

## ОЦЕНКА СЛУЧАЙНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ИСХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ДАТЧИКОВ В СИСТЕМЕ «АДАПТЕР ДАТЧИКОВ VERNIER — КОМПЬЮТЕРНЫЙ ИНТЕРФЕЙС»

### ESTIMATION OF THE RANDOM ERROR IN MEASURING THE INITIAL VOLTAGE OF THE SENSORS IN THE SYSTEM «VERNIER SENSOR ADAPTER — COMPUTER INTERFACE»

A. Suranov

*Summary.* The results of the estimation of random errors in measuring the initial voltage of Vernier sensors connected to various computer interfaces, both directly and through appropriate adapters, are presented. The noise of the analog inputs of the terminal connector and the BTA connectors of the SensorDAQ interface, as well as the noise of the myDAQ and myRIO interfaces of the National Instruments company when connecting the sensors via the Vernier adapter were evaluated. In the signal of some sensors, periodic interference with a frequency of 50 Hz was detected. Recommendations for suppressing this interference are given and their effectiveness is shown. A comparison of the sensor signals from the output of the listed interfaces to the signal of the same sensors registered with the RedBoard board and the Vernier Sensor Interface Shield adapter is carried out. It is shown that there is a significant shift in the signal voltage for this board.

*Keywords:* Vernier sensors, myDAQ and myRIO interfaces, adapter, periodic interference, RedBoard rate, offset calibration.

Суранов Александр Яковлевич

К.т.н., доцент, Алтайский государственный университет

alexander.suranov@yandex.ru

*Аннотация.* Приведены результаты оценки случайных погрешностей измерения исходного напряжения датчиков Vernier, подключенных к различным компьютерным интерфейсам как непосредственно, так и через соответствующие адаптеры. В работе оценивались шумы аналоговых входов клеммного разъёма и разъёмов BTA интерфейса SensorDAQ, а также шумы интерфейсов myDAQ и myRIO компании National Instruments при подключении датчиков через адаптер Vernier. В сигнале некоторых датчиков была обнаружена периодическая помеха с частотой 50 Гц. Приведены рекомендации по подавлению данной помехи и показана их эффективность. Проведено сопоставление сигналов датчиков с выхода перечисленных интерфейсов с сигналом тех же датчиков, зарегистрированным с помощью платы RedBoard и адаптера Vernier Sensor Interface Shield. Показано наличие значительного смещения сигнального напряжения для указанной платы.

*Ключевые слова:* датчики Vernier, интерфейсы myDAQ и myRIO, адаптер, периодическая помеха, плата RedBoard, калибровка смещения.

Одной из ведущих тенденций развития естественнонаучного образования на современном этапе является широкое внедрение в учебный процесс цифровых лабораторий (ЦЛ), включающих компьютерные интерфейсы и сопряжённые с ними датчики физических величин [1]. К числу достоинств применения ЦЛ можно отнести оперативность получения результатов и их наглядность, возможность быстрого сравнения эксперимента с теорией и поддержку многофакторных экспериментов. Использование ЦЛ позволяет учащимся и студентам получить навыки работы с современным компьютеризированным оборудованием. В качестве основных семейств ЦЛ, используемых в образовательных учреждениях РФ, в работе [2] указаны следующие лаборатории: Архимед, SenseDisc, LabDisc, Pasco, ЦЛ ООО «Научные развлечения» и Vernier.

По ряду причин из указанного набора цифровых лабораторий наибольший интерес для использования в учебном процессе вузов представляют датчики и ин-

терфейсы компании Vernier Software & Technology [3]. К числу этих причин относятся следующие: широкий ассортимент датчиков, высокая точность и быстродействие, возможность сопряжения с ПК не только через штатные интерфейсы, такие как LabQuest 2 и SensorDAQ (рис. 1а), но и через интерфейсы компании National Instruments (NI), а также через контроллеры платформы Arduino. Следует отметить, что в последних случаях используются дополнительные адаптеры. На рисунке 1б показан интерфейс myDAQ NI с адаптером датчиков Vernier, на рисунке 1в — интерфейс myRIO NI, к одному из разъёмов которого также подходит данный адаптер. Использование данных интерфейсов и адаптера позволяет работать с датчиками с помощью среды проектирования виртуальных приборов LabVIEW [4]. И, наконец, на рисунке 1г показан адаптер интерфейсного шилда датчиков Vernier к плате Arduino RedBoard. Данная плата (а также совместимая с ней плата Arduino Uno) может работать как с помощью скетчей, так и в среде LabVIEW.

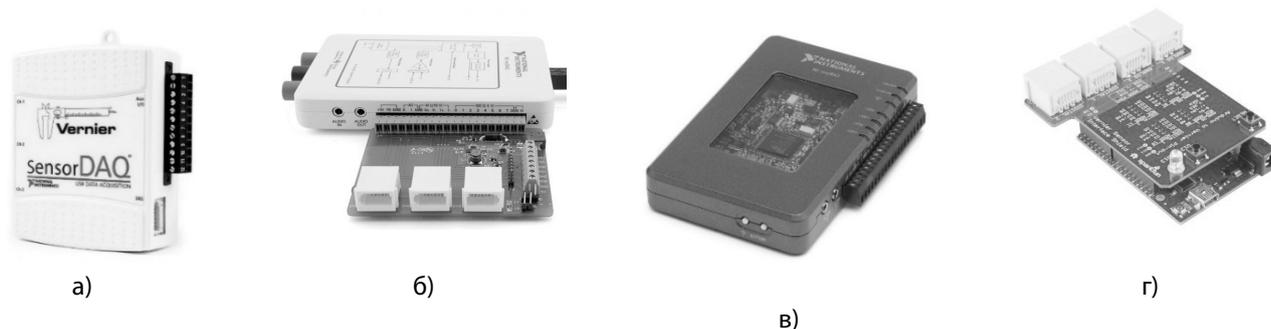


Рис. 1. Интерфейсы: SensorDAQ (а), myDAQ NI с адаптером Vernier (б), myRIO NI (в), RedBoard с адаптером Vernier Sensor Interface Shield

Расширение возможностей при использовании адаптеров может потенциально сопровождаться снижением точности, поскольку адаптеры содержат дополнительные цепи между датчиками и интерфейсами. Кроме того, все вышеперечисленные интерфейсы имеют АЦП разной разрядности, что может также влиять на погрешность оцифровки сигналов датчиков и, соответственно, погрешность самих измеряемых величин. И, наконец, поскольку адаптеры и соответствующие интерфейсы регистрируют только исходное напряжение с датчиков, требуется процедура калибровки связки «адаптер-интерфейс», что также может приводить к увеличению погрешности измерения. Однако эти вопросы метрологической направленности применительно к данному оборудованию до настоящего времени в отечественной литературе не рассматривались, что делает актуальным анализ погрешности измерений системы «адаптер датчиков Vernier — компьютерный интерфейс».

Целью данной работы является оценка и сравнительный анализ случайных погрешностей измерения исходного (первичного) сигнала датчиков Vernier при использовании соответствующих интерфейсов и адаптеров. В работе использовались 12 интерфейсов myDAQ, 5 интерфейсов myRIO, 3 интерфейса SensorDAQ и 3 интерфейса Arduino RedBoard. Такое количество интерфейсов позволяет говорить о репрезентативности полученных результатов.

Измерение характеристик собственных шумов и шумов датчиков Vernier интерфейса SensorDAQ

Для интерфейса SensorDAQ, имеющего 3 разъёма BTA для аналоговых датчиков и клеммный разъём с двумя аналоговыми входами, в спецификации [5] указан уровень системных шумов и абсолютная погрешность. Так, в частности, величина собственных шумов не должна превышать 5 мВ как для каналов, работающих по схеме измерения RSE (относительно «земли»), так и во всех диапазонах для каналов, сконфигурированных по диф-

ференциальной схеме измерений, за исключением диапазона  $\pm 20$  В, для которого допустимый уровень шумов не должен превышать 10 мВ. Уровень шумов здесь определяется среднеквадратичным значением. Помимо уровня шумов, в спецификации приводится абсолютная погрешность, которая включает как случайные погрешности, связанные с шумами, так и систематические погрешности, обусловленные смещением нуля и отклонением коэффициента передачи, а также нелинейностью передаточной характеристики аналогового тракта и АЦП.

Два аналоговых входа клеммного разъёма могут быть сконфигурированы как два канала RSE или как один дифференциальный канал, в то время как разъёмы аналоговых датчиков Vernier работают по схеме RSE в диапазонах 0–5 В и  $\pm 10$  В. Поскольку подавляющее число датчиков работают в первом диапазоне, далее более подробно будет рассматриваться именно этот диапазон. Уровень измеренных собственных шумов аналоговых входов клеммного разъёма приведён в таблице 1, а уровень шумов сигнала на выходе различных датчиков, подключаемых к разъёму BTA — в таблице 2. В последнем столбце этой таблицы приведены результаты пересчёта шумового напряжения в значения, выраженные в единицах измеряемой величины. Измерение собственных шумов производилось при подключении входов клеммного разъёма к общему проводу, а уровень шумов датчиков определялся с помощью многократного опроса датчика при неизменном значении измеряемой величины.

Результаты, приведённые в таблице 1, могут пригодиться при подключении к клеммному разъёму собственных датчиков, например многочисленных датчиков, относящихся к платформе Arduino [6].

Необходимо отметить, что помимо различий в уровне шумового напряжения, в выходном сигнале ряда датчиков, указанных в таблице, в частности датчиков температуры, температуры поверхности и давления газа наблюдалась периодическая помеха. Пример такой

Таблица 1. Уровень шумов аналоговых входов клеммного разъёма SensorDAQ

Схема включения	RSE	Дифференциальная				
		±10	±5	±2	±1	
Диапазон, В	±10	±20	±10	±5	±2	±1
Уровень шума, мВ, не более	5	10	5			
Абсолютная погрешность, мВ	10,5	11,8	6,6	3,8	1,9	1,4
Измеренный уровень шума, мВ	4,5	4,3	2,2	1,0	0,6	0,6

Таблица 2. Уровень шумов аналоговых датчиков Vernier на входе ВТА

Наименование датчика	Уровень шума, мВ	Измеряемая величина
Адаптер ВТА-ELV с заземлённой сигнальной линией	1,1	1,1 мВ
Датчик тока	1,5	0,37 мА
Датчик напряжения дифференциального типа	2	5 мВ
Датчик температуры широкого диапазона	1,5	0,1 °
Датчик температуры	2,5	0,05 °
Датчик температуры поверхности	4–5	0,1 °
Датчик магнитного поля (предел 6,4 мТ)	7	0,022 мТ
Датчик относительной влажности	6,5–8,5	0,2%
Датчик давления газа	1,5	70 Па

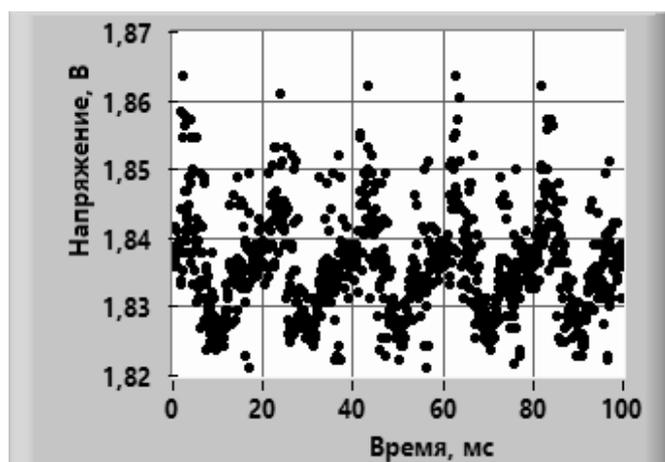


Рис. 2. Периодическая помеха на выходе датчика температуры

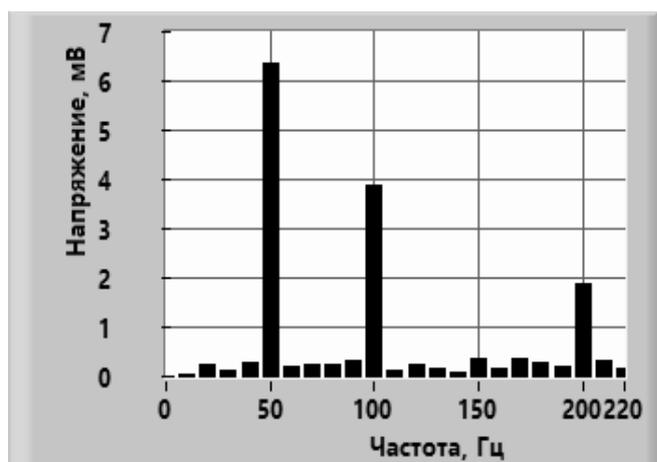


Рис. 3 Амплитудный спектр помехи на выходе датчика температуры

помехи для датчика температуры приведён на рисунке 2, а на рисунке 3 показан амплитудный спектр данной помехи, демонстрирующий наличие компонентов на частотах 50 и 100 Гц. Аналогичная помеха величиной несколько десятков милливольт появлялась на выходе датчика температуры широкого диапазона при прикосновении к его корпусу рукой.

Данные помехи могут быть подавлены с помощью усреднения отсчётов сигнала окном, размер которого соответствует длительности, превышающей период помехи в целое число раз. Так, например, выбор окна

размером 1000 отсчётов при частоте дискретизации 10 кГц позволяет получить его длительность 100 мс (5 периодов частоты 50 Гц). Такой выбор параметров окна даёт практическое уменьшение случайной погрешности в 30–50 раз. Аналогичную эффективность снижения случайной погрешности можно получить и для датчиков со стационарным шумом, имеющих амплитудное распределение шума, близкое к нормальному. Вместе с тем, для таких датчиков, как датчик относительной влажности, имеющих длительное время установления показаний, амплитудное распределение шума близкое к равномерному или двухмодальному и подверженных

Таблица 3. Уровень шумов аналоговых датчиков Vernier

Наименование датчика	Уровень шума myDAQ, мВ	Уровень шума myRIO, мВ
Датчик тока	1,9	2,8
Датчик напряжения дифференциального типа	2	3,3
Датчик температуры широкого диапазона	1,5	2,8
Датчик температуры	2,2–2,7	2,9
Датчик температуры поверхности	3,3	3,5
Датчик магнитного поля (предел 6,4 мТ)	7,1	4,7–8,8
Датчик относительной влажности	6,4–14,9	6,5–13,5
Датчик давления газа	1,5	2,7

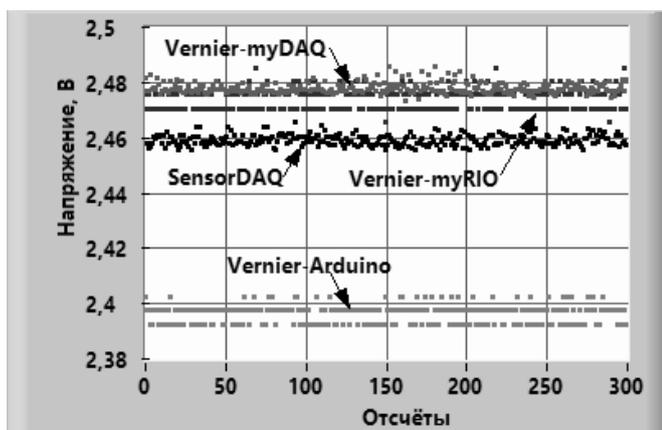


Рис. 4 Результаты измерения напряжения датчика напряжения дифференциального типа

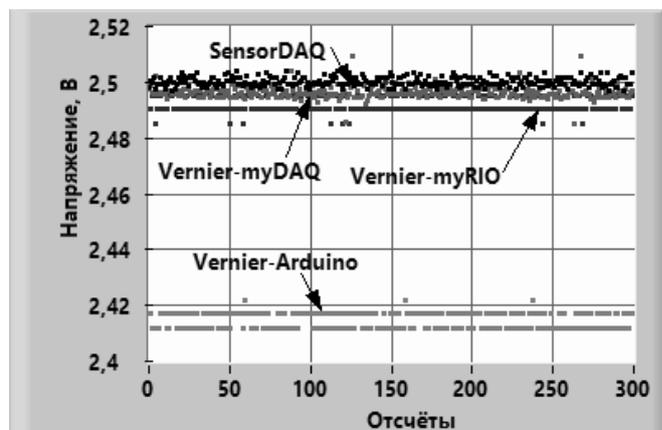


Рис. 5 Результаты измерения напряжения датчика тока

влиянию конвекции воздуха, эффективность усреднения будет снижаться.

#### Измерение характеристик шумов интерфейсов myDAQ и myRIO с адаптером Vernier

Измерение собственных шумовых характеристик интерфейсов myDAQ и myRIO производилось так же, как и для SensorDAQ, с помощью подключения входов клеммного разъёма к общему проводу, а уровень шумов датчиков, включенных через адаптер Vernier, определялся с помощью их многократного опроса при неизменном значении измеряемой величины. При этом уровень собственных шумов интерфейса myDAQ для всех 12 экземпляров таких устройств оказался равным 0,4 мВ в диапазоне  $\pm 10$  В, что намного меньше величины абсолютной погрешности 22,8 мВ, указанной в спецификации. Такой же уровень шумового напряжения был получен при подключении к одному из разъёмов адаптера Vernier адаптера BTA-ELV с заземлённой сигнальной линией. Такой низкий уровень шумового напряжения

по сравнению с SensorDAQ обусловлен более высокой разрядностью АЦП myDAQ (16 двоичных разрядов). Для интерфейса myRIO, имеющего 12 двоичных разрядов, аналогичный показатель оказался равным 2,5 мВ.

Уровни шумов датчиков, подключенных к интерфейсам myDAQ и myRIO через адаптер Vernier, приведены в таблице 3.

Результаты, приведённые в таблице 3, свидетельствуют о небольшом увеличении уровня шумов выходного сигнала датчиков Vernier при использовании интерфейсов myDAQ и myRIO с соответствующим адаптером. Повышенный уровень шумов интерфейса myRIO может быть связан с более низкой разрядностью АЦП.

При использовании в качестве компьютерного интерфейса платы Arduino RedBoard, имеющей 10-разрядное АЦП с шагом квантования 5 мВ, погрешность квантования для большинства датчиков Vernier превышает уровень их шумов и оценка случайной погрешности с помощью многократного взятия отсчётов

при постоянной входной величине становится некорректной. Тем не менее, можно сопоставить результаты измерения напряжения на выходе связки «плата Arduino RedBoard — адаптер Vernier Sensor Interface Shield» с результатами рассмотренных выше интерфейсов и адаптеров. При этом целесообразно выбрать датчики, которые заведомо сохраняют свои показания в течение времени, необходимого на их подключение к различным интерфейсам. На рисунках 4 и 5 приведены результаты сравнительных измерений для датчика тока и датчика напряжения дифференциального типа с закороченными входами. При этом средний уровень напряжения этих датчиков лежит в середине диапазона 0–5 В, т.е. на уровне 2,5 В.

Анализ приведённых результатов позволяет сделать вывод, что все интерфейсы и адаптеры вносят сравнительно небольшой вклад в общую случайную погрешность измерения, которая в основном определяется уровнем шума самих датчиков, при этом величина среднего уровня сигнального напряжения может иметь существенные отличия, что делает необходимой процедуру калибровки смещения. Особенно актуально это для платы Arduino RedBoard с соответствующим адаптером.

Результаты, полученные в данной работе, дают представление о пороговых характеристиках датчиков Vernier при их подключении к различным компьютерным интерфейсам и адаптерам.

---

#### ЛИТЕРАТУРА

1. С. Лозовенко Цифровая лаборатория Vernier в школьном физическом эксперименте. — М.: Илекса, 2018. — 96 с.
2. А. И. Зими́на Что такое цифровая лаборатория? [Электронный ресурс] [http://pedsovet.su/ikt/6244\\_cifrovaya\\_laboratoria\\_sravnenie](http://pedsovet.su/ikt/6244_cifrovaya_laboratoria_sravnenie). свободный. — яз. русский.
3. Sensors [Электронный ресурс] <https://www.vernier.com/products/sensors/> свободный. — яз. англ.
4. Тревис Дж., Кринг Дж. LabVIEW для всех. — М.: ДМК Пресс, 2011. — 904 с.
5. SensorDAQ Specification [Электронный ресурс] [http://www2.vernier.com/manuals/sensordaq\\_specs.pdf](http://www2.vernier.com/manuals/sensordaq_specs.pdf) свободный. — яз. англ.
6. Датчики и модули Arduino [Электронный ресурс] <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/page/2/>. свободный. — яз. англ.

---

© Суранов Александр Яковлевич (alexander.suranov@yandex.ru).  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

