сертификации – желтый, при добровольной – голубой.*

При выполнении заданий на заполнение бланка сертификата соответствия (**задания 4–7**) используйте следующие данные:

*Позиция 1* – РОСС RU.0001.10AE47

ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ ПРОДУКЦИИ И УСЛУГ  
ГОУ ВПО «МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГИЙ И УПРАВЛЕНИЯ»

109004, Москва, ул. Земляной вал, 73,  
тел. (495)915-36-85

*Позиция 10* – протоколов испытаний №... от ..., выданных ИЦ ГОУ ВПО «МГУ ТУ», рег. № РОС RU.0001.21ПЧ86, адрес 109004, г. Москва, ул. Земляной вал, д. 73; санитарно-эпидемиологического заключения №... от... до..., выданного Управлением Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по г. Москве.

*Примечание:* ГОУ ВПО – Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования.

### **8.3. Рабочие задания**

#### **Задание 1**

Назовите известные вам Правила проведения сертификации.

#### **Задание 2**

Охарактеризуйте способы доказательства соответствия продукции заданным требованиям. Результаты оформите в виде таблицы 1.8.1.

Таблица 1.8.1 – Способы доказательства соответствия продукции заданным требованиям

Номер способа	Способ доказательства	Характеристика

#### **Задание 3**

Охарактеризуйте каждый из семи основных этапов порядка сертификации продукции. Результаты представьте в виде таблицы 1.8.2.

Таблица 1.8.2 – Порядок сертификации продукции

№ п/п	Этап	Характеристика



СИСТЕМА СЕРТИФИКАЦИИ ГОСТ Р  
ГОССТАНДАРТ РОССИИ

СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ



(1) №

(2) Срок действия с

по

№

(3) ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ

(4) ПРОДУКЦИЯ

(6) код ОК 005 (ОКП):

(5) СООТВЕТСТВИЕ ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

(7) код ТН ВЭД:

(8) ИЗГОТОВИТЕЛЬ

(9) СЕРТИФИКАТ ВЫДАН

(10) НА ОСНОВАНИИ

(11) ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

(12) Руководитель органа

\_\_\_\_\_

подпись

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

М.П.

(13) Эксперт

\_\_\_\_\_

подпись

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

*Сертификат имеет юридическую силу на всей территории Российской Федерации*

Рисунок 1.8.1 – Позиции заполнения бланка  
сертификата соответствия

#### ***Задание 4***

Заполните бланк сертификата соответствия на счетчики ватт-часов активной энергии переменного тока статического исполнения СИЭ-1. БЖТИ.411152.002ТУ серийный выпуск.

ГОСТ Р 52320-2005.

Код ОК 005 42 2861.

#### ***Задание 5***

Заполните бланк сертификата соответствия на электроагрегаты дизельные серии АД, ADV, ADM.

ТУ АД-200.0000-2008.

Код ОКП (ТН ВЭД ТС): 33 7000.

#### ***Задание 6***

Заполните бланк сертификата соответствия на контакты и пускатели электромагнитные серии КМД на номинальные токи 95; 115; 150 А.

ТУ 3427-001-71952997-2006.

КОД ТН ВЭД ТС.

#### ***Задание 7***

Заполните бланк сертификата соответствия на изделия счетчики ватт-часов активной энергии переменного тока статического исполнения СТЭ-1 БЖТИ.411152.002ТУ серийный выпуск.

ГОСТ Р 52320-2005.

Код ОК 005 42 2861.

#### ***Контрольные вопросы***

1. Может ли заявитель предлагать схему сертификации?
2. Кто проводит отбор образцов для испытаний?
3. Каков максимальный срок действия сертификата соответствия?
4. Перечислите субъекты сертификации.
5. Назовите способы доказательства соответствия продукции заданным требованиям.
6. Что такое однородная продукция?
7. Какой вид сертификации преобладает в РФ в настоящее время?
8. Назовите непосредственных участников обязательной сертификации и их функции.
9. Какая продукция считается скоропортящейся?
10. Каковы основные критерии выбора схемы сертификации продукции?

## 2. КУРСОВАЯ РАБОТА

### Общие методические рекомендации и указания по выполнению курсовой работы (КР)

Целью курсовой работы является систематизация, закрепление и углубление теоретических знаний и их применение для решения конкретных научных, технических и производственных задач. Она состоит из двух частей, охватывающих основные разделы теоретического курса.

Курсовая работа должна опираться на новейшие достижения науки в своей сфере.

Требования, предъявляемые к КР, можно объединить в 3 группы:

- к структуре;
- к содержанию;
- к оформлению.

*Структурная работа* должна состоять из: оглавления, введения, основной части (двух-четырех разделов), заключения, списка использованной литературы. Объем работы – от 10 до 15 страниц, но не более 25.

Соответственно структуре распределяется объем:

- введение – 1–2 с.;
- основная часть должна составлять не менее 80 % объема пояснительной записки;
- заключение – 1–2 с.;
- библиографический список (должен содержать приблизительно 8–10 источников).
- ресурсы Internet.

*Содержание курсовой работы:*

1. Выбор варианта задания курсовой работы определяется решением преподавателя.

2. Оглавление (разделы/главы курсовой работы с указанием страниц).

3. Введение (обоснование темы курсовой работы с указанием ее важности и актуальности для современного состояния агропромышленного комплекса);

4. Основная часть (теоретическая часть – описание методик выполняемых измерений, изложенных в темах работы, расчетная часть).

5. Выполнение чертежа схемы рекомендуется выполнять карандашом с применением чертежных инструментов, желательно на миллиметровой бумаге.

6. Заключение должно содержать краткие выводы, характеризующие главные итоги работы.

7. Список используемой литературы.

*Оформление текста пояснительной записки*

Текст пояснительной записки должен быть выполнен литературным и технически грамотным языком на одной стороне листа бумаги А4 формата.

*Оценка курсовой работы снижается, если в ней:*

- отсутствует самостоятельность в разработке темы, КР сведена к простому пересказу или переписыванию источников;
- нарушена логика в изложении материала, есть повторы или же скачки мысли, примеры носят случайный характер;
- крайне ограничен круг изученной литературы;
- допущены ошибки в цитировании, неправильно указаны источники приводимых высказываний;
- встречаются орфографические и грамматические ошибки, страдает стиль изложения;
- работа неаккуратна по внешнему виду.

## **Тема 1. Прямые измерения с многократными наблюдениями**

### 1.1. Краткие теоретические сведения

#### *1.1.1. Точность методов и результатов измерений*

При практическом использовании тех или иных измерений важно оценить их точность. *Точность* - степень близости результата измерений к некоторому действительному значению и используется для качественного сравнения измерительных операций.

*Точность* – это качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины. Высокая точность измерений соответствует малым погрешностям как систематическим, так и случайным.

Точность количественно оценивают обратной величиной модуля относительной погрешности. Например, если погрешность измерений равна  $10^{-6}$ , то точность равна  $10^6$ .

**Достоверность** измерений характеризует степень доверия к результатам измерений. Достоверность оценки погрешностей определяют на основе законов теории вероятностей и математической статистики. Это дает возможность для каждого конкретного случая выбирать средства и методы измерений, обеспечивающие получение результата, погрешности которого не превышают заданных границ с необходимой достоверностью.

Под **правильностью** измерений понимают качество измерений, отражающее близость к нулю систематических погрешностей в результатах измерений.

**Сходимость** – это качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в одинаковых условиях. Сходимость измерений отражает влияние случайных погрешностей.

**Воспроизводимость** – это такое качество измерений, которое отражает близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в различных условиях (в различное время, в различных местах, различными методами и средствами).

Для количественной оценки используется понятие «погрешность результатов измерений» (чем меньше погрешность, тем выше точность).

Оценка погрешности измерений – одно из важнейших мероприятий по обеспечению единства измерений.

В отечественной метрологии погрешность результатов измерений, как правило, определяется сравнением результата измерений с истинным или действительным значением измеряемой величины.

**Истинное значение** – значение, которое идеальным образом характеризует в качественном и количественном отношении соответствующую величину.

**Действительное значение** – значение величины, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него.

### *1.1.2. Обработка результатов измерений*

Точно оценить действительное значение измеряемой величины можно лишь путем ее многократных измерений и соответствующей обработки их результатов.

*Многokратные* измерения показывают, что результаты отдельных наблюдений отличаются друг от друга. Отличия наблюдаются также в результатах отдельных серий многократных измерений. В метрологии принято различать **равноточные** и **неравноточные** измерения.

**К равноточным** (равнорассеянным) относятся измерения, проводимые одним наблюдателем, в одинаковых условиях, с помощью одного и того же средства измерения. Равноточность выполняется при условии, что измерения являются независимыми, одинаково распределенными.

**К неравноточным** относятся измерения, когда измерения одной и той же физической величины проводятся несколькими наблюдателями различной квалификации и опыта, на приборах разного класса точности или в течении нескольких дней.

**Выбор средств измерений и вспомогательных устройств** определяется измеряемой величиной, принятым методом измерений и требуемой точностью результата измерений (нормами точности). Измерения с применением СИ недостаточной точности малоценны (даже бессмысленны), так как могут быть причиной неправильных выводов. Применение излишне точных СИ экономически невыгодно. Учитывают также диапазон изменений измеряемой величины, условия измерений, эксплуатационные качества СИ, их стоимость.

Основное внимание уделяют погрешностям СИ. При этом добиваются выполнения условия

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{\text{мод}} + \Delta_{\text{м}} + \Delta_{\text{СИ}} + \Delta_{\text{усл}} + \Delta_{\text{о}} \leq \Delta_{\text{д}},$$

где  $\Delta_{\text{д}}$  – предельно допускаемая погрешность результатов измерений;

*предельные погрешности*

$\Delta_{\text{мод}}$  – модели измерений;

$\Delta_{\text{м}}$  – метода измерений;

$\Delta_{\text{СИ}}$  – средства измерений;

$\Delta_{\text{усл}}$  – дополнительные погрешности, обусловленные воздействием влияющих факторов условий измерений;

$\Delta_{\text{о}}$  – оператора.

Этот критерий выбора СИ достаточно надежен, но дает завышенную на 20–30 % оценку суммарной погрешности измерения  $\Delta_{\Sigma}$ . Если такой запас по точности не допустим, суммирование состав-

ляющих  $\Delta_{\Sigma}$  следует произвести по формулам для случайных погрешностей.

### **Подготовка к измерениям и опробование средств измерений**

При подготовке к измерениям оператор должен:

1. Подготовить ОИ (например, очистить) и создать необходимые по нормативно-техническим документам (НТД) условия измерений (испытаний) – установить в рабочее положение, включить питание, прогреть его необходимое время и т. п.

2. Опробовать СИ. Проверить действие органов управления, регулировки, настройки и коррекции. Если СИ снабжены средствами самокалибровки (тестирования), выполнить соответствующие операции.

3. Провести 2–3 пробных наблюдения и сравнить результаты с ожидаемыми. При непредвиденно большом расхождении результатов проанализировать причины и устранить их.

#### *1.1.3. Алгоритм обработки прямых многократных результатов измерения*

Последовательность обработки результатов измерений включает следующие этапы:

1. Исключают известные систематические погрешности из результатов наблюдений.

Методика определения погрешности прибора приводится в его паспорте. Для характеристики большинства приборов часто используют понятие приведенной погрешности, равной абсолютной погрешности в процентах диапазона шкалы измерений.

Для приборов с цифровым отсчетом измеряемых величин метод вычисления погрешности приводится в паспортных данных прибора. Если эти данные отсутствуют, то в качестве абсолютной погрешности принимается значение, равное половине последнего цифрового разряда индикатора.

Наибольшая абсолютная инструментальная погрешность (для аналоговых приборов):

$$\Delta X_{\max} = \gamma \cdot X_N \cdot 0,01, \quad (2.1.1)$$

где  $\gamma$  – класс точности;

$X_N$ , или  $X_{ном}$  – наибольшее значение шкалы прибора.

2. Вычислить среднее арифметическое значение  $\bar{x}$  по формуле

$$x_e \approx \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}, \quad (2.1.2)$$

где  $x_i$  –  $i$ -й результат наблюдения;

$\bar{x}$  – результат измерения (среднее арифметическое исправленных результатов наблюдений);

$n$  – число результатов наблюдений.

3. Вычислить среднеквадратическое отклонение  $\sigma$  результата наблюдения.

Величина  $x$ , полученная в одной серии измерений, является случайным приближением к  $x_n$ . Для оценки ее возможных отклонений от  $x_n$  определяют *среднеквадратическое отклонение (СКО) результата измерения* по формуле

$$\sigma_x = S(x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{при } n < 20 \quad (2.1.3)$$

или

$$\sigma_x = S(x) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{при } n \geq 20. \quad (2.1.4)$$

4. Проверить отсчеты на наличие промахов:

– отобразить аномальный отсчет;

– вычислить его относительное отклонение;

– определить ожидаемое число отсчетов, среди которых может быть аномальный (приложение 6, таблица 2.1.1)

– если это число больше числа отсчетов, то исключить аномальный отсчет и перейти к п. 2; иначе – перейти к п. 5.

При  $n < 20$ , как правило, применяют *критерий Шовене*.

Сформулируем так называемый *критерий Шовене* [3]. Из полученного ряда, содержащего  $N$  отсчетов, выбирается аномальный отсчет  $X_k$  и вычисляется модуль его отклонения от среднего значения в долях выборочного среднеквадратического отклонения:

$$Z = \left| \frac{\bar{x} - x_i}{\sigma_x} \right|. \quad (2.1.5)$$



Затем вычисляется вероятность этого отклонения, а также ожидаемое число  $n$  измерений, которые дадут отсчеты, имеющие отклонение  $Z$  не меньшее, чем испытуемый. Если получено  $n < 0,5$  (при округлении до целого  $n = 0$ ), то отсчет  $X_k$  считается промахом. Эту процедуру можно изменить и вычислить ожидаемое число  $M$  отсчетов, среди которых будет хотя бы один аномальный.

5. Вычислить выборочное среднеквадратическое отклонение среднего значения

Среднеквадратичное отклонение (СКО) является случайной величиной и его разброс относительно истинного значения измеряемой величины оценивается

$$\sigma_{\bar{x}} = S(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \frac{S(\bar{x})}{\sqrt{n}}, \quad (2.1.6)$$

где  $\sigma(\bar{x})$  – оценка среднеквадратического отклонения результата измерения.

Принято считать, что если  $\sigma_{\bar{x}} \leq 0,25 \cdot \sigma$ , то оценка точности надежна. Это условие выполняется уже при  $n = 8$ .

6. Определить коэффициент доверия для заданной надежности и полученного числа отсчетов (см. табл. 2.1.2).

Для определения доверительных границ погрешности результата измерения доверительную вероятность  $P$  принимают равной 0,95.

В тех случаях, когда измерение нельзя повторить, помимо границ, соответствующих доверительной вероятности  $P = 0,95$ , допускается указывать границы для доверительной вероятности  $P = 0,99$ .

В особых случаях, например при измерениях, результаты которых имеют значение для здоровья людей, допускается вместо  $P = 0,99$  принимать более высокую доверительную вероятность.

7. Определяем границы доверительного интервала для случайной погрешности по формуле

$$\Delta_x = t_{p,n} \sigma_x, \quad (2.1.7)$$

где  $t_p$  – безразмерный коэффициент доверия (коэффициент Стьюдента).

Коэффициент доверия показывает, во сколько раз нужно увеличить среднеквадратическое отклонение среднего, чтобы при заданном числе измерений получить заданную надежность их результата. Коэффициент доверия сложным образом зависит от надежности и числа измерений, и его значение определяют по статистическим таблицам (приложение 6, табл. П.6.1).

8. Вычислить полную погрешность:

$$\Delta x_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_c^2 + \overset{\circ}{\Delta}_x^2}. \quad (2.1.8)$$

**Полная погрешность**  $\Delta x_{\Sigma}$  прямых измерений равна квадратичной сумме ее составляющих: инструментальной  $\Delta x_c$  и случайной  $\overset{\circ}{\Delta} \delta$ .

9. После округлений результат обработки измерений записать в виде:  $\bar{x} = x \pm \Delta_{\Sigma}$ , при вероятности  $P$ .

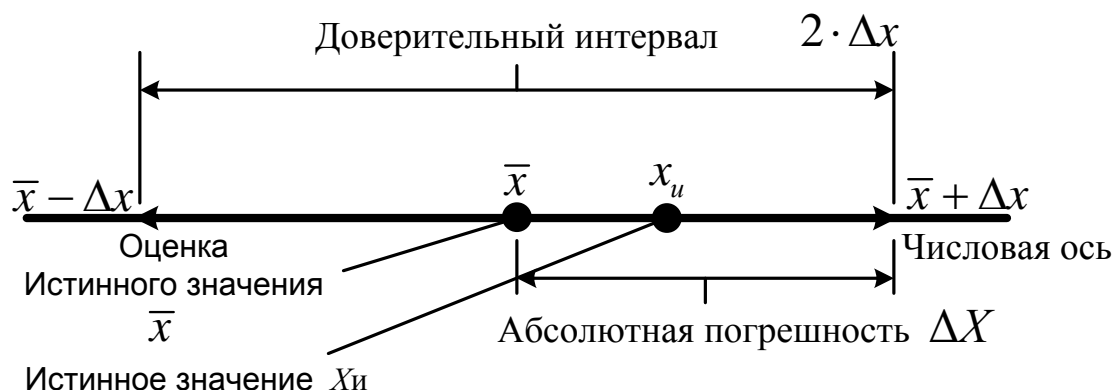


Рисунок 2.1.1 – Результат измерений

## 1.2. Пример обработки результатов с многократными измерениями

Вольтметром измерено 10 отсчетов напряжения  $U$  в электрической цепи. Вольтметр, класс точности которого  $\gamma = 2,5$ , имеет максимальное значение шкалы, равное  $U_{\text{ном}} = 200$  В. Результаты измерений: 105; 130; 140; 145; 145; 150; 150; 155; 160; 175.

Обработать результаты измерений, обеспечив 98 % надежность оценки напряжения.

*Решение:*

1. Вычисляем инструментальную погрешность:

$$\Delta U_{\text{max}} = 2,5 \cdot 200 \cdot 0,01 = 5 \text{ В.}$$

2. Вычисляем среднее арифметическое значение:

$$\begin{aligned}\bar{U} &= \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} U_i = \frac{105 + 130 + 140 + 145 + 145 + 150 + 150 + 155 + 160 + 175}{10} = \\ &= \frac{1455}{10} = 145,5 \text{ В.}\end{aligned}$$

3. Вычисляем СКО результата наблюдения:

$$\begin{aligned}\sigma_u &= \sqrt{\frac{1}{10-1} \sum_{i=1}^n (105 - 145,5)^2 + (130 - 145,5)^2 + (140 - 145,5)^2 + \dots + (175 - 145,5)^2} = \\ &= \sqrt{\frac{3102,25}{9}} = 18,6 \text{ В.}\end{aligned}$$

4. Проверяем отсчеты на наличие промахов.

Аномальным отсчетом является отсчет № 1:  $U_1 = 105$  В. Вычисляем нормированное отклонение  $U_1$  от среднего значения:

$$Z = \left| \frac{\bar{U} - U_1}{\sigma_u} \right| = \left| \frac{145,5 - 105}{18,6} \right| = 2,18.$$

Согласно данным приложения 6 (табл. П.6.1), количество опытов, при котором полученный отсчет нельзя считать промахом, равно 17. Это число больше, чем  $N = 10$ . Следовательно, отсчет  $U_1 = 105$  В является промахом и его нужно удалить из обрабатываемого ряда.

Переходим к п. 2, 3 и 4.

Вычисляем новое среднее значение для ряда измерений: 130; 140; 145; 145; 150; 150; 155; 160; 175.

$$\bar{U} = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 U_i = \frac{130 + 140 + 145 + 145 + 150 + 150 + 155 + 160 + 175}{9} = \frac{1350}{9} = 150 \text{ В.}$$

Вычисляем СКО результата наблюдения:

$$\begin{aligned}\sigma_u &= \sqrt{\frac{1}{9-1} \sum_{i=1}^n (130 - 150)^2 + (140 - 150)^2 + \dots + (175 - 150)^2} = \\ &= \sqrt{\frac{1300}{8}} = 12,7 \text{ В.}\end{aligned}$$

5. Вычисляем случайную составляющую погрешности:

$$\sigma_{\bar{u}} = \frac{\sigma_u}{\sqrt{n}} = \frac{12,7}{\sqrt{9}} = 4,23 \text{ В.}$$

6. Для заданной доверительной вероятности  $P = 98 \%$  и нового полученного числа отсчетов количества отсчетов из приложения 6, (табл. П.6.2) ( $N = 9$ ;  $t_{98; 10} = 2,9$ ).

7. Границы доверительного интервала для случайной погрешности:

$$\Delta_{\bar{u}} = t_{98;9} \cdot \sigma_{\bar{u}} = 2,9 \cdot 4,23 = 12,267 \text{ В.}$$

8. Вычисляем полную погрешность:

*абсолютную* –  $\Delta U_{\Sigma} = \sqrt{5^2 + 12,267^2} = 13,246 \approx 13,25 \text{ В;}$

*относительную* –  $\delta_u = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100\% = \frac{13,25}{150} \cdot 100\% = 8,8\%.$

9. После округлений результат обработки измерений записываем в виде

$$\bar{U} = 150 \pm 13,25 \text{ В; } \delta_u = 8,8\%; P = 0,98.$$

Числовое значение результата измерения должно оканчиваться цифрой того же разряда, что и значение погрешности  $\Delta$ .

Значение погрешности округляется до двух значащих цифр, если первое из них 1 или 2, и до одного значащего числа в других случаях.

В приближенных вычислениях, все цифры числа, начиная с 1-й слева, отличной от нуля, до последней, за правильность которой можно ручаться. Например, если измерение произведено с точностью до 0,0001 и дало результат 0,0320, то значащими цифрами будут 3, 2 и 0.

Цифра 5 округляется в сторону четного предыдущего разряда.

**Вывод.** В ходе выполнения данной работы была изучена методика выполнения прямых измерений с многократными наблюдениями, а также получены навыки стандартной обработки результатов наблюдений, были получены навыки в оценке погрешностей.

### Задание 1

1. Даны отсчеты значений тока  $I$  и напряжения  $U$  и мощности  $P$ , снятые со шкал приборов известного класса точности. Обеспечить надежность результатов измерений  $P$ .

Таблица 2.1.1 – Данные для выполнения задания 1

Номер варианта	Результаты измерений	Диапазон измерения	Класс точности	Доверительная вероятность
1	2	3	4	5
	напряжения, В			
1	127; 123; 130; 131; 126; 125; 126; 127; 127,5; 126,5; 126,8	150	1,0	0,98
2	27; 25; 29; 28; 22; 23; 26,5; 27,5; 28,5; 26,5	30	1,5	0,99
3	27,5; 27,1; 26,9; 27,3; 27,8; 27,2; 27; 27,7; 28; 24	30	2,5	0,99
4	127,1; 125,8; 130; 131; 126; 125; 126,9; 127; 127,5; 126,5; 126,8	150	1,0	0,98
5	221,2; 119,7; 118,5; 223,5; 240; 210,5; 220; 220,5; 218,5; 230	300	2,5	0,98
6	36,5; 36,8; 35,5; 34,5; 40; 36,1; 35,5; 37; 36,5; 36,5	50	1,5	0,99
7	127,5; 140; 126,8; 131; 126,8; 125; 126; 127; 127,5; 126,5; 126,8	150	1,0	0,99
8	222,2; 118,9; 118,5; 223,5; 210; 220,5; 220; 220,5; 218,5; 220	300	1,5	0,98
9	380,2; 380,7; 380,5; 380,5; 360; 370,5; 378,5; 380,5; 380,5; 380	450	2,5	0,98
	тока, А		1,0	0,98
10	5,1; 5,2; 5,0; 4,7; 4,7; 4,9; 5,1; 4,7; 5,3; 6,5	6,5	1,5	0,99
11	5,4; 3,8; 4,6; 5,3; 4,8; 5,0; 4,7; 5,1; 5,2; 5,1	6,5	2,5	0,99
12	13,0; 13,1; 13,3; 10,8; 12,9; 12,7; 13,0; 12,8; 13,2; 10,1	15	1,0	0,99
13	13,5; 13,8; 12,7; 13,0; 14,9; 13,1; 12,5; 13,2; 13,1; 13,3	15	1,5	0,98
14	20,3; 20,6; 19,9; 19,8; 20,0; 19,9; 20,1; 20,0; 19,8; 19,7; 22,9	30	2,5	0,98

Окончание табл. 2.1.1

1	2	3	4	5
15	19,9; 19,8; 20,5; 20,1; 20,2; 19,4; 20,0; 28,6; 19,7; 20,1	30	1,0	0,99
16	5,5; 2,5; 4,7; 5,0; 4,9; 5,1; 4,5; 5,2; 5,1; 5,3	6,5	1,5	0,95
17	5,0; 5,1; 5,3; 4,8; 3,4; 4,7; 5,0; 4,8; 5,2; 5,1;	7,5	1,0	0,98
18	6,5; 5,8; 5,7; 7,9; 5,9; 6,1; 5,5; 6,2; 6,1; 6,3;	7,5	1,5	0,98
19	23,5; 23,8; 23,7; 24,0; 22,9; 23,1; 23,5; 23,2; 20,1; 24,2	30	2,5	0,98
	мощности, Вт		1,0	0,98
20	145; 143; 147; 144; 146; 144; 135; 142; 144; 143;	150	1,5	0,99
21	140; 141; 143; 138; 139; 137; 167; 138; 142; 141;	150	1,0	0,95
22	49,8; 49,7; 50,1; 50,3; 58,8; 49,9; 50,3; 49,8; 50,2; 50,6;	60	1,5	0,95
23	502; 503; 504; 495; 501; 497; 488; 502; 503; 499;	600	2,5	0,98
24	88; 92; 91; 95; 88; 89; 97; 89; 91; 85	100	1,0	0,95
25	141; 140; 142; 147; 143; 147; 142; 146; 144; 132	150	2,5	0,95
26	95; 88; 87; 99; 89; 91; 85; 92; 91; 93	100	1,5	0,98
27	90; 91; 93; 88; 89; 86; 90; 88; 92; 91	100	1,0	0,99
28	75; 68; 67; 79; 69; 71; 65; 92; 71; 73	100	1,5	0,98

## ***Контрольные вопросы***

1. Что такое истинное и действительное значение физической величины?
2. В чем разница между размером, значением и единицей физической величины?
3. Примеры случайной и систематической погрешности.
4. Приведите примеры инструментальной, методической, субъективной и дополнительной погрешности.
5. В чем заключается вероятностный характер случайной погрешности?
6. Объясните зависимость между доверительной вероятностью измерения и погрешностью.
7. Приведите примеры измерений с однократным и многократным наблюдением, прямых и косвенных измерений.
8. В чем различие метода и методики измерений? Приведите примеры различных методов и различных методик измерения одной и той же физической величины.
9. В чем заключается сложность определения систематической погрешности?
10. Как уменьшить влияние случайной погрешности?
11. Как связано количество отсчетов, взятых при измерении с таким отклонением отсчета от среднего, которое будет являться промахом (грубой ошибкой)?
12. Где проявляется удобство представления погрешности в виде относительной, а где в виде абсолютной величины?
13. Почему поправка принимается с обратным знаком от исключаемой систематической погрешности?
14. О чем можно судить по среднему квадратичному отклонению отсчетов?

## ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Таблица П.6.1 – Отбор промахов по критерию Шовене

<i>Z</i>	<i>M</i>	<i>Z</i>	<i>M</i>	<i>Z</i>	<i>M</i>	<i>Z</i>	<i>M</i>	<i>Z</i>	<i>M</i>
1,00	2	1,40	3	1,80	7	2,20	18	2,60	54
1,02	2	1,42	3	1,82	7	2,22	19	2,62	57
1,04	2	1,44	3	1,84	8	2,24	20	2,64	60
1,06	2	1,46	3	1,86	8	2,26	21	2,66	64
1,08	2	1,48	4	1,88	8	2,28	22	2,68	68
1,10	2	1,50	4	1,90	9	2,30	23	2,70	72
1,12	2	1,52	4	1,92	9	2,32	25	2,72	77
1,14	2	1,54	4	1,94	10	2,34	26	2,74	81
1,16	2	1,56	4	1,96	10	2,36	27	2,76	87
1,18	2	1,58	4	1,98	10	2,38	29	2,78	92
1,20	2	1,60	5	2,00	11	2,40	30	2,80	98
1,22	2	1,62	5	2,02	12	2,42	32	2,82	104
1,24	2	1,64	5	2,04	12	2,44	34	2,84	111
1,26	2	1,66	5	2,06	13	2,46	36	2,86	118
1,28	2	1,68	5	2,08	13	2,48	38	2,88	126
1,30	3	1,70	6	2,10	14	2,50	40	2,90	134
1,32	3	1,72	6	2,12	15	2,52	43	2,92	143
1,34	3	1,74	6	2,14	16	2,54	45	2,94	152
1,36	3	1,76	6	2,16	16	2,56	48	2,96	163
1,38	3	1,78	7	2,18	17	2,58	51	2,98	173

*Примечание:*

$$Z = \left| \frac{\bar{x} - x_i}{\sigma_x} \right| - \text{относительное отклонение случайной величины } x \text{ от}$$

ее среднего значения в единицах СКО.

*M* – число ожидаемых измерений, начиная с которого отклонение *Z* не может считаться промахом.



Таблица П.6.2 – Коэффициент доверия Стьюдента (t-критерия)  
для вычисления

Число измерений	Надежность					
	0,5	0,9	0,95	0,98	0,99	0,995
1	3	4	5	6	7	8
2	1,00	6,3	12,7	31,8	63,7	636,7
3	0,82	2,9	4,3	7,0	9,9	31,6
4	0,77	2,4	3,2	4,5	5,8	12,9
5	0,74	2,1	2,8	3,7	4,6	8,6
6	0,73	2,0	2,6	3,4	4,0	6,9
7	0,72	1,9	2,4	3,1	3,7	6,0
8	0,71	1,9	2,4	3,0	3,5	5,4
9	0,71	1,9	2,3	2,9	3,4	5,0
10	0,70	1,8	2,3	2,8	3,3	4,8
11	0,70	1,8	2,2	2,8	3,2	4,6
12	0,70	1,8	2,2	2,7	3,1	4,5
13	0,70	1,8	2,2	2,7	3,1	4,3
14	0,69	1,8	2,2	2,7	3,0	4,2
15	0,69	1,8	2,1	2,6	3,0	4,1
16	0,69	1,8	2,1	2,6	2,9	4,0
17	0,69	1,7	2,1	2,6	2,9	4,0
18	0,69	1,7	2,1	2,6	2,9	4,0
19	0,69	1,7	2,1	2,6	2,9	3,9
20	0,69	1,7	2,1	2,6	2,9	3,9
25	0,69	1,7	2,1	2,5	2,8	3,7
30	0,68	1,7	2,0	2,5	2,8	3,7

## Тема 2. Измерение активной мощности в трехфазных сетях электрических сетях

### 2.1. Краткие теоретические сведения

Измерение активной мощности в цепи трехфазного тока методом одного, двух и трех ваттметров. Измерение мощности трехфазного тока с применением измерительных трансформаторов.

Активная мощность в электрической цепи измеряется прибором, называемым ваттметром, показания которого определяется по формуле

$$P_W = \operatorname{Re}(\underline{U}_{W2} \underline{I}_{W1}^*) = U_{W2} \cdot I_{W1} \cdot \cos[\underline{U}_{W2} \hat{\cdot} \underline{I}_{W1}],$$

где  $U_W, I_W$  – векторы напряжения и тока, подведенные к обмоткам прибора.

Для измерения активной мощности всей трехфазной цепи в зависимости от схемы соединения фаз нагрузки и ее характера применяются различные схемы включения измерительных приборов.

Мощность в цепи трехфазного тока, в зависимости от схемы соединения фаз нагрузки и ее характера, может быть измерена с помощью *одного, двух и трех* ваттметров.

Для измерения активной мощности *симметричной трехфазной цепи* применяется схема с *одним ваттметром*, который включается в одну из фаз и измеряет активную мощность только этой фазы (рис. 2.2.1). Активная мощность всей цепи получается путем умножения показания ваттметра на число фаз:

$$P = 3W = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos(\varphi).$$

Схема с одним ваттметром может быть использована только для ориентировочной оценки мощности и неприменима для точных и коммерческих измерений.

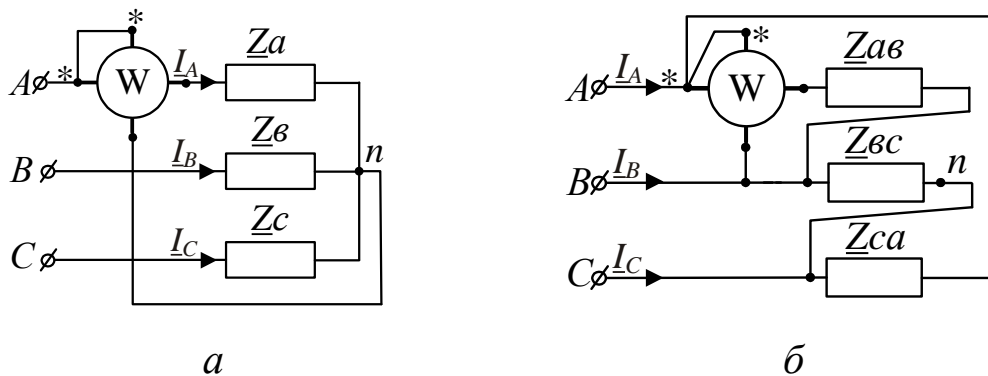


Рисунок 2.2.1 – Схемы включения ваттметров в трехпроводных сетях:  
*а* – с доступной нулевой точкой; *б* – при включении потребителей электроэнергии треугольником

При *несимметричной* нагрузке активную мощность в *четырёхпроводных трёхфазных цепях* (при наличии нулевого провода) измеряют *тремя приборами* (рис. 2.2.2, а), в результате чего производится измерение активной мощности каждой фазы в отдельности, а мощность всей цепи определяется как сумма показаний трех ваттметров:

$$P_W = P_{W_1} + P_{W_2} + P_{W_3} = U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C .$$

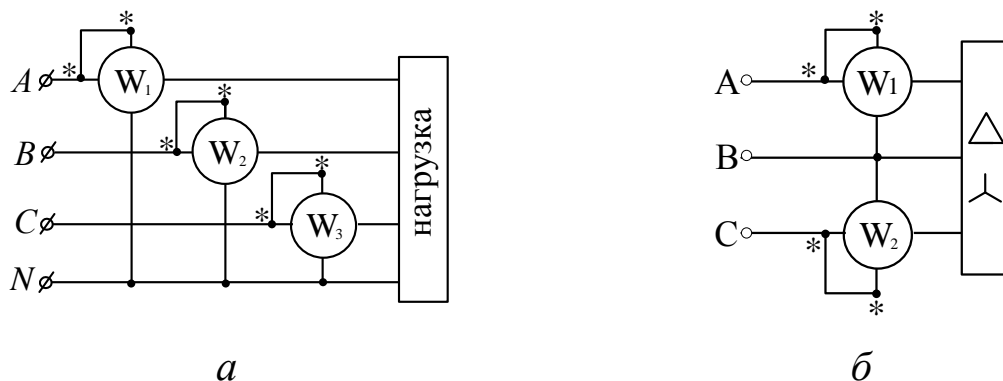


Рисунок 2.2.2 – Схемы включения ваттметров:  
а – в четырёхпроводной цепи; б – в трёхпроводной цепи

Для измерения активной мощности в *трёхпроводных трёхфазных цепях* (при отсутствии нулевого провода) применяется схема с *двумя приборами* (см. рис. 2.2.2, б).

### Задание 2

**Цель работы:** изучить способы измерения активной мощности в цепи трёхфазного тока электродинамическими ваттметрами методом двух и трех ваттметров.

**Задание 2.1.** Измерение активной мощности в трёхфазной цепи при соединении приемников по схеме треугольника

По данным варианта (табл. 2.2.1) для нормального режима работы цепи:

- 1) нарисовать схему соединения приемников и схему включения ваттметров в цепь;
- 2) определить фазные и линейные токи;
- 3) сделать проверку на баланс мощностей;
- 4) определить показания ваттметров;
- 5) построить в масштабе векторную диаграмму, выделив на ней векторы напряжений и токов, под действием которых находятся параллельные и последовательные обмотки ваттметров.

Таблица 2.2.1 – Варианты заданий к заданию 2

Номер		Параметры элементов электрической схемы									
варианта	схемы	$U_{л},$ В	Фаза $a$ ( $av$ )			Фаза $b$ ( $bc$ )			Фаза $c$ ( $ca$ )		
			$R_1,$ Ом	$X_{L1},$ Ом	$X_{C1},$ Ом	$R_2,$ Ом	$X_{L2},$ Ом	$X_{C2},$ Ом	$R_3,$ Ом	$X_{L3},$ Ом	$X_{C3},$ Ом
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Рис. 2.3,а	380	6	4	5	6	6	9	3	5	5
2	Рис. 2.3,б	220	10	2	0	20	0	0	0	20	0
3	Рис. 2.3,в	220	40	4	0	10	18	7	0	10	0
4	Рис. 2.3,а	380	20	0	0	10	20	0	0	10	0
5	Рис. 2.3,б	220	10	20	0	30	30	0	0	40	0
6	Рис. 2.3,в	380	10	10	0	10	0	0	0	20	0
7	Рис. 2.3,а	220	20	0	-10	50	30	0	0	0	-40
8	Рис. 2.3,б	380	30	40	0	10	10	0	0	40	0
9	Рис. 2.3,в	220	40	30	0	40	0	0	0	30	0
10	Рис. 2.3,а	380	10	0	0	20	10	0	0	0	-20
11	Рис. 2.3,б	220	40	0	-30		40	0	0	50	0
12	Рис. 2.3,в	220	15	10	0	12	0	25	20	17	0
13	Рис. 2.3,а	380	30	0	20	25	20	0	20	0	30
14	Рис. 2.3,б	220	10	10	0	5	0	14	15	7	0
15	Рис. 2.3,в	220	17	0	20	15	15	0	5	0	30
16	Рис. 2.3,а	380	20	25	0	35	0	20	20	20	0
17	Рис. 2.3,б	220	5	0	20	10	14	0	18	0	8
18	Рис. 2.3,в	220	10	17	0	12	0	35	15	10	0
19	Рис. 2.3,а	380	0	0	25	7	35	0	17	0	20
20	Рис. 2.3,б	220	0	7	0	10	0	18	0	14	0
21	Рис. 2.3,в	220	10	0	35	15	5	0	30	0	14
22	Рис. 2.3,а	380	0	0	17	15	35	0	18	0	20
23	Рис. 2.3,б	380	18	0	7	0	35	0	30	0	20
24	Рис. 2.3,в	380	7	7	0	25	0	5	25	15	0

*Задание 2.2. Измерение активной мощности в трехфазной четырехпроводной цепи*

При соединении этих же элементов по схеме «звезда» с нейтральным проводом:

1) нарисовать схему соединения приемников в звезду с нейтральным проводом и схему включения ваттметров в цепь, согласно рисунку 2.2.3 (для всех вариантов);

2) определить токи в линейных и нейтральном проводах;

- 3) сделать проверку на баланс мощностей;
- 4) определить показания ваттметров;
- 5) построить в масштабе векторную диаграмму, выделив на ней векторы напряжений и токов, под действием которых находятся параллельные и последовательные обмотки ваттметров;
- 6) для обеих схем включения провести сравнительный анализ линейных токов и показаний ваттметров в расчетной трехфазной цепи для различных схем соединения и свести их в таблицу 2.2.2.

Таблица 2.2.2 – Анализ линейных токов и показаний ваттметров

Схема соединения приемника	Токи в линейных проводах, А			Показание ваттметров, Вт
	$I_A$	$I_B$	$I_C$	
Звезда				$P_W$
Треугольник				

Схемы к заданию 2 представлены на рисунке 2.2.4.

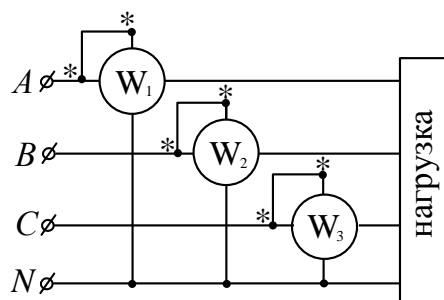


Рисунок 2.2.3 – Схемы включения ваттметров в четырехпроводной трехфазной цепи (цепь с нейтральным проводом)

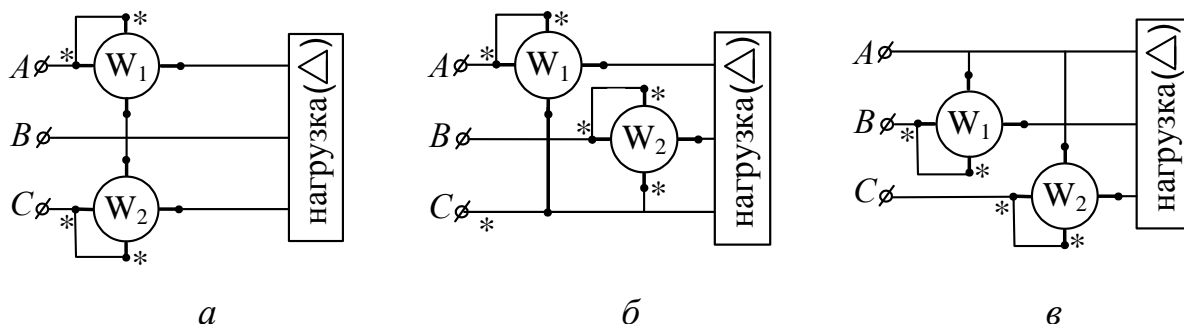


Рисунок 2.2.4 – Схемы включения ваттметров в трехпроводных сетях

## 2.2. Примеры расчета

### Пример расчета задания 2.1

#### Условие задачи

К трехфазной линии с линейным напряжением  $U_{\text{л}} = 220 \text{ В}$  подключен трехфазный приемник соединенный «треугольником». Активное и реактивное сопротивления фазы приемника соответственно равны:

$$R_1 = 40 \text{ Ом}, X_{L1} = 20 \text{ Ом}, R_2 = 30 \text{ Ом}, X_{C2} = 30 \text{ Ом}, R_3 = 80 \text{ Ом}.$$

Требуется для цепи, представленной на рисунке 2.3, а:

- 1) нарисовать схему соединения приемников и схему включения ваттметров в цепь;
- 2) определить фазные и линейные токи;
- 3) сделать проверку на баланс мощностей;
- 4) определить показания ваттметров;
- 5) построить в масштабе векторную диаграмму, выделив на ней векторы напряжений и токов, под действием которых находятся параллельные и последовательные обмотки ваттметров;

#### Решение:

- 1) Чертим схему нагрузки, согласно заданию она соответствует рисунку 2.2.5, и выбираем условное направление токов.

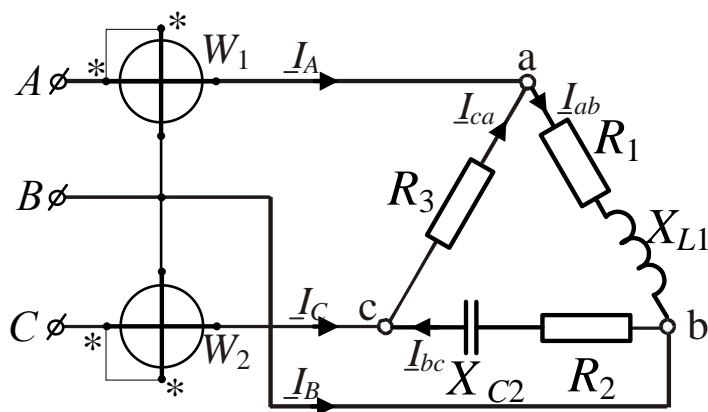


Рисунок 2.2.5 – Схема включения двух ваттметров для измерения мощности в трехпроводной сети при соединении фаз потребителя «треугольником»

#### 2) Характер нагрузки:

- фазы  $a$  – активно-индуктивная,
- фазы  $b$  – активно-емкостная,
- фазы  $c$  – активная.

Комплексные сопротивления фаз потребителя:

$$\underline{Z}_{ab} = R_1 + jX_{L1} = 40 + j20 = \sqrt{40^2 + 20^2} \cdot e^{j \arctg \frac{20}{40}} = 44,72 e^{j26,6} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_{bc} = R_2 - jX_{C2} = 30 - j30 = \sqrt{30^2 + 30^2} \cdot e^{j \arctg \frac{-30}{30}} = 42,43 e^{-j45} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_{ca} = R_3 = 80 = 80 e^{j0} \text{ Ом}.$$

При соединении элементов по схеме в треугольник фазные напряжения увеличиваются до линейных. Для определения фазы напряжений за начало отсчета принимаем вектор напряжения в фазе А. Воспользуемся следующими формулами:

$$\underline{U}_{AB} = \underline{U}_{ab} = \underline{U}_A - \underline{U}_B = 127 + 63,5 + j110 = 190,5 + j110 = 220 e^{j30} \text{ В};$$

$$\underline{U}_{BC} = \underline{U}_{bc} = \underline{U}_B - \underline{U}_C = -63,5 - j110 + 63,5 - j110 = -j220 = 220 e^{-j90} \text{ В};$$

$$\underline{U}_{CA} = \underline{U}_{ca} = \underline{U}_C - \underline{U}_A = -63,5 + j110 - 127 = -190,5 + j110 = 220 e^{j150} \text{ В};$$

Находим фазные токи по закону Ома.

Ток фазы *ab*:

$$\underline{I}_{ab} = \frac{\underline{U}_{ab}}{\underline{Z}_{ab}} = \frac{220 e^{j30}}{44,72 e^{j26,6}} = 4,92 e^{j3,44} = 4,91 + j0,29 \text{ А}.$$

Ток фазы *bc*:

$$\underline{I}_{bc} = \frac{\underline{U}_{bc}}{\underline{Z}_{bc}} = \frac{220 e^{-j90}}{42,43 e^{-j45}} = 5,2 e^{-j45} = 3,7 - j3,7 \text{ А}.$$

Ток фазы *ca*:

$$\underline{I}_{ca} = \frac{\underline{U}_{ca}}{\underline{Z}_{ca}} = \frac{220 e^{j150}}{80} = 2,75 e^{j150} = -2,38 + j1,375 \text{ А}.$$

В соответствии с первым законом Кирхгофа, ток в линии А находится, как

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca} = 4,91 + j0,29 + 2,38 - j1,37 = 7,29 - j1,08 = 7,37 e^{-j8,4} \text{ А}.$$

Аналогичным образом находится ток в линии  $B$ :

$$\underline{I}_B = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab} = 3,7 - j3,7 - 4,91 - j0,29 = -1,21 - j3,99 = 4,17e^{-j106,9} \text{ A.}$$

Ток в линии  $C$

$$\underline{I}_C = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc} = -2,38 + j1,375 - 3,7 + j3,7 = -6,08 + j5,07 = 7,9e^{j140,2} \text{ A.}$$

### 3) Проверка решения

Решение проверим с помощью уравнения энергетического баланса:

$$\underline{S}_\Gamma = \underline{S}_\Pi.$$

Мощность, отдаваемая сетью

$$\begin{aligned} \underline{S}_{\bar{a}} &= \underline{U}_A \cdot \underline{I}_A^* + \underline{U}_B \cdot \underline{I}_B^* + \underline{U}_C \cdot \underline{I}_C^* = \\ &= 127 \cdot 7,37e^{j8,4} + 127e^{-j120^\circ} \cdot 4,17e^{j106,9} + 127e^{j120^\circ} \cdot 7,9e^{-j140,2} = \\ &= 935,99e^{j8,4} + 529,6e^{-j13,1} + 1003,3e^{-j20,2} = \\ &= 925,95 + j136,7 + 515,8 - j120 + 941,6 - j346,44 = 2383,35 - j329,74 \text{ В} \cdot \text{А}. \end{aligned}$$

Активная мощность, потребляемая трехфазной нагрузкой:

$$\begin{aligned} P_\Pi &= P_{ab} + P_{bc} + P_{ca}. \\ P_\Pi &= R_1 I_{ab}^2 + R_2 I_{bc}^2 + R_3 I_{ca}^2 = 40 \cdot 4,92^2 + 30 \cdot 5,2^2 + 80 \cdot 2,75^2 = \\ &= 968,25 + 811,2 + 605 = 2384,45 \text{ Вт}. \end{aligned}$$

Суммарная реактивная мощность

$$Q_\Pi = Q_{ab} + Q_{bc} = X_{L1} I_{ab}^2 - X_{C2} I_{bc}^2 = 20 \cdot 4,92^2 - 30 \cdot 5,2^2 = 484,13 - 811,2 \text{ В} \cdot \text{Ар}.$$



Сравнив мощность, отдаваемую источником, и мощность, потребляемую трехфазной нагрузкой, мы увидим, что энергетический баланс исследуемой цепи сошелся и, следовательно, задача решена верно.

4) Активная мощность трехфазной цепи равна сумме показаний двух ваттметров:

$$P_W = P_{W1} + P_{W2}.$$

Активная мощность, показываемая ваттметром  $P_{W1}$ :

$$P_{W1} = U_{AB} I_A \cos \varphi_1 = 220 \cdot 7,37 \cdot \cos(30 + 8,4) = 1270,7 \text{ Вт.}$$

Активная мощность, показываемая ваттметром  $P_{W2}$ :

$$P_{W2} = U_{CB} I_C \cos \varphi_2 = 220 \cdot 7,9 \cdot \cos(90 - 140,2) = 1112,51 \text{ Вт.}$$

Следует обратить внимание, что берется напряжение  $\underline{U}_{CB}$  потому, что начало параллельной цепи ваттметра, отмеченное звездочкой, подключено к фазе  $C$ , а не к  $B$ .

$$\begin{aligned} \underline{U}_{CB} &= \underline{U}_C - \underline{U}_B = -\underline{U}_{BC} = 127e^{j120^\circ} - 127e^{-j120^\circ} = \\ &= -63,5 + j110 + 63,5 + j110 = j220 = 220e^{j90^\circ} \text{ В.} \end{aligned}$$

Найдем показания приборов:

$$P_W = P_{W1} + P_{W2} = 1270,7 + 1112,51 = 2383,2 \text{ Вт.}$$

5) Построим в масштабе векторную диаграмму, иллюстрирующую работу схемы включения ваттметров (рис. 2.2.6).

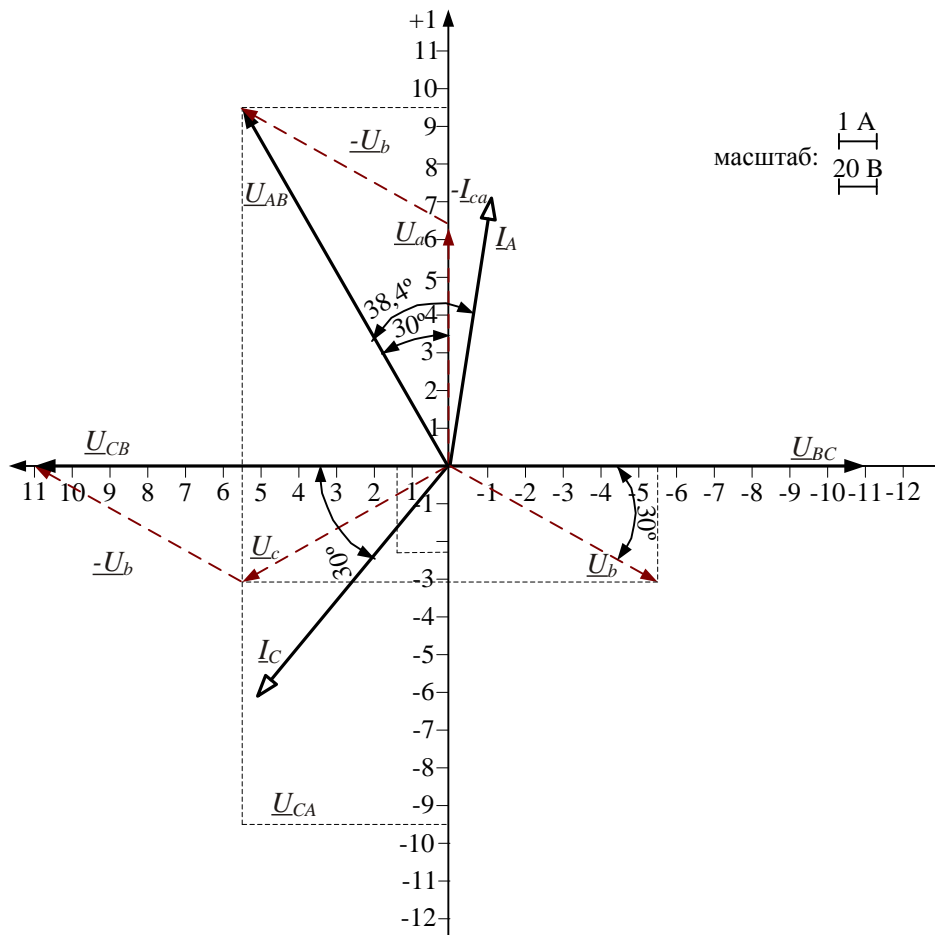


Рисунок 2.2.6 – Векторная диаграмма, иллюстрирующая работу схемы включения ваттметров, приведенную на рисунке 2.2.5

### Пример расчета задания 2.2

#### Условие задачи

К трехфазной линии с линейным напряжением  $U_{\text{л}} = 220 \text{ В}$  подключен трехфазный приемник, соединенный «звездой» с нейтральным проводом. Активное и реактивное сопротивления фазы приемника соответственно равны:

$$R_1 = 40 \text{ Ом}, X_{L1} = 20 \text{ Ом}, R_2 = 30 \text{ Ом}, X_{C2} = 30 \text{ Ом}, R_3 = 80 \text{ Ом}.$$

#### Анализ решения задачи:

1) Чертим схему нагрузки, если нагрузка несимметрична, то нужно включить три ваттметра, согласно заданию она соответствует рисунку 2.2.7.

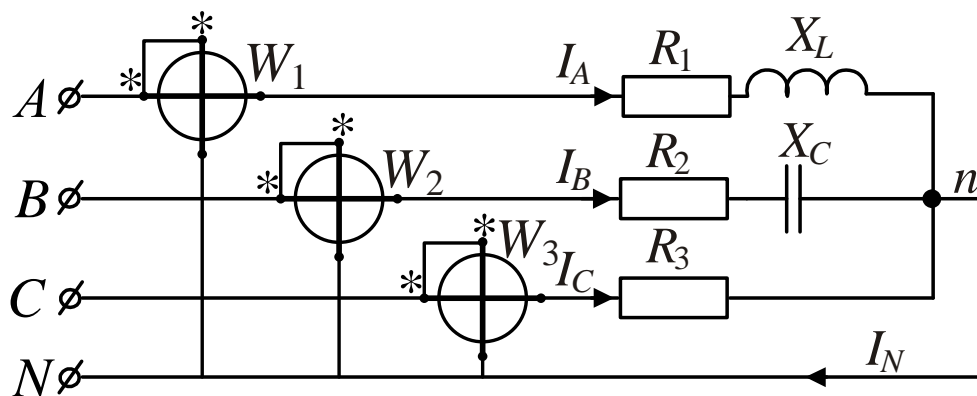


Рисунок 2.2.7 – Схема соединения фаз потребителя «звезда» с нейтральным проводом

2) Комплексные сопротивления фаз потребителя:

$$\underline{Z}_a = R_1 + jX_{L1} = 44,72e^{j26,6} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_b = R_2 - jX_{C2} = 44,42e^{-j45} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_c = R_3 = 80 = 80e^{j0} \text{ Ом}.$$

Если приемник соединен *звездой с нейтральным* (нулевым) проводом (см. рис. 2.2.7), а сопротивления линейных и нейтрального проводов пренебрежимо малы, то фазные напряжения приемника равны соответствующим фазным напряжениям генератора.

Определим действующее значение фазного напряжения:

$$U_\phi = U_\lambda / \sqrt{3} = 220 / \sqrt{3} = 127 \text{ В}.$$

Фазу вектора напряжения фазы А обычно выбирают равной нулю, поэтому фазные напряжения:

$$\underline{U}_a = \underline{U}_A = U_\phi e^{j0} = 127e^{j0} = 127 \text{ В},$$

$$\underline{U}_b = \underline{U}_B = 127e^{-j120^\circ} = -63,5 - j110 \text{ В},$$

$$\underline{U}_c = \underline{U}_C = 127e^{j120^\circ} = -63,5 + j110 \text{ В}.$$

При соединении приемника в звезду токи линейные равны токам фазным и определяются по закону Ома:

$$\underline{I}_A = \underline{I}_a = \frac{U}{\underline{Z}_a} = \frac{U_0 e^{j0}}{\underline{Z}_a} = \frac{127}{44,72 e^{j26,6}} = 2,84 e^{-j26,6} = 2,54 - j1,27 \text{ A};$$

$$\underline{I}_B = \underline{I}_b = \frac{U_b}{\underline{Z}_b} = \frac{U_0 e^{-j120^\circ}}{\underline{Z}_b} = \frac{127 e^{-j120^\circ}}{42,42 e^{-j45}} = 3 e^{-j75} = 0,77 - j2,9 \text{ A};$$

$$\underline{I}_C = \underline{I}_c = \frac{U_c}{\underline{Z}_c} = \frac{127 e^{j120^\circ}}{80} = 1,59 e^{j120^\circ} = -0,79 + j1,37 \text{ A}.$$

Ток нейтрального провода, в соответствии с первым законом Кирхгофа, находится как алгебраическая сумма токов

$$\begin{aligned} \underline{I}_N = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C &= 2,54 - j1,27 + 0,77 - j2,9 - 0,79 + j1,37 = \\ &= 2,52 - j2,8 = 3,77 \cdot e^{-j48} \text{ A}. \end{aligned}$$

3) Проверка решения:

Активная мощность, потребляемая всеми фазами нагрузки, находится как сумма активных мощностей фаз, т. е.

$$\begin{aligned} P &= P_a + P_b + P_c. \\ P &= R_1 I_a^2 + R_2 I_b^2 + R_3 I_c^2 = 40 \cdot 2,84^2 + 30 \cdot 3^2 + 80 \cdot 1,59^2 = \\ &= 322,624 + 270 + 202,25 = 794,87 \text{ Вт}. \end{aligned}$$

Реактивная мощность трехфазной нагрузки находится как сумма реактивных мощностей

$$Q = Q_a + Q_b + Q_c.$$

В фазе *c* находится чисто активная нагрузка, поэтому  $Q_c = 0$ .

Реактивная мощность остальных фаз

$$Q = Q_a + Q_b = X_{L1} I_a^2 - X_{C2} I_b^2 = 20 \cdot 2,84^2 - 30 \cdot 3^2 = 161,31 - 270 = -108,7 \text{ В} \cdot \text{Ар}.$$

$$\begin{aligned} S_{\bar{a}} &= \underline{U}_A \cdot \underline{I}_A^* + \underline{U}_B \cdot \underline{I}_B^* + \underline{U}_C \cdot \underline{I}_C^* = \\ &= 127 \cdot 2,84 e^{j26,6} + 127 e^{-j120^\circ} \cdot 3 e^{j75} + 127 e^{j120^\circ} \cdot 1,59 e^{-j120^\circ} = \\ &= 360,68 e^{j26,6} + 381 e^{-j45} + 201,93 e^{j0} = \\ &= 322,6 + j161,27 + 269,4 - j269,4 + 201,93 = 793,94 - j108,1 \text{ В} \cdot \text{А}. \end{aligned}$$

4) Активная мощность трехфазного приемника равна сумме показаний трех ваттметров:

$$P_W = P_{W1} + P_{W2} + P_{W3} = 322,5 + 269,4 + 201,93 = 793,83 \text{ Вт},$$

где  $P_{W1}$ ,  $P_{W2}$ ,  $P_{W3}$  – фазная мощность, показываемая ваттметрами  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_3$ , определяется как:

$$P_{W1} = U_A I_A \cos \varphi_a = 127 \cdot 2,84 \cos(0 + 26,6) = 322,5 \text{ Вт};$$

$$P_{W2} = U_B I_B \cos \varphi_b = 127 \cdot 3 \cos(-120 + 75) = 269,4 \text{ Вт};$$

$$P_{W3} = U_C I_C \cos \varphi_c = 127 \cdot 1,59 \cos(120 - 120) = 201,93 \text{ Вт}.$$

5) Построим в масштабе векторную диаграмму, иллюстрирующую работу схемы включения ваттметров (рис. 2.2.8).

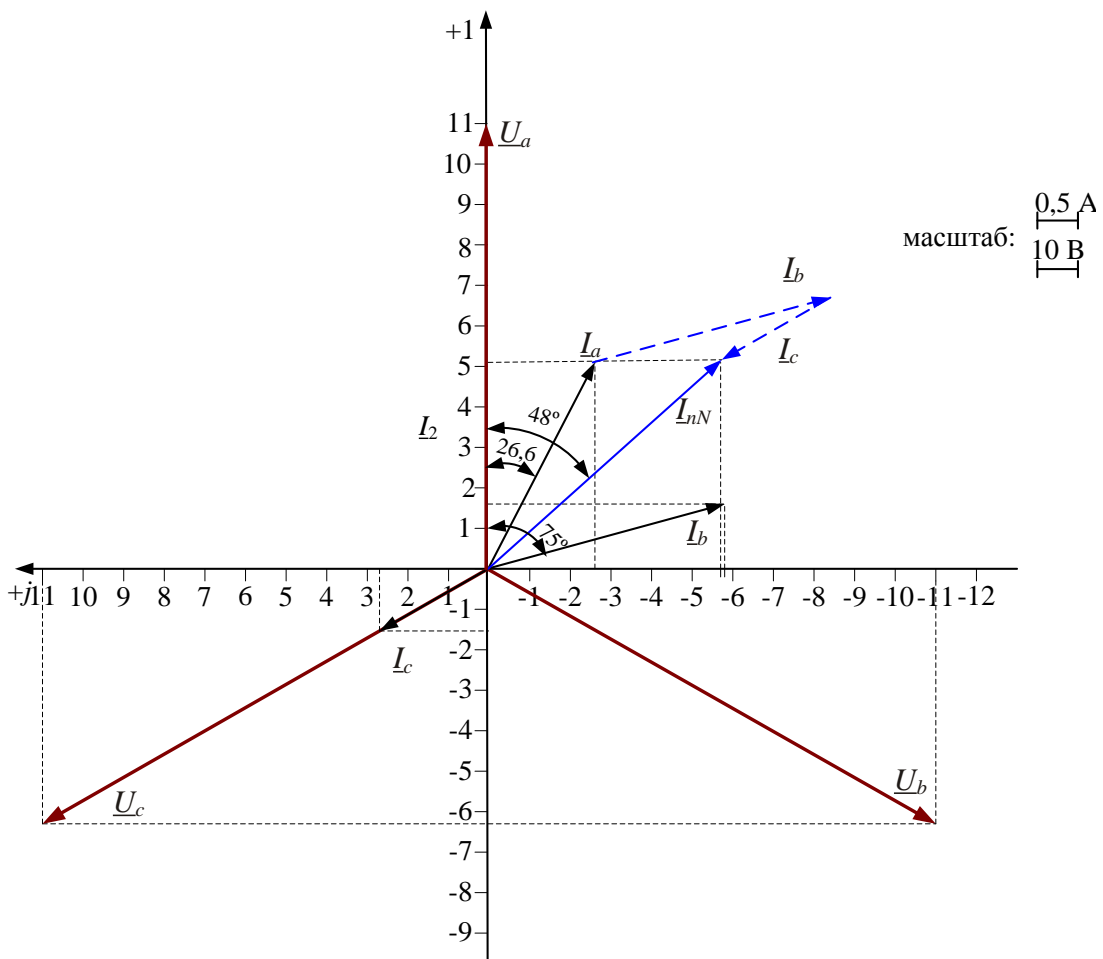


Рисунок 2.2.8 – Векторная диаграмма, иллюстрирующая работу схемы включения ваттметров, приведенную на рисунке 2.2.7

*Сравнительный анализ* линейных токов и показаний ваттметров в расчетной трехфазной цепи для различных схем соединения при заданных сопротивлениях в фазах приемника приводится в таблице 2.2.3.

Таблица 2.2.3 – Анализ линейных токов и показаний ваттметров

Схема соединения приемника	Токи в линейных проводах, А			Показание ваттметров, Вт
	$I_A$	$I_B$	$I_C$	
Звезда	2,84	3	1,59	793,83
Треугольник	7,37	4,17	7,9	2383,2

**Вывод.** При соединении элементов приемника по схеме «в треугольник» токи в линейных проводах увеличиваются на  $\sqrt{3}$ , а мощность в 3 раза, т. е.

$$P_{\Delta} = 3P_{\lambda}.$$

### **Контрольные вопросы**

1. В каких случаях применяется схема двух ваттметров с искусственной нулевой точкой для измерения реактивной мощности?
2. Каково преимущество схемы с двумя ваттметрами по сравнению со схемой с одним ваттметром при измерении реактивной мощности трехфазной цепи?
3. Какие способы измерения активной и реактивной мощности в трехфазных цепях вы знаете?
4. Как определить активную и реактивную мощности по показаниям двух ваттметров?
5. Для каких случаев применяется схема трех ваттметров?

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Попадая на производство, специалист, будучи прямо или косвенно связан по работе с измерениями, сталкивается с обилием измерительных задач, нормативных документов общетехнического и метрологического содержания, исполнение которых обязательно (стандарты, методические указания, инструкции).

Чтобы успешно справиться с многочисленными и разнообразными проблемами измерений, необходимо освоить некоторые общие принципы их решения, нужен единый научный и законодательный фундамент, обеспечивающий на практике высокое качество измерений независимо от того, где и с какой целью они производятся. Таким фундаментом является метрология – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Так как результат любого измерения заслуживает внимания лишь при условии, что он сопровождается оценкой погрешности измерения. С другой стороны, важно не только уметь выполнить измерение и оценить погрешность результата, но и так спланировать и осуществить процедуру измерения, чтобы обеспечить требуемую точность или свести погрешности к минимуму.

Оценить погрешность результата измерения, облегчить изучение методов и средств измерений и выполнение требований нормативных документов общетехнического и метрологического содержания должно изучение дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация».

Материал учебного пособия «Метрология, стандартизация и сертификация» обеспечивает необходимый уровень подготовки по метрологии, стандартизации и сертификации специалистов по направлению подготовки 35.03.06 «Агроинженерия», профиль «Электрооборудование и электротехнологии в АПК».

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. LabVIEW: практикум по основам измерительных технологий: учеб. пособие для вузов / В.К. Батоврин, А.С. Бессонов, В.В. Мошкин [и др.]. – М.: ДМК-Пресс, 2005. – 208 с.
2. Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений: учеб. для вузов / Г.Г. Раннев, А.П. Тарасенко. – М.: Академия, 2003.
3. Сергеев, А.Г. Метрология: учебник / А.Г. Сергеев. – М.: Логос, 2005. – 272 с.
4. ГОСТР 1.12-2004. Стандартизация. Термины и определения. – М. Изд-во стандартов, 2005. – 28 с.
5. Димов, Ю.В. Метрология, стандартизация, сертификация / Ю.В. Димов. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 432 с.
6. РМГ 29-2013. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения. – М.. 2013.
7. Лифиц, И.М. Стандартизация, метрология и сертификация: учебник / И.М. Лифиц. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2005. – 345 с.
8. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник / И.А. Иванов [и др.]; под ред. И.А. Иванова, С.В. Урушева. – СПб.: Лань, 2019. – 356 с.



# **МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ**

*Учебное пособие*

**КЛУНДУК Галина Анатольевна**

*Электронное издание*

*Редактор*  
О.Ю. Потапова

Подписано в свет 31.10.2019. Регистрационный номер 127  
Редакционно-издательский центр Красноярского государственного аграрного университета  
660017, Красноярск, ул. Ленина, 117  
e-mail: rio@kgau.ru