

УДК 551.508:004.946

*А.Г. Саенко, Т.Е. Симакина*

**ДИСТАНЦИОННОЕ ИЗУЧЕНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ  
ТЕХНИКИ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНЫХ  
ИНСТРУМЕНТОВ**

Российский государственный гидрометеорологический университет,  
tatiana.simakina@gmail.com

*A.G. Saenko, T.E. Simakina*

**DISTANT LEARNING OF METEOROLOGICAL EQUIPMENT  
ON THE BASE OF VIRTUAL INSTRUMENTS TECHNOLOGY**

В статье приводится опыт создания виртуальных лабораторных установок на основе программной платформы LabView. Созданные в этой среде термоэлектрический термометр и термометр сопротивления имитируют работу реальных приборов и позволяют исследовать влияние геометрических, метрологических и других характеристик на результаты измерений, оценить зависимость ошибки измерения от температуры окружающей среды.

**Ключевые слова:** дистанционное образование, метеорологические приборы, виртуальный прибор, термоэлектрический термометр.

This paper contains experimental creation of virtual laboratory equipment on the base of program platform LabView. Thermoelectrical thermometer and resistive thermometer made in this environment imitate work of real devices and allow investigation of geometrical, meteorological and other parameters to measurement results, to estimate the dependence of measurement errors on temperature.

**Keywords:** distant education, meteorological devices, virtual device, thermoelectrical thermometer.

**Введение**

Существующие сегодня в вузах нашей страны формы обучения не позволяют в полной мере обеспечить качественное массовое и индивидуальное образование. В большой степени это касается технических лабораторий, где студенты приобретают практические навыки работы с измерительной техникой. Согласно «Пирамиде познания» Дж. Мартина [2], представленной в таблице, практическая форма занятий позволяет обучающимся усваивать объем учебного материала до 70 %, поэтому старение технической базы лабораторий, как физическое, так и моральное, неоснащенность современными средствами измерений сокращают эффективность обучения. Однако дистанционные образовательные технологии способны в большой степени решить эту проблему за счет создания компьютерных технических средств, а также компьютерных моделей средств измерений, измерительных процессов и процедур.

Целью данной работы является создание виртуальных лабораторных установок термоэлектрического термометра и термометра сопротивления, имитирующих работу реальных приборов и позволяющих студентам дистанционно приобретать навыки измерений, исследовать работу таких приборов и влияние

различных технических характеристик и параметров окружающей среды на результаты измерений.

Эффективность усвоения учебной информации по Дж. Мартину

Форма занятий	Эффективность усвоения, %
Лекция	5
Чтение	10
Аудио методы	20
Видео методы	30
Дискуссионные методы	50
Практические действия	70
Обучение других	90

### Технология виртуальных приборов

Одной из новых и революционных информационных технологий является технология виртуальных приборов, позволяющая создавать системы измерения, управления и диагностики различного назначения практически любой производительности и сложности. Суть этой технологии состоит в компьютерной имитации с помощью программы реальных физических приборов, измерительных и управляющих систем. Виртуальность здесь проявляется в смысле виртуальной имитации функций прибора математическими и программными методами. Поэтому в этих приборах измерительная и управляющая части реализуются на аппаратной основе (устройств ввода–вывода аналоговых и цифровых сигналов), а их функциональная часть и пользовательский интерфейс — программными способами.

Преимущество и эффективность виртуальных измерительных технологий состоит в возможности создавать программным путем, опираясь на мощь современной компьютерной техники, разнообразные приборы, измерительные системы и программно-аппаратные комплексы, которые легко перестраиваются в соответствии с изменяющимися требованиями. При этом создаваемая измерительная система может быть оптимальным образом адаптирована для решения поставленных задач с учетом их особенностей.

### Среда программирования LabVIEW

Большие возможности по созданию виртуальных приборов предоставляет сегодня среда программирования LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), разработанная фирмой National Instruments (США), используемая в качестве стандартного инструмента в промышленности, образовании и научно-исследовательских лабораториях для проведения измерений, анализа их данных и последующего управления приборами и исследуемыми объектами. LabVIEW многоплатформенная среда и может использоваться на компьютерах с различными операционными системами Windows, MacOS, Unix, Linux, Solaris и HP-UX [2].

LabView, в отличие от языков программирования C, PASCAL или BASIC, использует графический язык программирования G (Graphics), предназначенный для создания программ в форме структурных схем, и не требует написания текстов программ. Среда LabVIEW дает огромные возможности как для вычислительных работ, так и для построения приборов, позволяющих проводить измерения физических величин в реальных установках, лабораторных или промышленных, и осуществлять управление ими.

Графический язык G основан на архитектуре потоков данных. Последовательность выполнения операторов в таких языках определяется не порядком их следования, а наличием данных на входах этих операторов. Операторы, не связанные по данным, выполняются параллельно в произвольном порядке.

Программа, написанная в среде LabVIEW, называется виртуальным прибором (VI — *virtual instrument*). Внешнее графическое представление и функции виртуального прибора имитируют работу реальных физических устройств. LabVIEW содержит полный набор приборов для сбора, анализа, представления и хранения данных. Источником кода виртуального инструмента служит блок-схема программируемой задачи. Однако при этом виртуальные приборы подобны функциям в программах стандартных языков программирования.

Виртуальный прибор состоит из двух частей: Front Panel (лицевая панель), которая описывает внешний интерфейс прибора, и Block Diagram (блочная диаграмма, или функциональная схема), которая описывает логику его работы [4].

На лицевой панели располагаются элементы управления (регулирующие ползунки, ручки, кнопки, переключатели), служащие для ввода данных и управления виртуальным прибором, а также элементы отображения (экраны, цифровые табло, индикаторы), отображающие данные и результаты, полученные или сгенерированные программным кодом. Лицевая панель является графическим интерактивным интерфейсом пользователя для управления программой.

Блочная диаграмма содержит функциональные блоки, которые являются источниками, приемниками и средствами обработки данных. Также компонентами блочной диаграммы являются терминалы (входы и выходы объектов лицевой панели). Функциональные блоки и терминалы объединяются в единую схему линиями связей. Как и в традиционной блок-схеме, сигнал в процессе обработки проходит через блоки от входа к выходу.

LabVIEW реализует концепцию модульного программирования. При этом прикладная программа может делиться на ряд задач, которые в свою очередь могут делиться на более простые, пока сложная прикладная программа не становится последовательностью простых подзадач. Далее для каждой подзадачи формируется свой виртуальный прибор, и все они затем объединяются на структурной схеме в общую программу. В результате виртуальный прибор верхнего уровня содержит совокупность подприборов (subVI) [5].

В связи с тем, что каждый subVI можно запустить отдельно от остальной части прикладной программы, отладка программы происходит намного проще. Кроме того, многие subVI низкого уровня часто выполняют задачи, общие для нескольких прикладных программ, что позволяет разработать специализированный набор subVI, подходящий для многих прикладных программ.

## Опыт использования LabVIEW на кафедре экспериментальной физики атмосферы РГГМУ

В рамках дисциплины «Методы и средства гидрометеорологических измерений», читаемого студентам РГГМУ, разработаны несколько лабораторных работ, использующих виртуальные приборы. При разработке этих работ ставились задачи не только полного функционального моделирования существующих приборов, но также и расширения спектра исследований.

Одним из самых надежных, точных и недорогих датчиков температуры, широко используемых в различных метеорологических измерительных системах, является *термопара*. Принцип действия термопары основан на явлении возникновения контактной разности потенциалов при соприкосновении двух различных металлов. Причиной этого являются неодинаковые значения работ выхода электронов и различные значения концентрации свободных электронов в соприкасающихся металлах.

На рис. 1 представлена реальная установка для исследования термоэлектрического термометра (ТЭТ), включающего термопару, гальванометр и соединительные провода, на рис. 2 — созданный виртуальный аналог. Виртуальная установка, как и реальная, позволяет задать различные температуры спаев металлических проводников, составляющих термоэлектрический термометр, и измерить возникающий термоток. Кроме этого виртуальная установка реализует следующие возможности:

- выбор различных металлов термопары;
- выбор количества термопар в ТЭТ;
- измерение термоэдс;
- задание геометрических параметров — как проводников термопары, так и соединительных проводов: длины, диаметра;
- подбор амперметра с необходимым диапазоном шкалы и классом точности.

Созданный виртуальный гальванометр будет использоваться в других лабораторных работах, где требуется измерение тока. Амперметр имитирует работу реального магнитоэлектрического прибора с инструментальной погрешностью  $\Delta I$ . Так, показания прибора имеют следующий вид:

$$I = I_{\phi} + \Delta I = I_{\phi} + \text{RND} \cdot K \cdot I_N / 100 \%,$$

где  $I$  — показания гальванометра;  $I_{\phi}$  — ток без учета погрешности;  $\Delta I$  — абсолютная приборная погрешность;  $\text{RND}$  — случайное число в диапазоне (0, 1);  $K$  — класс точности;  $I_N$  — диапазон шкалы гальванометра.

Ток  $I_{\phi}$  вычисляется по закону Зеебека [3]:

$$I_{\phi} = n \cdot e (t_1 - t_2) / R_{\Sigma},$$

где  $n$  — количество термопар в ТЭТ;  $e$  — термоэдс при разности температур в  $1^{\circ}\text{C}$ , вычисляемая для конкретной пары проводников;  $t_1, t_2$  — температуры первого и второго спаев термопары;  $R_{\Sigma}$  — суммарное сопротивление ТЭТ.

Виртуальный ТЭТ позволяет исследовать влияние температуры окружающей среды на погрешность измерения разности температур. Изменение температуры приводит к изменению сопротивления проводников термопары и соединительных проводов, а также к изменению сопротивления гальванометра. Сопротивления



Рис. 1. Вид установки для исследования ТЭТ

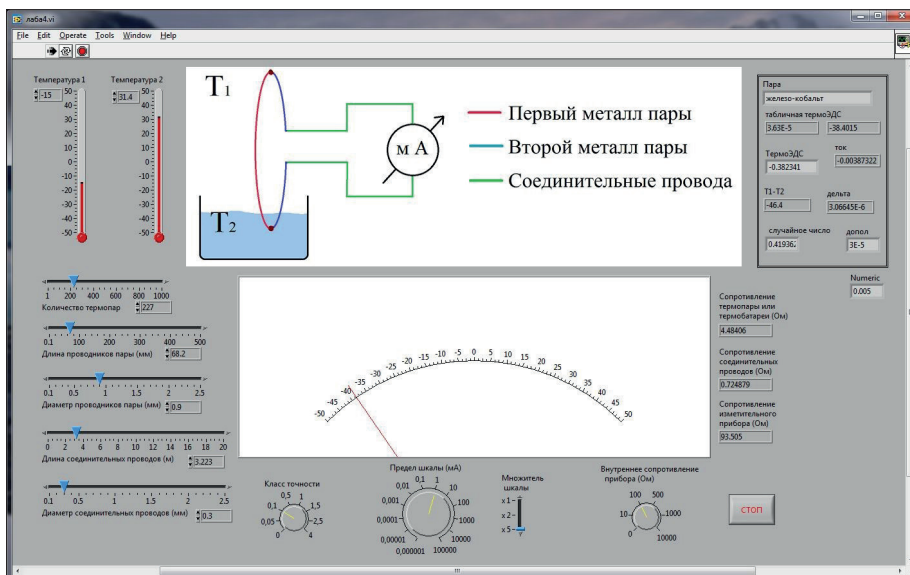


Рис. 2. Лицевая панель виртуального ТЭТ

проводников и проводов меняется в зависимости от температуры следующим образом:

$$R = (\rho/l/s)(1 + \alpha_1 \Theta),$$

где  $R$  — сопротивление проводника термопары или провода;  $\rho$  — удельное сопротивление металла термопары или провода;  $l, s$  — длина и площадь поперечного сечения проводника термопары или провода;  $\alpha$  — температурный коэффициент сопротивления металла термопары или провода;  $\Theta$  — температура окружающей среды, обычно «холодный» спай термопары имеет эту температуру.

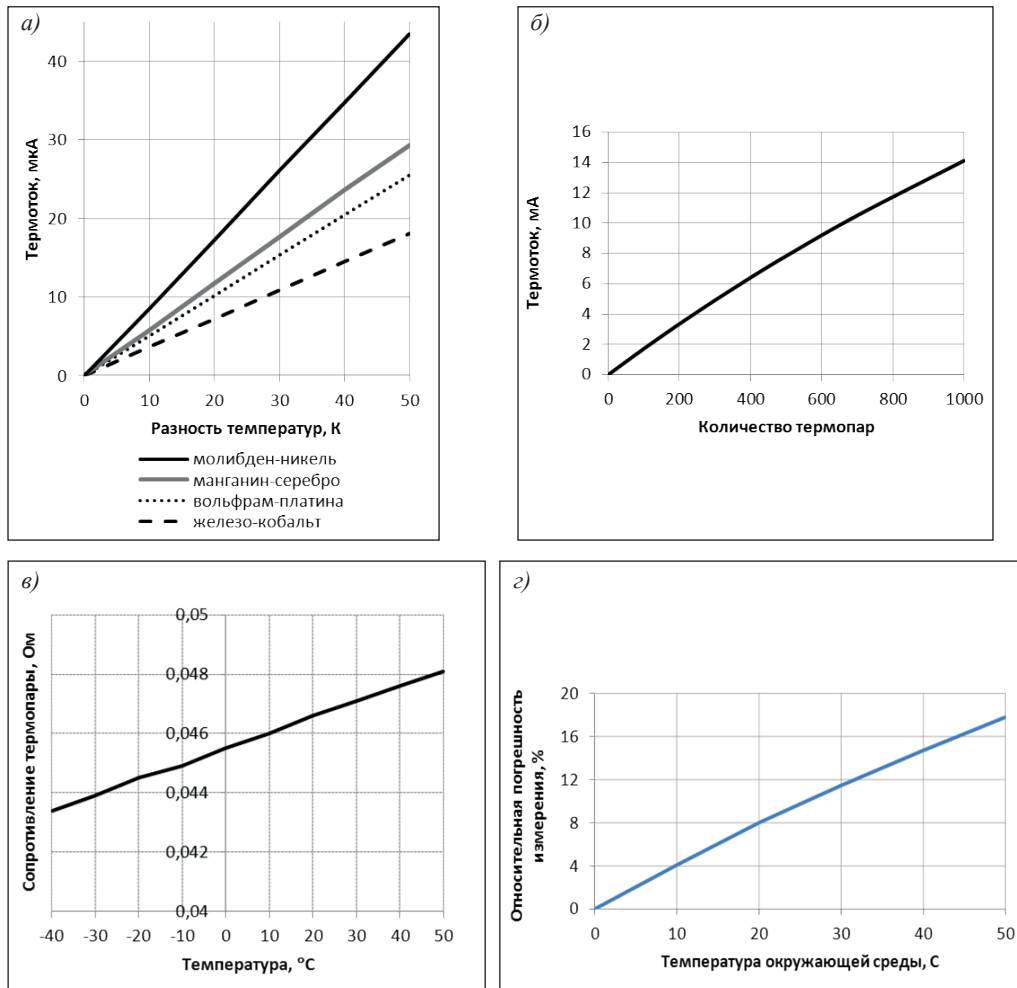


Рис. 3. Результаты исследования ТЭТ. Графические зависимости термотока от разности температур спаев (а), термотока от количества термопар, сопротивления термопары от температуры, относительной погрешности измерений от температуры



Дополнительная погрешность гальванометра, вызванная изменением температуры на каждые  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , согласно [1], не должна превышать основной погрешности. Полагаем, что основная погрешность была нормирована при температуре окружающей среды  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Тогда дополнительная погрешность имеет следующий вид:

$$\text{при } \theta > 25\text{ }^{\circ}\text{C} \quad \Delta I_{\text{доп}} = \Delta I (\theta - 25)/10,$$

$$\text{при } \theta < 15\text{ }^{\circ}\text{C} \quad \Delta I_{\text{доп}} = \Delta I (15 - \theta)/10.$$

Результаты изучения ТЭТ, показывающие большой спектр возможностей для исследования, приведены на рис. 3. Здесь представлены графики, отражающие зависимость термотока от разности температур спаев для разных пар металлов (см. рис. 3, а), влияние на термоток количества термопар в ТЭТ (см. рис. 3, б), изменение сопротивления термопары, вызванное влиянием температуры окружающей среды (см. рис. 3, в), оценку точности измерений в зависимости от температуры (см. рис. 3, г).

Еще один пример создания виртуальной лабораторной работы представлен на рис. 4 и 5. Рисунок 4 иллюстрирует реальный стенд для исследования уравновешенного и неуравновешенного термометров сопротивления. На рис. 5 представлена лицевая панель, созданная для моделирования работы термометров сопротивления с возможностью выбора в качестве датчика терморезистора, полупроводникового термистора и позистора.

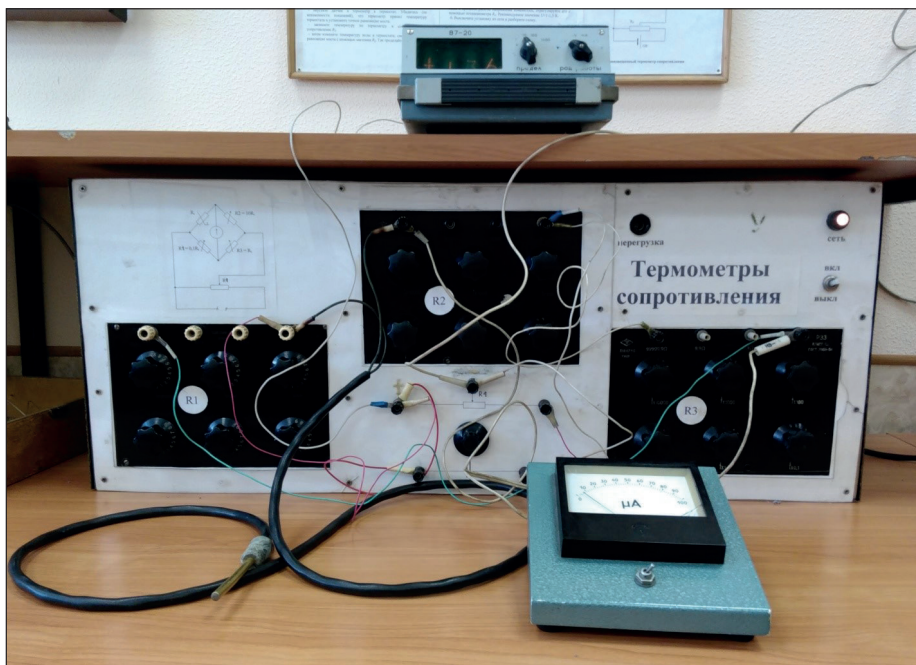


Рис. 4. Вид установки для исследования термометров сопротивления

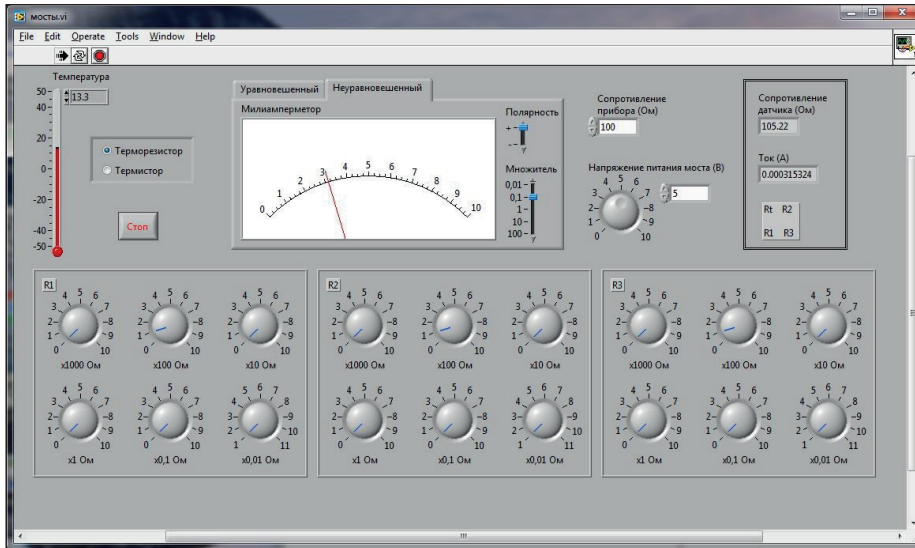


Рис. 5. Лицевая панель виртуального термометра сопротивления

## Заключение

Созданные виртуальные лабораторные установки являются незаменимым средством приобретения навыка работы с метеорологическими измерительными приборами для студентов заочного отделения. Студенты дневного отделения будут иметь возможность выполнять работы как в учебной лаборатории в рамках традиционно организованного учебного процесса, так и на собственном компьютере во время самостоятельной работы. При этом оптимальным решением, безусловно, остается сочетание традиционных и компьютерных средств обеспечения учебного процесса.

## Литература

1. *ГОСТ 8.401-80* Государственная система обеспечения единства измерений. Классы точности средств измерений. Общие требования. — М.: Изд-во стандартов, 1981.
2. *Активные методы обучения: рекомендации по разработке и применению: учеб.-метод. пос.* / Е.В. Зарукина, Н.А. Логинова, М.М. Новик. — СПб.: СПбГИЭУ, 2010. — 59 с.
3. *Григорьев Н.О., Саенко А.Г., Восканян К.Л.* Методы и средства гидрометеорологических измерений. Метеорологические приборы: учебник. — СПб.: РГМУ, 2012. — 306 с.
4. *LabVIEW для всех / Джеффри Тревис: пер. с англ. Н.А. Клушин.* — М.: ДМК Пресс; ПриборКомплект, 2005. — 544 с.
5. *LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора / Ю.К. Евдокимов, В.Р. Линдваль, Г.И. Щербаков.* — М.: ДМК Пресс, 2007. — 400 с.