

## **Цифровая лаборатория «Архимед» по физике: самое главное**

Татьяна Георгиевна Яковлева  
заведующая Центром естествен-  
нонаучного и математического  
образования СПБАППО

Научно технический прогресс вызвал техническое перевооружение народного хозяйства и обусловил быструю сменяемость применяемой техники и технологий в различных сферах деятельности.

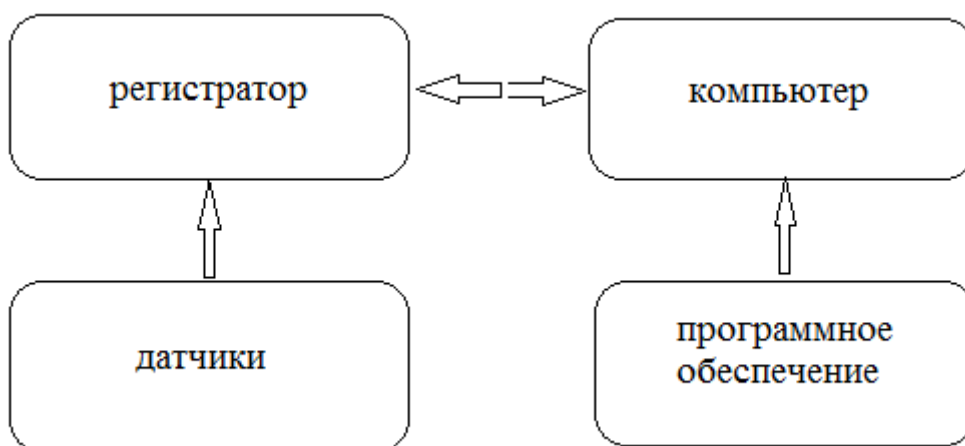
Характерным для настоящего времени становится появление в образовании принципиально новых информационных средств, которые могут повлиять на цели, содержание, методы и организационные формы обучения в учебном заведении любого уровня и профиля.

В соответствии с той ролью, которую выполняет компьютер, выделяют два вида физического эксперимента: компьютерный и компьютеризированный. Для первого случая характерен эксперимент с моделями объектов, явлений и процессов, для второго - натурный эксперимент, где компьютер используется как элемент экспериментальной установки.

Для проведения компьютеризированных экспериментов используют цифровые лаборатории. Цифровая лаборатория - новое поколение школьных естественнонаучных лабораторий предназначенных для проведения фронтальных и демонстрационных опытов, для организации учебных исследований и исследовательских практик. Использование цифровых лабораторий позволяет получить представление о смежных образовательных областях: информационные технологии; современное оборудование исследовательской лаборатории; математические функции и графики, математическая обработка экспериментальных данных, статистика, приближенные вычисления; методика проведения исследований, составление отчетов, презентация проделанной работы.

По сравнению с традиционным оборудованием, цифровые лаборатории позволяют существенно сократить время на организацию и проведение работ, повышают точность и наглядность экспериментов, предоставляют большие возможности по обработке и анализу полученных данных.

В состав цифровой лаборатории входят следующие компоненты: регистратор данных, позволяющий записывать и анализировать экспериментальные данные; компьютер с программным обеспечением для управления регистратором; датчики для измерения физических величин сопряженные с компьютером.



На схеме представлены взаимосвязи между компонентами цифровой лаборатории.

Примерами цифровых лабораторий по физике могут служить: комплект демонстрационного оборудования L-micro, цифровая лаборатория «Архимед», программно-аппаратный комплекс All For School; цифровой микроскоп QX5, которые могут быть приобретены учебными общеобразовательными заведениями Санкт-Петербурга.

Использование цифровых лабораторий *способствует получению новых образовательных результатов*: формирование навыков работы на современном оборудовании исследовательской лаборатории; формирование и развитие исследовательских умений; формирование компьютерной грамотности, однако учитель *не может эффективно использовать* новое информационное средство, так как перед ним возникают существенные технические и методические трудности. Учителю необходимо понять и научиться

- использовать датчики, которые совершенно отличаются от традиционных измерительных приборов и обладают специфическими особенностями;
- грамотно настраивать регистратор, учитывая быстро протекающие физические процессы, которые были не доступны наблюдению с помощью традиционного оборудования, но описывались теоретически;
- правильно интерпретировать полученные результаты, т.к. процессы по умолчанию отображаются на экране компьютера в виде осциллограмм;
- согласовывать морально устаревшее оборудование с оборудованием нового поколения;
- выявить перечень демонстраций и лабораторных работ, в которых можно использовать цифровую лабораторию и др.

В разделе, посвященном цифровым лабораториям, на примере цифровой лаборатории «Архимед» будут рассмотрены возможные решения встающих перед учителем проблем.

На диске размещены методические разработки по разным темам:

- «Излучение и прием электромагнитных волн» (методическая разработка демонстрационного эксперимента)
- «Некоторые применения датчиков для проведения стандартных лабораторных работ» (перечень и описание лабораторных работ по физике для 9 класса)
- «Новые возможности демонстрационного эксперимента» (изучение свойств силы трения покоя; изучение явления упругого удара)
- «Лабораторные работы для 10-11 класса (базовый уровень)». Материалы методического проекта (перечень и описание натуральных, компьютеризированных и компьютерных лабораторных работ согласованных с действующим стандартом)

### **Датчики: свойства, особенности, погрешности**

При использовании традиционного оборудования любые демонстрации, простые и сложные, требуют от преподавателя, прежде всего отчетливого знания устройства и принципа действия применяемых приборов, что существенно расширяет возможности школьного физического эксперимента и гарантирует необходимый успех.

Чтобы быть уверенным в успехе постановки компьютеризованных демонстраций и лабораторных работ надо знать отличительные особенности датчиков цифровой лаборатории и научиться применять их как отдельно, так и в комбинации с традиционными измерительными приборами.

Внешний вид, устройство, принципы действия цифровых датчиков кардинально отличается от измерительных приборов старого поколения. Датчики цифровой лаборатории как измерительные приборы состоят из узлов и деталей, которые воспринимают измеряемую величину, преобразуют ее до значений напряжения находящихся в диапазоне 0-5 В, далее электрический сигнал отправляется на аналого-цифровой преобразователь устройства регистрации и сбора данных.

Внимательное изучение раздела «Датчики цифровой лаборатории» методических рекомендаций разработчиков цифровой лабора-

тории «Архимед» позволяет получить самое общее представление о принципе действия датчиков, их инструментальной погрешности и пределах измерения.

Ниже представлено несколько таблиц « Параметры датчиков цифровой лаборатории по физике», которые составлены на основе методических рекомендаций разработчиков цифровой лаборатории (строки 1 – 5), расчетов абсолютной погрешности (строка 6) и дополнительных экспериментальных исследований, направленных на выявление особенностей работы датчиков (строка 7).

В пятой строке каждой таблицы в скобках указана относительная инструментальная погрешность школьных приборов, которые широко используются в школьных фронтальных лабораторных работах. Сравнение позволяет сделать вывод, что инструментальная погрешность датчиков мало отличается от погрешности измерительных приборов, которые входят в типовой перечень школьного оборудования по физике. Цифровые датчики значительно снижают количество ошибок при считывании и ускоряют отсчет показаний приборов, поэтому погрешность отсчета можно считать равной нулю

#### « Параметры датчиков цифровой лаборатории по физике в таблицах»

Все таблицы содержат одинаковый перечень параметров датчиков: название, назначение, принцип действия, инструментальная погрешность, точность записи величины, пределы измерения и особенности.

В таблице 1 представлены датчики, аналогов которым не было в перечне физического лабораторного оборудования основной и средней школы. В таблицах 2 – 4 датчики сгруппированы по области применения: электродинамика, термодинамика, механика.

Приборы для измерения или регистрации индукции магнитного поля, освещенности (люксметр), звуковых колебаний (микрофон) до последнего времени использовались только учителем для демонстраций и в редких случаях учащимися во время физического практикума.

Появление новых датчиков значительно расширяет учебные исследования, которые можно проводить прямо на уроке не затрачивая на это большое время. Например, датчиком магнитного поля можно регистрировать остаточную намагниченность магнитных карт; регистрировать электромагнитные излучение мобильного те-

лефона, энергосберегающих ламп и другого бытового оборудования; фиксировать «магнитные бури». Датчик освещенности позволяет исследовать видимое излучение от экранов компьютера; проверять санитарные нормы освещенности в помещении; косвенно сравнивать излучающую способность осветительных приборов.

Таблица 1

«Новые лабораторные приборы»

Название	1.	Датчик микрофонный	Датчик индукции магнитного поля	Датчик освещенности
Назначение	2.	Регистрация звуковых колебаний	Измерение магнитной индукции	Измерение интенсивности света
Принцип действия	3.	Изменение емкости конденсатора под действием давления звуковой волны	Эффект Холла	Каждый фотон выбивает электрон.
Пределы измерения	4.	34 Гц – $10^4$ Гц	$\pm 0,2 \cdot 10^{-3}$ Тл $\pm 10 \cdot 10^{-3}$ Тл	600 лк $6 \cdot 10^3$ лк $1,5 \cdot 10^4$ лк
Инструментальная погрешность	5.	–	–	–
Точность записи величины	6.	–	–	–
Особенности	7.	Только для качественных наблюдений	Закреплять неподвижно, кроме исследований поля Земли	

Информацию об инструментальной погрешности датчиков индукции магнитного поля, освещенности, звуковых колебаний найти не удалось. Однако, опираясь на физический принцип действия датчика освещенности можно предположить, что погрешность данного инструмента стремиться к нулю. Точность микрофонного датчика не имеет значения, т.к. он служит индикатором наличия звуковой волны и дает только качественные представления о звуковых процессах.

Таблица 2

«Датчики для измерения электродинамических величин»

Название	1.	Датчик напряжения	Датчик тока	Датчик тока
----------	----	-------------------	-------------	-------------

Назначение	2.	Измерение постоянного и переменного напряжения	Измерение постоянного и переменного тока	Измерение постоянного и переменного тока
Принцип действия	3.	Падение напряжения на сопротивлении более 1 Мом	Падение напряжения на сопротивлении 1 Ом	Падение напряжения на сопротивлении 0,1 Ом
Пределы измерения	4.	$\pm 25$ В Кратковременно выдерживает до $\pm 60$ В	$\pm 2,5$ А Кратковременно выдерживает до $\pm 5$ А	$\pm 250$ мА Кратковременно выдерживает до $\pm 1,5$ А
Инструментальная погрешность	5.	3 %	3 %	5%
		(школьный вольтметр 3,3 %)	(школьный амперметр 5 %)	
Точность записи величины	6.	0,0 В	0,0 А	0,0 мА
Особенности	7.			

Так как регистратор, на который передается сигнал от датчиков электродинамических величин, позволяет производить до 21000 замеров в секунду, то возникает проблема подбора источника питания для лабораторных работ. Датчики непрерывно фиксируют «пилообразное» напряжение от лабораторного источника питания на 4,5 В, т.к. процесс выпрямления осуществляется благодаря односторонней проводимости диода. В связи с этим источником электроэнергии при проведении лабораторных работ должен быть гальванический элемент или батарея элементов.

Таблица 3

«Датчики для измерения термодинамических величин»

Название	1.	Датчик температуры	Датчик влажности	Датчик давления
Назначение	2.	Измерение температуры	Измерение влажности	Измерение давления газа или жидкости
Принцип действия	3.	Термопара	Электронный генератор, частота которого зависит от величины диэлектрической проницаемости конденсатора	Изменение сопротивления мембраны при ее деформации
Пределы измерения	4.	от $-25^{\circ}\text{C}$ до $+100^{\circ}\text{C}$	От 0% до 100 %	До $700 \cdot 10^3$ Па

Инструментальная погрешность	5.	1%	5 % при 25 <sup>0</sup> С	0,05%
		(термометр 1%)		(барометр-анероид 0,4%)
Точность записи величины	6.	0,0 °С	0, %	0, Па
Особенности	7.		Регистрирует наличие не только паров воды	Низкая чувствительность. Инерционность 10 <sup>-3</sup> с

Таблица 4

« Датчики для измерения механических величин»

Название	1.	Датчик силы	Датчик расстояния
Назначение	2.	Измерение сил	Измерение расстояния
Принцип действия	3.	На концах бруска, который деформируется, установлены тензорные датчики	Звуковой локатор
Пределы измерения	4.	±10 Н ±50 Н	0,4 м – 6 м
Инструментальная погрешность	5.	–	1%
		(динамометр 2,5%)	(линейка 0,03%)
Точность записи величины	6.	–	0,00м
Особенности	7.	При деформации растяжения сила величина отрицательная. При деформации сжатия сила величина положительная	На расстояниях менее метра дает неточные показания. Имеет автономный источник питания

Информацию об инструментальной погрешности датчика силы найти не удалось. Многочисленные прямые измерения с использованием датчика силы позволяют сделать предположение, что инструментальная погрешность датчика силы на пределе ± 10Н составляет 1%; инструментальная погрешность датчика силы на пределе ± 50Н составляет 2%.

Звуковой генератор датчика расстояния работает от осветительной сети. Значит, требуется дополнительная подводка электроэнергии на 220В к столам учащихся, что запрещено правилами техники безопасности.

При измерениях всегда получают приближенные значения измеряемых величин, которые тем ближе подходят к истинным значениям, чем большей точностью обладают приборы и чем более совершенен метод измерения. Округление дает возможность получить окончательный результат измеряемой величины.

Программа MultiLab отображает набор данных в виде таблицы и (или) осциллограммы. Набор чисел в таблице результатов измерений отображается с точностью до третьего знака после запятой, независимо от датчика, который используется для измерений. Поэтому встают вопросы: Соответствует ли отображение числа в таблице результатов численному значению измеряемой величины? Как записать полученный результат измерения? До какого знака производить округление?

Ниже приведены расчеты, позволяющие понять, как была получена информация, внесенная в шестую строку таблиц.

Например: В процессе прямых измерений напряжения с помощью датчика напряжения с пределом измерения  $\pm 25$  В и относительной инструментальной погрешностью 3% отобразилось число 7,123

- Для определения абсолютной погрешности прямого измерения необходимо сложить погрешность отсчета и инструментальную погрешность измерительного прибора. Так как наблюдатель не участвует в считывании показаний прибора, то понятие погрешности отсчета при применении датчиков теряет смысл. В дальнейших расчетах будем опираться только на известные значения относительной инструментальной погрешности датчика.

- Для определения абсолютной инструментальной погрешности запишем  $\frac{\Delta}{7,123} = 0,03$ ; тогда  $\Delta = 0,03 \cdot 7,123 = 0,23$ . Абсолютную погрешность округляем в сторону увеличения до первой значащей цифры, значит абсолютная погрешность измерения напряжения

$$\Delta = 0,3 \text{ В}$$

- Становится очевидным, что число 7,123 по стандартным правилам необходимо округлить до **7,1**. Таким образом, записывать



численное значение напряжения достаточно с точностью до первого знака после запятой.

- Отсюда следует, что значение величины напряжения, полученное при прямом измерении, должно быть записано  $7,4 \text{ В} > U > 6,8 \text{ В}$  или  $U = 7,1 \pm 0,3 \text{ (В)}$

Аналогичным способом, были проведены расчеты для всех датчиков с известной инструментальной погрешностью.

Параметры калибровки, описных выше датчиков, внесены в базу данных программы MultiLab, там же находится информация о разрешении датчиков. Разрешение это минимальное изменение величины аналогового сигнала, которое может быть преобразовано данным цифровым преобразователем. Разрешение дает представление о минимальном значении измеряемой величины, которую можно зарегистрировать данным комплектом оборудования.

Для повышения точности результатов датчиков влажности, давления, силы, индукции магнитного поля допускается механическая калибровка с помощью винта на корпусе прибора. При этом требуется наличие эталонного измерительного прибора.

Таблица 5

«Разрешение датчиков цифровой лаборатории по физике»

Датчик влажности	Датчик давления	Датчик индукции магнитного поля	Датчик микрофонный	Датчик напряжения $\pm 25 \text{ В}$	Датчик расстояния	Датчик силы	Датчик силы тока 2,5 А	Датчик силы тока 250 мА	Датчик температуры
0,04 %	180 Па	Предел 0.2 мТл $10^{-7}$ Тл	$1,2 \cdot 10^{-2}$ В	$1,2 \cdot 10^{-2}$ В	$1,8 \cdot 10^{-3}$ м	Предел $\pm 10$ Н $6 \cdot 10^{-3}$ Н	$1,2 \cdot 10^{-3}$ А	$1,2 \cdot 10^{-4}$ А	$3 \cdot 10^{-2}$ °С
		Предел 10 Тл $10^{-6}$ Тл				Предел $\pm 50$ Н $2,8 \cdot 10^{-2}$ Н			

*Итак:*

- *Датчики имеют сложное устройство.*
- *Значение физической величины, измеряемой каждым датчиком, преобразуется до значений напряжения находящихся в диапазоне 0-5В, которое воспринимается аналого-цифровым преобразователем устройства регистрации и сбора данных.*
- *Инструментальная погрешность датчиков соизмерима со школьными лабораторными приборами.*
- *Датчики значительно снижают количество ошибок при считывании и ускоряют отсчет показаний приборов.*
- *Датчики имеют высокое разрешение.*
- *Датчики обладают специфическими особенностями, которые необходимо учитывать при разработке и подготовке компьютеризованных экспериментов.*

### **Настройка регистратора: частота замеров**

Регистратор данных, позволяет записывать и анализировать экспериментальные данные, представлять их виде графиков и экспортировать в электронные таблицы. Регистратор данных позволяет производить до 21000 замеров в секунду, и хранить во встроенной памяти до 100000 экспериментальных точек.

При проведении прямых измерений необходимо правильно настраивать регистратор данных. Частота опроса датчиков должна отвечать природе изучаемого физического явления, в противном случае, можно получить ложное представление об исследуемых процессах.

Рассмотрим результаты двух опытов, которые проводились в помещении с люминесцентными лампами. Во время опытов производилось прямое измерение освещенности с помощью закрепленного неподвижно датчика. Предел измерения датчика освещенности в опытах был неизменным - 600лк. В первом опыте регистратор был настроен на 10 замеров в секунду. Полученная осциллограмма представлена на рисунке 1.

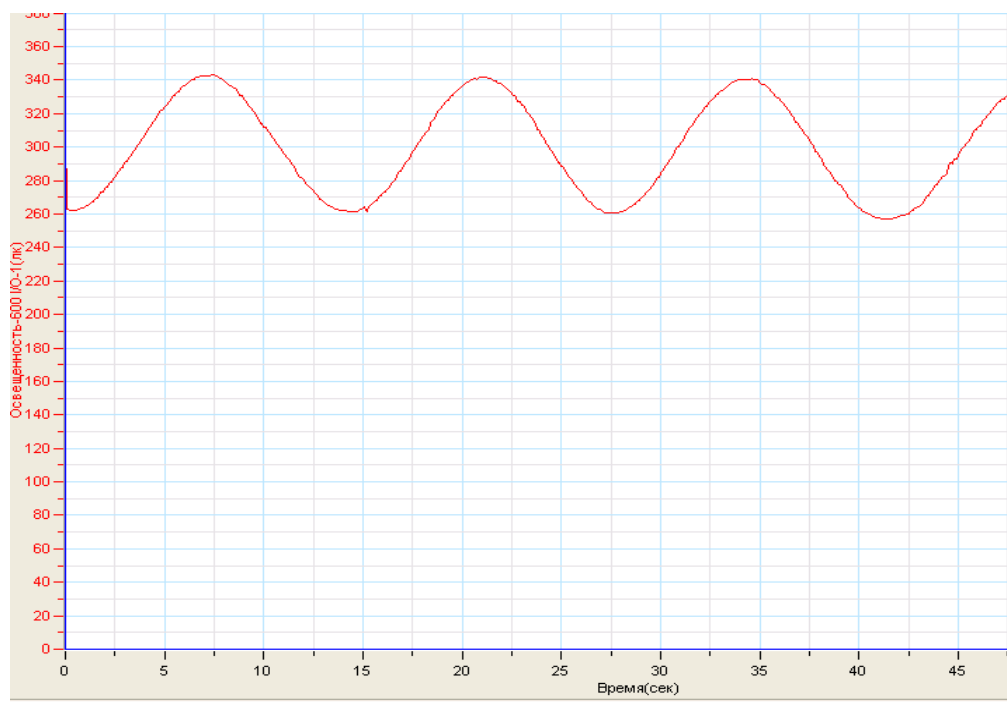


Рисунок 1 «Ложная картина изменения освещенности в помещении»

Простейшие расчеты позволяют определить частоту изменения освещенности в помещении, которая составляет **0,04Гц**. Объяснить такой результат с точки зрения физических закономерностей не представляется возможным. Таким образом, в процессе наблюдений была получена ложная картина явления.

Во втором опыте изменили настройку регистратора с 10 замеров в секунду на 11800 замеров в секунду и получили картину процесса, изображенную на рисунке 2. Частота изменения освещенности в помещении с люминесцентными лампами составляет примерно **100Гц**, что согласуется с физическими процессами выделения световой энергии.

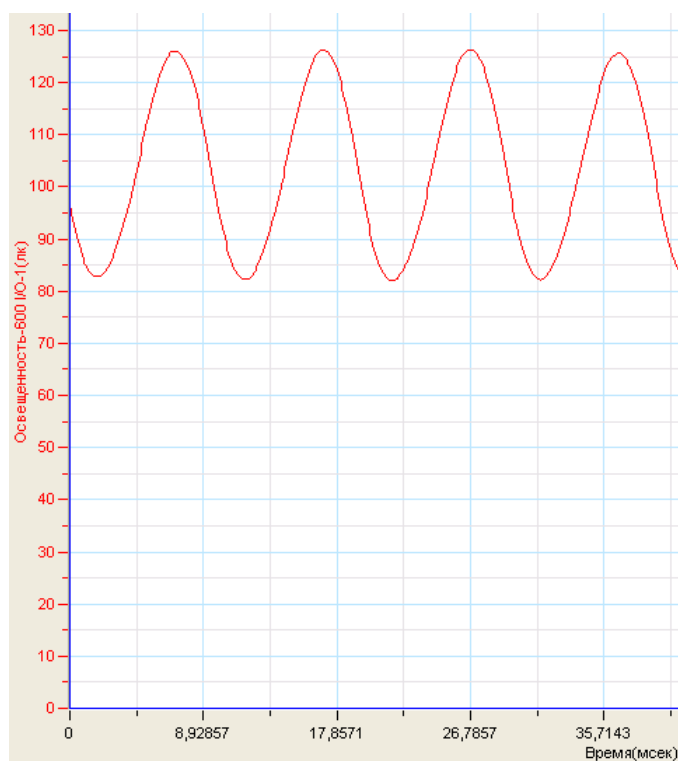


Рисунок 2 «Реальная картина изменения освещенности в помещении»

### **Настройка регистратора: параметры отображения оси X**

При измерении физических величин набор данных представляется на экране в виде таблицы и (или) графика, что позволяет определять мгновенное значение величины. По оси абсцисс (ось X) автоматически отображается время замеров, по оси ординат (ось Y) отображаются значения измеряемой физической величины. Масштаб единичного отрезка оси ординат зависит от предела измерения датчика и от диапазона измеряемой величины: при малых значениях величины, меняется длина единичного отрезка.

При исследовании взаимосвязей между физическими величинами приходится использовать несколько датчиков. Например: датчик магнитной индукции и силы тока при изучении зависимости индукции магнитного поля тока от силы тока, протекающего по проводнику; датчик тока и напряжения для изучения зависимости падения напряжения на постоянном сопротивлении от силы тока в проводнике и др.

Правильная настройка регистратора данных позволяет средствами программного обеспечения MultiLab отобразить график функциональной зависимости между измеряемыми величинами, не прибегая к переносу набора данных в «EXCEL» для дальнейшей обработки результатов.

Как экспериментальное доказательство существования магнитного поля тока обычно демонстрируют опыт Эрстеда, который позволяет на качественном уровне показать наличие магнитного поля возле проводника с током. Содержание качественной демонстрации можно расширить и показать в процессе проведения опыта на оборудовании цифровой лаборатории графическое отображение линейной зависимости между величиной магнитной индукции и силой тока в катушке (рисунок 3). Эта демонстрация поможет в дальнейшем при формировании понятия - магнитный поток.



Рисунок 3 «График линейной зависимости магнитной индукции от силы тока в проводнике»

Чтобы получить запись функциональной зависимости между измеряемыми величинами необходимо перед каждым опытом настраивать параметры отображения оси X. Для этого выбираем действия: «Настройка регистратора» / параметры отображения оси X / свойства оси X: в окошечке «измерение» выбрать величину, которая будет аргументом в данном случае – сила тока. После настройки по оси абсцисс автоматически будут отображаться мгновенные значения силы тока, а по оси ординат значения индукции магнитного поля.

*Итак, при настройке регистратора:*

- Устанавливать частоту замеров в 20 раз больше предполагаемой частоты периодически меняющейся величины.
- При использовании двух и более датчиков перед каждым опытом настраивать параметры отображения оси X.