



Некоммерческое
акционерное
общество

**АЛМАТИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИКИ И
СВЯЗИ**

Кафедра
инженерной
кибернетики

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности
5В070200 – Автоматизация и управление

Алматы 2015

СОСТАВИТЕЛЬ: С.Г. Хан. Метрология, стандартизация, сертификация и управление качеством. Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов специальности 5В070200 - Автоматизация и управление.- Алматы: АУЭС, 2015.- 66 с.

Методические указания содержат описания к 9 лабораторным работам и предполагают проведение виртуальных работ на компьютере с использованием метода имитационного моделирования.

Методические указания используются при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Метрология, стандартизация, сертификация и управление качеством».

Ил. 32, табл. 14, библиогр.- 6 назв.

Рецензент: доцент каф.ИКТ Ю.М. Гармашова

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2015 г.

©НАО «Алматинский университет энергетики и связи», 2015 г.

Содержание

Введение	4
1 Лабораторная работа №1. Стандартная обработка результатов прямых измерений с многократными наблюдениями	5
2 Лабораторная работа №2. Обработка результатов прямых измерений с многократными наблюдениями при наличии грубых погрешностей.....	12
3 Лабораторная работа №3. Имитационное моделирование погрешностей канала измерения температуры.....	20
4 Лабораторная работа №4. Исследование способов уменьшения погрешностей канала измерения температуры.....	28
5 Лабораторная работа №5. Изучение основных и дополнительных погрешностей средств измерений.....	33
6 Лабораторная работа №6. Поверка и градуировка технических термометров.....	40
7 Лабораторная работа №7. Обработка результатов прямых и косвенных однократных измерений.....	46
8 Лабораторная работа №8. Поверка и испытание нормирующего преобразователя термо-ЭДС методом однократных измерений.....	55
9 Лабораторная работа №9. Поверка и испытание нормирующего преобразователя термосопротивления методом многократных измерений.....	60
Список литературы.....	66

Введение

Дисциплина «Метрология, стандартизация, сертификация и управление качеством» изучается студентами специальности «Автоматизация и управление» на 2 курсе в пакете базовых дисциплин (компонент по выбору), объем 3 кредита. Знания материала данной дисциплины для будущих специалистов (бакалавров) технического профиля, связанных с разработкой или обслуживанием различного оборудования или средств измерительной техники, на наш взгляд является обязательными. Рабочая программа дисциплины «Метрология, стандартизация, сертификация и управление качеством» включает большой объем теоретического и практического материала.

Предлагаемые методические указания к выполнению лабораторных работ содержат девять работ. В соответствии с рабочей программой объем лабораторных часов составляет 30 часов. Объем выполнения трех работ (№3,4,6) рассчитан на 2 часа каждая работа, шести работ (№1,2,5,7,8,9) - на 4 часа каждая работа, что связано с большим объемом теоретических расчетов по данным работам. Тематика лабораторных работ посвящена практическому изучению стандартной методики статистической обработки результатов многократных измерений при отсутствии и наличии грубых погрешностей, обработке результатов прямых и косвенных однократных измерений, исследованию способов уменьшения погрешностей измерительных каналов, а также поверке и градуировке измерительных преобразователей.

Вариант задания для студента выдается преподавателем на 1-ом занятии и сохраняется неизменным при выполнении всех последующих работ. Список необходимой литературы приведен в конце методических указаний.

Отчеты по лабораторным работам должны быть выполнены и оформлены в соответствии с требованиями фирменного стандарта Алматинского университета энергетики и связи СТ НАО 56023-1910-04-2014 «Учебно-методические и учебные работы. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию учебно-методических и учебных работ».

1 Лабораторная работа №1. Стандартная обработка результатов прямых измерений с многократными наблюдениями

Цель работы: получить навыки по стандартной обработке результатов многократных измерений и определению законов распределения погрешностей средств измерений, оцениванию погрешностей и представлению результатов измерений.

1.1 Задание к лабораторной работе

Изучить структурные схемы и технические характеристики 2-х различных средств измерений, представляемых на экране виртуальной лабораторной работы.

Провести имитационный эксперимент по измерению заданной входной величины с помощью данных средств измерений.

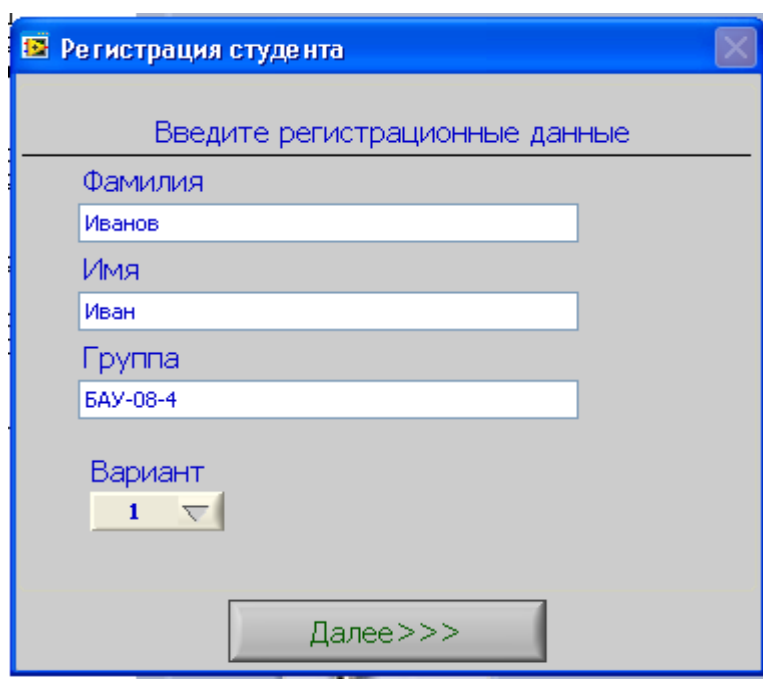
Провести статистическую обработку результатов имитационного эксперимента.

Оценить законы распределения погрешностей данных средств измерений.

Проверить гипотезу о принадлежности результатов наблюдений нормальному распределению с помощью критерия согласия Пирсона.

1.2 Порядок выполнения лабораторной работы

1.2.1 Получить у преподавателя номер варианта для выполнения лабораторной работы и зарегистрироваться в системе:



Регистрация студента

Введите регистрационные данные

Фамилия
Иванов

Имя
Иван

Группа
БАУ-08-4

Вариант
1

Далее>>>

Рисунок 1.1 – Окно регистрации студента

- загрузить файл Metlab.exe, выбрать из главного меню номер выполняемой лабораторной работы: появится окно регистрации студента (рисунок 1.1);

- ввести свои Фамилию, Имя, № группы;
- ввести номер заданного варианта лабораторной работы;
- нажать кнопку «Далее».

1.2.2 В появившемся окне виртуальной лабораторной работы (рисунок 1.2) изучить задание и ввести значение входной температуры (согласно задания) в окошко ввода, расположенное под переключателем входной температуры, и нажать «Enter». Далее приступить к выбору приборов для выполнения лабораторной работы.

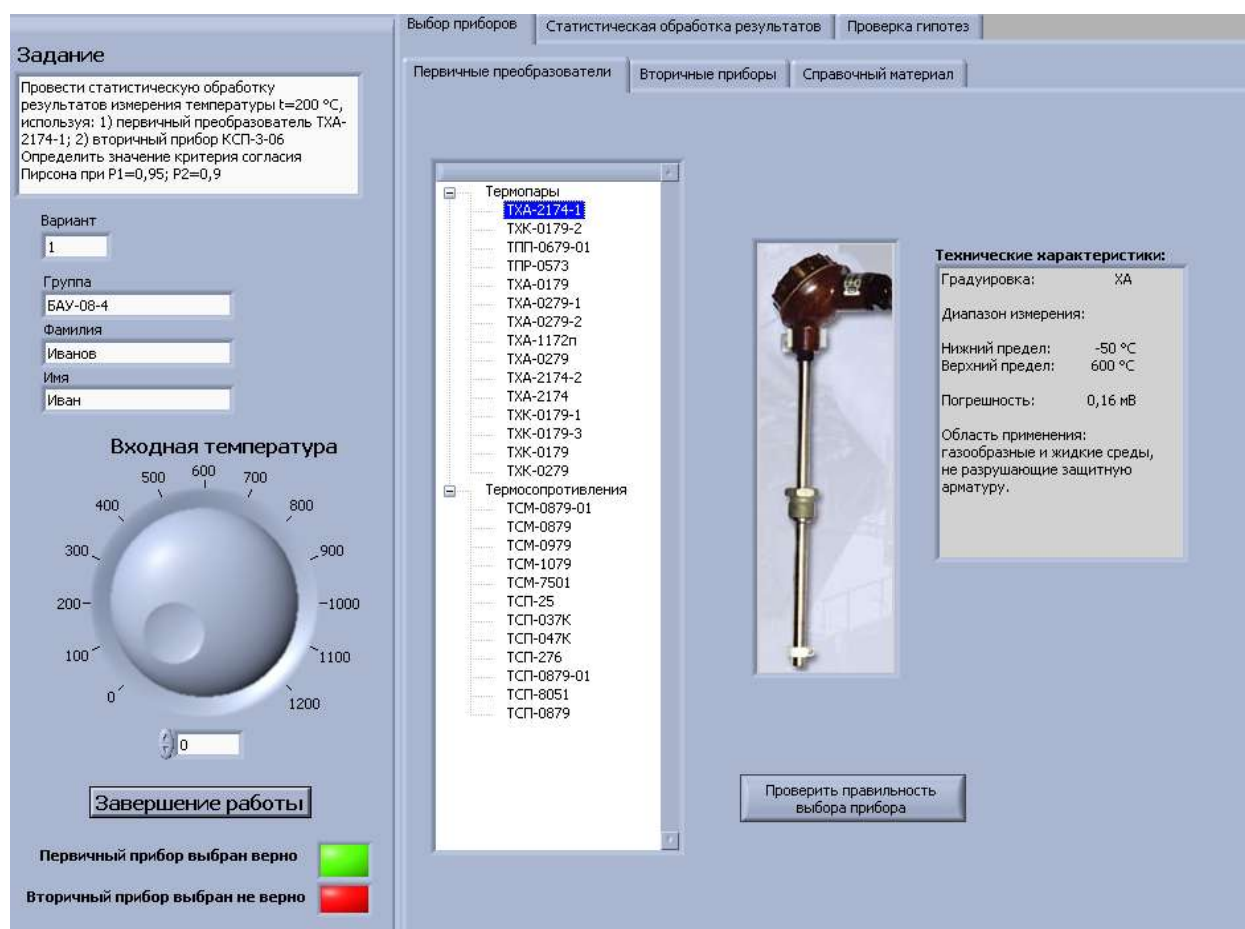


Рисунок 1.2 – Окно виртуальной лабораторной работы

1.2.3 На закладке «Первичные преобразователи» выбрать из предложенного списка термопар и термосопротивлений тип первичного преобразователя согласно задания.

1.2.4 Нажать «Проверить правильность выбора прибора».

1.2.5 Если первичный преобразователь выбран верно, то слева внизу зажжется зеленая лампочка «Первичный преобразователь выбран верно».

1.2.6 Перейти к следующему этапу работ «Выбор вторичного прибора» (рисунок 1.3). Для этого перейти на закладку «Вторичные приборы».

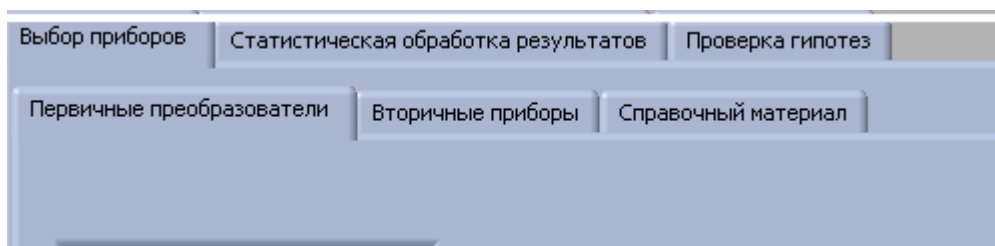


Рисунок 1.3 – Окно выбора этапов работ

Аналогично п.1.2.3 – 1.2.5 произвести выбор вторичного прибора, тип которого указан в задании.

1.2.7 Следующий этап работы «Имитационный эксперимент». Для этого перейти на закладку «Статистическая обработка результатов» (рисунок 1.3). В появившемся окне «Имитационный эксперимент и статистическая обработка результатов» (рисунок 1.4) имеется возможность провести имитационные эксперименты по измерению входной температуры двумя средствами измерений: слева – с первичным преобразователем, выбранным в п.1.2.3, справа – с вторичным прибором, выбранным в п.1.2.6.

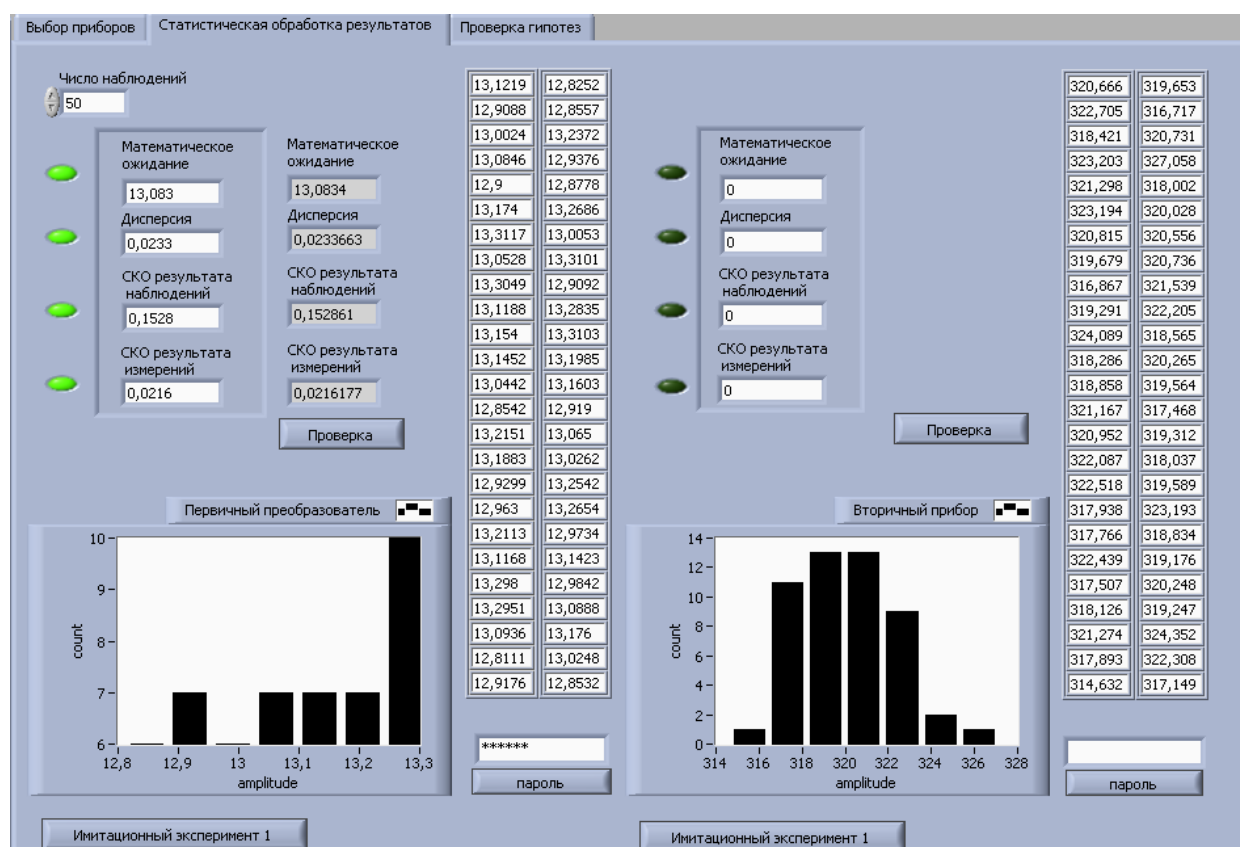


Рисунок 1.4 – Окно имитационного эксперимента и статистической обработки результатов

Ввести число наблюдений «50» и нажать две кнопки «Имитационный эксперимент» слева и справа внизу данного окна.

Появятся два столбца 50-ти значений входной величины, измеренной первичным преобразователем, и два столбца 50-ти значений входной величины, измеренной вторичным прибором, полученных случайным образом как результат измерения заданного в п.1.2.2 значения входной температуры.

1.2.8 Следующий этап работы «Статистическая обработка результатов»

Произвести статистическую обработку результатов имитационного эксперимента, проведенного с первичным преобразователем. Для этого нажать кнопку «Excel», по нажатию которой полученные выборки 50-ти значений измеряемой величины автоматически переносятся в файл с расширением «.xls». В появившемся окне записи файла необходимо указать имя файла с расширением «.xls».

Открыть файл «Excel» и вычислить значения оценок математического ожидания, дисперсии и среднеквадратического отклонения результатов наблюдений и результатов измерений (п.1.4). Построить диаграмму закона распределения результатов наблюдений измеряемой величины, содержащих случайные погрешности.

1.2.9 Проверить полученные значения оценок математического ожидания, дисперсии и среднеквадратического отклонения результатов наблюдений и результатов измерений с расчетами, полученными компьютером. Для чего ввести рассчитанные значения в соответствующие окна и нажать кнопку «Проверка». В случае правильности произведенных расчетов слева от окон с введенными значениями оценок загорятся светодиоды зеленого цвета (рисунок 1.4).

1.2.10 Построенную диаграмму распределения результатов наблюдений измеряемой величины сравнить с построенной компьютером, приведенной на экране.

1.2.11 Повторить выполнение п.п.1.2.8 – 1.2.10 для другого средства измерения – вторичного прибора.

1.2.12 Следующий этап работы «Проверка гипотезы о нормальном законе распределения по критерию Пирсона».

Перейти на закладку «Проверка гипотез» (рисунок 1.3). Открыть закладку «Расчет функции Пирсона» (рисунок 1.5).

Произвести расчеты функции Пирсона для первичного преобразователя и вторичного прибора в «Excel» согласно п.1.3.5.

Ввести в соответствующие окна заданные значения доверительной вероятности, уровня значимости и значение функции Пирсона хи-квадрат, полученное в результате расчетов и значение хи-квадрат критический, найденный в таблице на закладке «Проверка гипотез»: «Справочный материал».

1.2.13 Нажать кнопку «Расчет». Компьютер произведет расчет функции Пирсона. В окне «Подтверждение закона» появится результат проверки гипотезы компьютером: либо гипотеза о нормальном законе распределения подтвердится, либо – нет.

1.2.14 Нажать кнопку «Проверка». Рассчитанные значения уровня значимости, значение функции Пирсона хи-квадрат и значение хи-квадрат критический проверяются на совпадение с расчетами, произведенными компьютером. В случае правильности расчетов слева от соответствующих окон зажгутся светодиоды зеленого цвета. В случае неправильных расчетов необходимо обратиться к преподавателю, который после введения пароля получит детальную картину расчетов функции Пирсона, произведенных компьютером.

Рисунок 1.5 - Проверка гипотезы о нормальном законе распределения по критерию Пирсона

1.3 Стандартная методика обработки результатов прямых измерений с многократными независимыми наблюдениями

Эта методика соответствует рекомендациям действующего ГОСТ 8.207-76 «Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений».

В соответствии с методикой обработку ряда наблюдений следует выполнять в следующей последовательности [4]:

- исключить известные систематические погрешности из результатов наблюдений;
- вычислить среднее арифметическое исправленных результатов

наблюдений, которое принимается за результат измерения;

в) вычислить оценку среднего квадратического отклонения результатов наблюдения;

г) вычислить оценку среднего квадратического отклонения результатов измерения;

д) исключить грубые погрешности и промахи из результатов наблюдений;

е) в случае обнаружения грубых погрешностей и промахов после их исключения, повторить б)-г);

ж) проверить гипотезу о том, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению;

и) вычислить доверительные границы случайной составляющей погрешности результата измерения;

к) вычислить границы неисключенной систематической погрешности результата измерения;

л) вычислить доверительные границы погрешности результата измерения;

м) представить результат измерения в соответствии с установленными требованиями.

1.4 Форма представления результатов измерений

Результат измерения – это значение величины, найденное путем измерения. Представляя результат измерения, всегда необходимо указать погрешность (точность), с которой он выполнен. Высокой точности соответствуют малые значения погрешностей, и в этом заключается качественное понятие точности. Для количественной оценки точности применяют ряд критериев. Наиболее часто применяется следующая оценка точности – точность измерений определяется интервалом, в котором с установленной вероятностью находится суммарная погрешность измерений. При этом принята форма представления результатов измерения, представленная выражением

$$X = X_{изм} \pm \Delta, P, \quad (1.1)$$

где $X_{изм}$ – результат измерений в единицах измеряемой величины;

$\pm \Delta$ – доверительный интервал, выраженный пределами суммарной абсолютной погрешности в единицах измеряемой величины;

P – доверительная вероятность.

Эта форма представления результата принята в качестве основной при оценке точности измерений в АСУ ТП энергетики.

При *оформлении* результатов измерений необходимо придерживаться следующего *правила округления результата измерения* [3]:

а) округление результата измерения начинается с округления значения погрешности Δ ;

б) если *первая значащая цифра* в значении погрешности Δ равна 1 или 2, то оставляются две цифры: данная значащая цифра и следующая за ней; если первая значащая цифра равна 3 и более, то оставляется данная цифра; остальные цифры отбрасываются и значение Δ округляется по правилам арифметики;

в) результат измерения $X_{изм}$ округляется (по правилам арифметики) до того же последнего разряда, который является последним в округленном значении погрешности Δ ;

г) округление производится только в окончательном результате, предварительные вычисления можно делать с одним – двумя лишними цифрами.

1.5 Содержание отчета

Отчет должен содержать для каждого изученного средства измерения:

- структурную схему средства измерения;
- технические характеристики средства измерения;
- полученную выборку 50-ти значений измеряемой величины;
- расчеты математического ожидания, дисперсии и среднеквадратического значения результатов наблюдений и измерений;
- график диаграммы распределения измеряемой величины и заключение о полученном виде закона распределения случайной погрешности;
- расчеты функции Пирсона и результаты проверки гипотезы о нормальном законе распределения;
- расчеты доверительных границ случайной погрешности результата измерения;
- представление результата измерения согласно (1.1), оформленного по правилу округления, представленному в п.1.4;
- выводы по работе.

1.6 Контрольные вопросы

1.6.1 Дать определение «Метрологические характеристики средства измерения».

1.6.2 Перечислить метрологические характеристики средства измерения.

1.6.3 Дать определение «Систематические погрешности средства измерения» и «Случайные погрешности средства измерения».

1.6.4 Как проводится стандартная процедура обработки результатов измерений с многократными наблюдениями, в чем она заключается?

1.6.5 Зачем и как строится гистограмма?

1.6.6 По каким видам законов распределения случайной величины распределяются случайные погрешности?

1.6.7 Оценки основных характеристик законов распределения случайной величины.

1.6.8 Правила округления и представления результата измерения.

2 Лабораторная работа №2. Обработка результатов прямых измерений с многократными наблюдениями при наличии грубых погрешностей

Цель работы: ознакомление с методикой выполнения прямых измерений с многократными наблюдениями при наличии грубых погрешностей (промахов, выбросов). Получение применительно к этому случаю навыков обработки результатов наблюдений и оценивания погрешностей результатов измерений.

2.1 Задание к лабораторной работе

Изучить структурные схемы и технические характеристики 2-х различных средств измерений, представляемых на экране виртуальной лабораторной работы.

Провести имитационный эксперимент по измерению заданной входной величины с помощью данных средств измерений.

Провести статистическую обработку результатов имитационного эксперимента.

Оценить законы распределения погрешностей данных средств измерений.

Проверить гипотезу о принадлежности результатов наблюдений нормальному распределению с помощью коэффициента асимметрии и эксцесса.

Проверить гипотезу о том, что сомнительный результат наблюдения X_i не содержит грубой погрешности, с помощью статистики, называемой функцией наблюдений v и по правилу «трех сигм».

2.2 Порядок выполнения лабораторной работы

2.2.1 Получить у преподавателя номер варианта для выполнения лабораторной работы и зарегистрироваться в системе:

- загрузить файл Metlab.exe, выбрать из главного меню номер выполняемой лабораторной работы: появится окно регистрации студента (рисунок 1.1);

- ввести свои Фамилию, Имя, № группы;
- ввести номер заданного варианта лабораторной работы;
- нажать кнопку «Далее».

2.2.2 В появившемся окне виртуальной лабораторной работы (рисунок 2.1) изучить задание и ввести значение входной температуры (согласно задания) в окошко ввода, расположенное под переключателем входной температуры, и нажать «Enter». Далее приступить к выбору приборов для выполнения лабораторной работы.

2.2.3 На закладке «Первичные преобразователи» выбрать из предложенного списка термопар и термосопротивлений тип первичного пре-

образователя согласно заданию.

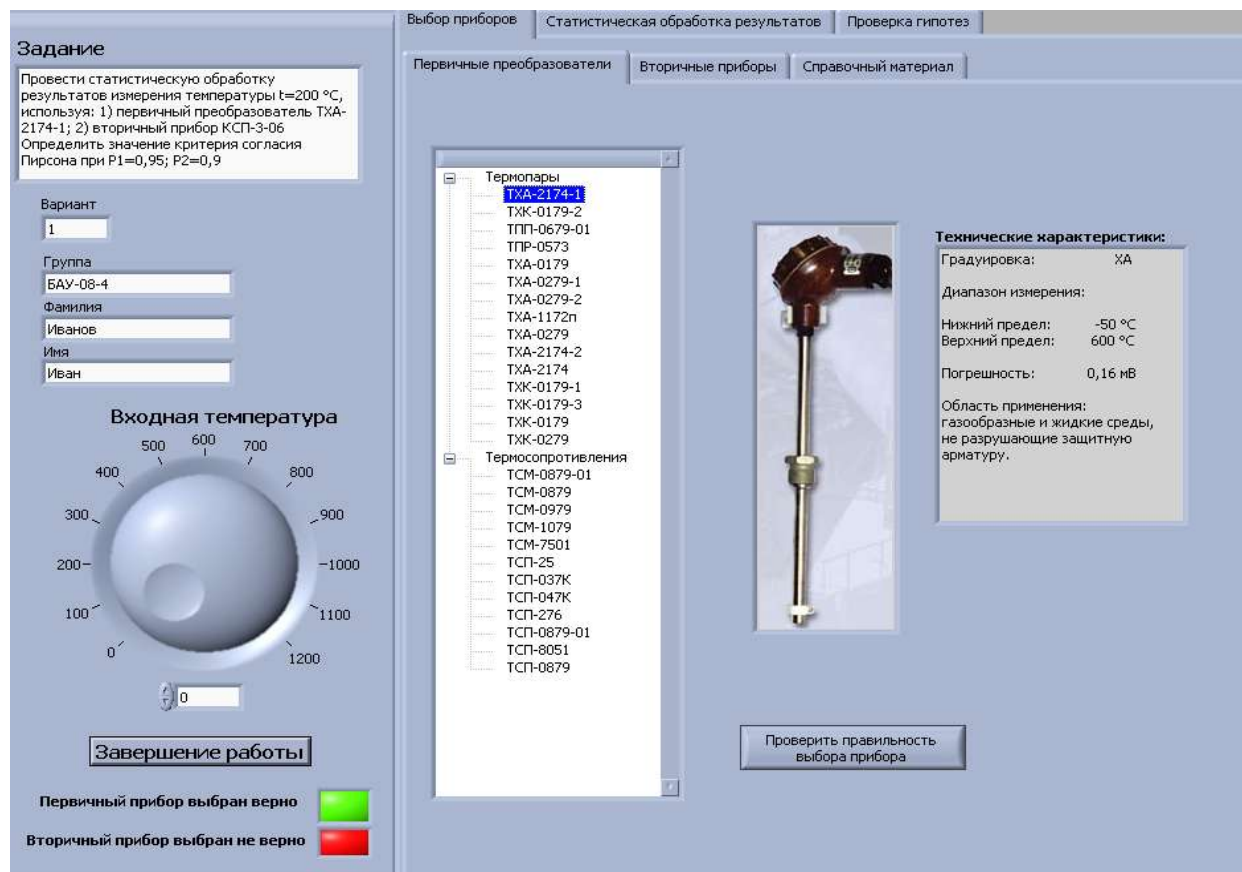


Рисунок 2.1 – Окно виртуальной лабораторной работы

2.2.4 Нажать «Проверить правильность выбора прибора».

2.2.5 Если первичный преобразователь выбран верно, то слева внизу зажжется зеленая лампочка «Первичный преобразователь выбран верно».

2.2.6 Перейти к следующему этапу работ «Выбор вторичного прибора». Для этого перейти на закладку «Вторичные приборы».

Аналогично п.2.2.3 – 2.2.5 произвести выбор вторичного прибора, тип которого указан в задании.

2.2.7 Следующий этап работы «Имитационный эксперимент». Для этого перейти на закладку «Статистическая обработка результатов». В появившемся окне «Имитационный эксперимент и статистическая обработка результатов» (рисунок 2.2) имеется возможность провести имитационные эксперименты по измерению входной температуры двумя средствами измерений: слева – с первичным преобразователем, выбранным в п.2.2.3, справа – с вторичным прибором, выбранным в п.2.2.6. Ввести число наблюдений «25» и нажать две кнопки «Имитационный эксперимент» слева и справа внизу данного окна.

Появятся два столбца 25-ти значений входной величины, измеренной первичным преобразователем, и два столбца 25-ти значений входной величины, измеренной вторичным прибором, полученных случайным образом как результат измерения заданного в п.2.2.2 значения входной температуры.



Рисунок 2.2 – Окно имитационного эксперимента и статистической обработки результатов

2.2.8 Следующий этап работы «Статистическая обработка результатов».

Произвести статистическую обработку результатов имитационного эксперимента, проведенного с первичным преобразователем. Для этого нажать кнопку «Excel», по нажатию которой полученные выборки 25-ти значений измеряемой величины автоматически переносятся в файл с расширением «.xls». В появившемся окне записи файла необходимо указать имя файла с расширением «.xls».

Открыть файл «Excel» и вычислить значения оценок математического ожидания, дисперсии и среднеквадратического отклонения результатов наблюдений и результатов измерений (п.1.4). Построить диаграмму закона распределения результатов наблюдений измеряемой величины, содержащих случайные погрешности.

2.2.9 Проверить полученные значения оценок математического ожидания, дисперсии и среднеквадратического отклонения результатов наблюдений и результатов измерений с расчетами, полученными компьютером. Для чего ввести рассчитанные значения в соответствующие окна и нажать кнопку «Проверка». В случае правильности произведенных расчетов слева от окон с введенными значениями оценок загорятся светодиоды зеленого цвета.

2.2.10 Построенную диаграмму распределения результатов наблюдений измеряемой величины сравнить с построенной компьютером, приведенной на экране.

2.2.11 Повторить выполнение п.п.2.2.8 – 2.2.10 для другого средства измерения – вторичного прибора.

2.2.12 Следующий этап работы «Проверка гипотезы о нормальном законе распределения по эмпирическим оценкам».

Перейти на закладку «Проверка гипотез». Открыть закладку «Расчет эмпирической оценки» (рисунок 2.3).

Рисунок 2.3 - Проверка гипотезы о нормальном законе распределения по эмпирическим оценкам

Произвести расчеты коэффициентов асимметрии и эксцесса для первичного преобразователя и вторичного прибора в «Excel» согласно п.2.3.3.

Ввести в соответствующие окна полученные в результате расчетов значение коэффициентов асимметрии G_1 и эксцесса G_2 .

2.2.13 Нажать кнопку «Расчет». Компьютер произведет расчет коэффициентов асимметрии G_1 и эксцесса G_2 . В окне «Подтверждение закона» появится результат проверки гипотезы компьютером: либо гипотеза о нормальном законе распределения подтвердится, либо – нет.

2.2.14 Нажать кнопку «Проверка». Рассчитанные значения коэффициентов асимметрии G_1 и эксцесса G_2 проверяются на совпадение с расчетами, произведенными компьютером. В случае правильности расчетов слева от соответствующих окон зажгутся светодиоды зеленого цвета. В случае неправильных расчетов необходимо обратиться к преподавателю, который после введения пароля получит детальную картину расчетов коэффициентов асимметрии G_1 и эксцесса G_2 , произведенных компьютером.

2.2.15 Следующий этап работы «Исключение грубых погрешностей или промахов».

Перейти на закладку «Оценка грубых погрешностей». В файле «Excel» произвести расчеты грубых погрешностей по правилу «трех сигм» (п.2.3.1) и с помощью статистики, называемой функцией наблюдений ν (п.2.3.2).

Ввести в соответствующие окна полученные расчеты величин:

- для правила «трех сигм»: X_{\max} , X_{\min} и число полученных значений, вышедших за пределы $\pm 3\sigma$;
- для статистики, называемой функцией наблюдений ν : ν_{\max} , ν_{\min} и результат проверки статистики.

2.2.16 Нажать кнопку «Проверка». Число полученных значений, вышедших за пределы $\pm 3\sigma$; рассчитанные значения ν_{\max} , ν_{\min} и результат проверки статистики проверяются на совпадение с расчетами, произведенными компьютером. В случае правильности расчетов слева от соответствующих окон зажгутся светодиоды зеленого цвета. В случае неправильных расчетов необходимо обратиться к преподавателю, который после введения пароля получит детальную картину, произведенных компьютером.

2.3 Методика обработки результатов прямых измерений с многократными наблюдениями при наличии грубых погрешностей (промахов, выбросов)

Для повышения качества измерений часто выполняют измерения с многократными наблюдениями, т.е. один и тот же оператор несколько раз повторяет однократные измерения в одинаковых условиях, с использованием одного и того же средства и метода измерений.

После получения результатов наблюдений полученные данные обрабатывают, при этом могут быть использованы различные процедуры статистической обработки, например стандартная (п.1.3) или упрощенная методика. Одним из условий правомерности статистической обработки результатов многократных наблюдений является требование однородности выборки, т.е. принадлежности всех членов выборки к одной и той же генеральной совокупности. Иными словами, если в выборке имеются наблюдения, результаты которых явно выходят за границы, обусловленные ходом эксперимента в целом, то результаты этих наблюдений следует из выборки исключить. Значение и знак случайной погрешности определить невозможно. Для учета случайной погрешности проводят многократные (статистические) измерения. Оценивая случайную погрешность, говорят об *ожидаемой погрешности*. *Грубая погрешность* – это случайная погрешность, существенно превышающая ожидаемую погрешность при данных условиях. *Промах* – погрешность, которая явно искажает результат измерения. За промах принимают случайную субъективную погрешность экспериментатора.

В экспериментальной практике поиск промахов основан на процедуре, которая называется «цензурированием выборки». Цензурирование выборки предполагает использование формальных критериев. Существует целый ряд таких критериев, простейший из которых известен, как правило «трех сигм».

2.3.1 Определение и исключение грубых погрешностей или промахов по правилу «трех сигм» [2].

Исключить из заданной выборки наблюдений те значения, которые выходят за границы $\bar{X} \pm 3\sigma$.

Доверительному интервалу $\pm 3\sigma$ соответствует $P = 0,997$. Это означает, что практически с вероятностью очень близкой к единице ни одно из возможных значений погрешности при нормальном законе ее распределения не выйдет за границы интервала. Поэтому, при нормальном распределении погрешностей, принято считать случайную погрешность с границами $\pm 3\sigma$ предельной (максимально возможной) погрешностью. Погрешности, выходящие за эти границы, классифицируют как *грубые или промахи*. Грубые погрешности и промахи обычно исключаются из экспериментальных данных до начала статистической обработки результатов наблюдений.

Это правило удобно и просто, но является слишком «жестким», поэтому при его использовании есть опасность удалить из выборки правомерный результат.

2.3.2 Определение и исключение грубых погрешностей или промахов по функции наблюдений V .

Существует более квалифицированный критерий, согласно которому проверяется гипотеза о том, что сомнительный результат наблюдения X_i не содержит грубой погрешности. Сомнительными в первую очередь являются наибольший или наименьший из результатов наблюдений. Поэтому для проверки гипотезы пользуются статистикой, называемой функцией наблюдений, $v_{\max} = \frac{X_{\max} - \bar{X}}{\sigma}$ или $v_{\min} = \frac{\bar{X} - X_{\min}}{\sigma}$. Соответствующие функции распределения совпадают между собой и протабулированы для нормального закона распределения результатов наблюдений (таблица 2.1).

При заданной доверительной вероятности $P = \alpha$ или уровне значимости $q = 1 - \alpha$ можно найти те наибольшие значения v_q , которые случайная величина v , в принципе, может принять по совершенно случайным причинам. Таким образом, если вычисленное по опытным данным значение V окажется меньше v_q , то принимается гипотеза об однородности ряда наблюдений, в противном случае эту гипотезу отвергают как противоречащую экспериментальным данным. Если ряд наблюдений неоднороден, то результат X_{\max} или соответственно X_{\min} рассматривают как содержащий грубую погрешность и из дальнейшего рассмотрения исключают. Отметим, что в $q = 1 - \alpha$ доле случаев из ста мы можем допустить ошибку первого рода, то есть принять за неоднородную выборку, которая на самом деле является

однородной. После удаления промахов обработка результатов наблюдений ведется обычным образом.

Таблица 2.1 – Значения ν_q при различных числах наблюдений n и уровня значимости q

n	$q=1-P$			
	0,10	0,05	0,025	0,01
3	1,406	1,412	1,414	1,414
4	1,645	1,680	1,710	1,723
5	1,731	1,869	1,917	1,955
6	1,894	1,996	2,067	2,130
7	1,974	2,093	2,182	2,265
8	2,041	2,172	2,273	2,374
9	2,097	2,237	2,349	2,464
10	2,146	2,294	2,414	2,540
11	2,190	2,383	2,470	2,606
12	2,229	2,387	2,519	2,663
13	2,264	2,426	2,562	2,714
14	2,297	2,461	2,602	2,759
15	2,326	2,493	2,638	2,808
16	2,354	2,523	2,670	2,837
17	2,380	2,551	2,701	2,871
18	2,404	2,557	2,728	2,903
19	2,426	2,600	2,754	2,932
20	2,447	2,623	2,778	2,959
21	2,467	2,644	2,801	2,984
22	2,486	2,664	2,823	3,008
23	2,504	2,683	2,843	3,030
24	2,520	2,701	2,862	3,051
25	2,537	2,717	2,880	3,071

2.3.3 Следует особо упомянуть, что упомянутые критерии грубых погрешностей работают только при условии, если распределение результатов наблюдений подчиняется нормальному закону. При небольшом числе наблюдений $15 < n < 50$ критерий Пирсона не работает и для проверки гипотезы о принадлежности результатов наблюдений к нормальному распределению можно использовать тот факт, что и коэффициент асимметрии, и эксцесс для нормального распределения равны нулю. Эмпирическая оценка Γ_1 коэффициента асимметрии находится по формуле

$$\Gamma_1 = \frac{\sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})^3}{n\sigma^3} . \quad (2.1)$$

Эмпирическая оценка эксцесса Γ_2 находится по формуле

$$\Gamma_2 = \frac{\sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})^4}{n\sigma^4} - 3. \quad (2.2)$$

Степень рассеяния для величин Γ_1 и Γ_2 может быть приближенно оценена путем сравнения их с оценкой среднего квадратического отклонения коэффициентов асимметрии σ_{Γ_1} и эксцесса σ_{Γ_2}

$$\sigma_{\Gamma_1} = \sqrt{\frac{6(n-1)}{(n+1)(n+3)}}; \quad (2.3)$$

$$\sigma_{\Gamma_2} = \sqrt{\frac{24n(n-2)(n-3)}{(n-1)^2(n+3)(n+5)}}. \quad (2.4)$$

Распределение считают нормальным, если одновременно выполняются соотношения $\Gamma_1 < 3\sigma_{\Gamma_1}$ и $\Gamma_2 < 3\sigma_{\Gamma_2}$.

В случае если число результатов наблюдений $n \leq 15$, принадлежность их к нормальному распределению с помощью критериев согласия не проверяется.

2.4 Содержание отчета

Отчет должен содержать для каждого изученного средства измерения:

- структурную схему средства измерения;
- технические характеристики средства измерения;
- полученную выборку 25-ти значений измеряемой величины;
- расчеты математического ожидания, дисперсии и среднеквадратического значения результатов измерений;
- график диаграммы распределения измеряемой величины и заключение о полученном виде закона распределения случайной погрешности;
- расчеты по проверке гипотезы о принадлежности результатов наблюдений нормальному распределению с помощью коэффициента асимметрии и эксцесса;
- расчеты по проверке гипотезы о том, что сомнительный результат наблюдения X_i не содержит грубой погрешности, с помощью статистики, называемой функцией наблюдений ν и по правилу «трех сигм».
- представление результата измерения согласно (1.1), оформленного по правилу округления, представленному в п.1.4;
- выводы по работе.

2.5 Контрольные вопросы

2.5.1 В каких случаях проводят измерения с многократными независимыми наблюдениями? Что принимают за результат таких измерений?

- 2.5.2 Что такое доверительный интервал?
- 2.5.3 Как рассчитать доверительный интервал?
- 2.5.4 Что такое грубые погрешности? Как устранить их влияние на результат измерений?
- 2.5.5 Какие критерии согласия используют при обработке результатов многократных наблюдений, если предполагается наличие грубых погрешностей?
- 2.5.6 Каковы преимущества и недостатки правила «трех сигм»?
- 2.5.7 Как обрабатывают результаты наблюдений после устранения грубых погрешностей?

3 Лабораторная работа №3. Имитационное моделирование суммарной погрешности канала измерения температуры

Цель работы: получить навыки по построению различных схем канала измерения температуры и оценки суммарной погрешности измерительного канала (ИК).

3.1 Задание к лабораторной работе

Собрать схему канала измерения температуры согласно полученному заданию на экране виртуальной лабораторной работы.

Провести имитационный эксперимент по измерению заданной входной величины с помощью данного измерительного канала.

Провести статистическую обработку результатов имитационного эксперимента.

Оценить суммарную погрешность канала измерения температуры.

3.2 Порядок выполнения лабораторной работы

3.2.1 Получить у преподавателя номер варианта для выполнения лабораторной работы и зарегистрироваться в системе:

- загрузить файл Metlab.exe, выбрать из главного меню номер выполняемой лабораторной работы: появится окно регистрации студента (рисунок 1.1);

- ввести номер заданного варианта лабораторной работы;
- нажать кнопку «Далее».

3.2.2 В появившемся окне лабораторного стенда (рисунок 3.1) внимательно изучить задание.

Собрать схему измерительного канала для измерения заданной температуры, для чего:

- для выбора первичного преобразователя открыть закладку «Первичный преобразователь»;
- выбрать из предложенного списка приборов тип первичного

преобразователя – термопару или термосопротивление, руководствуясь при этом рекомендациями п.3.3;

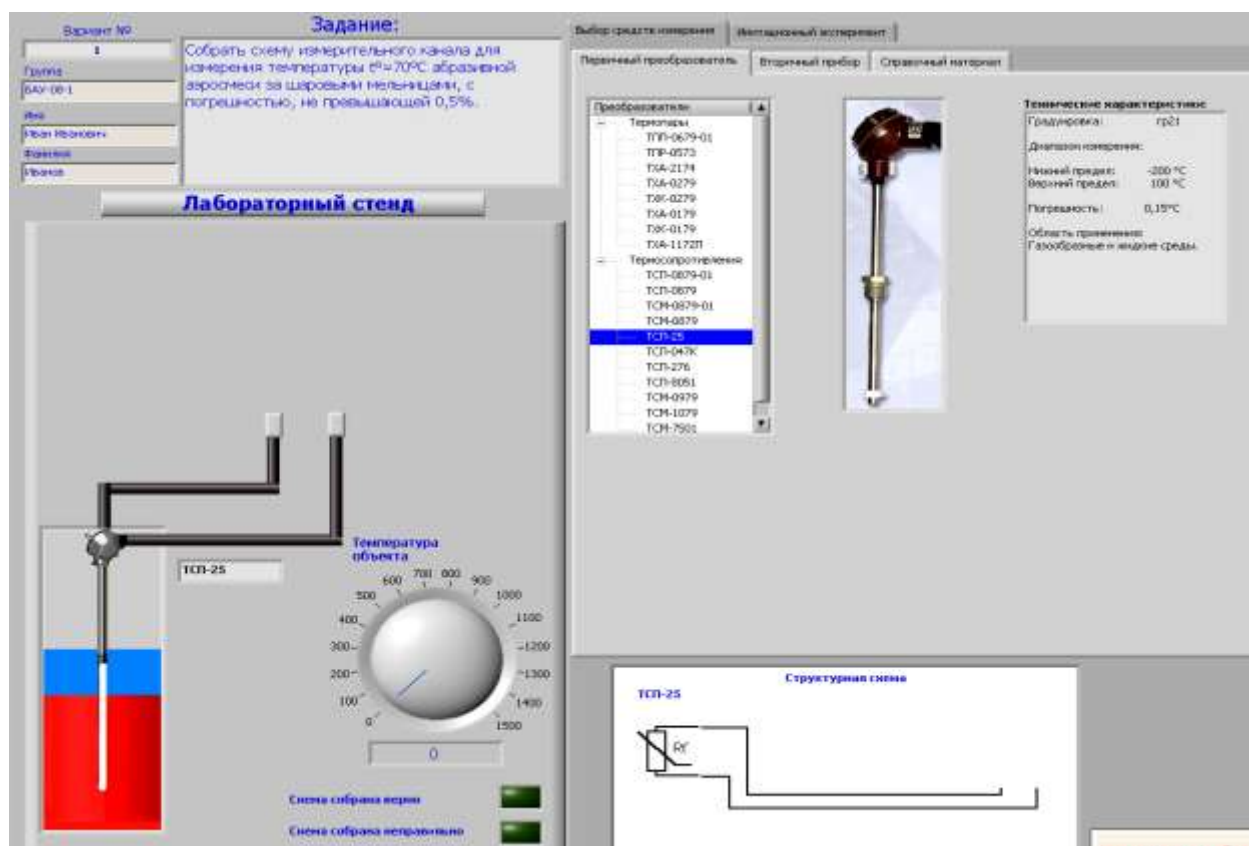


Рисунок 3.1 - Окно выбора первичного преобразователя

- выбрать конкретную модель данного первичного преобразователя, для чего «кликнуть» на «+» у выбранного типа первичного преобразователя. При выборе модели датчика руководствоваться техническими характеристиками данного прибора, которые автоматически будут появляться на данной закладке «Первичный преобразователь»;

- при выборе модели датчика он автоматически устанавливается на схеме лабораторного стенда (в левой части окна);

- для выбора вторичного прибора открыть закладку «Вторичный прибор» (рисунок 3.2);

- из предложенного списка приборов (милливольтметры, потенциометры, мосты и логометры) выбрать тип вторичного прибора, руководствуясь при этом рекомендациями п.3.3;

- выбрать конкретную модель данного вторичного прибора, для чего «кликнуть» на «+» у выбранного типа вторичного прибора. При выборе модели прибора руководствоваться техническими характеристиками (диапазон измерения, класс точности, градуировка) данного прибора, которые указаны на лицевой панели прибора.

- выбрав модель вторичного прибора, нажать кнопку «Установить

вторичный прибор» для установки данного прибора в схему измерительного канала на лабораторном стенде;

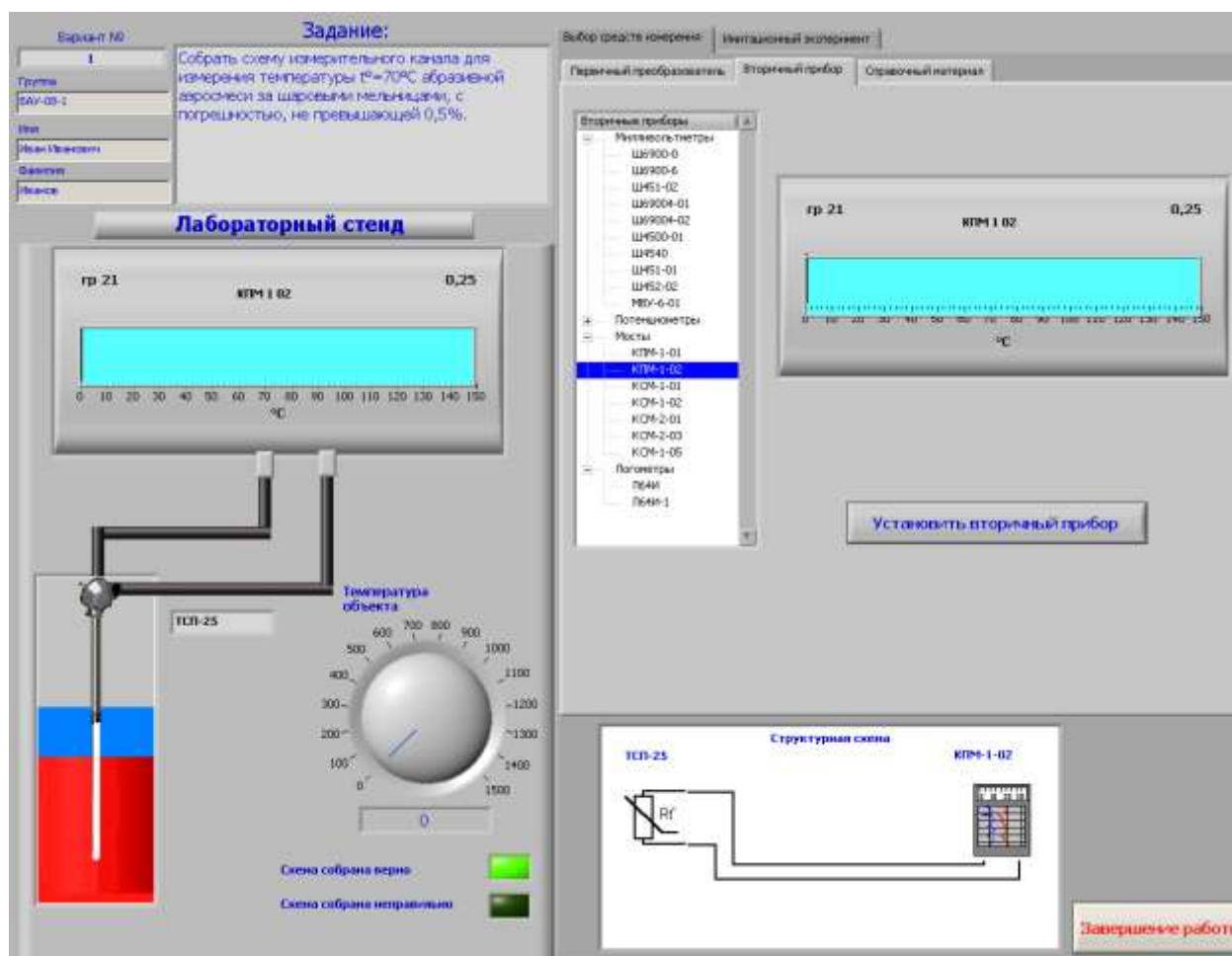


Рисунок 3.2 – Окно выбора вторичного прибора

- сборка схемы измерительного канала окончена. Если схема собрана верно, то у сообщения «Схема собрана верно» загорится зеленая лампочка; в противном случае – у сообщения «Схема собрана неправильно» загорится красная лампочка, в этом случае необходимо повторить п.3.2.2 до тех пор, пока схема не будет собрана верно.

3.2.3 Только после собранной верно схемы возможно перейти к проведению имитационного эксперимента, для чего необходимо открыть закладку «Имитационный эксперимент» (рисунок 3.3).

3.2.4 Задать число имитационных экспериментов равное 50.

3.2.5 На виртуальном лабораторном стенде выставить с помощью ручки «Температура объекта» заданную температуру (см. задание).

3.2.6 Нажать кнопку «Начать имитационный эксперимент».

На закладке «Имитационный эксперимент» появятся результаты имитационного эксперимента (50 значений измеряемой величины, полученных случайным образом как результат измерения заданного значения

измеряемой величины) и диаграмма их распределения (рисунок 3.3).

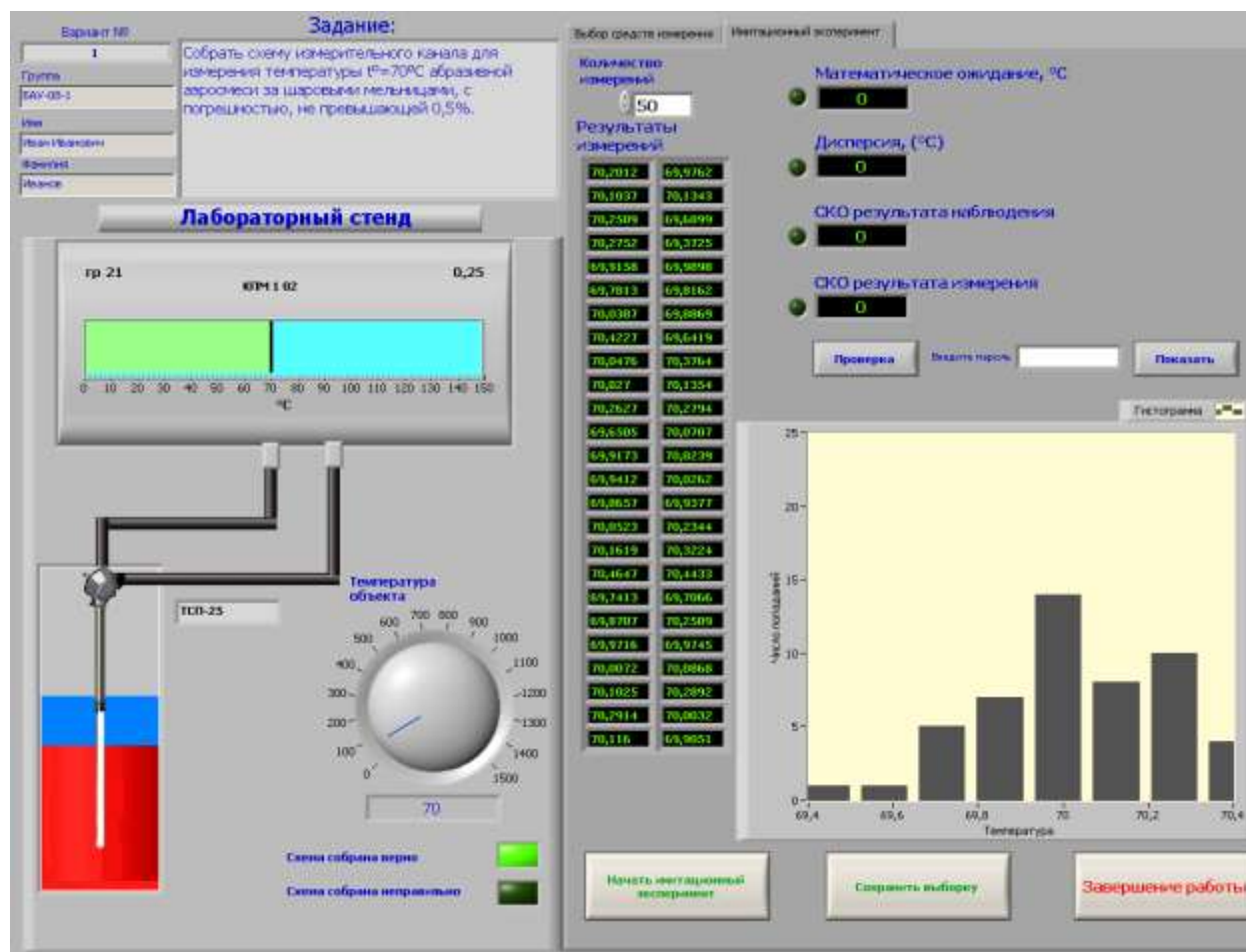


Рисунок 3.3 – Окно имитационного эксперимента

3.2.7 Произвести статистическую обработку результатов имитационного эксперимента:

- рассчитать по полученной выборке, используя EXCEL, математическое ожидание, дисперсию, среднееквадратическое отклонение (СКО) результата наблюдений и СКО результата измерений, обратившись для этого к п.1.4;

- построить диаграмму распределения результатов наблюдений.

3.2.8 Ввести рассчитанные значения в соответствующие окна на закладке «Имитационный эксперимент». Проверить полученные значения математического ожидания, дисперсии и среднееквадратического отклонения с расчетами, полученными компьютером, для чего обратиться к преподавателю.

3.2.9 Построенную диаграмму распределения измеряемой величины сравнить с полученной на экране.

3.2.10 Закончить лабораторную работу, нажав кнопку «Завершение работы».

3.3 Выбор и обоснование структуры канала измерения температуры

В данном подразделе приводится обоснование выбора средств измерения с учетом параметров окружающей среды: температуры, давления, влажности, состава, запыленности, электрических свойств.

При выборе средств измерений необходимо учитывать их точность, диапазон измерений и условия эксплуатации.

При выборе первичного преобразователя необходимо учитывать, что при измерении температур до $200 - 240\text{ }^{\circ}\text{C}$ с точки зрения большей точности измерения предпочтительнее использовать термометры сопротивления, при измерении температур выше $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ – термоэлектрические преобразователи.

В комплекте с термоэлектрическими преобразователями в качестве вторичных преобразователей и приборов работают: нормирующие преобразователи, милливольтметры и автоматические потенциометры, в комплекте с термометрами сопротивления – нормирующие преобразователи, автоматические мосты и логометры.

По заданному номинальному значению измеряемой температуры выбирают диапазон измерения первичных и нормирующих преобразователей и шкалу вторичного прибора; учитывая, что для обеспечения наибольшей точности измерения желательно выбирать вторичный прибор с безнулевой шкалой, а нормирующий преобразователь – с безнулевым диапазоном преобразования. Кроме того, измеряемая температура должна попадать во вторую половину диапазона (шкалы) измерения, ближе к верхнему пределу измерения или диапазона преобразования.

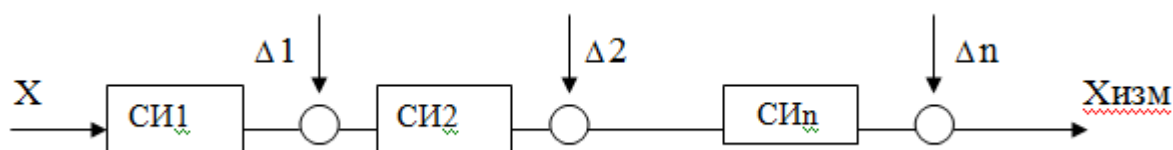
По возможности следует применять однотипные приборы, что значительно облегчает обслуживание, эксплуатацию и компоновку их на щитах.

3.4 Методика расчета суммарной погрешности ИК

Обычно информационно-измерительные системы содержат несколько измерительных каналов, которые, в свою очередь, состоят из ряда последовательно соединенных средств измерений (СИ): датчиков, нормирующих преобразователей, вторичных приборов, УСО ЭВМ и т.д.

Определение погрешностей ИК сводится к расчету суммарного действия погрешностей всех СИ, входящих в ИК.

Любой измерительный канал можно представить в виде структурной схемы



СИ 1, СИ 2, ... и т.д. – средства измерения, входящие в измерительный канал;

$\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$ и т.д. – погрешности СИ, приведенные к их выходу.

Для суммирования погрешностей необходимо, чтобы они были представлены своими *среднеквадратическими отклонениями* (СКО), а не предельными значениями, т.к. при этом открывается возможность для суммирования любого числа составляющих погрешностей. Для решения этих задач необходимо установить соотношения между СКО и погрешностью однократного наблюдения, определяемого по классу точности.

3.4.1 Погрешности средств измерений и их нормирование.

В основу классификации погрешностей СИ положены те же признаки, что и при классификации погрешностей измерений [3].

Наибольшее распространение в технологических измерениях получила форма представления класса точности через приведенные погрешности

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} 100\% , \quad (3.1)$$

где γ – приведенная погрешность, выраженная в %;

Δ – абсолютная погрешность, выраженная в единицах измеряемой величины;

X_N – нормирующее значение измеряемой величины.

В этом случае класс точности в нормативно-технической документации на СИ обозначается числом, равным приведенной погрешности, выраженной в процентах.

Как известно, для оценки результата измерений при многократных наблюдениях и его погрешности измерений используется математический аппарат теории вероятности.

Поскольку погрешности Δ_i отдельных СИ являются случайными величинами, то вычисление суммарной погрешности ИК простым арифметическим сложением составляющих Δ_i делать нельзя, т.к. это дает чрезвычайно завышенное значение суммарной погрешности. Кроме того, при суммировании погрешностей *следует учитывать наличие корреляционных связей* между отдельными погрешностями. Учитывая эти обстоятельства для целей суммирования, погрешность СИ, входящего в ИК, должна быть представлена своим СКО. Так $\sigma[\Delta_i]$ – СКО абсолютной погрешности i -го средства измерения равно

$$\sigma[\Delta_i] = \frac{\Delta_i}{k} , \quad (3.2)$$

где k – квантильный множитель, величина которого определяется принятым распределением основной погрешности СИ и значением доверительной вероятности.

Кроме того, для удобства суммирования аддитивных и мультипликативных составляющих погрешностей СКО следует представлять не в абсолютном, а в относительном виде. Так СКО относительной погрешности i - го средства измерения равно

$$\sigma[\delta_i] = \frac{\sigma[\Delta_i]}{X} 100, \quad (3.3)$$

где X - измеряемая величина.

Согласно теории вероятностей, СКО суммы погрешностей определяются выражением

$$\sigma[\delta_\Sigma] = \sqrt{\sigma^2[\delta_1] + 2\rho\sigma[\delta_1]\sigma[\delta_2] + \sigma^2[\delta_2]}, \quad (3.4)$$

где ρ - коэффициент корреляции.

Если погрешности средств измерений, входящих в измерительный канал, не коррелированы, то $\rho = 0$ и формула (3.4) примет вид

$$\sigma[\delta_\Sigma] = \sqrt{\sigma^2[\delta_1] + \sigma^2[\delta_2]}. \quad (3.5)$$

Если погрешности средств измерений жестко коррелированы, например, одинаково зависят от какого-либо влияющего параметра, то $\rho = 1$, тогда (3.4) примет вид

$$\sigma[\delta_\Sigma] = \sqrt{\sigma^2[\delta_1] + 2\sigma[\delta_1]\sigma[\delta_2] + \sigma^2[\delta_2]} = \sigma[\delta_1] + \sigma[\delta_2]. \quad (3.6)$$

Таким образом, жестко коррелированные погрешности складываются не геометрически, а алгебраически. Если коэффициент корреляции имеет отрицательный знак, то погрешности будут вычитаться.

3.4.2 Практические правила расчета суммарной погрешности ИК.

3.4.2.1 Исходными данными для расчета должны быть характеристики погрешностей СИ - абсолютная погрешность каждого средства измерения, входящего в ИК Δ_i .

3.4.2.2 Значения СКО погрешностей измерения СИ должны быть представлены сначала в абсолютных (3.2), а затем в относительных величинах по формуле (3.3).

3.4.2.3 По степени коррелированности погрешности следует разделить на два вида:

- сильно коррелированные $\rho = 0,7 - 1,0$;
- слабо коррелированные $\rho < 0,7$.

3.4.2.4 Сильно коррелированные погрешности суммируются по формуле (3.6), остальные по формуле (3.5).

3.4.2.5 Группу сильно коррелированных погрешностей суммируют с остальными по формуле (3.6).

3.4.2.6 Доверительный интервал, в котором с вероятностью P находится суммарная относительная погрешность ИК, принимается равным

$$\delta_{ик} = k\sigma[\delta_{\Sigma}], \quad (3.7)$$

где k - квантильный множитель;

$\sigma[\delta_{\Sigma}]$ - СКО относительной суммарной погрешности ИК по (3.4).

3.4.2.7 Доверительный интервал, в котором с вероятностью P находится суммарная абсолютная погрешность ИК, принимается равным

$$\Delta_{ик} = k\sigma[\delta_{\Sigma}] \frac{X}{100}. \quad (3.8)$$

3.4.2.8 Результат измерения представить в виде (1.1).

3.5 Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- задание;
- структурную схему канала измерения температуры;
- технические характеристики выбранных средств измерения;
- полученную выборку 50-ти значений измеряемой величины;
- расчеты математического ожидания, дисперсии и среднеквадратического значения результатов измерений;
- оценку систематической и случайной погрешностей средства измерения;
- график диаграммы распределения измеряемой величины и заключение о полученном виде закона распределения случайной погрешности;
- расчеты теоретического значения суммарной погрешности канала измерения температуры, согласно п.3.4.
- представление результата измерения (имитационного эксперимента и теоретического расчета) по формуле (1.1);
- выводы по работе.

3.6 Контрольные вопросы

3.6.1 Вторичные приборы, работающие в комплекте с термопарой.

3.6.2 Вторичные приборы, работающие в комплекте с термосопротивлением.

3.6.3 Дать определение и формулы «Абсолютная погрешность» и «Приведенная погрешность средства измерения».

3.6.4 Дать определение и формулы «Случайная погрешность» и «Систематическая погрешность».

3.6.5 Чему равен квантильный множитель для нормального и равномерного законов распределения случайной погрешности?

3.6.6 Как рассчитать суммарную погрешность измерительного канала?

4 Лабораторная работа №4. Исследование способов уменьшения погрешностей канала измерения температуры

Цель работы: получить навыки по сбору схем измерительного канала (ИК) с различными типами удлиняющих проводов термоэлектрических преобразователей и устройства компенсации температуры (КТ) и изучить их влияние на результат измерения температуры в структуре ИК.

4.1 Задание к лабораторной работе

Собрать схему канала измерения температуры согласно полученному заданию на экране виртуальной лабораторной работы.

Провести шесть имитационных экспериментов по измерению заданной входной величины с помощью данного измерительного канала, включая в его структуру удлиняющие провода различных типов и устройство КТ.

Провести статистическую обработку результатов имитационных экспериментов.

Оценить погрешность канала измерения температуры в каждом эксперименте.

4.2 Порядок выполнения лабораторной работы

4.2.1 Получить у преподавателя номер варианта для выполнения лабораторной работы и зарегистрироваться в системе (рисунок 1.1):

- загрузить файл MetLab4.exe;
- ввести свои Фамилию, Имя, Отчество;
- ввести номер заданного варианта лабораторной работы;

4.2.2 В появившемся окне лабораторного стенда внимательно изучить задание (рисунок 4.1).

Собрать схему измерительного канала для измерения заданной температуры, для чего:

- для выбора первичного преобразователя открыть закладку «Первичный преобразователь»;
- выбрать из предложенного списка приборов тип первичного преобразователя – термопару или термосопротивление, руководствуясь при этом исходным заданием;
- при выборе марки датчика он автоматически устанавливается на схеме лабораторного стенда (в левой части окна);
- для выбора вторичного прибора открыть закладку «Вторичный прибор»; из предложенного списка приборов (милливольтметры, потенциометры, мосты и логометры) выбрать тип вторичного прибора, руководствуясь при этом исходным заданием;
- выбрав модель вторичного прибора, нажать кнопку «Установить» для установки данного прибора в схему измерительного канала на лабораторном стенде;

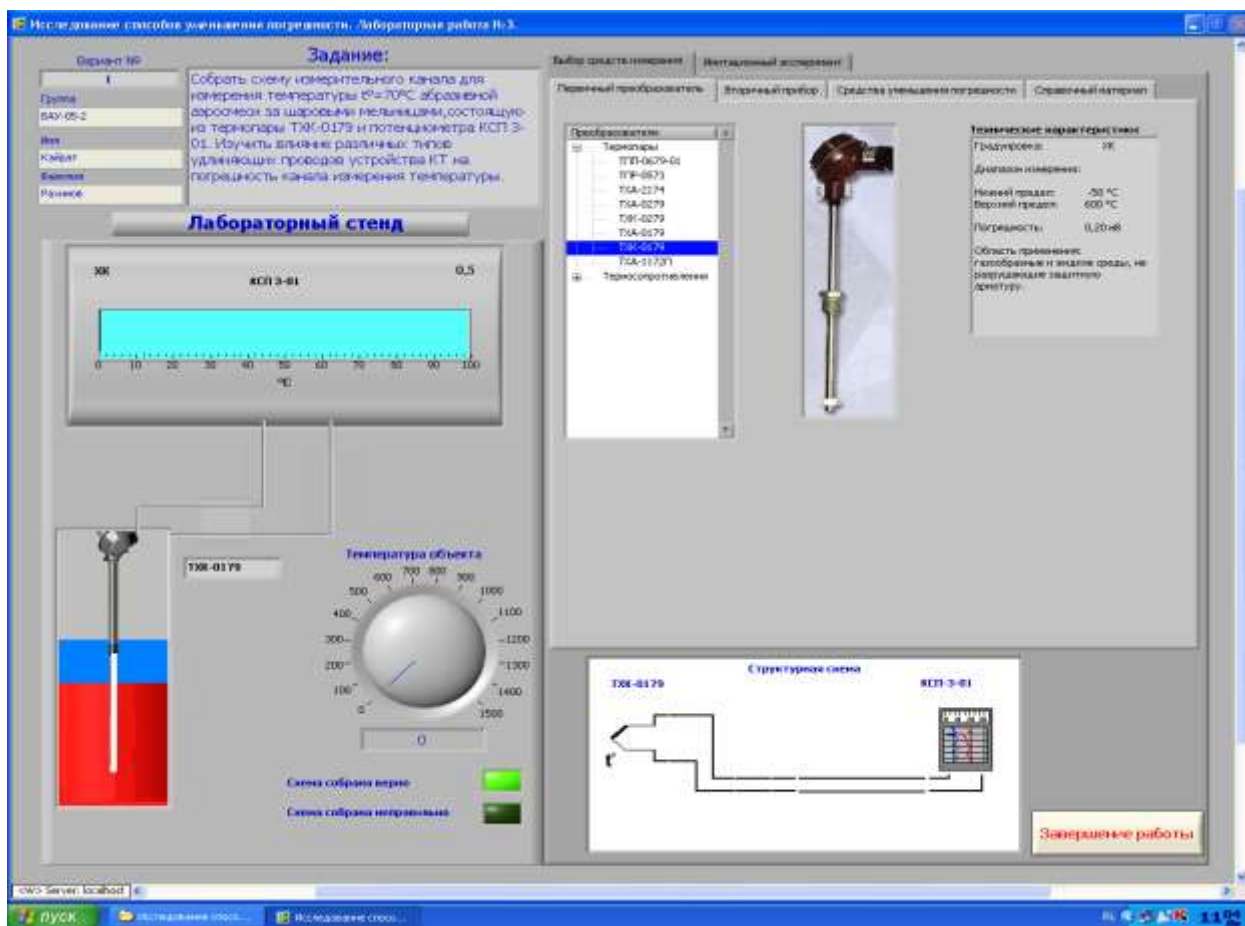


Рисунок 4.1 – Окно виртуальной лабораторной работы

- сборка схемы измерительного канала окончена (рисунок 4.1).

Если схема собрана верно, то у сообщения «Схема собрана правильно» загорится зеленая лампочка; в противном случае – у сообщения «Схема собрана неправильно» загорится красная лампочка, в этом случае необходимо повторить п.4.2.2 до тех пор, пока схема не будет собрана верно.

4.2.3 Только после собранной верно схемы измерительного канала возможно перейти к проведению имитационного эксперимента, для чего необходимо открыть закладку «Имитационный эксперимент».

4.2.4 Задать число имитационных экспериментов, равное 50.

4.2.5 На виртуальном лабораторном стенде выставить с помощью ручки «Температура объекта» заданную температуру (см. задание).

4.2.6 Нажать кнопку «Начать имитационный эксперимент». На закладке «Имитационный эксперимент» появятся результаты имитационного эксперимента (50 значений измеряемой величины, полученных случайным образом как результат измерения заданного значения измеряемой величины) и диаграмма их распределения (рисунок 4.2).

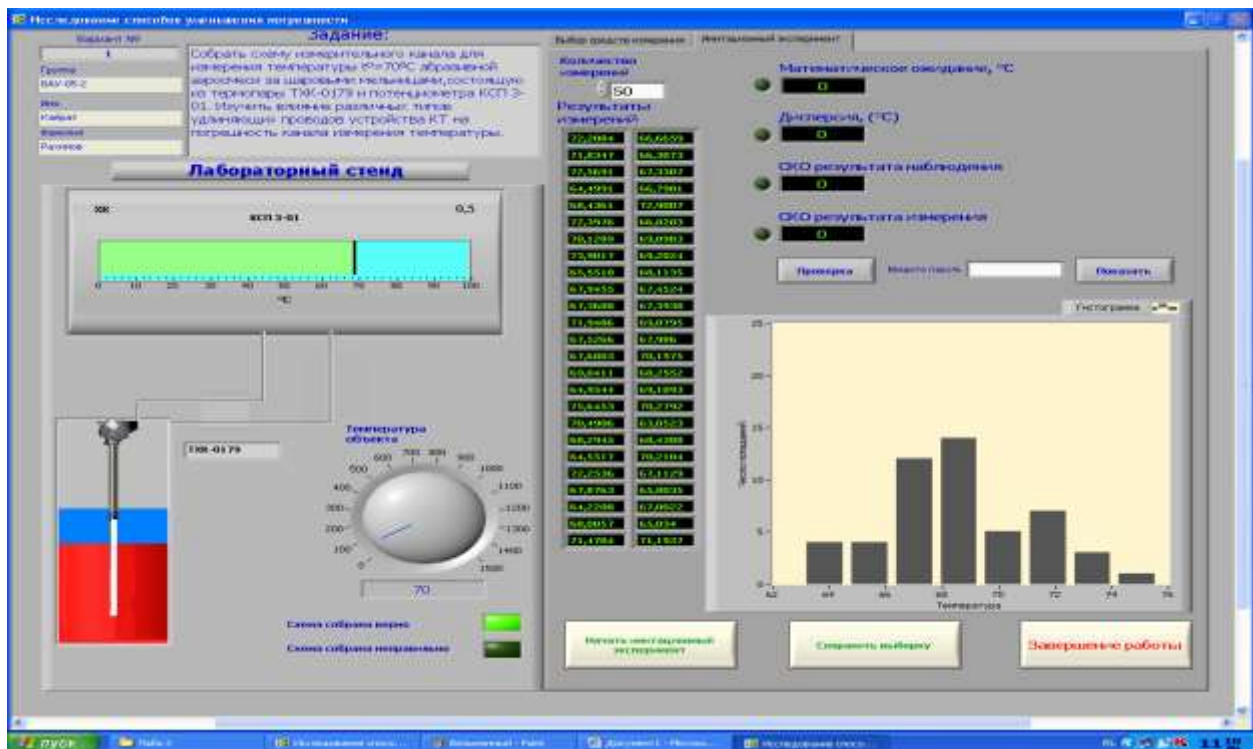


Рисунок 4.2 – Окно имитационного эксперимента

4.2.7 Для автоматической записи результатов имитационного эксперимента в файл EXCEL (расширение .xls), нажать кнопку «Сохранить выборку». Произвести статистическую обработку результатов имитационного эксперимента:

- рассчитать по полученной выборке, используя EXCEL, математическое ожидание, дисперсию, среднееквадратическое отклонение (СКО) результата наблюдений и СКО результата измерений;
- построить диаграмму распределения результатов наблюдений.

4.2.8 Ввести рассчитанные значения в соответствующие окна на закладке «Имитационный эксперимент». Проверить полученные значения математического ожидания, дисперсии и среднееквадратического отклонения с расчетами, полученными компьютером, для чего обратиться к преподавателю.

4.2.9 Построенную диаграмму распределения измеряемой величины сравнить с полученной на экране.

4.2.10 Следующие три имитационных эксперимента проводятся для изучения влияния удлиняющих проводов на результат измерения заданной температуры. Собранная схема измерительного канала изменится.

Теперь усложним схему, добавив в ее состав удлиняющие провода, работающие в комплекте с выбранным типом первичного преобразователя – термопарой, для чего открываем закладку «Средства уменьшения погрешности» (рисунок 4.3). Появляются средства уменьшения погрешности: удлиняющие провода трех типов: типа ХК, типа М, типа ПП и устройство компенсации температуры (устройство КТ).

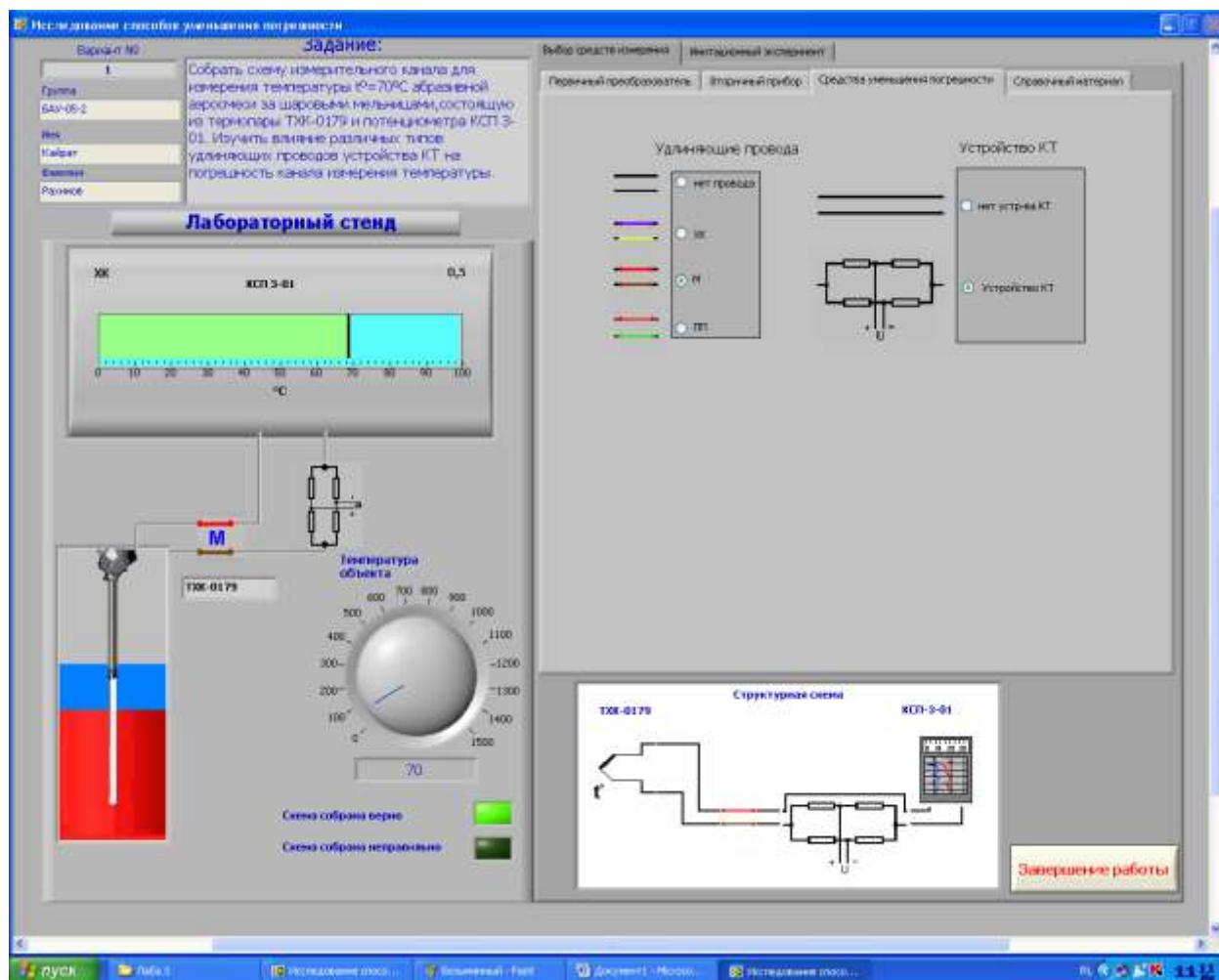


Рисунок 4.3 – Закладка «Средства уменьшения погрешности»

С выбранным типом термопары работают в комплекте удлиняющие провода только определенного типа [2, §4-9] – одного из трех предлагаемых на закладке, в этом случае погрешность измерения будет наименьшая. Необходимо определить этот тип удлиняющих проводов, изучив погрешности измерения ИК, поочередно подключая различные типы удлиняющих проводов. Для этого:

1) Выбрать провода типа ХК, «кликнув» в кружок у их названия. На лабораторном стенде в схеме измерительного канала появятся провода типа ХК. Повторить пп.4.2.3 –4.2.9 для полученной схемы измерительного канала.

2) Выбрать провода типа М, «кликнув» в кружок у их названия. На лабораторном стенде в схеме измерительного канала появятся провода типа М. Повторить пп.4.2.3 –4.2.9 для полученной схемы измерительного канала.

3) Выбрать провода типа ПП, «кликнув» в кружок у их названия. На лабораторном стенде в схеме измерительного канала появятся провода типа ПП. Повторить пп.4.2.3 –4.2.9 для полученной схемы измерительного канала.

4.2.11 Оценить полученные в п.4.2.10 значения СКО для трех схем измерительного канала с различными типами удлиняющих проводов. Выбрать схему с наименьшим значением СКО.

4.2.12 Следующий имитационный эксперимент (пятый) проводится для изучения влияния устройства КТ на погрешности измерения температуры. Для этого необходимо вернуться к закладке «Средства уменьшения погрешности». Исходная схема измерительного канала изменяется. Удлиняющие провода отсутствуют: «кликнуть» в кружок у «Нет провода». Добавим в схему устройство КТ, для чего «кликнуть» в кружок у «Устройство КТ». На лабораторном стенде в исходной схеме измерительного канала появится схема устройства КТ (мост). Повторить пп.4.2.3 – 4.2.9 для полученной схемы измерительного канала.

4.2.13 Шестой имитационный эксперимент проводится на виртуальном лабораторном стенде для изучения совместного влияния удлиняющего провода и устройства КТ на погрешности измерения температуры. Имитируется реальная ситуация, когда при измерении температуры объекта с помощью термопары используются подходящие для нее удлиняющие провода и автоматически вводится поправка на температуру свободных концов термопары с помощью устройства КТ. Для этого в схему лабораторного стенда добавим удлиняющие провода, выбранные в результате анализа в п.4.2.11. Повторить пп.4.2.3 – 4.2.9 для полученной схемы измерительного канала.

4.2.14 Закончить лабораторную работу, нажав кнопку «Завершение работы».

4.3 Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- задание;
- структурную схему канала измерения температуры;
- технические характеристики выбранных средств измерения;
- для каждого имитационного эксперимента со схемой ИК с различными типами удлиняющих проводов и с устройством КТ привести:
 - а) полученную выборку 50-ти значений измеряемой величины;
 - б) расчеты математического ожидания, дисперсии и среднеквадратического значения результатов измерений;
 - в) график диаграммы распределения измеряемой величины и заключение о полученном виде закона распределения случайной погрешности;
 - г) представление результата измерения (имитационного эксперимента) по формуле (1.1);
- выводы по работе.

4.4 Контрольные вопросы

4.4.1 Стандартные градуировки термоэлектрических преобразователей.

4.4.2 Удлиняющие термоэлектродные провода, их назначение.

4.4.3 Основные характеристики стандартных удлиняющих термоэлек-

тродных проводов.

4.4.4 Схема и принцип действия устройства КТ.

4.4.5 С какой целью вводится поправка на температуру свободных концов термопар?

5 Лабораторная работа №5. Изучение основных и дополнительных погрешностей средств измерения

Цель работы: получить навыки по расчету основной и дополнительной погрешностей средств измерения с учетом влияния на результат измерения таких параметров окружающей среды, как температура, внешнее электромагнитное поле и напряжение питания сети.

5.1 Задание к лабораторной работе

Собрать схему канала измерения температуры согласно полученному заданию на экране виртуальной лабораторной работы.

Провести имитационный эксперимент по измерению заданной входной величины с помощью данного измерительного канала в нормальных и эксплуатационных условиях проведения эксперимента.

Провести статистическую обработку результатов имитационного эксперимента.

5.2 Порядок выполнения лабораторной работы

5.2.1 Получить у преподавателя номер варианта для выполнения лабораторной работы и зарегистрироваться в системе (рисунок 1.1):

- загрузить файл Metlab.exe, выбрать из главного меню номер выполняемой лабораторной работы: появится окно регистрации студента (рисунок 1.1);

- ввести номер заданного варианта лабораторной работы;

- нажать кнопку «Далее».

5.2.2 В появившемся окне виртуальной лабораторной работы (рисунок 5.1) внимательно изучить задание. В задании даны конкретные типы средств измерений, а также заданы условия проведения эксперимента: приведены значения влияющих величин (температуры окружающей среды, напряжения питания сети, напряженности электромагнитного поля) в РОЗ (расширенной области значений), в НУ (нормальных условиях) и в ЭУ (эксплуатационных условиях).

Собрать схему измерительного канала для измерения заданной температуры, для чего:

- для выбора первичного преобразователя открыть закладку «Первичный преобразователь»;

- выбрать из предложенного списка приборов тип первичного преобразователя – термопару или термосопротивление, руководствуясь при

этом исходным заданием;

- при выборе марки датчика он автоматически устанавливается на схеме лабораторного стенда (в левой части окна);

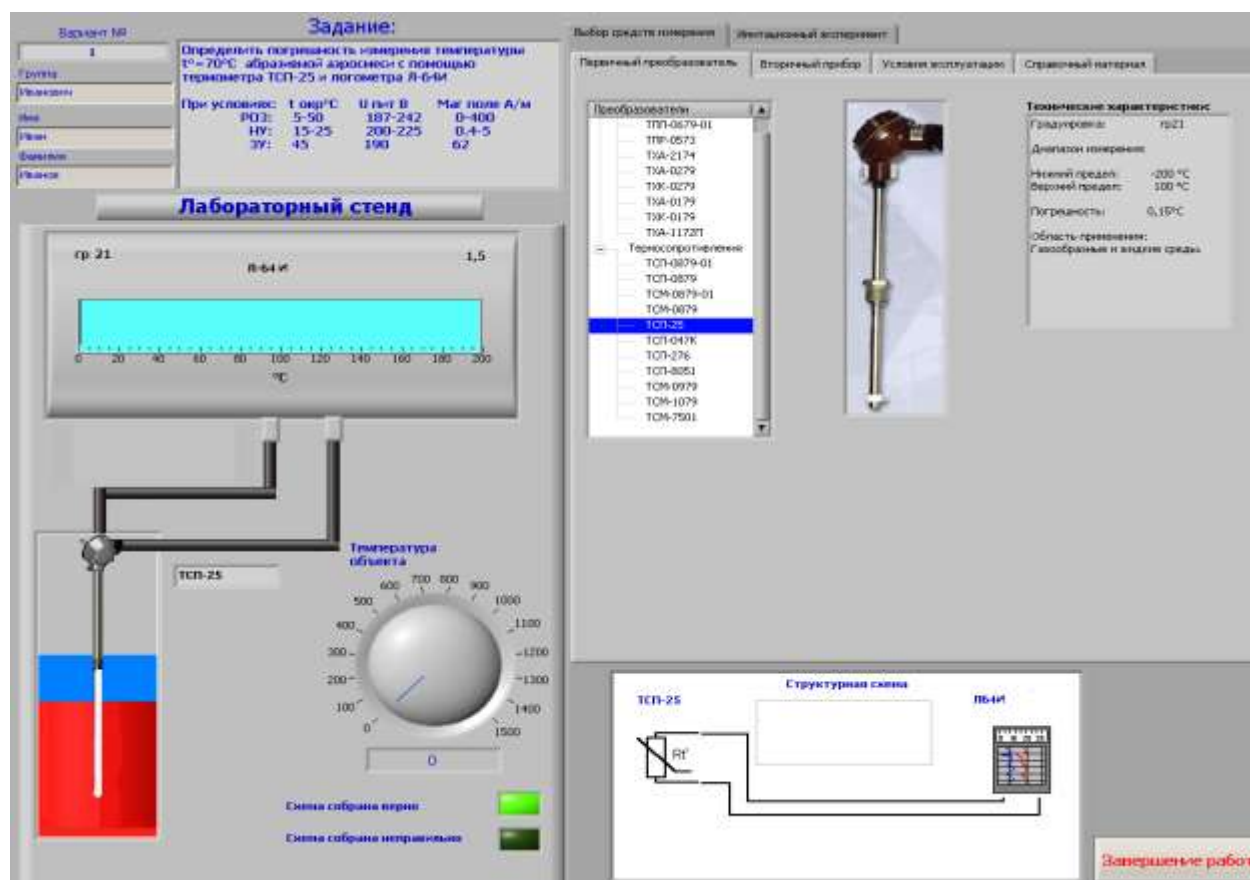


Рисунок 5.1 - Окно виртуальной лабораторной работы №5

- для выбора вторичного прибора открыть закладку «Вторичный прибор»; из предложенного списка приборов (милливольтметры, потенциометры, мосты и логометры) выбрать тип вторичного прибора, руководствуясь при этом исходным заданием;

- выбрав марку вторичного прибора, нажать кнопку «Установить» для установки данного прибора в схему измерительного канала на лабораторном стенде;

- сборка схемы измерительного канала окончена (рисунок 5.1).

Если схема собрана верно, то у сообщения «Схема собрана правильно» загорится зеленая лампочка; в противном случае – у сообщения «Схема собрана неправильно» загорится красная лампочка, в этом случае необходимо повторить п.5.2.2 до тех пор, пока схема не будет собрана верно.

5.2.3 Средства измерений работают в нормальных условиях эксплуатации. Условия эксплуатации задаются на закладке «Условия эксплуатации» (рисунок 5.2): кликнуть у отметки «Без влияния внешних воздействий».

5.2.4 Только после собранной верно схемы измерительного канала и установки условий эксплуатации возможно перейти к проведению имитационного эксперимента, для чего необходимо открыть закладку «Имитационный эксперимент».

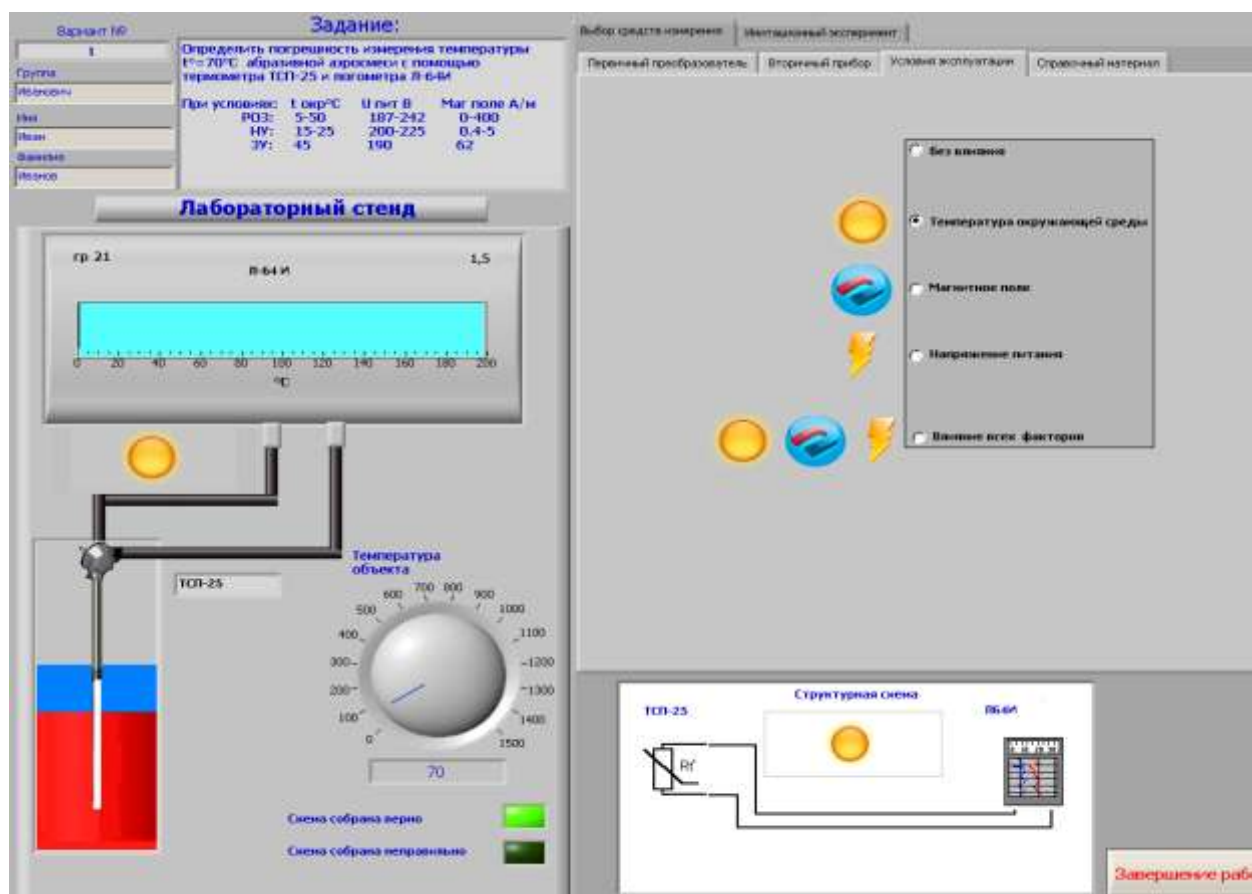


Рисунок 5.2 – Окно задания условий эксплуатации

5.2.5 Задать число имитационных экспериментов, равное 50.

5.2.6 На виртуальном лабораторном стенде выставить с помощью ручки «Температура объекта» заданную температуру (см. задание).

5.2.7 Нажать кнопку «Начать имитационный эксперимент». На закладке «Имитационный эксперимент» появятся результаты имитационного эксперимента (50 значений измеряемой величины, полученных случайным образом как результат измерения заданного значения измеряемой величины) и диаграмма их распределения (рисунок 5.3).

5.2.8 Для автоматической записи результатов имитационного эксперимента в файл EXCEL (расширение .xls) нажать кнопку «Сохранить выборку». Произвести статистическую обработку результатов имитационного эксперимента:

- рассчитать по полученной выборке, используя EXCEL, математическое ожидание, дисперсию, среднееквадратическое отклонение (СКО) результата наблюдений и СКО результата измерений;

- построить диаграмму распределения результатов наблюдений.

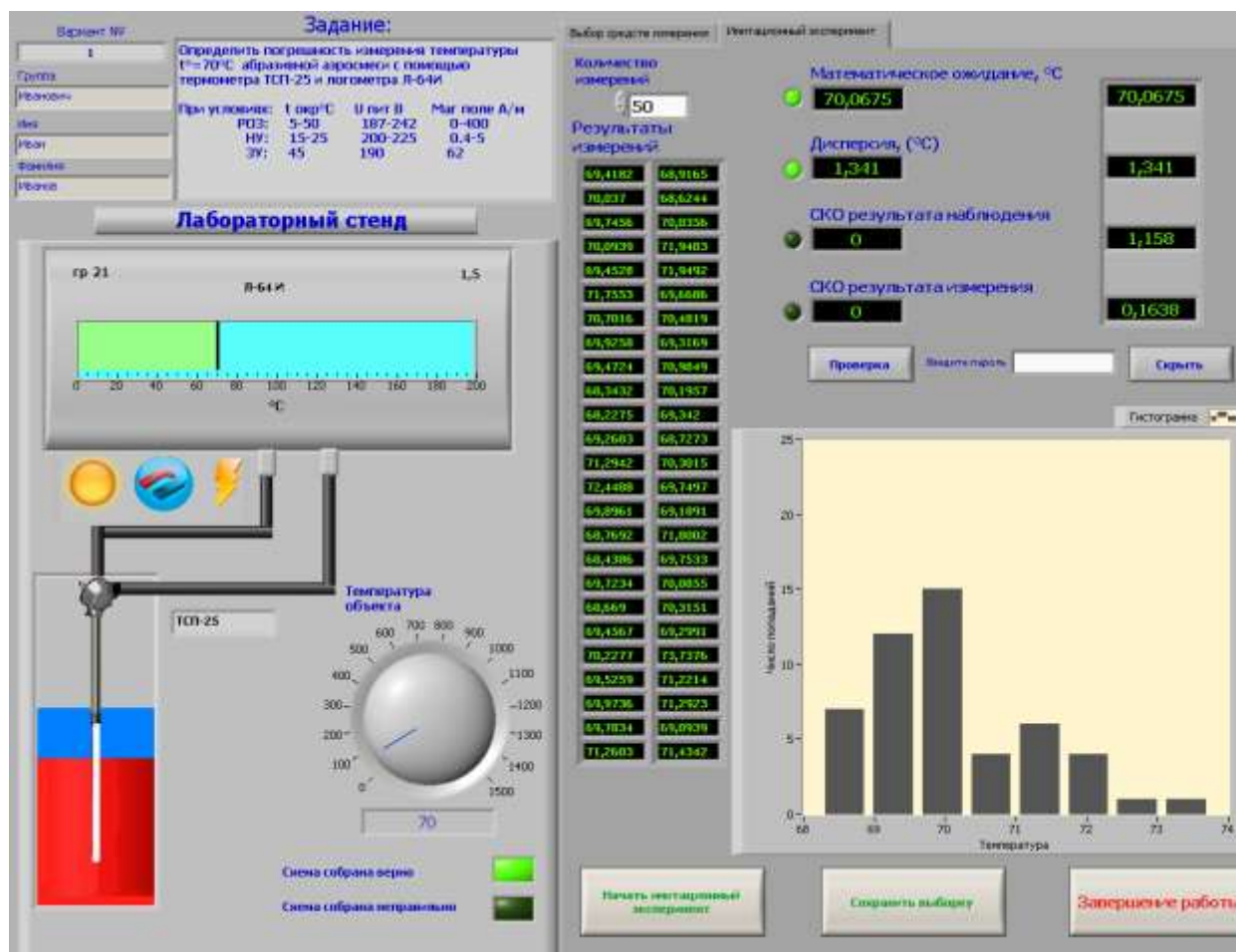


Рисунок 5.3 – Окно имитационного эксперимента

5.2.8 Ввести рассчитанные значения в соответствующие окна на закладке «Имитационный эксперимент». Проверить полученные значения математического ожидания, дисперсии и среднеквадратического отклонения с расчетами, полученными компьютером, для чего обратиться к преподавателю.

5.2.9 Построенную диаграмму распределения измеряемой величины сравнить с полученной на экране.

5.2.10 Заданные нормальные условия применения средств измерений обычно не являются рабочими (эксплуатационными) условиями их применения. Поэтому для каждого вида средств измерений в стандартах или технических условиях устанавливают расширенную область значений (РОЗ) влияющих величин, в пределах которой значение дополнительной погрешности не должно превышать установленных пределов.

Собранная схема измерительного канала останется без изменений. Изменим условия проведения эксперимента.

Следующие четыре имитационных эксперимента проводятся для изучения влияния внешних воздействий на погрешности средств измерений заданной температуры:

- добавим в схему лабораторного стенда влияние внешнего воздействия – температуры окружающей среды, для чего открываем закладку «Условия эксплуатации» (рисунок 5.2): кликнуть у отметки «Температура окружающей среды», тем самым вводится влияние внешнего воздействия на работу средств измерений. Повторить пп.5.2.3 –5.2.9 для полученной схемы измерительного канала;

- добавим в схему лабораторного стенда влияние внешнего воздействия – температуры окружающей среды, для чего открываем закладку «Условия эксплуатации» (рисунок 5.2): кликнуть у отметки «Температура окружающей среды», тем самым вводится влияние внешнего воздействия на работу средств измерений. Повторить пп.5.2.3 –5.2.9 для полученной схемы измерительного канала;

- добавим в схему лабораторного стенда влияние внешнего воздействия – электромагнитного поля, для чего открываем закладку «Условия эксплуатации» (рисунок 5.2): кликнуть у отметки «Электромагнитное поле», тем самым вводится влияние внешнего воздействия на работу средств измерений. Повторить пп.5.2.3 –5.2.9 для полученной схемы измерительного канала;

- добавим в схему лабораторного стенда влияние внешнего воздействия – напряжения питающей сети, для чего открываем закладку «Условия эксплуатации» (рисунок 5.2): кликнуть у отметки «Напряжение питающей сети», тем самым вводится влияние внешнего воздействия на работу средств измерений. Повторить пп.5.2.3 –5.2.9 для полученной схемы измерительного канала;

- добавим в схему лабораторного стенда одновременное влияние трех внешних воздействий – температуры окружающей среды, электромагнитного поля, напряжения питающей сети, для чего открываем закладку «Условия эксплуатации» (рисунок 5.2): кликнуть у отметки «Все влияющие величины». Повторить пп.5.2.3 –5.2.9 для полученной схемы измерительного канала.

5.2.11 Закончить лабораторную работу, нажав кнопку «Закрыть».

5.3 Расчет основной и дополнительных погрешностей средств измерений

5.3.1 Расчет погрешности средства измерений в нормальных условиях эксплуатации.

Допускаемое отклонение (погрешность) градуировки первичного преобразователя (Δ_1) согласно [2] зависит от его типа и заданы в технических характеристиках первичного преобразователя (рисунок 5.1).

Предел допускаемой основной абсолютной погрешности показаний вторичного прибора определяется по формуле

$$\Delta_2 = \frac{k(X_B - X_H)}{100}, \quad (5.1)$$

где k - класс точности вторичного прибора;

X_B, X_H - верхняя и нижняя границы диапазона измерения вторичного прибора, мВ (для милливольтметра или потенциометра) или Ом (для моста или логометра).

Предельная абсолютная основная погрешность показаний измерительного канала в нормальных условиях определяется по формуле

$$\Delta_{HY} = \pm \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2}. \quad (5.2)$$

Для получения значения данной погрешности в градусах Цельсия (ΔT_{HY}) необходимо воспользоваться градуировочной таблицей (функцией преобразования) соответствующего первичного преобразователя [2, таблицы П4-7-1,2,3,4,5,6], либо таблицами на закладке «Выбор средств измерений»: «Справочный материал».

5.3.2 Расчет погрешности измерительного канала в рабочих (эксплуатационных) условиях.

Согласно техническим характеристикам вторичных приборов, изменение показаний прибора, применяемого в комплекте с первичным преобразователем, может происходить:

а) за счет изменения температуры окружающего воздуха от НУ. Если это изменение не выходит из пределов расширенной области значений (РОЗ), то изменение показаний прибора на каждые 10^0 C не будет превышать

$$\Delta \text{don}_1 = \pm \frac{0.2(X_B - X_H)}{100}; \quad (5.3)$$

б) за счет изменения напряжения питания силовой электрической цепи прибора. Если это изменение находится в пределах $+10$ и -15% номинального значения, изменения показаний прибора не превышают

$$\Delta \text{don}_2 = \pm \frac{0.25(X_B - X_H)}{100}; \quad (5.4)$$

в) за счет влияния внешнего электромагнитного поля. Если напряженность внешнего электромагнитного поля, образованного переменным током частотой 50 Гц , не более 400 А/м , изменение показаний прибора не будет превышать

$$\Delta \text{don}_3 = \pm \frac{0.5(X_B - X_H)}{100}. \quad (5.5)$$

Для получения значения этих погрешностей в градусах Цельсия ($\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3$) необходимо воспользоваться градуировочной таблицей соответствующего первичного преобразователя [2, таблицы П4-7-1,2,3,4,5,6].

Приближенно предел суммарного изменения показаний вторичного прибора можно оценить по формуле

$$\delta_{\text{дон}} = \pm \sqrt{\sum \delta_i^2}, \quad \% \quad , \quad (5.6)$$

где δ_i - предельная относительная погрешность влияния i – ой влияющей величины, вычисляемая по формуле

$$\delta_i = \pm \frac{\Delta t_i}{t_{\text{изм}}} 100, \quad \% \quad , \quad (5.7)$$

где Δt_i - дополнительные погрешности за счет влияния i –ой влияющей величины в градусах Цельсия;

$t_{\text{изм}}$ - значение измеряемой температуры.

Дополнительная абсолютная погрешность суммарного изменения показаний вторичного прибора определяется по формуле

$$\Delta T_{\text{дон}} = \pm \frac{\delta_{\text{дон}}}{100} t_{\text{изм}}, \quad ^\circ\text{C} \quad . \quad (5.8)$$

Предельная погрешность измерительного канала в эксплуатационных условиях не будет превышать

$$\Delta T_{\text{уз}} = \pm (\Delta T_{\text{НУ}} + \Delta T_{\text{дон}}), \quad ^\circ\text{C} \quad . \quad (5.9)$$

5.4 Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- задание;
- структурную схему измерительного канала;
- технические характеристики выбранных средств измерения;
- полученную выборку 50-ти значений измеряемой величины; расчеты математического ожидания, дисперсии и среднеквадратического значения результатов измерений; оценку доверительного интервала; график гистограммы распределения измеряемой величины в нормальных условиях эксплуатации, в рабочих (эксплуатационных) условиях при влиянии трех влияющих величин по отдельности и при их суммарном влиянии;
- расчеты теоретического значения погрешности измерительного канала в нормальных условиях эксплуатации и в рабочих (эксплуатационных) условиях при суммарном влиянии влияющих величин, согласно п.5.3.;
- представление результата измерения (имитационного эксперимента и теоретического расчета) по формуле (1.1);
- выводы по работе.

5.5 Контрольные вопросы

5.5.1 Дать определение «Основная погрешность» и «Дополнительная погрешность» средства измерения.

5.5.2 Какие условия эксплуатации называются нормальными и какие - рабочими?

5.5.3 Приведите примеры внешних воздействий.

5.5.4 Приведите способы числового выражения погрешностей средств измерений.

5.5.5 Что такое «Расширенная область значений»?

5.5.6 Классификация погрешностей средств измерений.

6 Лабораторная работа №6. Поверка и градуировка технических термометров

Цель работы: изучить методику поверки технического термометра – термоэлектрического преобразователя и провести его градуировку.

6.1 Задание на лабораторную работу

Собрать схему лабораторного стенда для проведения поверки технического термометра согласно полученному заданию на экране виртуальной лабораторной работы.

Провести имитационный эксперимент по проведению поверки и градуировки технического термометра.

Провести обработку результатов имитационного эксперимента.

6.2 Порядок выполнения лабораторной работы

6.2.1 Получить у преподавателя номер варианта для выполнения лабораторной работы и зарегистрироваться в системе:

- загрузить файл Metlab.exe, выбрать из главного меню номер выполняемой лабораторной работы: появится окно регистрации студента (рисунок 1.1);

- ввести номер заданного варианта лабораторной работы;
- нажать кнопку «Далее».

6.2.2 В появившемся окне лабораторного стенда (рисунок 6.1) внимательно изучить задание.

Собрать схему лабораторного стенда для поверки заданного технического термометра, для чего на закладке «Выбор средств измерения»:

- открыть закладку «Образцовая термопара» для выбора образцового технического термометра (термопары);
- выбрать конкретную марку заданного образцового технического термометра, для чего «кликнуть» на «+» у выбранного типа первичного преобразователя. После чего он автоматически появляется на схеме лабораторного стенда;
- открыть закладку «Поверяемая термопара» для выбора поверяемого технического термометра (термопары);
- выбрать конкретную марку заданного поверяемого технического термометра, для чего «кликнуть» на «+» у выбранного типа первичного

преобразователя. После чего он автоматически появляется на схеме лабораторного стенда;

- сборка схемы измерительного канала окончена. Если схема собрана верно, то у сообщения «Схема собрана верно» загорится зеленая лампочка; в противном случае – у сообщения «Схема собрана неправильно» загорится красная лампочка, в этом случае необходимо повторить п.6.1.2 до тех пор, пока схема не будет собрана верно.

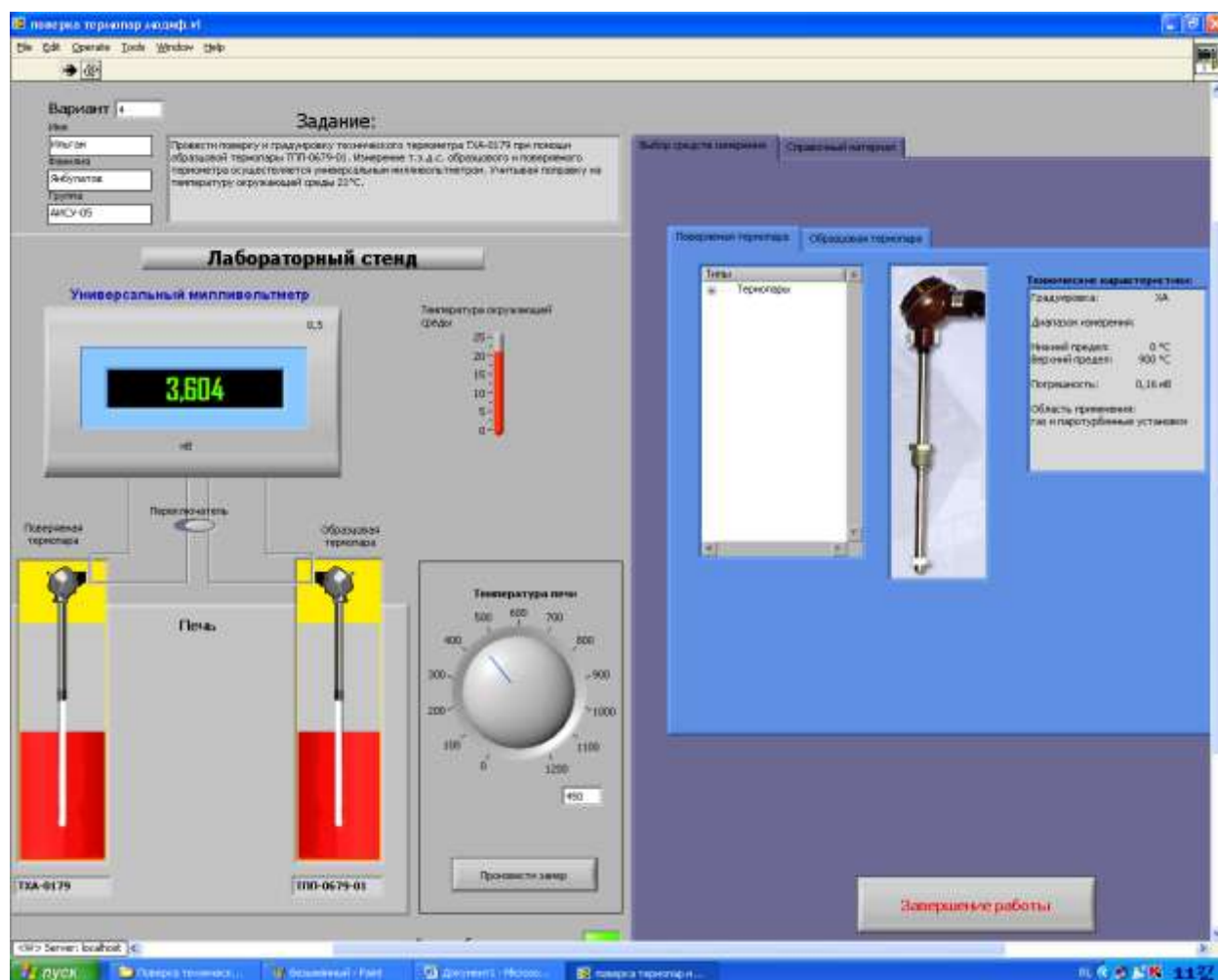


Рисунок 6.1 – Схема виртуального лабораторного стенда поверки технических термометров

6.2.3 Поверку начать со снятия показаний образцовой термопары, затем поверяемой термопары попеременно. Методика поверки технического термометра заключается в следующем:

а) согласно техническим характеристикам поверяемой термопары (рисунок 6.1) разделить ее диапазон измерения на пять интервалов (пять поверяемых точек), занести значения поверяемых точек $t_{повер}$ в таблицу 6.1, в строку «Температурные точки» для образцовой и поверяемой термопар;

б) выставить переключателем «Температура печи» первую поверяемую точку;

в) на лабораторном стенде «Переключатель» перевести в правую позицию «Образцовая термопара»;

г) произвести первый замер термоЭДС образцовой термопары, нажав на кнопку «Произвести замер», и занести показания универсального милливольтметра в таблицу 6.1, в столбец «Значения термоЭДС» образцовой термопары;

д) на лабораторном стенде «Переключатель» перевести в левую позицию «Поверяемая термопара»;

ж) произвести первый замер термоЭДС поверяемой термопары, нажав на кнопку «Произвести замер», и занести показания универсального милливольтметра в таблицу 6.1, в столбец «Значения термоЭДС» поверяемой термопары;

и) повторить в)-ж) еще четыре раза, измеряя температуру первой поверяемой точки попеременно образцовой и поверяемой термопарами, заноса значения термоЭДС в протокол поверки;

к) повторить б)-и) для пяти поверяемых температурных точек.

6.2.4 Для заполнения протокола поверки и получения заключения о поверке необходимо учесть поправку на температуру свободных концов термопары, отличную от градуировочной, равной 0°C , формула (6.4) (п.6.3).

Так как лабораторный стенд работает при температуре окружающей среды t_0' и соответственно свободные концы технического термометра находятся так же при этой температуре, необходимо учесть вышеуказанную поправку при проведении расчётов в таблице 6.1. Для определения термоЭДС поправки по значению температуры окружающей среды, а также для определения температуры t по значению термоЭДС при температуре свободных концов $t_{св.к.} = t_0 = 0^{\circ}\text{C}$, необходимо воспользоваться градуировочной таблицей соответствующего первичного преобразователя [2, таблицы П4-7-1,2,3,4,5,6], либо таблицами на закладке «Выбор средств измерений»: «Справочный материал».

6.2.5 Построить реальную градуировочную характеристику технического термометра $E_{AB}(t, t_0') = F(t)$, полученную по результатам измерений термоЭДС поверяемой термопары (таблица 6.1).

Построить номинальную градуировочную характеристику поверяемой термопары $E_{AB}(t_{повер}, t_0) = F(t_{повер})$ по градуировочной таблице поверяемой термопары в этой же системе координат.

Таблица 6.1 – Протокол поверки технической термопары

Вариант _____ Дата _____

ПРОТОКОЛ

поверки рабочего термометра _____ градуировки _____,
представленного на Виртуальном лабораторном стенде в аудитории _____ АИЭС.

Поверка производилась по образцовым приборам:
образцовому термометру _____ градуировки _____ и
образцовому цифровому милливольтметру.

Замечания по внешнему осмотру: _____

Условия поверки: температура свободных концов - _____ °С.

Показания термометров, мВ

Термометр	Образцовый					Поверяемый				
Температурные (поверяемые) точки, $t_{\text{повер}}^{\circ\text{C}}$										
Значение термо-э.д.с., мВ										
1										
2										
3										
4										
5										
Среднее арифметическое значение термоЭДС, мВ										
ТермоЭДС поправки на температуру свободных концов, мВ										
ТермоЭДС при температуре свободных концов $t_0 = 0^{\circ\text{C}}$										
Температура, $t^{\circ\text{C}}$										
Погрешность поверяемого термометра, $^{\circ\text{C}}$										
Заключение о поверке										

6.3 Поправка на температуру свободных концов термопары

Измерение температуры техническими термометрами – термоэлектрическими преобразователями (ТЭП) - основано на использовании открытого в 1821 году Зеебеком *термоэлектрического эффекта*.

Термоэлектрический преобразователь – цепь, состоящая из двух или нескольких соединенных между собой *разнородных* проводников (рисунок 6.2).

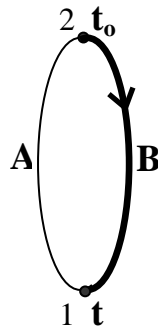


Рисунок 6.2- ТЭП

А, В – термоэлектроды; 1, 2 – спай.

Эффект Зеебека: если взять два разнородных проводника, соединенных вместе, и нагреть спай так, что $t \neq t_0$, то в замкнутой цепи будет протекать электрический ток.

Если $t > t_0$ то направление тока такое, как на рисунке 6.2 (в спаяе 1 от В к А).

При размыкании такой цепи на ее концах появится термоЭДС.

Спай, погружаемый в объект измерения температуры t , называют *рабочим спаем* (спай 1), а спай - вне объекта называют *свободным спаем* (концом) (спай 2).

Введем обозначения: $e_{AB}(t)$ – термоЭДС в спаяе 1 между термоэлектродом А и В при $t = t$; $e_{AB}(t_0)$ - термоЭДС в спаяе 2 между термоэлектродом А и В при $t = t_0$; $E_{AB}(t, t_0)$ – термоЭДС контура, состоящего из термоэлектродов А и В при температуре рабочего спая t и температуре свободного спая t_0 .

Примем, что $e_{AB}(t) = - e_{BA}(t)$; $e_{AB}(t_0) = - e_{BA}(t_0)$. Тогда для замкнутой цепи (рисунок 6.2) $E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) + e_{BA}(t_0)$ или

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0) . \quad (6.1)$$

Уравнение (6.1) называется - *основное уравнение ТЭП*. В процессе градуировки ТЭП (при снятии градуировочной характеристики-таблицы) температура свободных концов $t_0 = const$, обычно $t_0 = 0^\circ C$.

Поправка на температуру свободных концов ТЭП вводится, когда $t_0 \neq 0$, для того, чтобы можно было пользоваться градуировочной таблицей соответствующей ТЭП (термопары) при определении искомой температуры t . Если температура свободных концов отлична от нуля и равна t'_0 , то показание измерительного прибора при температуре рабочих концов, равной t , будет соответствовать, согласно основному уравнению ТЭП, генерируемой в этом случае термоЭДС

$$E_{AB}(t, t'_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t'_0) . \quad (6.2)$$

Градуировочная таблица соответствует условию $t_o = 0$

$$E_{AB}(t, t_o) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_o) . \quad (6.3)$$

Вычтем из (6.3) уравнение (6.2), тогда

$$E_{AB}(t, t_0) = E_{AB}(t, t'_0) + E_{AB}(t'_0, t_0), \quad (6.4)$$

где $E_{AB}(t, t_0)$ - термоЭДС термопары АВ при $t_{св.к.} = t_0 = 0^\circ\text{C}$ и измеряемой температуре t ;

$E_{AB}(t, t'_0)$ - термоЭДС термопары АВ при $t_{св.к.} = t'_0 \neq 0^\circ\text{C}$ и измеряемой температуре t ;

$E_{AB}(t'_0, t_0)$ - поправка на $t_{св.к.} = t'_0$, отличную от 0°C .

6.3 Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- цель работы;
- задание;
- схему лабораторного стенда для поверки технического термометра ;
- технические характеристики выбранных средств измерения;
- протокол поверки технического термометра;
- графики номинальной и реальной градуировочных характеристик поверяемой термопары;
- выводы по работе.

6.4 Контрольные вопросы

- Государственный метрологический контроль и надзор (ГМКиН) [4];
- определение «поверка средств измерений»;
- определение «калибровка средств измерений»;
- определение межповерочного (межкалибровочного) интервала;
- методы поверки (калибровки) СИ;
- виды поверки СИ;
- виды эталонов, определения;
- термоэлектрический эффект, определение;
- основное уравнение ТЭП;
- с какой целью вводится поправка на температуру свободных концов, отличную от градуировочной температуры;
- формула расчета поправки на температуру свободных концов, отличную от градуировочной температуры.

7 Лабораторная работа №7. Обработка результатов прямых и косвенных однократных измерений

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.

7.1 Задание к лабораторной работе

Изучить виртуальные модели средств измерений и их технические характеристики.

Провести имитационный эксперимент по измерению заданной входной величины с помощью данных средств измерений.

Рассчитать погрешности результатов прямых измерений, проводимых на виртуальном лабораторном стенде с помощью трех средств измерений (по выбору).

Рассчитать погрешность результата косвенного измерения коэффициента деления делителя.

7.2 Описание виртуальных моделей средств измерений

Виртуальный лабораторный стенд представляет собой Labview компьютерную модель, располагающуюся на рабочем столе персонального компьютера. На стенде находятся модели следующих средств измерений: модель магнитоэлектрического вольтамперметра; модель электронного аналогового милливольтметра; модель цифрового мультиметра; модель универсального источника питания; модель источника питания переменного тока; модель гальванического элемента; модель делителя напряжения; модель коммутационного устройства.

7.2.1 Модель магнитоэлектрического вольтамперметра.

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

Технические характеристики, воспроизводимые данной моделью магнитоэлектрического вольтамперметра:

- в режиме измерения постоянного напряжения пределы измерения могут выбираться в диапазоне от 0,075 В 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.

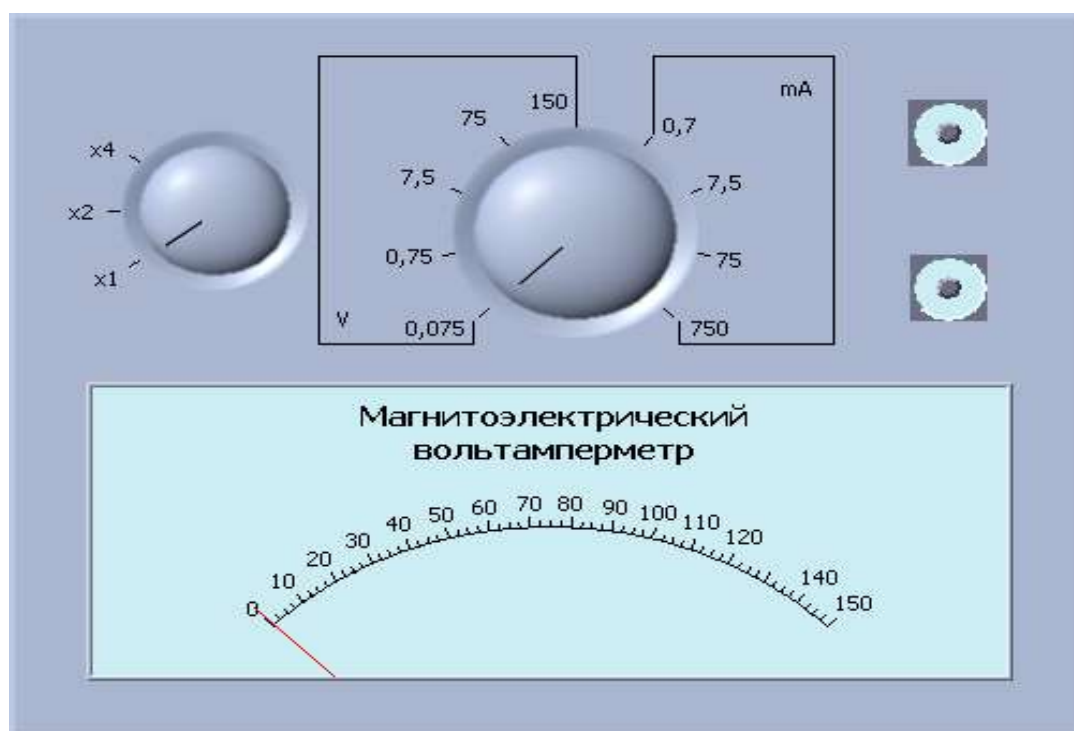


Рисунок 7.1 – Лицевая панель магнитоэлектрического вольтамперметра

7.2.2 Модель электронного аналогового милливольтметра.

Модель электронного аналогового милливольтметра используется при моделировании процесса прямых измерений среднеквадратического

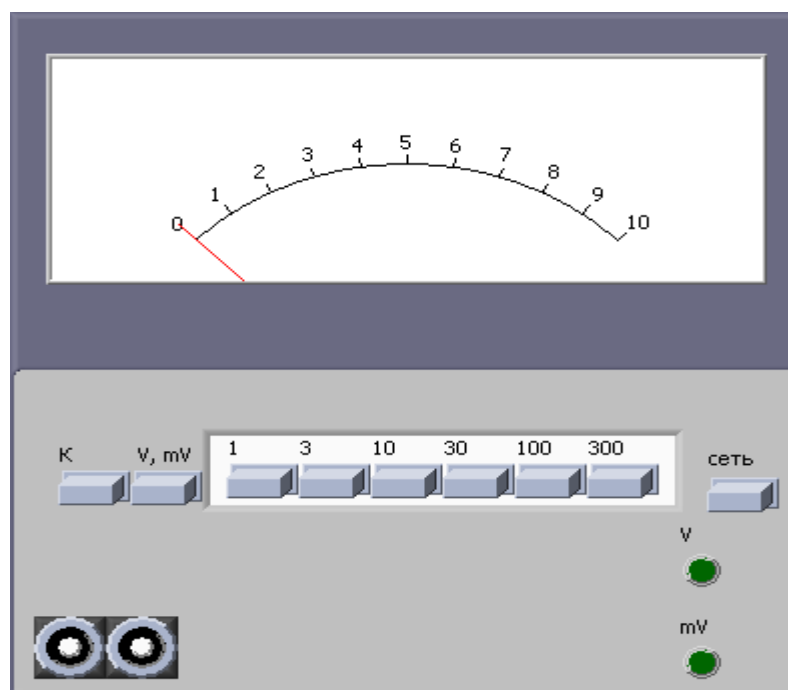


Рисунок 7.2 – Лицевая панель электронного аналогового милливольтметра

значения напряжения в цепях *переменного тока* синусоидальной и искаженной формы методом непосредственной оценки.

$$\delta = \pm \left[0,6 + 0,1 \left(\frac{U_k}{U} - 1 \right) \right] \% ,$$

где U_k - конечное значение установленного предела измерений;

U - значение измеряемого напряжения на входе мультиметра.

4) Пределы допускаемых значений основной погрешности мультиметра при измерении активного электрического сопротивления равны

$$\delta R = \pm [0,6 + 0,1 \left(\frac{R_k}{R} - 1 \right)] \% ,$$

где R_k – конечное значение установленного предела измерений;

R – значение измеряемого сопротивления.

7.2.4 Модель универсального источника питания (УИП).

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



Рисунок 7.4 – Лицевая панель универсального источника питания

Технические характеристики, воспроизводимые данной моделью универсального источника питания:

- диапазон регулировки выходного напряжения от 0 В до 30 В с двумя поддиапазонами, первый – от 0 В до 15 В и второй – от 15 В до 30 В.

7.2.5 Модель источника питания переменного тока.

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.

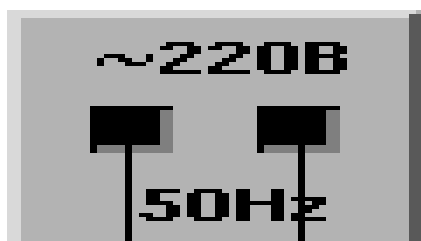


Рисунок 7.5 – Лицевая панель модели источника питания переменного тока

7.2.6 Модель гальванического элемента.

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



Рисунок 7.6 – Лицевая панель модели гальванического элемента

7.2.7 Модель делителя напряжения.

Модель делителя напряжения используется при моделировании работы делителя с коэффициентом деления K равно 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 напряжением не более 500 В и частотой до 20 кГц.



Рисунок 7.7 – Лицевая панель модели делителя напряжения

7.2.8 Модель коммутационного устройства (КУ).

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.

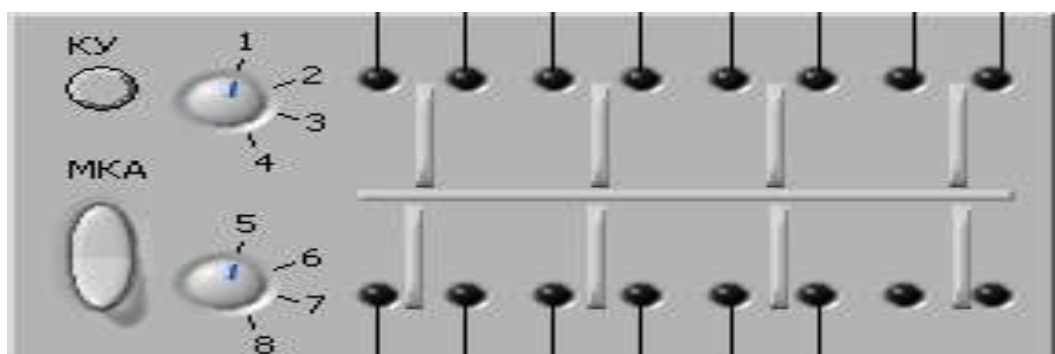


Рисунок 7.8 – Лицевая панель модели коммутационного устройства (КУ)

7.3 Порядок выполнения лабораторной работы

7.3.1 Получить у преподавателя номер варианта для выполнения лабораторной работы и зарегистрироваться в системе:

- загрузить файл Metlab7.exe, появится окно регистрации студента;
- ввести свои Фамилию, Имя;
- ввести номер заданного варианта лабораторной работы;
- нажать кнопку «Начать».

7.3.2 Рабочее задание.

7.3.2.1 Ознакомьтесь с расположением моделей отдельных СИ и других устройств на лабораторном стенде (рисунок 7.9).

7.3.2.2 Включите модели средств измерений и вспомогательных устройств и опробуйте их органы управления.

7.3.3 Выполнение прямых однократных измерений.

7.3.3.1 Выберите на лабораторном стенде 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 0 В до 30 В.

Выбрав вольтметр, 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, для чего нажмите «Провести измерение».

Запишите в таблицу 7.1 показания вольтметра, тип и класс точности вольтметра, выбранный диапазон измерений; значение входного сигнала.

Повторите дважды п.7.3.3.1 с другими значениями входного напряжения на выбранном вольтметре.

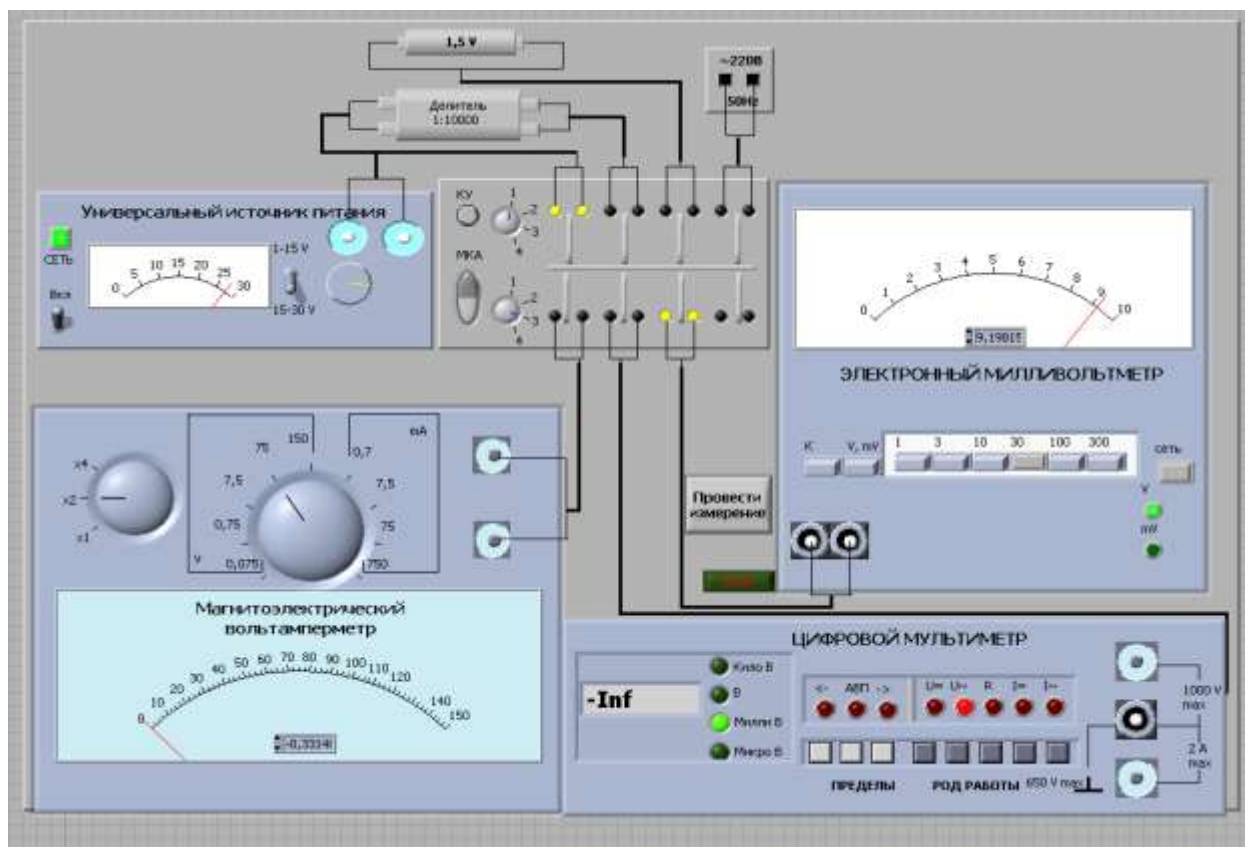


Рисунок 7.9 – Виртуальный лабораторный стенд

7.3.3.2 Выберите на лабораторном стенде 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, установите подходящий диапазон измерений и с помощью КУ подключите вольтметр к выходу источника ЭДС.

Снимите показания вольтметра, для чего нажмите «Провести измерение».

Запишите в таблицу 7.2 показания вольтметра, тип и класс точности вольтметра, выбранный диапазон измерений; значение входного сигнала.

Повторите дважды п.7.3.3.2 с другими значениями входного напряжения на выбранном вольтметре.

7.3.3.3 Выберите на лабораторном стенде вольтметр для измерения значения напряжения на выходе источника переменного напряжения с относительной погрешностью, не превышающей 0,5 %.

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

Снимите показания вольтметра, для чего нажмите «Провести измерение».

Запишите в таблицу 7.3 показания вольтметра, тип и класс точности вольтметра, выбранный диапазон измерений; значение входного сигнала.

Повторите дважды п.7.3.3.3 с другими значениями входного напряжения на выбранном вольтметре.

Таблица 7.1 - Прямые измерения напряжения на выходе УИП

Вольтметр: тип _____ класс точности _____						
№ п/п	Входн. напр-е, В	Показания вольт-ра, В	Диапазон измерения, В	Абсолют. погреш-ть, В	Относит. погреш-ть, %	Результат измер-я, В
1						
2						
3						

Таблица 7.2 - Прямые измерения ЭДС гальванического элемента

Вольтметр: тип _____ класс точности _____						
№ п/п	Входн. напр-е, В	Показания вольт-ра, В	Диапазон измерения, В	Абсолют. погреш-ть, В	Относит. погреш-ть, %	Результат измер-я, В
1						
2						
3						

Таблица 7.3 - Прямые измерения переменного напряжения

Вольтметр: тип _____ класс точности _____						
№ п/п	Входн. напр-е, В	Показания вольт-ра, В	Диапазон измерения, В	Абсолют. погреш-ть, В	Относит. погреш-ть, %	Результат измер-я, В
1						
2						
3						

7.3.4 Выполнение косвенных измерений.

7.3.4.1 Выберите на лабораторном стенде вольтметр для косвенного измерения коэффициента деления делителя напряжения.

Выбрав вольтметр, установите подходящий диапазон измерений.

Подключите с помощью КУ делитель к выходу источника напряжения.

Подключите с помощью КУ вольтметр *поочередно к входу и выходу делителя* и снимите в обоих случаях показания вольтметра, для чего нажмите «Провести измерение».

Запишите в таблицу 7.4 показания вольтметра, тип и класс точности вольтметра, выбранные диапазоны измерений, сведения о делителе напряжения.

Повторите дважды п.7.3.4.1 с другими значениями входного напряжения на выбранном вольтметре.

Таблица 7.4 - Косвенные измерения коэффициента деления делителя напряжения

Вольтметр: тип _____ класс точности _____				
Делитель напряжения: тип _____ класс точности _____				
№ п/п	Показания вольтметра на <i>входе</i> делителя, В	Показания вольтметра на <i>выходе</i> делителя, В	Установленный диапазон измерений на <i>входе</i> делителя, В	Установленный диапазон измерений на <i>выходе</i> делителя, В
1				
2				
3				
№ п/п	Относительная погрешность измерения напряжения на <i>входе</i> делителя, %	Относительная погрешность измерения напряжения на <i>выходе</i> делителя, %	Относительная погрешность измерения коэффициента деления, %	Результат измерения коэффициента деления делителя
1				
2				
3				

7.4 Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- цель и задание к лабораторной работе;
- схему виртуального лабораторного стенда, модели и технические характеристики используемых средств измерения;
- заполненные таблицы с результатами расчетов погрешностей результатов измерений;
- представление результата измерения согласно формуле (1.8) [8], оформленного по правилу округления, представленному в п.1.5 [8];
- выводы по работе.

7.5 Контрольные вопросы

7.5.1 Дайте определение следующих понятий: измерение, результат измерения, абсолютная погрешность измерения, относительная погрешность

измерения, физическая величина, истинное и действительное значение физической величины.

7.5.2 Основное уравнение измерения.

7.5.3 Классификация измерений.

7.5.4 Какие измерения называют прямыми?

7.5.5 Оценка погрешностей однократных прямых измерений.

7.5.6 Какие измерения называют косвенными?

7.5.7 Оценка погрешностей однократных косвенных измерений.

7.5.8 Что такое средство измерения?

7.5.9 Метрологические характеристики средства измерения.

8 Лабораторная работа №8. Поверка и испытание нормирующего преобразователя термо-ЭДС методом однократных измерений

Цель работы: изучение методики поверки и градуировки нормирующего преобразователя НП-ТЛ1-М, работающего с термоэлектрическими преобразователями (термопарами), и определение суммарной погрешности канала измерения температуры методом однократных измерений.

8.1 Задание на лабораторную работу

Ознакомиться с виртуальным лабораторным стендом по изучению нормирующего преобразователя НП-ТЛ1-М.

Изучить методику поверки преобразователя НП-ТЛ1-М.

Провести градуировку нормирующего преобразователя НП-ТЛ1-М.

Провести эксперимент по определению суммарной погрешности канала измерения температуры по показаниям НП-ТЛ1-М.

Провести обработку результатов экспериментов.

Сделать заключение о поверке.

8.2 Описание виртуальной лабораторной установки

Виртуальный лабораторный стенд включает в себя модели следующих средств измерений: источника регулируемого напряжения, термоэлектрических преобразователей (термопар), нормирующего преобразователя и миллиамперметра, и работает в двух режимах: режим «Поверка и градуировка нормирующего преобразователя термопар» (рисунок 8.1) и режим «Определение суммарной погрешности канала измерения температуры» (рисунок 8.2).

При поверке нормирующих преобразователей необходимо создать на их входе значение измеряемого параметра в пределах рабочего диапазона измерения преобразователя и сопоставить выходной токовый сигнал с расчетным значением тока, соответствующим идеальной статической характеристике преобразователя. Градуировка преобразователя заключается в получении статической зависимости выходного токового сигнала преобразователя от значения измеряемого параметра.

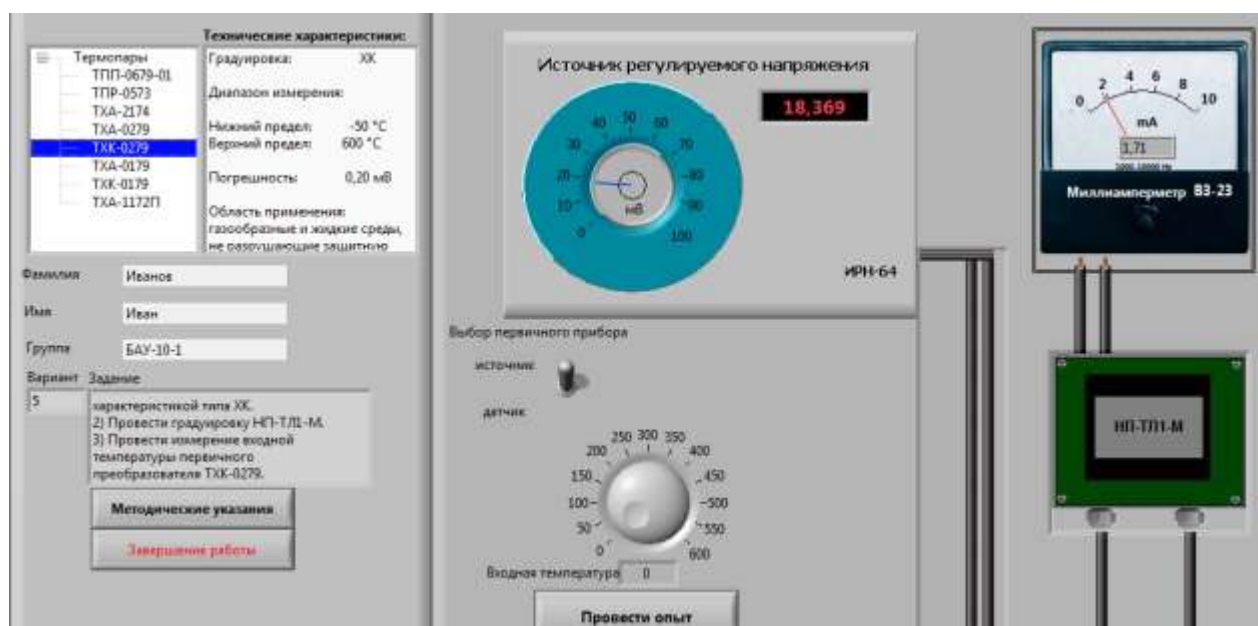


Рисунок 8.1 – Виртуальная ЛР в режиме «Поверка и градуировка нормирующего преобразователя термо-ЭДС»

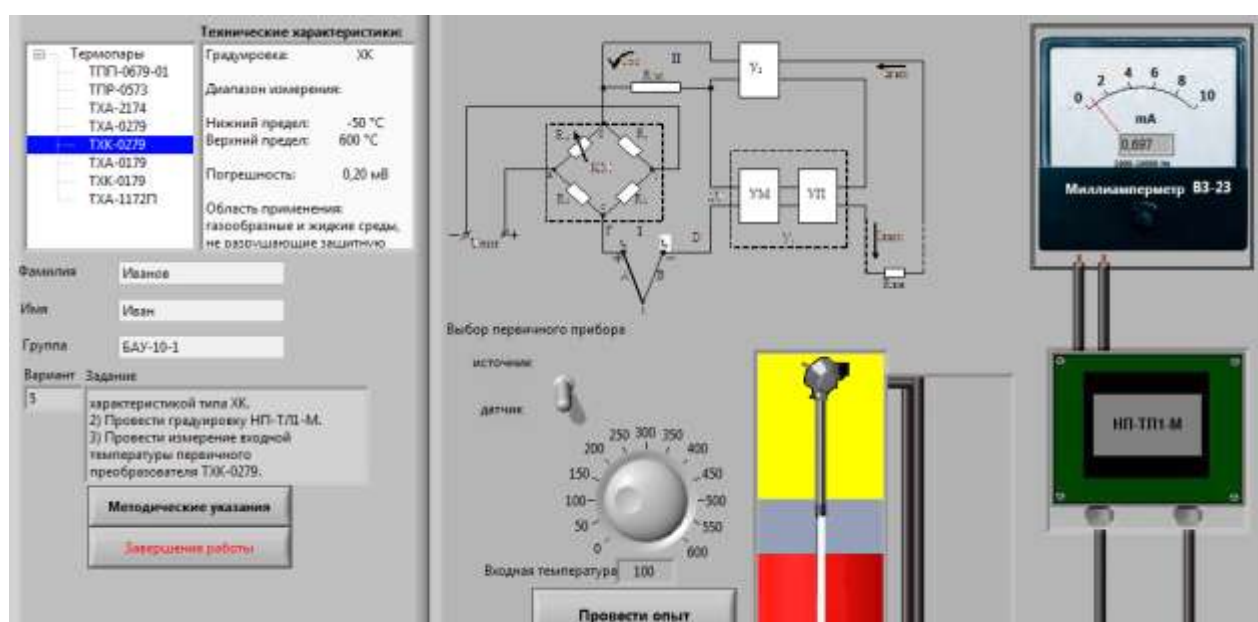


Рисунок 8.2 – Виртуальная ЛР в режиме «Определение суммарной погрешности канала измерения температуры»

8.3 Порядок проведения работы

8.3.1 Получить у преподавателя номер варианта для выполнения лабораторной работы и зарегистрироваться в системе:

- загрузить файл Metlab.exe, выбрать из главного меню номер выполняемой лабораторной работы: появится окно регистрации студента (рисунок 1.1);

- ввести номер заданного варианта лабораторной работы;
- нажать кнопку «Начать».

8.3.2 Ознакомиться с расположением моделей отдельных СИ и других устройств на лабораторном стенде (рисунки 8.1, 8.2).

8.3.3 Поверка преобразователя НП-ТЛ1-М различных градуировок.

8.3.3.1 Установить переключатель «Выбор первичного прибора» в положение «Источник».

8.3.3.2 На выходе источника регулируемого напряжения (ИРН) поочередно устанавливается входное напряжение, соответствующее шести поверяемым точкам. Значения входного напряжения (сигнала) устанавливаются в соответствии с таблицей 8.1. Тип номинальной статической характеристики (НСХ) задан в задании к ВЛР, соответствующие значения входного сигнала из таблицы 8.1 занести в таблицу 8.2.

Таблица 8.1 – Функция преобразования НП-ТЛ1-М

Тип НСХ	Поверочные точки	1	2	3	4	5	6
	Выходной сигнал (мА)	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
ПП	Входной сигнал (мВ)	0,00	3,34	6,69	10,01	13,36	16,71
ХА	Входной сигнал (мВ)	0,00	10,48	21,01	31,46	41,95	52,43
ХК	Входной сигнал (мВ)	0,00	13,30	26,59	40,01	53,18	66,47

8.3.3.3 Значение экспериментального тока на выходе НП-ТЛ1-М измеряется миллиамперметром при нажатии кнопки «Провести опыт». Значение экспериментального тока измеряется при повышении (прямой ход) и понижении (обратный ход) напряжения на выходе ИРН. Результаты опыта заносятся в таблицу 8.2 – таблицу протокола поверки.

8.3.4.3 Для получения заключения о поверке преобразователя НП-ТЛ1-М определить погрешности преобразователя в каждой поверяемой точке.

Погрешность преобразователя в любой точке в пределах измерения определяется по формулам

$$\Delta I = I1 - I_p, \quad \Delta I2 = I2 - I_p ; \quad (8.1)$$

$$\gamma1 = \frac{I1 - I_p}{\Delta I} 100\%, \quad \gamma2 = \frac{I2 - I_p}{\Delta I} 100\%, \quad (8.2)$$

где $I1, I2$ - значение тока на выходе преобразователя на прямом и обратном ходе;

ΔI - диапазон изменения тока на выходе преобразователя;

I_p - расчетное значение тока на выходе преобразователя, соответствующее табличному в поверяемой точке.

Величина приведенной погрешности в указанных точках не должна превышать предела основной допускаемой погрешности, определяемой классом точности прибора, и равной $\pm 1\%$.

8.3.4 Градуировка преобразователя НП-ТЛ1-М.

8.3.4.1 Установить переключатель «Выбор первичного прибора» в положение «Источник».

Таблица 8.2 - Протокол поверки преобразователя НП-ТЛ1-М

№ поверяемой точки	Термо-ЭДС по таблице 10.1	Значение расчетного тока	Значение эксперим. тока		Погрешность			
			Прямой ход	Обратный ход	Прямой ход	Обратный ход	Прямой ход	Обратный ход
			I_1	I_2	$\Delta 1$	$\Delta 2$	γ_1	γ_2
	мВ	мА	мА	мА	мА	мА	%	%
1		0						
2		1						
3		2						
4		3						
5		4						
6		5						

8.3.4.2 Градуировка преобразователя проводится в 8 точках в пределах диапазона измерения термопары, включая граничные точки. Измерения выходного тока осуществляются по схеме на рисунке 8.1 аналогично п.8.3.3.3 для выбранных 8-ми точек и заносятся в таблицу 8.3.

Таблица 8.3 - Протокол градуировки преобразователя НП-ТЛ1-М

№ точки	Темпера- тура	Термо- ЭДС по градуир. таблице	Экспериментальное значение тока		
			Прямой ход	Обрат- ный ход	среднее значение
	t	E	I_1	I_2	I_{cp}
	°C	мВ	мА	мА	мА
1					
...					
8					

8.3.4.3 На основании результатов градуировки преобразователя строится статическая характеристика $I_{cp}=f(T)$ и анализируется ее линейность.

8.3.5 Определение суммарной погрешности измерительного канала, состоящего из термопары и НП-ТЛ1-М.

8.3.5.1 Переключатель «Выбор первичного прибора» поставить в положение «Датчик».

8.3.5.2 Выбрать тип термоэлектрического преобразователя согласно задания из списка термопар, расположенного слева на панели ВЛР.

8.3.5.3 Вращая ручку «Входная температура», изменять измеряемую температуру печи, в которую опущен датчик – термопара, в восьми любых точках из диапазона измерения термопары.

8.3.5.4 Снять показания миллиамперметра, подключенного к выходу НП-ТЛ1-М, в каждой температурной точке. Показания экспериментального тока занести в таблицу 8.4.

8.3.5.5 Значения экспериментального тока перевести по градуировочной таблице, полученной в п.8.3.4.3, в расчетные значения входной температуры и занести их в таблицу 8.4.

8.3.5.5 Рассчитать абсолютную и приведенную погрешности измерительного канала в каждой поверяемой точке.

Таблица 8.4 – Определение суммарной погрешности канала измерения температуры

№ поверяемой точки	Входная температура печи	Значение эксперимент. тока на прямом ходе	Расчетное значение входной температуры	Погрешности	
	T _{вх}	I ₁	T ₁	Абсолютная	Приведенная
	°C	мА	°C	°C	%
1					
...					
8					

8.3.5.6 Произвести теоретический расчет суммарной погрешности измерительного канала, состоящего из термопары и нормирующего преобразователя НП-ТЛ1-М, согласно методики расчета, приведенной в лабораторной работе № 3.

8.3.5.7 Сравнить экспериментальные и теоретические значения суммарной погрешности измерительного канала температуры.

8.4 Содержание отчета

Отчет по работе должен включать:

- цель работы;
- задание индивидуального варианта;
- краткое описание работы, структурную схему лабораторного стенда и принципиальную схему нормирующего преобразователя НП-ТЛ1-М;
- протоколы поверки и градуировки нормирующего преобразователя;
- график статической характеристики нормирующего преобразователя (градуировочный график) по данным таблицы 8.3;
- таблицу определения суммарной погрешности канала измерения температуры;
- расчеты погрешностей по экспериментальным значениям тока;
- теоретический расчет суммарной погрешности измерительного канала;
- заключение по итогам поверки и градуировки преобразователей, по расчетам суммарной погрешности;
- выводы по работе.

8.5 Контрольные вопросы

8.5.1 Определение измерительных преобразователей.

8.5.2 Средства измерений, работающие в комплекте с термоэлектрическими преобразователями.

8.5.3 Назначение нормирующих преобразователей.

8.5.4 Методика поверки нормирующих преобразователей термо-ЭДС.

8.5.5 Методика построения градуировочной характеристики нормирующих преобразователей термо-ЭДС.

9 Лабораторная работа №9. Поверка и испытание нормирующего преобразователя термосопротивления методом многократных измерений

Цель работы: изучение методики поверки и градуировки нормирующего преобразователя НП-СЛ1-М, работающего с термопреобразователем сопротивления, и определение суммарной погрешности канала измерения температуры методом многократных измерений.

9.1 Задание на лабораторную работу

Ознакомиться с виртуальным лабораторным стендом по изучению нормирующего преобразователя НП-СЛ1-М.

Изучить методику поверки преобразователя НП-СЛ1-М.

Провести градуировку нормирующего преобразователя НП-СЛ1-М.

Провести эксперимент по определению суммарной погрешности канала измерения температуры по показаниям НП-СЛ1-М.

Сделать заключение о поверке.

9.2 Описание виртуальной лабораторной установки

Виртуальный лабораторный стенд включает в себя модели следующих средств измерений: магазина сопротивлений, термосопротивлений, нормирующего преобразователя и миллиамперметра, и работает в двух режимах: режим «Поверка и градуировка нормирующего преобразователя термосопротивления» (рисунок 9.1) и режим «Определение суммарной погрешности канала измерения температуры» (рисунок 9.2).

9.3 Порядок проведения работы

9.3.1 Получить у преподавателя номер варианта для выполнения лабораторной работы и зарегистрироваться в системе:

- загрузить файл Metlab.exe, выбрать из главного меню номер выполняемой лабораторной работы: появится окно регистрации студента (рисунок 1.1);

- ввести номер заданного варианта лабораторной работы;

- нажать кнопку «Начать».

9.3.2 Ознакомиться с расположением моделей отдельных СИ и других устройств на лабораторном стенде (рисунки 9.1, 9.2).

9.3.3 Поверка преобразователя НП-СП1-М различных градуировок.

Поверка преобразователя проводится в той же последовательности, что и преобразователя НП-ТЛ1-М (п.9.3.3). Разница в том, что при поверке НП-СП1-М в качестве эквивалента термометра сопротивления используется магазин сопротивлений МСР-60М.

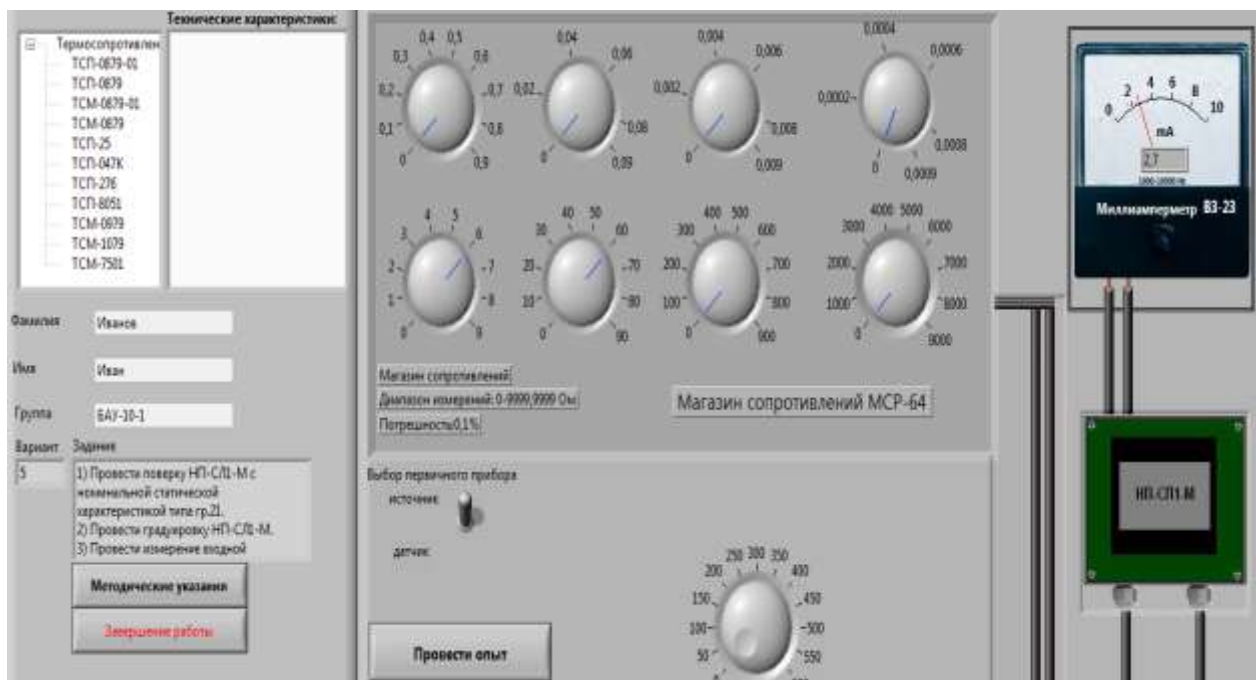


Рисунок 9.1 – Виртуальная ЛР в режиме «Поверка и градуировка нормирующего преобразователя термосопротивления»

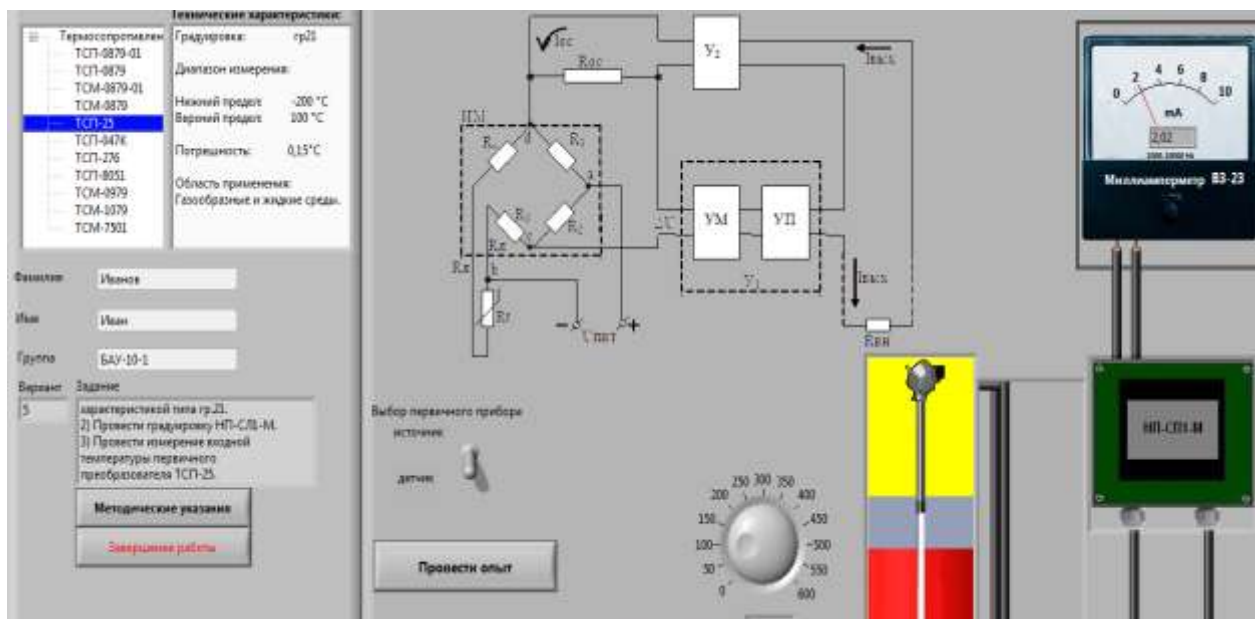


Рисунок 9.2 – Виртуальная ЛР в режиме «Определение суммарной погрешности канала измерения температуры»

Таблица 9.1 – Функция преобразования НП-СЛ-1-М

Тип НСХ	Поверочные точки	1	2	3	4	5	6
	Выходной сигнал (мА)	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
Гр 23	Входной сигнал(Ом)	53, 00	61,12	69,26	77,38	77,4	93,64
Гр 21	Входной сигнал(Ом)	46,00	72,15	98,31	124,46	150,62	176,77

9.3.3.1 Переключатель «Выбор первичного прибора» установить в положение «Источник».

9.3.3.2 Тип номинальной статической характеристики (НСХ) задан в задании к ВЛР, соответствующие значения входного сигнала их таблицы 9.1 занести в таблицу 9.2. Устанавливая значения входного сопротивления на магазине сопротивлений МСР-60М, снять показания экспериментального тока.

Значения экспериментального тока снимаются по показаниям миллиамперметра и заносятся в таблицу 9.2.

9.3.3.3 Погрешность преобразователя и любой точке в пределах измерения определяется по формуле

$$\gamma_1 = \frac{I_1 - I_p}{\Delta I} 100\% ; \quad (9.1)$$

$$\gamma_2 = \frac{I_2 - I_p}{\Delta I} 100\%, \quad (9.2)$$

где I_1, I_2 - значение тока на выходе преобразователя на прямом и обратном ходе;

ΔI - диапазон изменения тока на выходе преобразователя;

I_p - расчетное значение тока на выходе преобразователя, соответствующее табличному в поверяемой точке.

Величина погрешности в указанных точках не должна превышать предела основной допускаемой погрешности, определяемой классом точности прибора, и равной $\pm 1\%$.

Таблица 9.2 - Протокол поверки преобразователя НП-СЛ1-М

№ точки	Значение входного сигнала	Значение расчетного тока	Значение экспериментального тока		Погрешность	
			Прямой ход	Обратный ход	Прямой ход	Обратный ход
	R	i_p	i_1	i_2	γ_1	γ_2
	Ом	мА	мА	мА	%	%
1		0				
2		1				
3		2				
4		3				
5		4				
6		5				

9.3.4 Градуировка преобразователя НП-СЛ1-М.

Для снятия статической характеристики преобразователя на его входе устанавливаются значения сопротивления (8 точек). Контроль за величиной экспериментального тока нормирующего преобразователя осуществляется по показаниям миллиамперметра. Показания преобразователя снимаются при повышении и понижении входного сопротивления. Измерения экспериментальных значений тока осуществляются аналогично п. 9.3.3 для выбранных 8-ми точек и заносятся в таблицу 9.3.

На основании результатов градуировки строится характеристика $I_{cp} = f(T)$ и анализируется ее линейность.

9.3.5 Определение суммарной погрешности измерительного канала, состоящего из термосопротивления и НП-СЛ1-М.

9.3.5.1 Переключатель «Выбор первичного прибора» поставить в положение «Датчик».

9.3.5.2 Выбрать тип термосопротивления согласно задания из списка термосопротивлений слева на панели ВЛР.

Таблица 9.3 - Протокол градуировки преобразователя НП-СЛ1-М

№ точки	Температура	Сопротивление по градуировочной таблице	Экспериментальное значение тока		
			Прямой ход	Обратный ход	Среднее значение
	t	R _{гр}	I ₁	I ₂	I _{ср}
	°C	Ом	мА	мА	мА
1					
...					
8					

9.3.5.3 Вращая ручку «Входная температура», изменять измеряемую температуру печи, в которую опущен датчик – термосопротивление, в шести любых точках из диапазона измерения термосопротивления.

9.3.5.4 Снять показания миллиамперметра, подключенного к выходу НП-СЛ1-М, в одной температурной точке из таблицы 9.3 (по выбору) 30 раз. Эти показания экспериментального тока занести в таблицу 9.4.

9.3.5.5 Показания экспериментального тока перевести в значения входной температуры по градуировочному графику $I_{ср} = f(T)$, построенному по значениям таблицы 9.3 (п.9.3.4).

Таблица 9.4 – Определение суммарной погрешности канала измерения температуры

№ поверяемой точки из таблицы 9.3	Входная температура печи	Значение эксперимента. тока на прямом ходе	Значение входной температуры по градуировочному графику	Результаты статистической обработки многократных измерений температуры	
	T _{вх}	I ₁	T ₁		
	°C	мА	°C	Параметр	°C
		1		Среднее арифметич.	
		2			
		3		СКО наблюдений	
		4			
		...		СКО измерений	
		...			
		...		Результат наблюдений	
		...			
		...		Результат измерений	
		...			
		30			

9.3.5.6 Произвести теоретический расчет суммарной погрешности измерительного канала, состоящего из термосопротивления и нормирующего преобразователя НП-ТЛ-1-М, согласно методике расчета, приведенной в лабораторной работе № 1.

Число измерений равно 30. Значение доверительной вероятности $P=0,95$.

9.3.5.7 Сравнить экспериментальные и теоретические значения суммарной погрешности измерительного канала температуры.

9.4 Содержание отчета

Отчет по работе должен включать:

- цель работы;
- задание индивидуального варианта;
- краткое описание работы, структурную схему лабораторного стенда и принципиальную схему нормирующего преобразователя НП-СЛ1-М;
- протоколы поверки и градуировки нормирующего преобразователя;
- график статической характеристики нормирующего преобразователя (градуировочный график) по данным таблицы 9.3;
- таблицу определения суммарной погрешности канала измерения температуры;
- расчеты погрешностей по экспериментальным значениям тока;
- теоретический расчет суммарной погрешности измерительного канала;
- заключение по итогам поверки и градуировки преобразователей, по расчетам суммарной погрешности;
- выводы по работе.

9.5 Контрольные вопросы

9.5.1 Унифицированные средства измерений.

9.5.2 Назначение нормирующих преобразователей термосопротивлений.

9.5.3 Статические характеристики измерительных устройств.

9.5.4 Методика расчета суммарной погрешности измерительного канала.

Список литературы

- 1 Иванова Г.М., Кузнецова Н.Д., Чистяков В.С. Теплотехнические измерения и приборы. – М.: Энергоиздат, 2005. - 232 с.
- 2 Преображенский В.П. Теплотехнические измерения и приборы. – М.: Энергия, 2008.
- 3 Хан С.Г. Метрология и измерения: Конспект лекций (для студентов всех форм обучения специальности 5В070200 - Автоматизация и управление).- Алматы: АУЭС, 2010.- 66 с.
- 4 Хан С.Г. Метрология, измерения и техническое регулирование: Учебное пособие. – Алматы: АИЭС, 2009.- 128 с.
- 5 Хан С.Г. Технические средства измерений: Конспект лекций (для студентов всех форм обучения специальности 5В070200 - Автоматизация и управление).- Алматы: АУЭС, 2014. –62 с.
- 6 Попов А.Н. Датчики систем управления. –М., 2000.

Светлана Гурьевна Хан

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
КАЧЕСТВОМ

Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности
5В070200 - Автоматизация и управление

Редактор Н.М. Голева
Специалист по стандартизации Н.К. Молдабекова

Подписано в печать ____ . ____ . ____ .
Тираж 60 экз.
Объем 4,1уч.-изд. л.

Формат 60х84 1/ 16
Бумага типографская №1
Заказ _____. Цена 2050 тг.

Копировально-множительное бюро
некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013, Алматы, Байтурсынова, 126