



ZETLab

№1 • 2011

- **НАШИ ПУБЛИКАЦИИ
В ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИЗДАНИЯХ**

с. 3

- **ПОСЛЕДНИЕ РАЗРАБОТКИ**

с. 48

Интеллектуальные датчики. Серия 7000
*Автоматизированные
испытательные стенды*

- **СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ**

с. 60

*Виртуальная учебная лаборатория —
специальное предложение ВУЗам!*

ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛАХ

ЖУРНАЛ "АВТОМАТИЗАЦИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ"	3
Использование электрического колебательного контура для симуляции механического резонанса реального вибростенда <i>Бегишев С. В.</i>	3
Автоматизация экспериментов с применением методов цифровой обработки сигналов <i>Красовский А. А.</i>	6
Виртуальная лаборатория ZETLab на примере построения распределенной системы управления виброиспытаниями в учебной лаборатории <i>Красовский А. А.</i>	9
Управление движением и позиционированием шагового двигателя с применением программного обеспечения ZETViewи <i>Антонов А.Ю., Красовский А. А.</i>	12
ЖУРНАЛ "МИР КОМПЬЮТЕРНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ"	15
Виртуальные измерительные приборы <i>Коновалова Т. Н.</i>	15
SCADA система — средство автоматизации доступное каждому! <i>Коновалова Т. Н.</i>	17
ЖУРНАЛ "НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ"	20
Система мониторинга ширины колеи железнодорожных путей с использованием спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС совместно с инерциальными измерениями ZETLab <i>Антонов А. Ю., Красовский А. А.</i>	20
ЖУРНАЛ "ДАТЧИКИ И СИСТЕМЫ"	24
Автоматизация процесса измерения параметров виброизмерительных преобразователей <i>Коновалова Т. Н.</i>	26
ЖУРНАЛ "ЛИФТ"	30
Определение положения лифта и параметров движения методами инерциальной навигации <i>Антонов А. Ю., Красовский А. А.</i>	30
ЖУРНАЛ "ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ"	34
Цифровая обработка в ZETLab при идентификации параметров сейсмического сигнала <i>Красовский А. А.</i>	34
ЖУРНАЛ "НЕФТЬ, ГАЗ И БИЗНЕС"	42
О применении информационно-управляющей системы, основанной на интеграции различных методов обнаружения утечек и посторонних воздействий на магистральных нефтепроводах <i>Красовский А. А.</i>	42

ПОСЛЕДНИЕ РАЗРАБОТКИ

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ. СЕРИЯ 7000	48
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ СТЕНДЫ	51

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

ВИРТУАЛЬНАЯ УЧЕБНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ – СПЕЦИАЛЬНОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ ВУЗАМ!	60
---	-----------

От редактора

Уважаемые читатели!

Представляем Вашему вниманию первый выпуск журнала ZETLab, посвященного практическому применению производимого нашим предприятием оборудования и ПО, а также новым, и самым актуальным разработкам.

О тематике предприятия

Наше предприятие давно вышло за рамки серийного производства плат АЦП/ЦАП и анализаторов спектра. Взяв курс на создание универсальных инструментов для решения практически любых задач, мы ведем работу по принципу тесного сотрудничества с заказчиками и потребителями нашей продукции по следующим направлениям

- представляем нашу продукцию на выставках;
- проводим курсы и семинары;
- публикуем статьи о практическом применении в научно-технических журналах;
- отвечаем на Ваши вопросы на нашем форуме;
- рассказываем о тонкостях проведения измерений на страницах нашего сайта;
- создаем видеоуроки по работе в среде графического программирования ZETView.

Разрабатывая и производя измерительное и испытательное оборудование, мы открыты новым веяниям. Каждая из Ваших идей и задач сможет найти свое воплощение как в серийно выпускаемых нами приборах, так и в уникальных разработках вплоть до многофункциональных измерительных комплексов, выполненных "под ключ". Мы регулярно публикуем в научно-технических журналах статьи о самых интересных решениях. Некоторые из этих статей представлены в данном выпуске.

В номере

Вашему вниманию предлагается подборка статей, написанных сотрудниками ЗАО «ЭТМС» и опубликованных в ведущих российских журналах. Представленные статьи посвящены следующим темам:

- цифровая обработка сигналов;
- автоматизация измерительных процессов;
- применение методов инерциальной навигации;
- системы мониторинга и управления;
- виртуальные приборы и SCADA системы.

Последние разработки:

- ZETSensor – серия устройств, превращающих любой первичный преобразователь в интеллектуальный датчик с интерфейсом RS-485 или CAN.
- Автоматизированные испытательные стенды – программно-аппаратный комплекс для проведения различных видов испытаний.

С наилучшими пожеланиями,
Коновалова Т.Н.

ЗАО "Электронные технологии и метрологические системы"

Россия, 124482, г. Москва, г. Зеленоград, Савелкинский проезд, д. 4, этаж 2101. GPS координаты: N 55°59'11.09" E 37°21'73.24"

Часы работы: с 9.30 до 18.00

Тел./Факс: (495) 228-01-11 (многоканальный)

e-mail: info@zetms.ru

Для звонков с мобильных телефонов:

8 985 922-03-56 (МТС)

8 909 922-03-56 (Билайн)

8 925 922-03-56 (Мегафон)

Редакционный совет

Фейзханов У.Ф. — председатель редакционного совета, генеральный директор ЗАО "ЭТМС", к.т.н.

Плужник Е.Г. — зам. генерального директора ЗАО "ЭТМС"

Красовский А.А. — начальник ОИТ ЗАО "ЭТМС", к.т.н.

Назимов С.С. — руководитель проектов ЗАО "ЭТМС"

Главный редактор
Коновалова Т.Н.

Художественный редактор
Занина Е. В.

Использование электрического колебательного контура для симуляции механического резонанса реального вибростенда

С развитием технократического общества увеличивается спектр и масштабы производства товаров, предназначенных для транспортировки на большие расстояния и эксплуатации в сложных условиях. Эти изделия подвергаются высоким перепадам температуры, изменению влажности и давления, тряске при транспортировке, возможным ударам при падении и пр. Соответственно изделия могут выйти из строя под воздействием различных внешних факторов. Для проверки потребительских характеристик товаров разработаны системы испытаний на различные внешние воздействия: температуру, влажность, вибрацию и пр. Всякий новый товар народного потребления проходит через систему испытаний, а промышленные и военные изделия проходят более жесткий контроль. Поэтому с расширением масштабов производства потребность в испытательных установках, например для виброиспытаний, также будет расти.

Испытаниям на стойкость к различным видам вибрации подвергается множество изделий. Основные виды виброиспытаний – это воздействие синусоидального сигнала с изменяющейся частотой, широкополосная случайная вибрация и виброудар. Для автоматизации процесса виброиспытаний создаются специальные системы управления виброиспытаниями (СУВ). При проведении виброиспытаний синусоидальным сигналом с качанием частоты испытатели сталкиваются с явлением резонанса, причиной которого может быть и вибростенд, и крепежный стол, и испытуемый объект. То есть при плавном увеличении (или уменьшении) частоты сигнала СУВ амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) системы резко возрастает (или уменьшается – явление антирезонанса), а потом уменьшается (увеличивается). Временной интервал, на котором происходят резонансные явления, краток, и СУВ может не успеть среагировать и уменьшить напряжение. Следствием этого может стать разрушение опытного образца или самого вибростенда. Вне зависимости от причин резонанса СУВ должна обеспечивать выполнение программы виброиспытаний с допустимыми отклонениями.

Поскольку СУВ создано немало, встает вопрос о сравнении характеристик этих систем.

Одна из таких характеристик – удержание сигнала в коридоре допуска (± 6 дБ) для заданного профиля во время прохождения резонанса с высокой добротностью при испытаниях синусоидальным сигналом с качанием частоты. Для заключения о том, справиться ли СУВ с внезапно встретившимися резонансами, необходимы испытания ее самой. Использование эталонного вибростенда для испытания СУВ по удержанию сигнала в коридоре допуска требует значительных материальных и организационных затрат: эталонный вибростенд или эталонное изделие. Эталонный вибростенд будет на порядок дороже обычных вибростендов, которые сами по себе не дешевы. Эталонное изделие изготовить легче и дешевле, но различные вибростенды и переходные столы внесут свои искажения в любую идеальную резонансную АЧХ. Однако известен способ, позволяющий провести эти испытания с меньшими затратами и более качественно.

Все СУВ получают данные не напрямую от самого вибростенда, а от различных вибропреобразователей, которые преобразуют механические вибрации в электрические сигналы. Поэтому можно использовать электрический колебательный контур для симуляции резонанса. Этот способ существенно дешевле и проще в реализации, поскольку теоретическая база электрического резонанса хорошо изучена, соответствующие элементы дешевы и доступны, и никаких искажений АЧХ не будет.

На рис. 1 представлена электрическая принципиальная схема последовательного колебательного контура, состоящего из конденсатора, катушки индуктивности и резистора. Поскольку катушка индуктивности, конденсатор и соединительные провода обладают активным сопротивлением, то для достижения

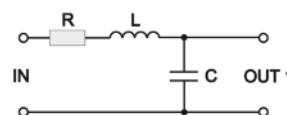


Рис. 1. Принципиальная схема последовательного электрического колебательного контура

максимально возможной добротности от резистора можно отказаться, а в расчетах использовать измеренное соответствующими приборами значение сопротивления.

Определим резонансную частоту электрического колебательного контура:

$$Q = \frac{1}{R} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{U_{\max}}{U_0}$$

и добротность электрического колебательного контура:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

В табл. 1 и 2 приведены результаты расчета резонансной частоты и добротности колебательного контура соответственно. Значения емкости конденсатора и индуктивности катушки взяты для расчета в соответствии с маркировкой реальных элементов. Добротность рассчитывается для значения сопротивления 1 Ом.

На рис. 2 приведен график зависимости напряжения на конденсаторе от частоты, а на рис. 3 – графики резонансов с различной добротностью. Чем больше добротность резонанса, тем острее и выше пик на графике, тем сложнее СУВ удержать сигнал в заданном диапазоне.

Чтобы получить электрическую схему с требуемыми параметрами можно воспользоваться данными, приведенными в табл. 1 и 2.

На рис. 4 приведена АЧХ электрического колебательного контура, измеренная с помощью виртуальных приборов ZETLab. Параметры элементов, использованных в схеме колебательного контура (измеренные мультиметром): $C = 0,19$ мкФ, $L = 18$ мГн ($R_L = 16,5$ Ом), $R = 0$ Ом.

Рассчитанные параметры колебательного контура: $f_0 = 2721$ Гц, $Q = 18,6$.

Измеренные по графику АЧХ параметры колебательного контура: $f_0 = 2770$ Гц, $Q = 15$.

На рис. 5 представлена ситуация прохождения СУВ на базе ZETLab профиля 1...5 КГц с удержанием зна-

	10 мГн	12 мГн	15 мГн	18 мГн	20 мГн	22 мГн
0,10 мкФ	5032,9	4594,4	4109,4	3751,3	3558,8	3393,2
0,22 мкФ	3393,2	3097,5	2770,5	2529,1	2399,4	2287,7
0,33 мкФ	2770,5	2529,1	2262,1	2065,0	1959,1	1867,9
0,47 мкФ	2321,5	2119,2	1895,5	1730,4	1641,6	1565,2
0,56 мкФ	2126,8	1941,5	1736,5	1585,2	1503,9	1433,9
0,68 мкФ	1930,0	1761,9	1575,9	1438,6	1364,7	1301,2
1,00 мкФ	1591,5	1452,9	1299,5	1186,3	1125,4	1073,0
1,50 мкФ	1299,5	1186,3	1061,0	968,6	918,9	876,1
1,80 мкФ	1186,3	1082,9	968,6	884,2	838,8	799,8
2,20 мкФ	1073,0	979,5	876,1	799,8	758,7	723,4
2,70 мкФ	968,6	884,2	790,8	721,9	684,9	653,0
3,30 мкФ	876,1	799,8	715,3	653,0	619,5	590,7
3,90 мкФ	805,9	735,7	658,0	600,7	569,9	543,3
4,70 мкФ	734,1	670,2	599,4	547,2	519,1	494,9

Таблица 1. Резонансные частоты колебательных контуров (Гц)

	10 мГн	12 мГн	15 мГн	18 мГн	20 мГн	22 мГн
0,10 мкФ	316,23	346,41	387,30	424,26	447,21	469,04
0,22 мкФ	213,20	233,55	261,12	286,04	301,51	316,23
0,33 мкФ	174,08	190,69	213,20	233,55	246,18	258,20
0,47 мкФ	2321,5	159,79	178,65	195,70	206,28	216,35
0,56 мкФ	2126,8	146,39	163,66	179,28	188,98	198,21
0,68 мкФ	1930,0	132,84	148,52	162,70	171,50	179,87
1,00 мкФ	1591,5	109,54	122,47	134,16	141,42	148,32
1,50 мкФ	1299,5	89,44	100,00	109,54	115,47	121,11
1,80 мкФ	1186,3	81,65	91,29	100,00	105,41	110,55
2,20 мкФ	1073,0	73,85	82,57	90,45	95,35	100,00
2,70 мкФ	968,6	66,67	74,54	81,65	86,07	90,27
3,30 мкФ	876,1	60,30	67,42	73,85	77,85	81,65
3,90 мкФ	805,9	55,47	62,02	67,94	71,61	75,11
4,70 мкФ	734,1	50,53	56,49	61,89	65,23	68,42

Таблица 2. Добротность колебательного контура (при R=10м)

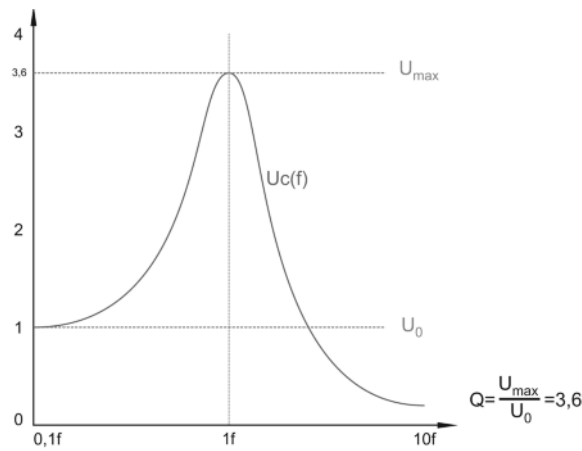


Рис. 2. График зависимости напряжения на конденсаторе от частоты

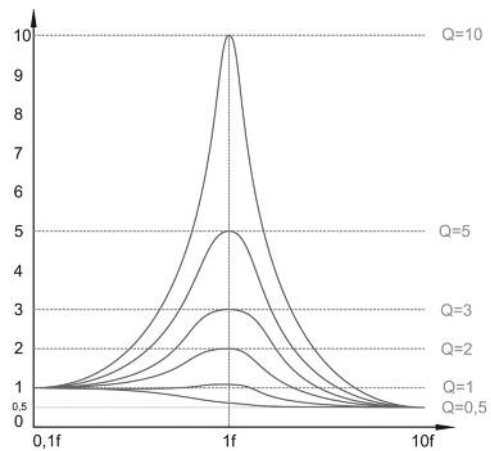


Рис. 3. Графики резонансов с различной добротностью

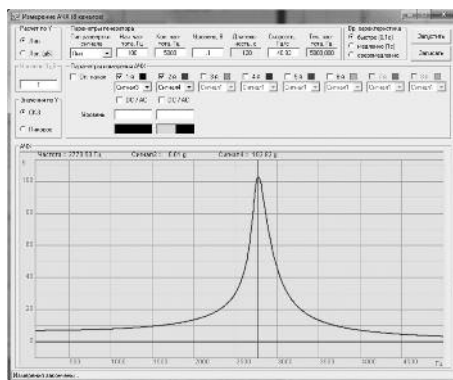


Рис. 4. Измеренная АЧХ реального колебательного контура

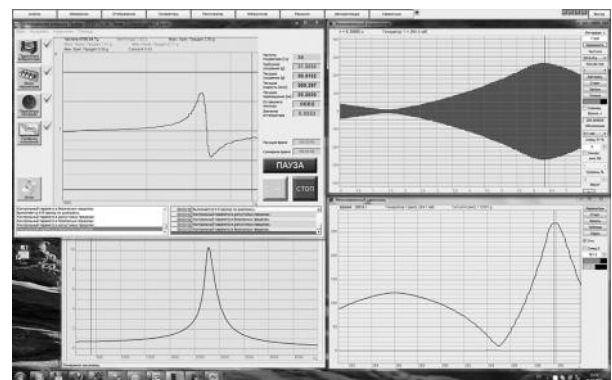


Рис. 5. Прохождение резонанса

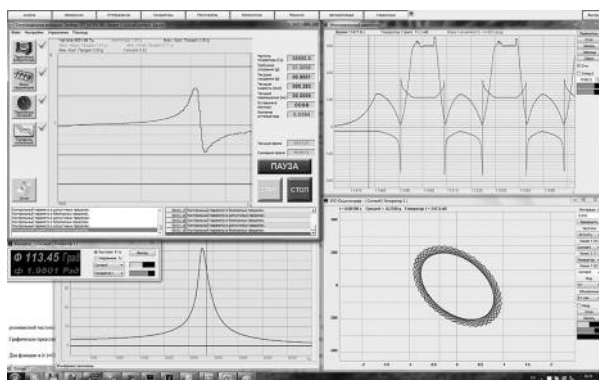
чения сигнала 1 g с предельными допусками ± 6 дБ. Скорость развертки – 10 октав/мин.

С помощью небольшого прибора, включенного между входом и выходом СУВ, можно симулировать работу вибростенда с самой неприятной ситуацией для виброиспытаний – резонансом. Для сравнения характеристик различных СУВ необходимо в дальнейшем выбрать несколько вариантов схем с определенной резонансной частотой и добротностью, чтобы обеспечить

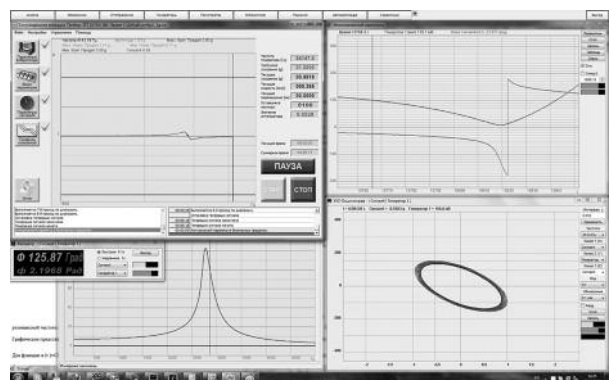
единство испытаний. В будущем производители СУВ могли бы среди перечня характеристик своих систем указать, какие резонансы их система удерживает, а потребители могли бы с легкостью сравнивать.

Кроме последовательного колебательного контура можно использовать более сложные электрические схемы для симуляции других процессов и испытания различных режимов работы СУВ.

В статье была использована следующая литература: "Электротехника", Усольцев А.А.



Удержание резонанса с добротностью 15 на скорости 10 окт в мин



Удержание резонанса с добротностью 15 на скорости 10 окт в мин

Автоматизация экспериментов с применением методов цифровой обработки сигналов

При решении любой задачи в области научных исследований, при проведении комплексных испытаний или автоматизации экспериментов, рано или поздно разработчик сталкивается с проблемой практической реализации своих научных трудов, или, если угодно, с воплощением своих задач в жизнь. Именно эта стадия жизненного цикла разработки затягивается на неопределенное время, что естественно, влечет за собой нежелательные финансовые издержки, и чем эта стадия длиннее, тем больше потерь, во многих смыслах, и тем меньше идей удастся воплотить в жизнь. Но возможно минимизировать время построения системы за счет использования модульных программных и аппаратных решений.

Например, возникает задача построить систему, умеющую: воспринимать информацию о состоянии контролируемого объекта; производить обработку входного сигнала (или, что математики обычно называют функцией) [1]; проводить математическую обработку этого сигнала с последующей выдачей управляющих сигналов и выводом рекомендаций оператору.

Подобные задачи легко решаются с применением программно-аппаратного комплекса ZETLab компании "Электронные технологии и метрологические системы" (г. Зеленоград), имеющего в своем составе около 100 виртуальных приборов¹ различного назначения, а также широкий круг приборов, решающих комплексные задачи по сбору и обработке данных. Что главное, сегодня трудно назвать датчик² (первичный преобразователь), который нельзя было бы подключить к ZETLab, а, как известно, датчик – глаза и уши любой системы.

В качестве рабочего примера, демонстрирующего возможность как аппаратной, так и программной (математической) части, рассмотрим задачу определения пространственных координат источника вибрации или шума. Для небольшого усложнения задачи оговоримся – это источник низкой интенсивности, соизмеримой или даже ниже уровня фоновых шумов. Например, это могут быть шумы техногенного характера (от автострады, путей железнодорожного сообщения, двигателей насосной станции,



Рис. 1. Блок-диаграмма прохождения данных в системе

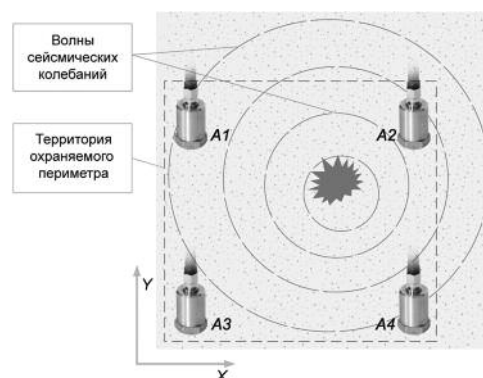


Рис. 2. Схема проведения эксперимента



Рис. 3. Распространение поперечных волн колебаний

помехи промышленной сети 50 Гц и т.п.), шумы природного характера (журчание воды) которые нельзя ни отменить, ни запретить. Однако, воспользовавшись математическим аппаратом ZETLab, можно выделить интересующий полезный сигнал.

Постановка задачи: существует некая территория, на которой необходимо контролировать и выявлять факты несанкционированного проникновения, например, подкоп.

¹ Виртуальный прибор – система организуется в виде программной модели некоторого реально существующего прибора, программно реализуются не только средства управления, но и логика работы прибора [4].

² Речь идет о большинстве серийно производимых датчиках, имеющих стандартные уровни выходного сигнала, а так же о датчиках собственного производства, обеспечивающих выходной сигнал в разумных пределах.

Если, все-таки факт проникновения есть, необходимо постараться определить координату этого места.

Система состоит из:

- сейсмодатчиков, воспринимающих вибрацию грунта;
- линии передачи связи, обеспечивающей передачу сигнала от датчиков до измерительной аппаратуры;
- непосредственно, регистрирующей измерительной аппаратуры ZETLab;
- пульта оператора – ПК.

Для решения задачи воспользуемся научным подходом и проанализируем, какие же параметры системы могут косвенно информировать о несанкционированном проникновении.

Этап №1, теоретические выкладки. В месте возникновения вибрации (или шума) формируются сейсмические волны, распространяющиеся во всех направлениях (рис. 1, 2), при достижении сейсмодатчиков, распространяющаяся волна воздействует на них. Экспериментально выявлено, что максимальный энергетический вклад в сигнал вносят волны поперечных колебаний (рис. 3), поэтому, используемые датчики имеют только одну компоненту чувствительности и устанавливаются вертикально – на землю (либо горизонтально – на стену). Далее посредством АЦП сигнал с датчиков оцифровывается и уже в цифровом виде поступает на вход алгоритма локации. Итак, исходя из предварительных теоретических выкладок, составим блок-диаграмму прохождения данных с нижнего уровня³ до оператора. Основой используемого алгоритма пассивной локации источников вибрации (шума) является определение методом взаимного корреляционного анализа сигналов разности временных задержек прихода волны на разные пункты регистрации, расположенные (же-



Рис. 4. Схема эксперимента, приближенного к реальным условиям

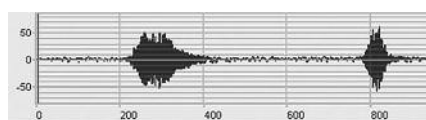


Рис. 5. Воздействие на грунт вблизи одного из датчиков

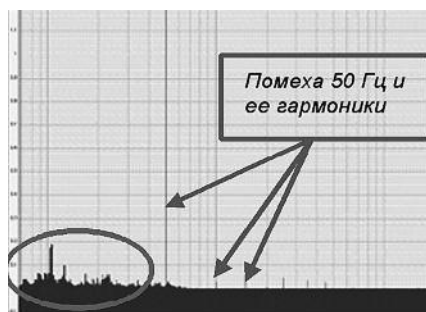


Рис. 6. Воздействие полезного сигнала отражается в области низких частот

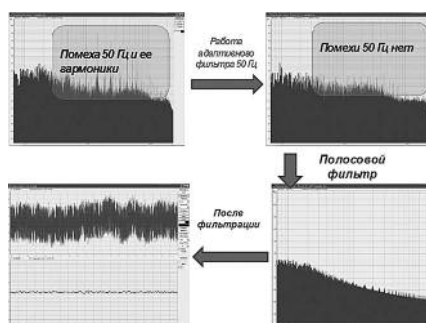


Рис. 7. Сигнал после цифровой фильтрации (адаптивный фильтр 50 Гц и полосовая фильтрация 10...100 Гц)

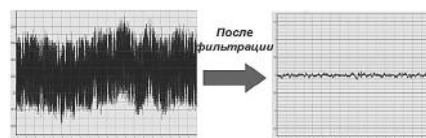


Рис. 8. Временная реализация сигнала до и после цифровой фильтрации (осциллограммы приведены в одинаковом масштабе по координатным осям)

лательно) по периметру охраняемого объекта, используя формулу

$$B_{12}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s_1(t)s_2(t-\tau)dt,$$

где B_{12} – функция взаимной корреляции между датчиками 1 и 2 и т.д., перечисляя все выбранные нами пары датчиков [2].

В действительности, на первой стадии рис. 2 описывает идеальную модель, и было опущено самое главное условие – наличие посторонних шумов. Модифицируем схему эксперимента (рис. 4), где особо выделено наличие автомагистралей и путей ЖД сообщений.

Этап №2. Изучим временную реализацию сигнала при воздействии на грунт вблизи одного из датчиков (осциллограмма сигнала, рис. 5). Тем самым проверим целостность линий связи и настройки системы. Проанализируем частотные составляющие сигнала, то есть частотный спектр, и оценим, каково же влияние посторонних шумов на датчики в отсутствии и при наличии полезного сигнала (на рис. 6 приведен весь воспринимаемый частотный диапазон, в данном случае анализ в узких частотных полосах не производится, спектр рис. 7 приведен в более детальном виде).

Для очистки спектра сигнала, полученного с сейсмо датчика, от помехи 50 Гц и ее гармоник воспользуемся программой, реализующей алгоритм адаптивной фильтрации, входящей в комплект ZETLab (при адаптации с обратной связью автоматически вносятся коррекции в алгоритм с целью оптимизации параметров функционирования системы [3]).

Выбор частот среза полосовых фильтров, обеспечивающих фильтрацию частот, не имеющих отношения к полезному сигналу.

Изучив спектр полезного сиг-

³ Уровень первичных преобразователей.

нала (рис. 6) можно увидеть, что максимальный энергетический вклад в сигнал вносят волны, находящиеся внутри частотного диапазона 10...100 Гц, ограничение по верхней частоте связано с быстрым затуханием волны колебаний грунта (то есть поглощение волны). Ограничение по низким частотам связано с длинами волн, и расстоянием, на котором мы производим измерения. Допустим, охраняемый периметр – 500x500 м, скорость распространения волны в грунте (песчаноземляная смесь) приблизительно $v = 1000$ м/с (реально, скорость волны может изменяться в зависимости от качества грунта), длина волны $\lambda = v/\nu$, следовательно, волна с частотой $\nu = 0,1$ Гц будет иметь длину 10 км, что явно, излишне для 500-метровой зоны. Естественно, такого рода волны будут вносить негативный вклад в исследуемый сигнал. В то же время, волна с частотой $\nu = 10$ Гц соответствует 100 м, что вполне допустимо.

Оценим, каков выигрыш сигнала, прошедшего цифровую обработку ZETLab по сравнению с первоначальным сигналом.

Дисперсия в сигнале до обработки составляет 1 мВ, после обработки 0,2 мВ, разница в 5 раз (или $20 \lg 5 = 14$ дБ), что более чем существенно.

И только теперь, применяя формулу корреляционного анализа

$$B_{12}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s_1(t) s_2(t - \tau) dt,$$

можно получить адекватный результат, по которому приблизительно оценивается направление на источник вибрации. Функция взаимной корреляции между двумя сейсмодатчиками представлена на рис. 9, где линией обозначен корреляционный пик, возможно этот пик возник по причине воздействия на грунт искомого объекта, однако на данном этапе проверить это не представляется возможным.

Этап №3. Предположим, что временная задержка, соответствующая максимальному корреляционному пику, в пересчете на расстояние действительно даст координату источника вибрации. Произведем пересчет временной задержки в координату вдоль прямой между датчиками. Однако не стоит забывать о том, что взаимная корреляционная функция показывает лишь разность прихода волны на два пункта регистрации. И если смотреть распо-

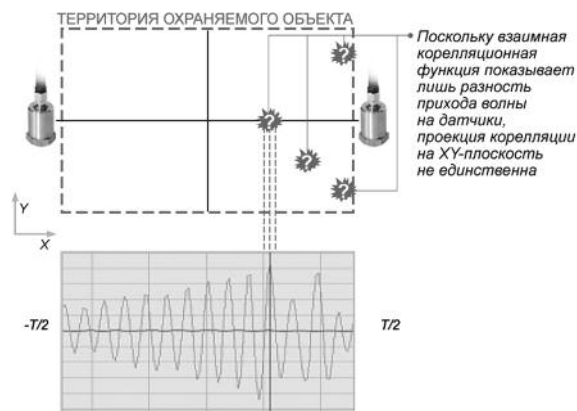


Рис. 9. Функция взаимной корреляции между двумя датчиками

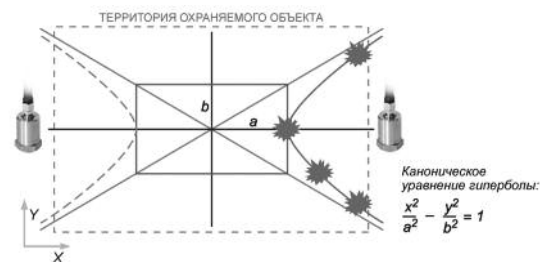


Рис. 10. Область равновероятностных координат источника вибрации описывается уравнением гиперболы

ложение возможных координат относительно друг друга, то они описываются уравнением гиперболы (рис. 10). Именно поэтому подобную задачу нельзя решать, используя только два датчика, но для получения удовлетворительного решения достаточно трех датчиков, в схеме примера введено четыре датчика, что позволяет рассматривать шесть корреляционных пар, и существенно повышает достоверность определения координат. Далее отсчеты корреляционных функций от каждой пары датчиков с соответствующей временной задержкой методом обратных проекций сопоставляется каждой точке заданной XY плоскости – формируется двумерный массив. Каждый элемент массива соответствует определенной зоне охраняемого периметра и содержит "энергетический вклад" данной зоны в общий уровень шума. Подобный расчет двумерного массива происходит для каждой корреляционной пары и

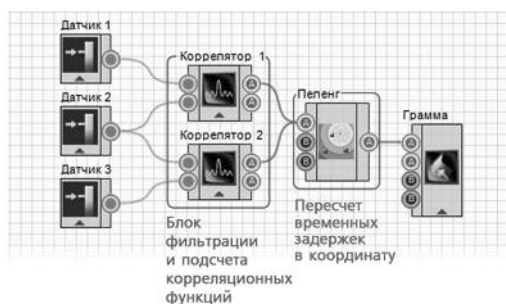


Рис. 11. Функциональная блок-схема алгоритма локализации

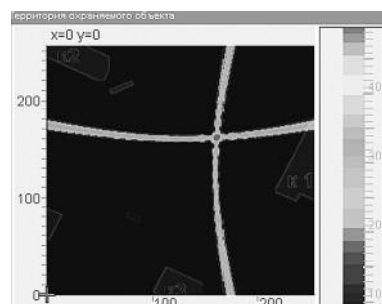


Рис. 12. Результат работы алгоритма локализации (от трёх датчиков и двух корреляционных функций)

суммируется с предыдущими массивами. Результатом работы алгоритма является графическое отображение (ХУГрамма), на котором постепенно проявляется место, соответствующее координате воздействия источника шума на грунт охраняемого периметра. Функциональная схема эксперимента представлена на рис. 11, а результат работы описанного алгоритма – на рис. 12.

Полученный алгоритм основан на фильтрации помех, накоплении "энергии", полученной от каждой токи пространства, и ее представлении. В отличие от традиционных методов определения пеленга объекта, настоящий алгоритм учитывает воздействие всех значений корреляционной функции, поскольку в действительности Δt максимального корреляционного пика не

соответствует временной задержке прихода сейсмической волны на датчики от искомого объекта. Благодаря отсутствию привязки к какому-то определенному корреляционному пику данный метод обладает преимуществом слежения сразу за несколькими целями, что в решении реальных задач локации очень важно.

Таким образом, основными преимуществами настоящей системы, построенной на программно-аппаратном комплексе ZETLab, являются: высокая чувствительность, быстрое время локализации, точное определение координат, обеспечение слежения над несколькими объектами, высокая степень достоверности, высокая степень автоматизации процесса, обнаружение в масштабе РВ.

В статье была использована следующая литература:

1. Грибунин В.Г. Глоссарий по цифровой обработке сигналов. АВТЭК. СПб: Питер 2003.
2. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. СПб: Питер 2003.
3. Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов. М.: Радио и связь. 1989.
4. http://ru.wikipedia.org/wiki/Виртуальный_прибор

Опубликовано в...

№6, 2010

Автор статьи:

*Красовский Андрей Александрович – технический консультант
ЗАО "Электронные технологии и метрологические системы"*

Виртуальная лаборатория ZETLab на примере построения распределенной системы управления виброиспытаниями в учебной лаборатории

Перед учебными лабораториями ВУЗов, обучающими технических специалистов, нередко возникает задача проведения лабораторных исследований с применением дорогостоящей аппаратуры, присутствующей на кафедре в единственном экземпляре. Так же нередки случаи, когда необходимо проводить сеанс одновременных групповых лабораторных занятий с использованием одних и тех же данных. Либо может возникнуть необходимость соблюдения некоторых условий эксперимента, связанная с громоздкостью и сложностью подготовительных работ, например, преподаватель включает аппаратуру и проводит необходимые настройки, а студенты начинают обработку данных, поступающих на их АРМ (рис. 1).

Подобные задачи возникают при обучении специалистов различных специальностей:

- разработчиков систем автоматического управления, например, при исследовании как существующих методов и алгоритмов по цифровой обработке сигналов, так и при разработке совершенно новых;
- специалистов в области эксплуатации СУ: диагностика и ремонт автомобильной, сельскохозяйственной техники; железнодорожного транспорта; промышленных механизмов.

Задачи подобного рода могут быть решены с применением аппаратно-программного комплекса (АПК) ZETLab. Подчеркнем, что возможность создания подобной распределенной системы, работающей с одним

и тем же набором данных, является отличительной и очень востребованной особенностью АПК ZETLab.

Среди прочих достоинств АПК ZETLab отметим наличие множества готовых программных модулей (>100 ед.) по цифровой обработке сигналов как в РВ, так и в режиме постобработки в различных областях человеческой деятельности. Кроме того, в АПК разработан универсальный механизм доступа к данным, поддерживающийся многими современными объектноориентированными языками программирования в таких средах, как Visual Studio (C++, C#, VB6, VB.Net), Builder, Delphi, LabView, что позволяет использовать ZETLab и при проектировании своих собственных алгоритмов или методов.

В общем случае ZETLab – это универсальный измеритель: интеллектуальное устройство с функциональностью АЦП/ЦАП, имеющее интерфейс с ПК (каждое устройство поддерживает одну из следующих опций USB, Ethernet, WiFi, Bluetooth, RS232/485 и пр.).

Как известно, любой датчик преобразовывает контролируемую величину в электрический сигнал (возможно и в оптический, пневматический), удобный для измерения, передачи, преобразования, хранения и регистрации информации о состоянии объекта измерений. То есть сигнал с датчика, пропорциональный воздействию какой-либо физической величины на сам датчик, считывается АЦП аппаратной части комплекса ZETLab. Далее, сигнал, но уже в цифровом виде поступает на ПК и может быть использован в соответствии с выбранным пользователем алгоритмом функционирования.

Таким образом, ZETLab – это "виртуальная лаборатория", в качестве измерительной части использующая реально существующую аппаратуру (АЦП или более сложный прибор – анализатор спектра), а для регистрации, обработки и выработки управляющего воздействия применяющая идеологию виртуальных приборов (вольтметр, амперметр, осциллограф, анализатор спектра, ПИДрегулятор и пр.). В АПК поддерживается функциональность распределенной системы управления (PCY), то есть проектируемая АСУТП должна характеризоваться наличием распределенной системы ввода/вывода и децентрализованной обработкой данных. Требования к современной PCY: отказоустойчивость и безопасность, простота разработки и



Рис. 1. Функциональная схема распределенной системы автоматического управления и контроля в лаборатории ВУЗа



Рис. 2. Схема прохождения данных от датчика до верхнего оператора АРМ в лаборатории вибродиагностики

конфигурирования, поддержка территориально-распределенной архитектуры, единая конфигурационная БД, развитый ЧМИ.

Рассмотрим в качестве типичного примера использование ZETLab для создания распределенной испытательной лаборатории вибродиагностики (рис. 2) в изучении методов и алгоритмов, решающих задачи неразрушающего контроля (контроль свойств и параметров объекта, при котором не должна быть нарушена пригодность объекта к использованию и эксплуатации).

В лабораторной комнате представлен всего лишь один комплект измерительной аппаратуры, включающий вибростенд, усилитель сигнала и измеритель вибрации (аналогоцифровой преобразователь – анализатор спектра и комплект вибродатчиков), используемый так же, как система управления виброиспытаниями. Данные измерительной аппаратуры передаются на индивидуальные АРМ, соединенные с измерителем при помощи промышленного Ethernet, что дает возможность использования аппаратуры на значительных расстояниях. Далее студенты (разработчики АСУ или системные инженеры) проектируют свои собственные алгоритмы обработки полученной информации или выполняют лабораторное задание.

Функциональность каждого из студенческих АРМов может быть различной. На базовой станции (ПК) основного рабочего места реализуется функциональность системы управления виброиспытаниями, работающая по различным алгоритмам:

- **широкополосная случайная вибрация (ШСВ).** Цель испытания – определение способности изделий, элементов и аппаратуры выдерживать воздействие случайной вибрации заданной степени жесткости, а

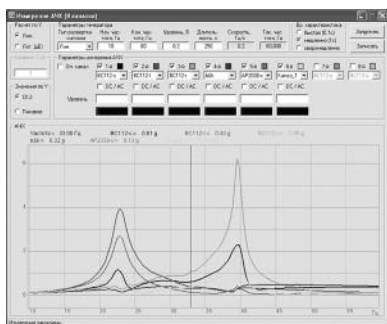


Рис. 3. Пример программного модуля ZETLab: снятие АЧХ исследуемого образца

также выявление возможных механических повреждений и/или ухудшения заданных характеристик изделия для решения вопроса о пригодности образца. Во время испытания образец подвергают воздействию случайной вибрации с заданным уровнем в пределах широкой полосы частот. Вследствие сложной механической реакции образца и его крепления это испытание требует особой тщательности при его подготовке и проведении;

- **синусоидальная вибрация на фиксированных частотах.** Цель испытания – выявление механических дефектов и/или ухудшения заданных характеристик, а также сопоставление полученных результатов с требованиями соответствующей технической документации для определения степени годности элементов, аппаратуры и других изделий (далее – образца) к воздействию вибрации заданной степени жесткости. В некоторых случаях это испытание может быть использовано для определения конструктивной прочности образцов и/или изучения их динамических характеристик. Кроме того, на основе степеней жесткости может быть проведена классификация элементов по различным категориям;
- **синусоидальная вибрация методом качания частоты;**
- **широкополосная случайная вибрация с наложением синусоиды;**
- **ударное воздействие (классический удар, виброудар);**
- **имитация воздействия стрелковопушечного вооружения (СПВ).**

На вспомогательных рабочих местах (ПК) студенты могут реализовывать произвольные алгоритмы обработки полученных с вибропреобразователей (датчиков) данные, не нарушая работу системы в целом:

- модальный анализ, используемый для определения резонансных характеристик вибростендов, крепежных оснасток и изделий методом ударного возбуждения;

- алгоритм снятия амплитудночастотных характеристик (АЧХ) (рис. 3);
- алгоритм снятия фазочастотных характеристик (ФЧХ);
- алгоритм отображения профиля виброиспытаний (осциллографирование);
- реализация самописца сигналов, по разным критериям (частота, амплитуда, фаза, СКЗ, СКО, математическое ожидание сигнала и т.д.);
- алгоритмы, использующие разнообразные методы цифровой обработки сигналов: спектральный анализ, например, при помощи дискретного или быстрого преобразования Фурье, а также корреляционный анализ и т.д. Существенно, что каждый из перечисленных выше алгоритмов может быть реализован двумя способами: с применением уже написанных программных модулей в случае изучения свойств контролируемого объекта, но также и с применением программирования, в случае, например, изучения основ цифровой обработки сигналов.

Таким образом, используя ZETLab можно получить гибкую и масштабируемую PCY с минимальными затратами. ZETLab используется как система сбора и обработки данных от устройств, подключенных к ПК (анализаторы спектра, платы АЦП/ЦАП, мультиметры), и как система управления. За счет использования коммутации базовой станции и АРМ по средствам промышленной сети Ethernet возможно подключение системы не только к локальной сети, но и интеграция с глобальной сетью Internet, и при необходимости наблюдение за работой системы удаленно. А используя WiFi концентраторы можно создать беспроводное соединение с устройствами в случае невозможности или при неудобстве организации проводной линии связи с измерителем.

Испытательные стенды, по функциональности аналогичные разработке, описанной в статье, и созданные на базе АПК ZETLab, успешно функционируют во многих крупнейших учебных и научно-исследовательских институтах, например, во Всероссийском научно-исследовательском институте физических и радиотехнических измерений, Институте космических исследований РАН, Научно-исследовательском институте железнодорожного транспорта, Московском государственном университете путей сообщения и других, а так же на многих предприятиях военно-промышленного комплекса и стратегического назначения.

Управление движением и позиционированием шагового двигателя с применением программного обеспечения ZETView

В современном мире системы автоматического управления и контроля применяются практически везде, сложно найти область человеческой деятельности, в которой нет необходимости автоматизировать тот или иной процесс. В области управления движением, перемещением и позиционированием можно выделить множество объектов исследования, к каждому из которых требуется свой подход, например, управление скоростью вращения электрических приводов, точное позиционирование якоря шаговых двигателей с целью применения в точных системах автоматики и др.

В связи с обширными интересами специалистов в области управления движением шаговых двигателей и их точным позиционированием рассмотрим задачу создания универсальной модульной системы, которая могла бы задавать различные режимы работы двигателя и воздействовать на него через организованные обратные связи на основе аппаратного и программного обеспечения ZETLab и ZETView (рис. 1).

Для сбора информации с объекта используются различные датчики, которые воспринимают внешнее воздействие и в качестве выходного значения выдают электрический потенциал, поступающий на модуль сбора данных. Последний представляет собой непростое устройство, состоящее из: кодека, выполняющего предварительную обработку сигнала, и АЦП. Данные в цифровом виде передаются в цифровой сигнальный процессор и в линию связи для последующей математической обработки. Прохождение сигналов и координация работы модуля сбора данных обеспечивается встроенным микроконтроллером. Сигналы модуля сбора данных по линии передачи данных поступают в блок управ-

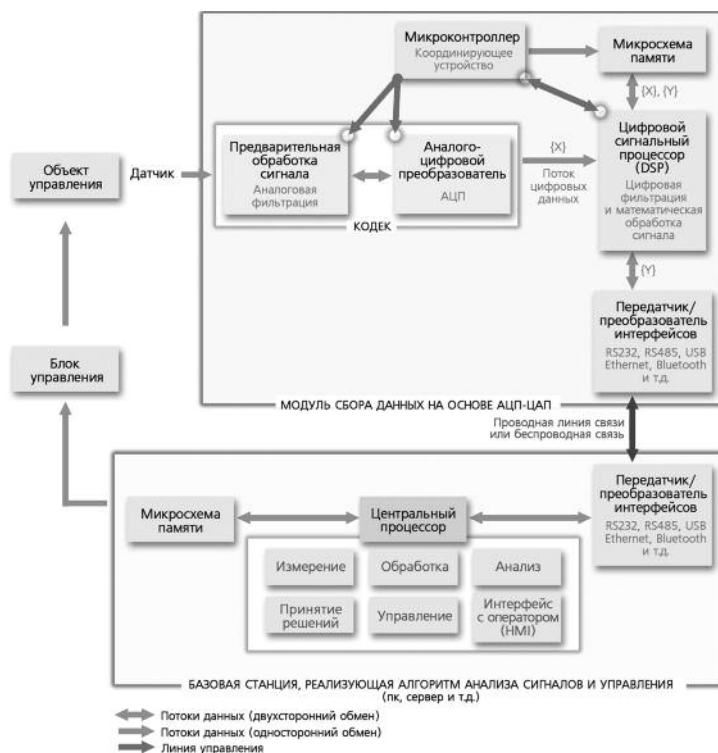


Рис. 1. Общая схема универсальной измерительной и управляющей системы

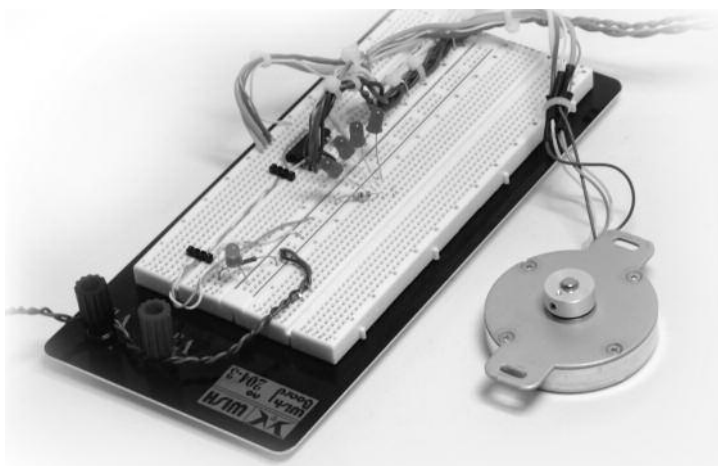


Рис. 2. Общий вид системы управления шаговым двигателем

ления. В качестве основных линий передачи данных могут использоваться следующие шины: RS 232/485, USB, Ethernet, Bluetooth, WiFi и др.

Вся последующая математическая обработка сигналов производится в блоке управления на микроконтроллере или обычном ПК. Именно здесь происходит программная реализация алгоритма управления и последующая выработка управляющего на объект управления.

Для создания системы управления в качестве объекта управления будет использован шаговый двигатель фирмы Sankyo типа MSJE200A53, который является униполярным шаговым двигателем с постоянными магнитами, имеющим две независимые обмотки и 5 выводов от них. Поскольку схема должна иметь четыре простых ключа, которые должны подавать напряжение питания на концы обмоток электродвигателя, то достаточно использовать интегральную микросхему типа ULN2003, состоящую из набора мощных составных ключей с защитными диодами на выходе. Наличие защитных диодов в микросхеме ULN2003 позволит подключать индуктивные нагрузки без дополнительной защиты от выбросов обратного напряжения.

Для подачи управляющих импульсов на 1...4 входы микросхемы, воспользуемся модулем АЦП-ЦАП ZET210, имеющим также цифровой порт. Выходы цифрового порта ZET210 соответствуют стандарту TTL 3.3 В, что вполне достаточно для переключения ключей управления при питании электродвигателя и микросхемы ULN2003 напряжением 12 В. Схема системы управления шаговым двигателем представлена на рис. 3.

Для системы управления шаговым двигателем могут использоваться датчики:

- потенциометр – в качестве датчика положения магнитных полюсов шагового двигателя (анализируя показания потенциометра можно управлять шаговым двигателем с высокой точностью);
- датчик оборотов – в качестве датчика слежения за числом оборотов, совершенным шаговым двигателем при работе в непрерывном режиме вращения.

Большой динамический диапазон входных каналов ZET210 освобождает пользователя от переключения коэффициентов усиления, что может понадобиться при подключении различных типов датчиков. Модуль функционирует в режиме непрерывного ввода/вывода аналоговых и цифровых сигналов в память ПК с возможностью цифровой обработки сигналов. Оцифровы-

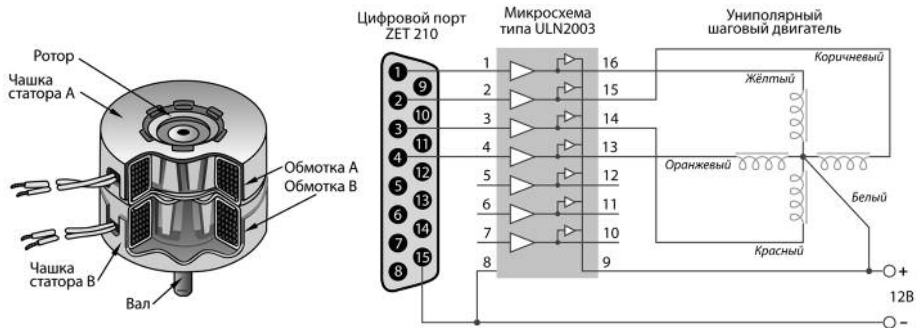


Рис. 3. Схема системы управления шаговым двигателем

вание выбранных каналов происходит последовательной коммутацией ключей с использованием одного АЦП. В модуле используется АЦП последовательного приближения. Модуль АЦП предназначен для оцифровки сигналов постоянного уровня и переменного напряжения. К одному компьютеру можно подключать несколько различных модулей АЦП-ЦАП, что позволяет создавать мобильные измерительные комплексы.

В качестве программной составляющей проекта будем использовать SCADA-систему ZETView – высокоэффективную среду графического программирования, в которой можно создавать гибкие и масштабируемые приложения измерений, управления и тестирования с минимальными временными и финансовыми затратами. SCADA-система ZETView используется для сбора и обработки данных от устройств, подключенных к ПК (анализаторы спектра, платы АЦП-ЦАП, мультиметры). Также система предназначена для автоматизации управления ТП.

Для реализации алгоритма управления шаговым двигателем при помощи программных блоков ZETView создается проект для управления устройством, в котором имеется возможность задавать режимы вращения вала, изменять скорость движения, а также делать реверс. Использование SCADA позволяет пользователю

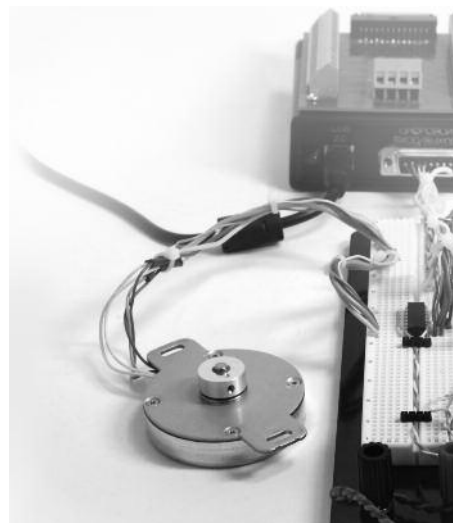


Рис. 4. Общий вид системы управления шаговым двигателем

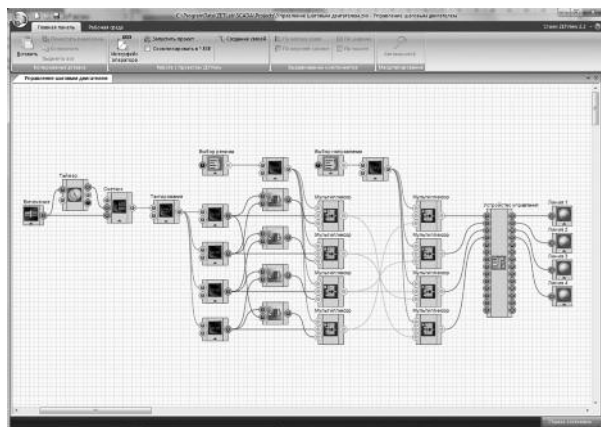


Рис. 5. Схема универсальной измерительной и управляющей системы

редактировать как логику автоматизации процесса измерения и управления, так и внешний вид оператора, для адаптации под себя, если это необходимо.

Логическая схема работы системы управления, перенесенная на SCADA-проект "Управление шаговым двигателем" состоит из различных блоков, соединенных между собой линиями связи. Ключевым блоком в схеме является "Устройство управления", которое организует связь между пользователем, задающим управляющие воздействия и объектом. Реализованная схема представлена на рис. 4.

В проект входят несколько типов блоков:

- управления, через которые оператор задает управляющие воздействия (начало работы, выбор на-

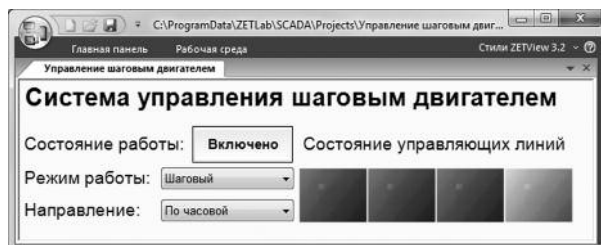


Рис. 6. Пользовательский интерфейс системы управления шаговым двигателем в SCADA-системе ZETView

правления вращения, скорости вращения, режима вращения и т.д.);

- индикации, используемые для отображения различных состояний процесса;
- математической и логической обработки – промежуточные вспомогательные элементы, через которые реализуются алгоритмы управления;
- аппаратной привязки – элементы, через которые происходит связь с аппаратным обеспечением системы (цифровые порты, измерительные каналы, каналы цифроаналоговых преобразователей и т.д.).

Последним шагом перед эксплуатацией системы является настройка пользовательского интерфейса. Пользовательский интерфейс, заложенный в предлагаемой программе управления, изображен на рис. 5. У оператора есть возможность запуска алгоритма управления шаговым двигателем при помощи соответствующей кнопки, выбора направления движения вала, режима вращения при помощи комбинированных списков, а также просмотра состояния линий управляющего устройства (модуля управления – цифрового порта ZET210) через индикаторы.

В SCADA-системе ZETView существует множество инструментов для расширения и наращивания существующей программы управления шаговым двигателем. Конечный пользователь может дополнить логику работы системы управления и организовать удобный интерфейс. Широкое применение реализованной системы управления можно обозначить, например, в машинах и механизмах, работающих в стартстоповом режиме, или в приводах непрерывного движения, используемых для автоматизации ТП, в том числе в электронной промышленности. В тоже время, за счет наличия обратной связи можно реализовывать различные алгоритмы управления, например ПИД-регулирование.

Виртуальные измерительные приборы

Концепция виртуальных приборов

Времена, когда измерительные системы состояли из множества приборов и занимали целые лаборатории, уходят в прошлое. Мощности и доступности современных компьютеров позволяют использовать их для реализации алгоритмов, заложенных в традиционных приборах. Таким образом, роль измерительного устройства сводится к оцифровке сигналов, а их обработка и вывод результатов на экран осуществляется программными средствами (рис. 1 и 2).

Преимущества виртуальных приборов

Поскольку функциональные характеристики системы, построенной на базе виртуальных приборов, определяются программным обеспечением, простая плата АЦП/ЦАП может быть одновременно и вольтметром, и осциллографом, и генератором, и тензометром и каким угодно другим прибором (рис 3), экономя рабочее пространство и средства пользователя.

Применение модулей АЦП/ЦАП и ноутбуков с программным обеспечением, эквивалентных целой измерительной лаборатории, значительно расширило возможности измерений в полевых условиях.

Использование технологии беспроводной связи между оцифровщиком данных и компьютером позволяет проводить измерения на подвижных элементах конструкции. Например, комплект плата АЦП-ЦАП + модуль Wi-Fi или Bluetooth устанавливается на подвижной части (на крутящемся валу медленно вращающейся турбины, на автомобиле), а ПК устанавливается на расстояние до 500 м (в зависимости от поставляемой антенны) на неподвижный участок.



Рис. 1. Структурная схема автономного измерительного устройства



Рис. 2. Структурная схема виртуального прибора

Оцифровка сигналов может проводиться в автономном режиме с записью на флэш-накопитель, а обработка — после перенесения записанных сигналов на ПК. Помимо собственно значений сигнала могут записываться, например, координаты расположения устройства. При использовании программ картографии можно воссоздать траекторию движения объекта в процессе эксперимента, наблюдая одновременно положение объекта и его параметры в каждый отсчёт времени.

Разделение аппаратных и программных ресурсов позволило строить распределённые измерительные системы. В узлах сбора данных располагаются платы АЦП/ЦАП, которые подключаются к компьютеру по линиям Ethernet (рис. 4). С синхронизацией устройств по GPS и/или ГЛОНАСС сигналы от всех плат поступают в компьютер единым потоком и обрабатываются одновременно.

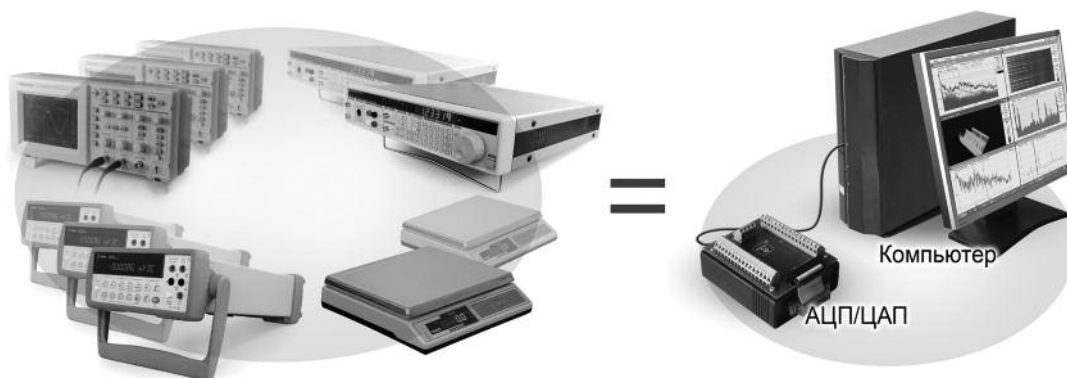


Рис. 3. Замена реальных приборов виртуальными

Развитие концепции виртуальных приборов открыло новый этап в создании автоматизированных систем. Использование объектно-ориентированных прикладных программных средств позволяет создавать уникальные приложения с системой анализа и сценариями работы не только программистами, а, например, технологами.

Таким образом, можно выделить следующие преимущества виртуальных приборов:

- снижение затрат;
- экономия места в лаборатории;
- параллельный анализ множества параметров;
- расширение областей применения: в полевых условиях, измерения на подвижных элементах конструкций, в автономном режиме;
- построение многоканальных распределённых систем;
- упрощение создания автоматизированных систем.

Типы виртуальных приборов

Выбор того или иного виртуального устройства определяется спецификой задачи. По уровню сложности виртуальные приборы можно разделить на 3 категории.

1. Готовое решение определённой задачи – ориентация на простоту использования:
 - АКТАКОМ компании «ЭЛИКС» (Россия);
 - ZETScore ЗАО «ЭТМС» (Россия).
2. Виртуальная лаборатория – ориентация на многофункциональность:
 - WinПОС НПП «МЕРА» (Россия);
 - ZETLab ЗАО «ЭТМС» (Россия).
3. Модули для построения измерительной системы – ориентация на гибкость:
 - LabView фирмы «National Instruments» (США);
 - ZETView ЗАО «ЭТМС» (Россия).

Готовые решения являются эквивалентами традиционных приборов. Интерфейс таких виртуальных приборов максимально приближен к внешнему виду их автономных аналогов, поэтому для работы с ними пользователю достаточно уже имеющихся у него знаний. Недостатком таких систем является отсут-

ствие гибкости, но они просты в настройке и использовании.

Принцип модульного построения измерительной системы предоставляет пользователю максимальную гибкость, предполагая у него при этом некоторую квалификацию в области программирования. Прежде чем приступить к измерениям, необходимо ещё «собрать» виртуальный прибор из предлагаемых блоков. Явным преимуществом такой системы является её полное соответствие потребностям пользователя. Данные виртуальные приборы используются для построения сложных автоматизированных систем управления и сбора данных.

Прежде чем приступать к построению собственной измерительной системы, следует обратить внимание на виртуальные лаборатории, которые включают в себя большинство необходимых приборов, отвечающих принятым стандартам. Имея в распоряжении множество программ, пользователь настраивает систему в соответствии со своими потребностями.

Виртуальные приборы ZETLab

Программное обеспечение ZETLab (рис 5) представляет собой виртуальную лабораторию, состоящую из более 50 приборов. Все приборы разделены на группы по назначению: анализ, измерение, отображение, генераторы и т.д. К различным устройствам АЦП/ЦАП поставляются различные пакеты программы, соответствующих их назначению и характеристикам.

Также программы ZETLab различаются по уровню сложности. Например, вольтметр имеет лишь три опции: переключатель времени усреднения, переход на представление результатов в дБ, переключатель измерения СКЗ или амплитудного значения. В то время как в генераторе реализовано 12 различных типов сигналов, начиная от синусоидальных и импульсных и заканчивая кодами Баркера, каждый из которых имеет свои параметры.

Помимо базовых устройств, таких как вольтметр, генератор и т.п., ZETLab предоставляет мощные средства для обработки сигналов. Одна только про-

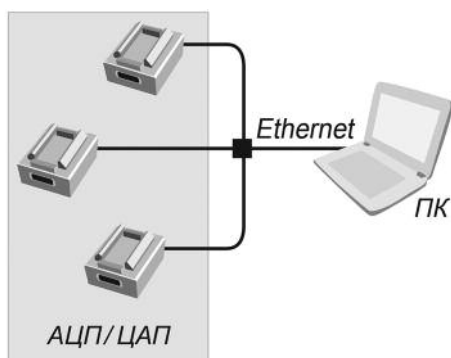


Рис. 4. Структура распределённой системы

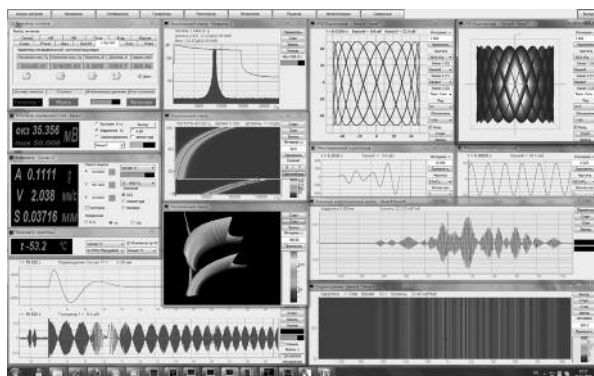


Рис. 5. Виртуальные приборы ZETLab генерации, измерения, отображения и анализа параметров сигналов

грамма ZETФормула реализует десятки математических и измерительных функций, содержит более 20 видов фильтров и позволяет работать как с исходными, так и с обработанными сигналами.

В ZETLab данные могут анализироваться параллельно несколькими программами, кроме того программы могут использовать результат измерений друг друга. Например, сначала может быть подвергнут фильтрации оцифрованный сигнал, после чего произведены вычисления, а конечный результат отображён

на графике в двух- или трёхмерном виде.

В программное обеспечение ZETLab входят также решения, такие как измерение АЧХ с обратной связью, регулятор, обнаружитель событий, которые используют в своей работе результаты измерений одних программ (например, вольтметр, термометр), управляя при этом подключёнными к ПК устройствами с помощью других программ (например, генератор, коммутационный блок).

Опубликовано в...

№2, 2011

Автор статьи:

*Коновалова Татьяна Николаевна — инженер-программист
ЗАО "Электронные технологии и метрологические системы"*

SCADA-система – средство автоматизации процессов измерения, контроля и управления, доступное каждому!

В данной статье рассмотрены преимущества использования SCADA-систем в различных областях применения. Приведены примеры приложений, реализованных в SCADA-системе ZETView (ЗАО «ЭТМС», Россия).

Области применения SCADA-систем

Иностранная аббревиатура «SCADA» всё чаще и чаще встречается на страницах научно-технических журналов, но всё ещё у многих ассоциируется с чем-то сложным и непонятным. Как и всё новое, SCADA-системы вызывают, скорее, праздное любопытство, в то время как они заслуживают пристального внимания, так как несут в себе огромный практический потенциал в области автоматизации. Из-за чего происходит недооценка SCADA-систем?

Начнем с того, что SCADA-система – это инструмент для создания приложений измерений, контроля и управления. Пользователи, обычно ориентированные на получение готового решения, не могут оценить временные и иные затраты, которые отделяют их от конечной цели. Да и трудно определить перспективы, когда «возможно всё». Но на деле всё проще, чем кажется. Переходя от общего к частному, можно выделить несколько областей применения SCADA-систем:

- автоматизация измерений – проведение измерений по заданному алгоритму;

- управление процессами – автоматическое регулирование, непрерывный контроль, организация обратной связи;
- создание уникальных систем – разработка решений «под ключ».

В зависимости от поставленной задачи используются различные средства, но в каждом случае применение SCADA-систем значительно упрощает процесс её решения.

Создание уникальных систем

Когда в голове возникает принципиально новая идея, очевидно, что стандартными средствами не обойтись и нужен универсальный инструмент. SCADA-

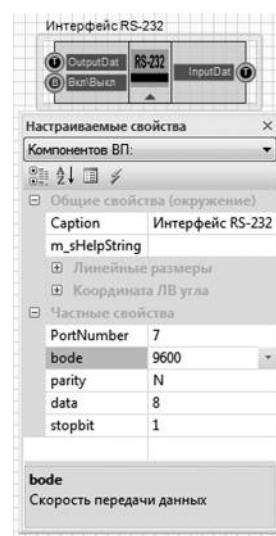


Рис. 1. Настройка связи с контроллером по интерфейсу RS-232



Рис. 2. Структура регулятора

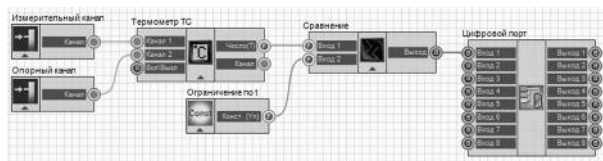


Рис. 3. Построение регулятора в SCADA-системе

системы позволяют реализовать алгоритм любой сложности, поскольку:

- поддерживают различные интерфейсы каналов передачи данных (рис.1 – пример scada-компонента для связи с контроллером по интерфейсу RS-232);
- предоставляют мощные средства обработки сигналов;
- обеспечивают управление практически любыми внешними измерительными приборами, генераторами и источниками питания;
- имеют различные функции для записи и архивирования данных;
- обладают разнообразием средств индикации и отображения.

Созданное приложение будет точно отвечать поставленным целям и соответствовать всем стандартам предприятия. Кроме того, разработчик сам определяет степень гибкости своего проекта, выбирая между универсальностью и простотой.

Управление процессами

SCADA-системы находят применение во множестве областях, но основным назначением остаётся автоматизация процесса сбора данных и управления (SCADA – аббр. от англ. Supervisory Control And Data Acquisition, Диспетчерское управление и сбор данных). [1]

Управление устройствами в автоматическом режиме происходит по следующей схеме: измерение контролируемого параметра, сравнение его с заданной нормой, регулирование (рис. 2). В SCADA-системах подобный регулятор реализуется несколькими scada-компонентами: получение сигнала с измерителя и его обработка, сравнение, управление подключенным устройством (рис. 3).

Измерение параметра может осуществляться с помощью готового scada-компонента (при его наличии) или измерительной схемой, собираемой из scada-компонентов обработки сигналов. Результат может сравниваться не с постоянным значением, а с профилем, задаваемым, например, с помощью текстового файла. Управление возможно с помощью цифрового сигнала, сигнала переменного или постоянного тока.

Для регулирования разных параметров можно ис-

пользовать одну и ту же схему – изменится только измерительный компонент (рис. 4). Таким образом, имея в наличии необходимые аппаратные средства для измерения и управления, на базе SCADA-системы можно создать приложение управления любой сложности.

Подобный scada-проект может не иметь интерфейса оператора и работать полностью в автономном режиме с функцией самописца или без. При необходимости вывода текущих параметров на экран разработчик располагает средствами для отображения результатов измерений в численном, табличном, текстовом, индикаторном или графическом виде (рис.5 – отображение данных в численном и графическом виде).

Автоматизация измерений

Когда речь заходит о SCADA-системах, обычно подчеркивается, что в их среде можно создать решение любой задачи, какой бы сложной она ни была. Но на каждую сложную задачу приходится сотни довольно простых. Взять, к примеру, проверку оборудования.

Ни один производственный процесс не обходится без средств измерений или контроля. Каждое устройство должно периодически подвергаться калибровке, проверке или аттестации. Порядок действий весьма прост. Например, при проверке вольтметра на его вход подаётся напряжение известной величины и сравниваются показания вольтметра с номинальным значением. Измерения проводятся многократно в нескольких точках измерительного диапазона. Реа-

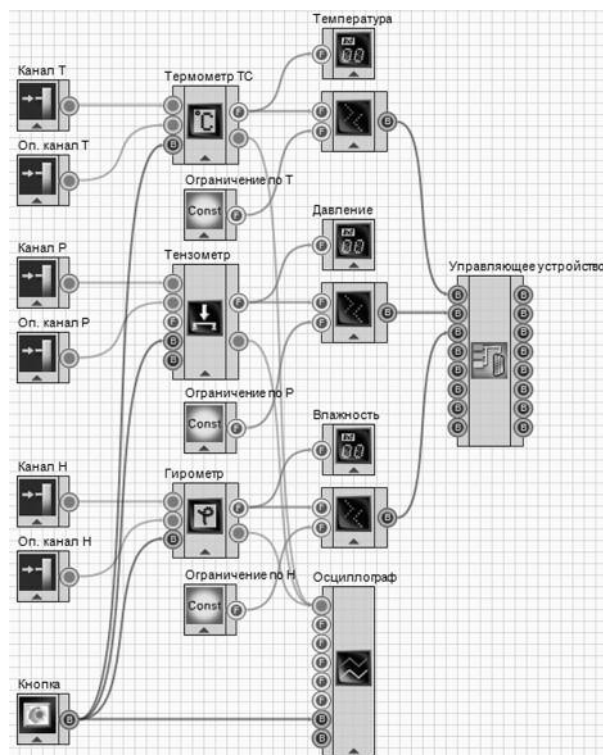


Рис. 4. SCADA-проект «Управление микроклиматом», интерфейс проектирования

лизовав данный алгоритм в SCADA-системе (рис. 6), можно поручить измерения технике.

Автоматизация измерительных процессов сокращает время их проведения в десятки раз и, кроме того, исключает «человеческий фактор», позволяя избежать связанных с ним ошибок.

Заключение

SCADA-системы распахнули двери в мир построения виртуальных приборов каждому пользователю ПК. Теперь не нужно изучать языки программирования и разбираться в тонкостях способов передачи данных. Зная физику процесса, можно собрать измерительную схему из готовых блоков буквально за минуты.

Являясь, по сути, решением практически любой задачи, SCADA-системы не дают конкретного ответа, но предлагают средства для его построения. Любая идея находит свое воплощение в виде изящного решения, точно отвечающего поставленным требова-



Рис. 5. SCADA-проект «Управление микроклиматом», интерфейс оператора

ниям. Измерительная схема, уместающаяся на одном экране, наглядна и проста для понимания.

SCADA-системы не только позволяют решить задачи, для которых не нашлось готового инструмента, но и создать идеальные инструменты для решения любых задач.

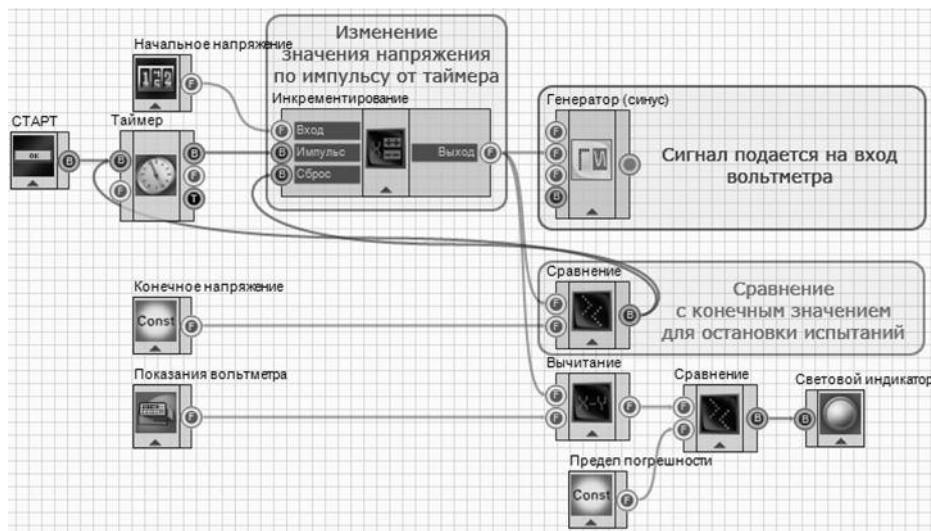


Рис. 6. SCADA-проект «Проверка вольтметра», интерфейс проектирования

В статье была использована следующая литература:
<http://ru.wikipedia.org/wiki/SCADA>

Система мониторинга ширины колеи железнодорожных путей с использованием спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС совместно с инерциальными измерениями ZETLab

Спутниковые навигационные системы – это один из наиболее развивающихся и перспективных видов навигационных систем. Увеличивающаяся точность измерений параметров движения, определения местоположения искомого объекта предопределяет ход развития спутниковой навигации. Увеличивается эффективность использования систем такого рода при интегрировании их в различные измерительные задачи.

Одной из основных сфер применения спутниковой навигации, бесспорно, является спутниковый мониторинг транспорта – система мониторинга подвижных объектов, построенная на основе систем спутниковой навигации, оборудования и технологий сотовой связи и радиосвязи, вычислительной техники и цифровых карт. Спутниковый мониторинг транспорта используется для решения задач транспортной логистики в системах управления перевозками и автоматизированных системах управления автопарком.

Принцип работы заключается в отслеживании и анализе пространственных и временных координат транспортного средства. На транспортном средстве устанавливается мобильный модуль, состоящий из следующих частей: приемник спутниковых сигналов, модули хранения и передачи координатных данных. Полученные данные анализируются и выдаются диспетчеру в текстовом виде или с использованием кар-

тографической информации. Мобильный модуль может быть построен на основе приемников спутникового сигнала, работающих в стандартах ГЛОНАСС.

Однако получаемые с помощью мобильного модуля сигналы со спутников не дают возможности изучать процессы, связанные с небольшими (в пределах 10 см) перемещениями объекта. Кроме того, при перемещении объекта на значительные расстояния, довольно часто требуется определить некоторые динамические характеристики, связанные со скоростью перемещения. В данном аспекте на помощь приходят инерциальные измерения, которые позволяют получать информацию с высокой частотой независимо от внешних источников информации. Одними из самых популярных инерциальных измерителей являются акселерометры.

Акселерометр – прибор, измеряющий постоянную составляющую ускорения движения объекта. Современные акселерометры позволяют измерять ускорение сразу в трех плоскостях. Акселерометр может применяться как для измерения проекций абсолютного линейного ускорения, так и для косвенных измерений проекции гравитационного ускорения. Последнее свойство используется для создания инклинометров. Акселерометры входят в состав инерциальных навигационных систем, где полученные с их помо-

щью измерения интегрируют, получая инерциальную скорость и координаты носителя. В предложенной системе используются акселерометры BC 201, которые являются ёмкостными акселерометрами и могут использоваться как датчики линейных ускорений и датчики перемещений, поскольку измеряют не только переменную, но и постоянную составляющую сигнала ускорения. Акселерометр BC 201 хорошо подходит для точных инерциальных измерений. В сочетании с модулем аналого-цифрового преобразователя ZET 220, оснащён-



Рис. 1. Акселерометр BC201



Рис. 2. Подключение BC 201 к модулю АЦП/ЦАП

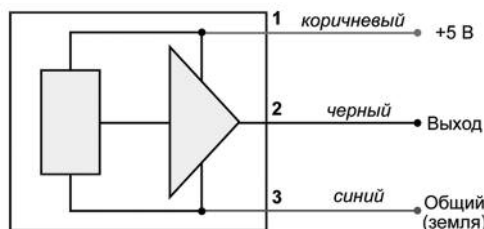


Рис. 3. Подключение BC 201 к модулю АЦП/ЦАП

ным активной антенной и приемником ГЛОНАСС, датчик ВС 201 составляет достаточно компактную и многофункциональную систему. Подключение модуля ZET 220 к персональному компьютеру (ноутбуку) с последующим обменом с ним полученными данными, а также возможность автономной работы платы аналого-цифрового преобразователя с записью сигнала на встроенный накопитель при питании от аккумулятора делают рассматриваемую систему универсальной.

Для проверки отклонения ширины колеи железнодорожных путей на соответствие допустимым нормам используется система, состоящая из одного или более аналого-цифровых преобразователей ZET 220, оснащенных приемником ГЛОНАСС, и двух или более акселерометров. На рамы вагонных тележек надежно устанавливаются датчики ВС 201 (по одному на каждую тележку) в горизонтальном положении перпендикулярно направлению движения состава. Далее датчики подключаются к соответствующим модулям ZET 220. Для связи со спутниками ГЛОНАСС на открытых участках вагонных тележек закрепляются активные антенны, выходы которых подключаются к соответствующим входам модулей ZET 220. Описанная схема подключения отображена на рисунке 4.

Сущность метода, которым определяется наличие отклонений ширины железнодорожной колеи на отдельных участках пути, заключается в измерении поперечного движения ускорения катящейся по рельсам вагонной тележки. Из-за того, что ширина колеи на всем своем протяжении неодинакова и может изменяться в силу различных причин, то при движении по рельсам каждый вагон имеет степень свободы в поперечном направлении, а следовательно, и свою траекторию качения по рельсам. На рисунке 5 изображены несколько вариантов движения по рельсам. Каждый из них представляет собой движение по участку, имеющему криволинейные фрагменты с очень большими радиусами кривизны (см рис. 6). При этом возникают центростремительные ускорения, определяемые по формуле:

$$a=v^2/r$$

где v – скорость движения, r – радиус кривизны.

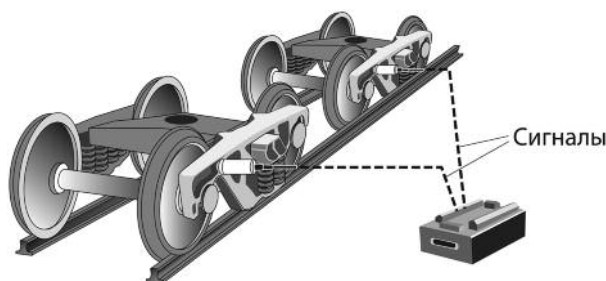


Рис. 4. Схема подключения для системы мониторинга отклонения ширины колеи железнодорожных путей

При движении по криволинейным участкам происходит смещение каждого вагона относительно идеальной прямолинейной траектории на определенную величину. А поскольку эта величина в каждый момент времени непостоянна, то возникает ускорение в поперечном направлении, которое и измеряется при помощи акселерометров.

Измеренный аналоговый сигнал оцифровывается с помощью модуля ZET 220, в основе которого лежат методы аналого-цифрового преобразования, и в цифровом виде информация передается на вычислительный комплекс (например, персональный компьютер) для последующей обработки. Постобработка полученного сигнала ускорения заключается в применении математического аппарата, а именно: подсчитав интеграл исходного сигнала ускорения мы получим скорость движения тележки в поперечном направлении, а проинтегрировав исходный сигнал дважды, получим ее относительное перемещение на железнодорожном полотне влево или вправо. Одновременно с обработкой аналогового сигнала осуществляется прием информации со спутников ГЛОНАСС для фиксации таких параметров как текущее время, координата места нахождения состава и скорость движения состава. Принцип работы системы мониторинга представлен на рисунке 7.

Основой для расчетов наличия неравномерности ширины железнодорожной колеи является полученное в итоге относительное перемещение вагонной тележки вправо и влево. Поскольку датчики закреплены в перпендикулярном направлению движения состава направлении, то в тех местах, где железнодорожное полотно будет делать изгибы, акселерометры будут фиксировать центростремительное ускорение тележки, а следовательно, и наличие относительного перемещения. Поэтому в системе используются два или более датчика, чтобы производить дифференциальные измерения.

Итак, в системе установлены два акселерометра. Поскольку датчики одинаково ориентированы для измерений, можно считать, что на все воздействия на движущийся состав, вызванные изменением траектории движения поезда, они будут воспринимать одинаково, но с некоторой временной задержкой. Эта задержка равна времени прохождения поездом расстояния, на котором

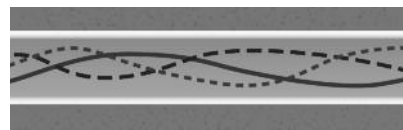


Рис. 5. Варианты движения колес вагонов состава по рельсам

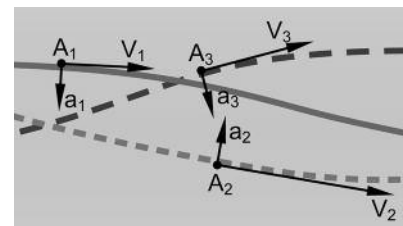
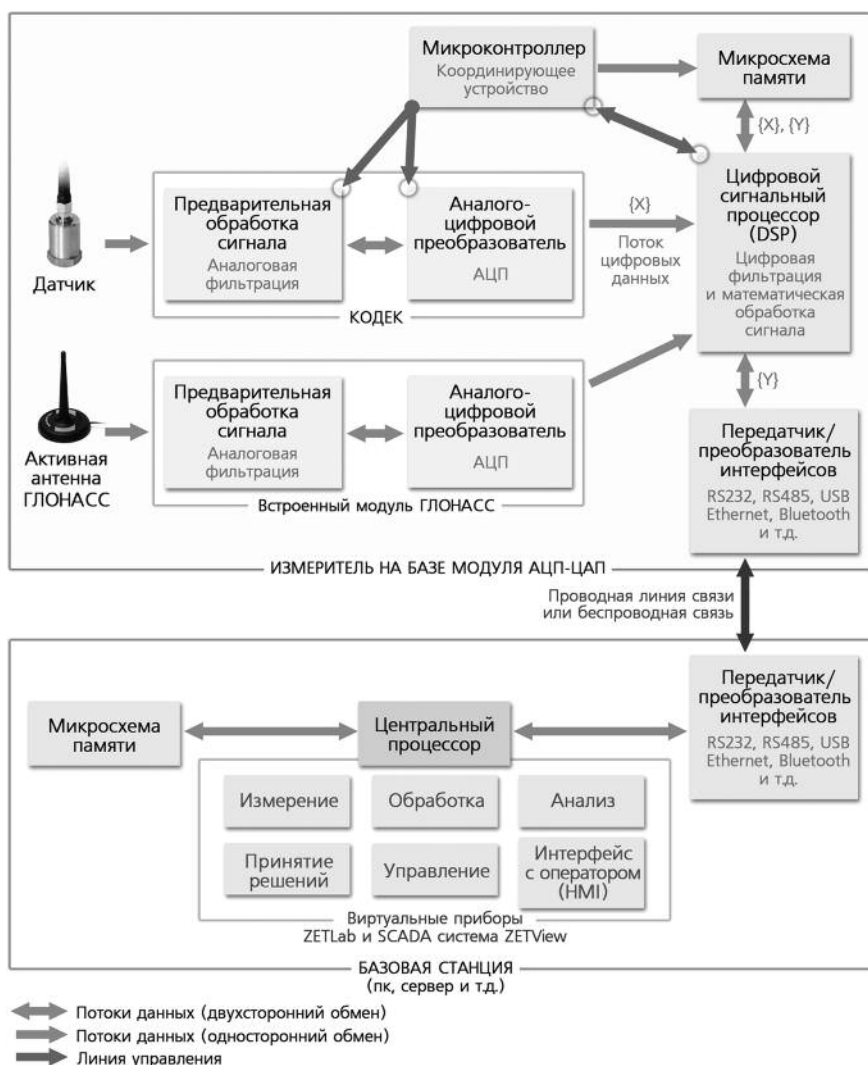


Рис. 6. Фрагменты криволинейных участков движения колес вагонов по рельсам

находятся датчики. Тогда, зная расстояние между акселерометрами и зная скорость движения состава от спутников ГЛОНАСС, можно посчитать время задержки. Далее используется математический аппарат вычислительного комплекса: полученные сигналы синхронизируются (через найденную величину времени путем задержки одного из сигналов) и вычитаются друг из друга. Полученный дифференциальный сигнал дважды интегрируется, и в итоге получается отклонение траекторий движения тележек, на которых установлены датчики.

На рисунке 9 изображены зависимости сигналов ускорения, полученные с двух датчиков, от времени. Хорошо видно, что максимум ускорения сигнала с первого датчика выпадает на 9 секунду, а со второго датчика на 12 секунду. При расстоянии между датчиками в 100 метров и движении поезда со скоростью 120 км/ч задерживаем первый сигнал на 3 секунды (см. рис. 10). Далее вычитаем сигналы друг из друга и выполняем двойное интегрирование (см. рис. 11). В итоге получается график относительной неравномерности траекторий движения двух вагонов по железнодорожному полотну. При его детальном анализе оператор может сделать вывод о соответствии ширины колеи определенного участка железной дороги.

Поскольку нулевому уровню сигнала относительной неравномерности траекторий движения соответствует идентичное движение обеих тележек, то судить об отклонении параметра ширины колеи в каждой точке пути можно по измеренному значению переменной составляющей сигнала. При слишком большом зна-



чении этого параметра можно сделать вывод о том, что железнодорожная колея на данном участке имеет расширение, и наоборот, если значение слишком мало, то это говорит о сужении полотна.

С точки зрения эксплуатации такую систему можно представить в ином виде, а именно: в ключе «измерение и моментальное отображение результата» (см. рис. 14).

Представление результатов работы системы мониторинга осуществляется при помощи SCADA-системы ZETView (см. рисунки 12, 13). Использование SCADA позволяет пользователю редактировать как логику автоматизации процесса измерения и управления, так и внешний вид оператора, для адаптации под себя, если это необходимо.

С точки зрения оператора система представляет графики зависимости сигнала относительной неравномерности перемещения вагонных тележек в поперечном направлении от текущего времени и от пройденного пути. При таком подходе оператор всегда сможет определить, на каком участке железнодорожной магистрали происходили отклонения ширины колеи от допустимого размера. Для представления графиков используются данные, получаемые от спутников ГЛОНАСС, а именно мировое время и текущие координаты местоположения подвижного состава, которые для более удобного представления пересчитываются в пройденное от начальной точки расстояние.

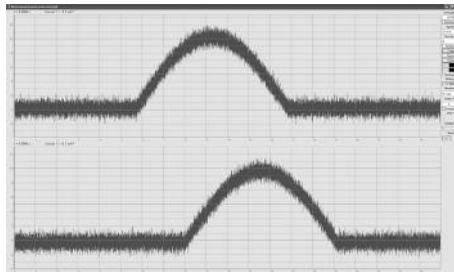


Рис. 9. Сигналы ускорения с датчиков (зависимость от времени)

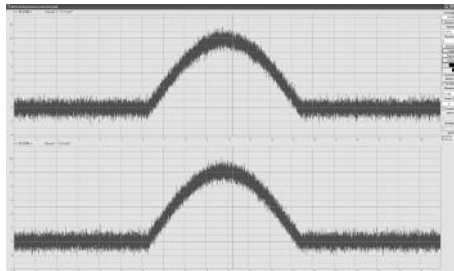


Рис. 10. Синхронизированные сигналы ускорения с датчиков (зависимость от времени)

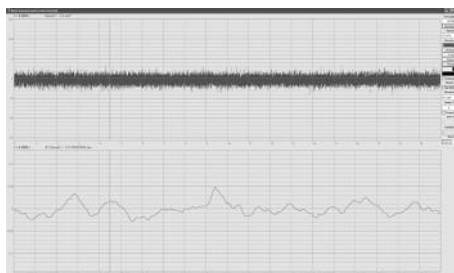


Рис. 11. Разность сигналов ускорения с двух датчиков (график сверху) и сигнал относительной неравномерности траекторий движения двух вагонов (график снизу)

Чтобы составить более четкую картину по исследуемому маршруту, предлагается провести несколько измерений при движении состава, как в прямом, так и в обратном направлении. Набранная статистика дает наиболее четкие представления о состоянии полотна на каждом участке маршрута.

Увеличение количества измерительных датчиков способствует значительному повышению точности всей системы, поскольку дает возможность анализировать несколько пар сигналов с акселерометров за один выезд.

В статье была использована следующая литература:

1. Савант С.Д. "Принципы инерциальной навигации", пер. с англ., под ред. В. А. Боднера;
2. Степанов О.А. "Интегрированные инерциально-спутниковые системы навигации".

Система мониторинга ширины колеи ж/д путей

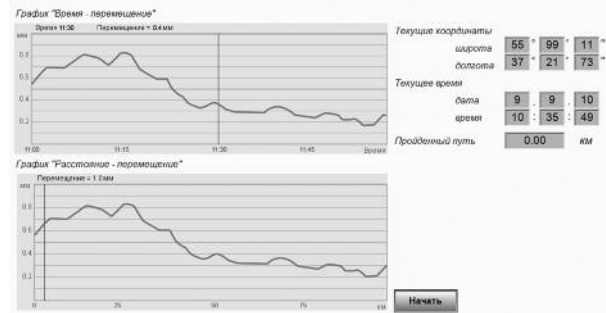


Рис. 12. SCADA-проект ZETView системы мониторинга (режим проектирования)

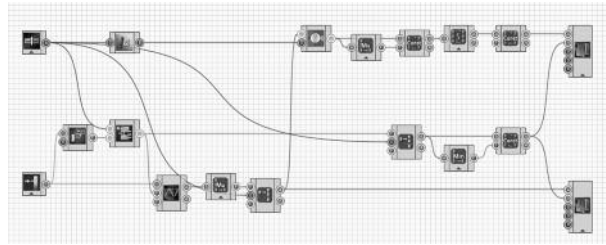


Рис. 13. SCADA-проект ZETView системы мониторинга (режим оператора)



Рис. 14. Упрощенная схема аппаратно-программного комплекса

Безусловным преимуществом системы является ее недорогое, но в то же время максимально эффективное исполнение, что предполагает оснащение измерителями каждого поезда, а соответственно, и постоянный мониторинг всей железно-дорожной транспортной сети. Простота эксплуатации и наладки системы выводят ее на уровень массового использования не только в сфере железно-дорожного, но и других видов транспорта.

Еще одной положительной особенностью является графическая визуализация всего процесса измерений. При работе проекта на графиках отчетливо прослеживаются интервалы несоответствия ширины колеи заданным размерам, что предполагает быструю локализацию проблемы и ее своевременное устранение.

Автоматизация процесса измерения параметров виброизмерительных преобразователей

ВВЕДЕНИЕ

В области исследований механических систем самым распространенным инструментом является виброизмерительный преобразователь. По типу чувствительного элемента вибропреобразователи делятся на: пьезокерамические, емкостные, индуктивные, резистивные. В измерительных и испытательных системах наиболее широко используются пьезокерамические акселерометры, поскольку, по сравнению с датчиками других типов, они имеют больший динамический диапазон и более равномерную АЧХ. [1]

Комплексные испытания требуют подключения нескольких десятков датчиков. Каждый датчик периодически подвергается различным видам контроля, при этом, как правило, определяются одни и те же параметры: коэффициент преобразования, неравномерность АЧХ, нелинейность АХ, относительный коэффициент поперечного преобразования, собственная частота механического резонанса и т.д. Сходимость этих параметров зависит от методов и способов проведения испытаний.

ВЫБОР МЕТОДА ИСПЫТАНИЙ

Методы определения параметров вибропреобразователей можно условно разделить на три категории: 1) абсолютные методы, к которым относятся метод, основанный на применении лазерного датчика перемещения и др.;

2) методы, основанные на применении калибраторов, например, вибростендов или вибраторов, с точно определенными параметрами (в частности, параметрами механических колебаний вибростолы и т.п.);

3) методы сравнения, к которым относится метод сравнения с применением соединенных механически друг с другом акселерометров. [2]

Абсолютный метод поверки акселерометров, основанный на применении лазерного датчика перемещений, требует наличия сложной специализированной аппаратуры, и на практике используется редко.

Методы с применением калибраторов позволяют определять чувствительность акселерометров, имея минимум аппаратуры. Для проведения измерений, поми-

мо самого калибратора, требуется лишь регистрирующее устройство, например, виброметр. Но, поскольку калибраторы обладают жестко заданными частотой и амплитудой вибрации, они не пригодны для определения таких параметров поверяемого вибродатчика, как неравномерность АЧХ и нелинейность АХ.

В отличие от абсолютных методов и методов, основанных на применении калибраторов, метод сравнения с образцом применим для всех типов акселерометров, и позволяет определять все основные электрические параметры датчиков.

МЕТОД СЛИЧЕНИЯ С ОБРАЗЦОВЫМ ДАТЧИКОМ

Способ определения параметров вибропреобразователей методом сличения с образцовым датчиком основывается на относительных измерениях.

Поверяемый вибропреобразователь механически соединяется с используемым в качестве образцового датчика вибропреобразователем. Созданный таким образом комплект закрепляется на вибростоле вибростенда. На вибростенде воспроизводятся синусоидальные колебания, при этом соединенные между собой акселерометры совершают колебания в одной плоскости, и на них воздействует идентичное (одинаковое) ускорение. Напряжения сигналов с каждого акселерометра, пропорциональны действующему на датчики ускорению:

$$U_{нов} = K_{нов} \cdot A,$$

$$U_{обр} = K_{обр} \cdot A,$$

где $U_{нов}$, $U_{обр}$ – напряжения сигналов (амплитудные значения), отдаваемых поверяемым и образцовым датчиками соответственно, $K_{нов}$, $K_{обр}$ – коэффициенты преобразования поверяемого и образцового акселерометров соответственно, A – ускорение, действующее на датчики (амплитудное значение).

Таким образом, отношение амплитуд электрических сигналов с датчиков равно отношению их коэффициентов преобразований (см. рис 2). [2]

Следовательно, зная значения коэффициента преобразования образцового акселерометра, можно определить искомое значения коэффициента преобразования поверяемого акселерометра:

$$K_{\text{пов}} = \frac{U_{\text{пов}}}{U_{\text{обр}}} \cdot K_{\text{обр}}$$

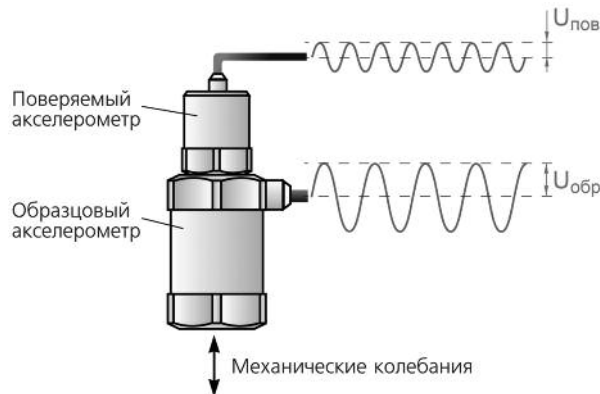


Рис. 1. Принцип относительных измерений

Точность и сходимость результатов, полученных в ходе испытаний методом сличения с образцовым датчиком, обеспечивается следованием методическим указаниям МИ 1873.

ПОВЕРКА АКСЕЛЕРОМЕТРОВ ПО МЕТОДИЧЕСКИМ УКАЗАНИЯМ МИ 1873

Методические указания МИ 1873 распространяются на виброметры с пьезоэлектрическими и индукционными виброизмерительными преобразователями, а также на пьезоэлектрические и индукционные виброизмерительные преобразователи и устанавливают методику их первичной и периодической поверок. [3]

Согласно МИ 1873-88 при проведении поверки виброизмерительных преобразователей должны быть выполнены следующие операции:

1. Внешний осмотр.
2. Проверка электрического сопротивления изоляции.
3. Опробование.
4. Проверка электрической емкости.
5. Проверка внутреннего сопротивления.
6. Определение действительного значения коэффициента преобразования.
7. Определение относительного коэффициента поперечного преобразования.
8. Определение неравномерности амплитудно-частотной характеристики (АЧХ).
9. Определение нелинейности амплитудной характеристики (АХ).
10. Определение частоты установочного резонанса.
11. Определение частоты поперечного резонанса.

В настоящей статье рассмотрена автоматизация процесса поверки датчиков на примере основных па-

раметров вибропреобразователей:

- Определение действительного значения коэффициента преобразования.
- Определение неравномерности амплитудно-частотной характеристики (АЧХ).
- Определение нелинейности амплитудной характеристики (АХ).

Состав аппаратуры для проведения поверки

Для проведения поверки вибропреобразователей по методическим указаниям МИ 1873 требуется следующая аппаратура:

1. Электродинамический вибростенд с усилителем мощности.
2. Эталонный вибропреобразователь.
3. Согласующие усилители (для вибропреобразователей, не имеющих встроенный усилитель).
4. Генератор
5. Два вольтметра.

При выборе оборудования следует учесть, что образцовый вибропреобразователь, согласующие усилители, вольтметры и генератор должны быть внесены в реестр средств измерений.

Поверочная схема

При определении основных параметров виброизмерительных преобразователей используется поверочная схема, соответствующая рисунку 2. Образцовый и поверяемый вибропреобразователи устанавливаются на вибростол вибростенда и подключаются к электронным вольтметрам непосредственно или через согласующий усилитель. Для управления вибростендом используется генератор сигналов синусоидальной формы, который подключается к вибростенду через усилитель мощности.

Последовательность действий поверителя (одно измерение):

1. Установка частоты сигнала генератора.
2. Установка напряжения генератора, обеспечивающего заданный уровень вибрации. о установка произвольного значения напряжения, о определение



Рис. 2. Общая поверочная схема

уровня вибрации по амплитуде сигнала, отдаваемого образцовым датчиком, о увеличение напряжения генератора в случае, если амплитуда виброперемещения меньше заданного уровня, уменьшение в случае, если амплитуда виброперемещения превышает заданный уровень.

3. Запись показаний вольтметров.

При проведении измерений в частотном диапазоне воспроизводится постоянная амплитуда виброускорения на различных частотах. При проведении измерений в амплитудном диапазоне воспроизводится постоянная частота при различных значениях амплитуды виброускорения.

После проведения всех необходимых измерений следует трудоёмкий процесс обработки результатов.

Таким образом, поверка одного вибропреобразователя по методическим указаниям МИ 1873 может занимать 2-3 часа.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Для исключения субъективного фактора и сокращения временных затрат при проведении измерений, необходимо автоматизировать процесс поверки виброизмерительных преобразователей по методическим указаниям МИ 1873.

Суть автоматизации заключается в управлении приборами программно по заданному алгоритму, повторяющему действия поверителя.

Для этого генератор и вольтметры подключаются к компьютеру по интерфейсу RS-232 или USB. Управление аппаратурой осуществляется с помощью виртуальных приборов. Алгоритм управления реализуется в SCADA (SCADA – аббревиатура от англ. Supervisory Control And Data Acquisition, Диспетчерское управление и сбор данных) системе.

В этом случае поверочная схема приобретает вид, приведенный на рисунке 3.



Рис. 3. Автоматизированная поверочная схема

Использование систем типа SCADA позволяют создавать гибкие приложения из законченных функциональных блоков, таких, как виртуальные измерительные приборы, компоненты математической обработки, графики и индикаторы и др.

Проект, созданный в SCADA, состоит из 2-х частей:

1. Блок-схемы, непосредственно реализующей алгоритм работы.
2. Внешнего вида.

Основные функциональные узлы блок-схемы проекта поверки вибропреобразователей:

- управление генератором и вольтметрами,
- алгоритмы проверок и управление измерениями,
- обработка результатов,
- формирование отчета о поверке.

Структура проверки любого параметра одинакова и состоит из следующих действий:

1. Задание параметров проверки, а также сброс предыдущих результатов.
2. Проведение измерений: выбор частоты и амплитуды – подстройка напряжения генератора – снятие показаний вольтметров.
3. Обработка результатов измерений и вывод на экран итогов проверки.

Функциональные блоки визуальной части проекта обеспечивают:

- задание параметров и запуск проверок оператором,
- вывод результатов измерений в графическом и численном виде.

Определение действительного значения коэффициента преобразования

Действия поверителя: задать базовые значения частоты и амплитуды виброускорения согласно паспорту на датчик.

Работа проекта: в процессе измерений воспроизводится заданная амплитуда виброускорения на заданной частоте и определяется коэффициент преобразования поверяемого вибропреобразователя по формуле:

$$K_{\delta} = \frac{U_{\delta}}{\gamma_{\text{СУ}} a_{\delta}},$$

где K_{δ} – действительное значение коэффициента преобразования, мВ/мс⁻²;

U_{δ} – показания электронного вольтметра на базовой частоте, мВ;

a_{δ} – действительное значение виброускорения, воспроизводимое вибростендом (определяется по показаниям образцового акселерометра), м/с²;

$\gamma_{\text{СУ}}$ – коэффициент преобразования согласующего усилителя (при отсутствии СУ $\gamma_{\text{СУ}}=1$).

Измерения в диапазоне амплитуд

Действия поверителя: задать начальное и конечное значения диапазона амплитуд виброускорения и количество точек измерения, а также значение базовой частоты.

Работа проекта: диапазон измерений делится на заданное число точек, таким образом, создаётся массив значений амплитуд виброускорения. В процессе измерений последовательно воспроизводятся все значения амплитуд виброускорения на базовой частоте и регистрируются показания вольтметров. При этом строится график зависимости коэффициента преобразования от амплитуды виброускорения. По окончании измерений производится обработка результатов.

Нелинейность амплитудной характеристики (δ_a) в процентах определяется по формуле:

$$\delta_a = \frac{K_i - K_{cp}}{K_{cp}} \cdot 100,$$

где K_i – коэффициент преобразования, при i -том значении виброускорения, $\text{мВ/м} \cdot \text{с}^{-2}$;

K_{cp} – среднее значение коэффициента преобразования во всем диапазоне амплитуд виброускорений:

$$K_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{n},$$

где n – число измерений.

Измерения в диапазоне частот

Действия оператора: задать начальное и конечное значения диапазона частот, значение базовой амплитуды виброускорения согласно паспорту на датчик, а также ограничение на величину виброперемещения на низких частотах в соответствии с характеристиками вибростенда.

Частоты выбираются из 1/3-октавного ряда: 1; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,1; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16; 20; 25; 31; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3150; 4000; 5000; 6300; 8000; 10 000; 12 500; 16000; 20 000 Гц. [3]

Работа проекта: В процессе измерений в зависимости от частоты задаётся значение амплитуды виброускорения и воспроизводятся колебания с заданными параметрами. Для каждого значения частоты регистрируются показания вольтметров. При этом строится график зависимости коэффициента преобразования от амплитуды виброускорения. По окончании измерений производится обработка результатов.

На всех частотах выше 20 Гц воспроизводится виброускорение с амплитудой, равной базовому значению. На низких частотах значение амплитуды виброускорения A рассчитывается таким образом, чтобы перемещение вибростенда не превышало максимально

допустимого значения S . Зависимость виброускорения от частоты и виброперемещения описывается формулой:

$$A = S \cdot (2\pi f)^2 / 1000,$$

где A – амплитуда виброускорения, м/с^2 ;

f – частота колебаний, Гц;

S – виброперемещение, мм.

Неравномерность амплитудно-частотной характеристики вибропреобразователя (γ) в процентах определяется по формуле:

$$\gamma = \frac{|K_n - K_\delta|_{\max}}{K_\delta} \cdot 100,$$

где K_n – максимальное или минимальное значение коэффициента преобразования поверяемого вибропреобразователя в диапазоне частот, $\text{мВ/м} \cdot \text{с}^{-2}$;

K_δ – коэффициент преобразования поверяемого вибропреобразователя, полученный на базовой частоте, $\text{мВ/м} \cdot \text{с}^{-2}$.

Организация обратной связи генератора

При проведении поверки вибропреобразователей в качестве параметров испытаний задаются частота и амплитудное значение ускорения, воспроизводимых вибростендом. Напряжение сигнала генератора, обеспечивающее заданное значение амплитуды виброускорения зависит от частоты сигнала, а также от настроек усилителя мощности. Поэтому, при проведении измерений необходимо проводить коррекцию напряжения выходного сигнала генератора.

Коррекция напряжения выходного сигнала генератора осуществляется следующим образом:

- 1) на выходе генератора устанавливается сигнал заданной частоты и произвольным напряжением;
- 2) по амплитуде сигнала образцового датчика, определяется текущее значение амплитуды виброускорения;
- 3) по формуле

$$U_{new} = k \cdot U_0,$$

рассчитывается уровень генератора, обеспечивающий требуемое значение амплитуды виброускорения U_{new} ,

где U_{new} – новое значение напряжения генератора, В;

k – коэффициент коррекции напряжения генератора:

$$k = A_{зад} / A_{тек},$$

где $A_{зад}$ – заданное значение амплитуды виброускорения, м/с^2 ;

$A_{тек}$ – текущее значение амплитуды виброускорения, м/с^2 ;

U_0 – начальное напряжение генератора, В.

Автоподбор времени накопления данных

В борьбе за сокращение времени проверки и оптимизации процесса измерений при разработке проекта обычно предусматривается операция автоподбора времени накопления данных. При этом учитываются

два фактора: интервал усреднения данных вольтметрами и время ожидания перед регистрацией показаний вольтметров.

Интервал усреднения данных вольтметрами должен уместать, по меньшей мере, 5 периодов сигнала для обеспечения сходимости показаний и снижения влияния помех на показания прибора. Графики на рисунке 4 иллюстрируют зависимость показаний вольтметра от времени усреднения, равном двум периодам сигнала (а) и десяти периодам сигнала (б).

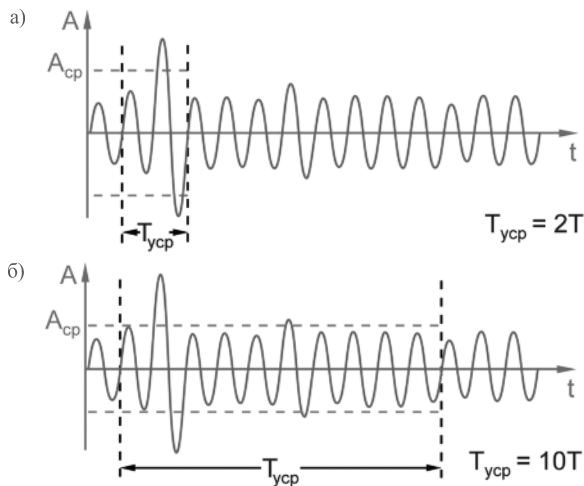


Рис. 4. Влияние времени усреднения сигнала на показания вольтметров (а – усреднение за 2 периода сигнала, б – за 10 периодов): $A_{ср}$ – среднее значение амплитуды сигнала, $T_{уср}$ – время усреднения, T – период сигнала

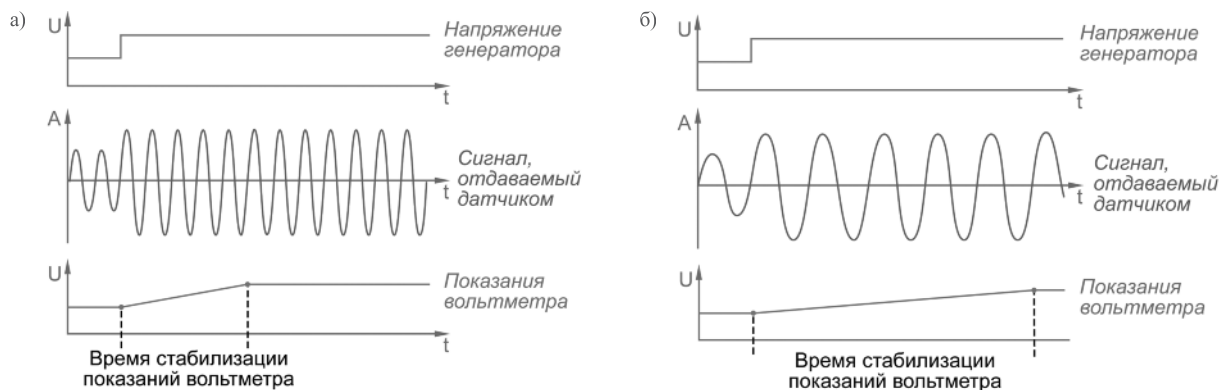


Рис. 5. Время стабилизации показаний вольтметров для высокочастотных и низкочастотных сигналов (а и б соответственно)

Диапазон частот, Гц	Кол-во точек	Длительность одного периода, с	Интервал усреднения данных вольтметрами, с	Время ожидания, с	Время измерений в одной точке, с
f	N	$T=1/f$	$T_{уср}=10 \cdot \max(T)$	$T_{ожс}=2 \cdot T_{уср}$	$T_{изм}=2 \cdot T_{ожс}$
1 - 20 000	46	0,00005 - 1	10	20	40
Длительность измерений: $46 \cdot 40 = 1840$ секунд ≈ 30 минут					

Таблица 1. Длительность измерений в диапазоне частот без автоподбора времени накопления данных

Диапазон частот, Гц	Кол-во точек	Длительность одного периода, с	Интервал усреднения данных вольтметрами, с	Время ожидания, с	Время измерений в одной точке, с
f	N	$T=1/f$	$T_{уср}=10 \cdot \max(T)$	$T_{ожс}=2 \cdot T_{уср}$	$T_{изм}=2 \cdot T_{ожс}$
1 - 10	11	0,1 - 1	10	20	40
10 - 100	11	0,01 - 0,1	1	2	4
100 - 20 000	24	0,00005 - 0,01	0,1	1	2
Длительность измерений: $11 \cdot 40 + 11 \cdot 4 + 24 \cdot 2 = 532$ секунд ≈ 9 минут					

Таблица 2. Длительность измерений в диапазоне частот с автоподбором времени накопления данных

Время ожидания перед регистрацией показаний вольтметров, в свою очередь, должно быть больше интервала усреднения данных вольтметрами для исключения влияния на регистрируемое значение переходных процессов и данных, накопленных вольтметрами до изменения частоты/амплитуды. «Скорость» реакции вольтметров зависит от частоты сигнала (см. рис 5, а, б).

Для оценки сокращения временных затрат при использовании алгоритма автоподбора времени накопления данных, рассчитаем время проведения измерений в диапазоне частот 1 Гц – 20 кГц с шагом 1/3 октавы. При расчетах будем учитывать, что измерения проводятся в 2 этапа:

- 1) регистрация показаний вольтметра по образцовому датчику для определения коэффициента коррекции напряжения генератора,
- 2) регистрация показаний вольтметров для определения коэффициента преобразования поверяемого датчика

При выборе интервала усреднения, равном 10 периодам сигнала, и времени ожидания, равном двум интервалам усреднения, проведение измерений без автоподбора времени накопления данных занимает порядка полчаса (см. табл. 1).

При разбиении частотного диапазона на поддиапазоны длительность проверки сокращается до 9 минут (см. табл.2).

Обработка результатов измерений

Математический аппарат SCADA систем позволяет реализовать обработку результатов измерений точно в соответствии с методическими указаниями МИ 1873. Полученные значения параметров сравниваются с допусками, и делается вывод о годности датчика.

Сохранение результатов

Еще одно преимущество использования SCADA – возможность сохранять протоколы испытаний одним кликом «мышью». При этом файлы отчетов создаются по пользовательскому шаблону, т.е. результаты измерений могут быть «вписаны» в бланк предприятия.

ПРИМЕР АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОВЕРКИ ВИБРОДАТЧИКОВ ПО МЕТОДИЧЕСКИМ УКАЗАНИЯМИ МИ 1873

При создании любой автоматизированной системы перед проектировщиком стоит вопрос о степени свободы, которую необходимо предоставить пользователю. С одной стороны, гибкий проект оставляет большой выбор аппаратуры и датчиков, с другой стороны, большое количество настроек может усложнить понимание работы системы.

На рисунках 8 и 9 приведен пример проекта, созданного для автоматизации системы поверки вибродатчиков по МИ 1873 на базе виброустановки BC-133 и анализатора спектра ZET 017 (см. рис. 6), в котором реализованы функции генератора сигналов и вольтметра переменного тока.

Данный проект предоставляет максимальную свободу оператору в выборе параметров проведения измерений, а также всю необходимую информацию о ходе выполнения проверки (осциллограммы сигналов, отдаваемых датчиками, показания всех измерительных приборов, результаты измерений в режиме реального времени и т.д.).



Рис. 6. Система поверки акселерометров на базе виброустановки BC-133 и анализатора спектра ZET017

Подключение датчиков с зарядным выходом или выходом по напряжению не требует длительных перенастроек, измерение виброускорения может производиться как в стандартных единицах измерения «м/с²», так и в «g». Все необходимые перерасчеты производятся автоматически.

При создании проекта был использован принцип многостраничности. Каждый параметр вибропреобразователя определяется на отдельной вкладке, во избежание путаницы при выборе параметров измерений.

Для упрощения работы с проектом, предусмотрена возможность выбора типа поверяемого вибропреобразователя из списка датчиков, применяемых на предприятии. При этом все поля программы автоматически заполняются значениями по умолчанию для выбранного типа вибропреобразователя, и для проведения измерений достаточно нажать кнопку «СТАРТ».



Рис. 7. Пример проекта поверки вибропреобразователей по МИ 1873 в автоматическом режиме.

Страница определения действительного значения коэффициента преобразования и сохранения результатов измерений

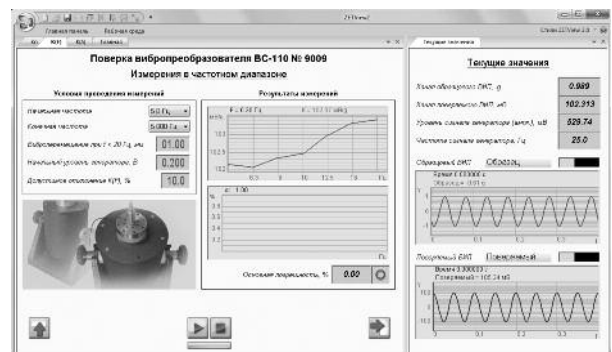


Рис. 8. Пример проекта поверки вибропреобразователей по МИ 1873 в автоматическом режиме. Страница измерений в диапазоне частот

В статье была использована следующая литература:

1. Шарапов В.М., Мусиенко М.П., Шарапова Е.В. Пьезоэлектрические датчики // Москва: Техносфера, 2006 – 632 с.
2. Марк Серридж, Торбен Р. Лихт. Справочник по пьезоэлектрическим акселерометрам и преусилителям // Глоструп: К. Ларсен и сын – 1987 – 188 с.
3. Государственная система обеспечения единства измерений. Методические указания МИ 1873. Виброметры с пьезоэлектрическими и индукционными преобразователями. Методика поверки // Издательство стандартов, 1990

Опубликовано в...

№8, 2010

Авторы статьи:

Красовский Андрей Александрович – начальник ОИТ ЗАО "ЭТМС"

Антонов Андрей Юрьевич – программист ЗАО "ЭТМС"

Email: Antonov@zetms.ru



Определение положения лифта и параметров движения методами инерциальной навигации

Система инерциального слежения за перемещением лифтовой кабины – аппаратно-программный комплекс, в основу работы которого положены классические, ньютоновские, законы механики. Инерциальная навигация – метод определения координат и параметров движения различных объектов и управления их движением, основанный на свойствах инерции тел и являющийся автономным, то есть не требующим наличия внешних ориентиров или поступающих извне сигналов. В инерциальных навигационных системах исходной (главной) системой отсчёта, по отношению к которой производятся инерциальные измерения, служит инерциальная система, то есть относительно неподвижная система. Посредством инерциальных навигационных систем определяют координаты, скорость, ускорение и другие основные параметры движения объекта.

Преимущества методов инерциальной навигации по отношению к остальным методам навигации состоят в автономности, помехозащищенности и возможности полной автоматизации всех процессов в этой области. Эти качества определили инерциальные навигационные системы как наиболее перспективные.

Принцип действия инерциальной навигационной системы состоит в определении параметров движения лифтовой кабины. Движение лифта можно охарактеризовать такими изменяемыми параметрами, как ускорение, скорость и относительное пере-

мещение. Уравнение движения лифтовой кабины в инерциальной системе координат, являющееся основным уравнением инерциального метода определения параметров движения; в общем случае имеет вид:

$$\omega = \frac{d^2 r_m}{dt^2} - F(r_m),$$

где ω – ускорение, измеряемое акселерометром;

r_m – радиус-вектор точки М (центра тяжести воспринимающего элемента) в инерциальной системе координат;

F – сила притяжения единицы массы воспринимающего элемента в точке М (ускорение тяготения).

Сущность метода идентификации движения заключается в измерении ускорения движения лифтовой кабины. Ускорение можно измерить специализированным датчиком – акселерометром, далее измеренный аналоговый сигнал необходимо оцифровать с помощью анализатора спектра, в основе которого лежат методы аналого-цифрового преобразования, и уже в цифровом виде передать на вычислитель (например, персональный компьютер) для последующей обработки (рис. 1). Постобработка полученного сигнала ускорения заключается в применении математического аппарата, а именно: подсчитав интеграл исходного сигнала ускорения мы получим скорость движения лифта, а проинтегрировав исходный сигнал дважды получим относительное перемещение лифта, то есть ее координату.



Рис. 1. Поток информации с нижнего уровня датчиков до верхнего уровня оператора

Практическая реализация методов ИН связана со значительными трудностями (например, для интегрирования основного уравнения используются гироскопические, электромеханические и другие интеграторы, наша система использует довольно простую в использовании структуру обработки сигнала датчик-АЦП-компьютер), вызываемыми необходимостью обеспечить высокую точность и надёжность работы всех устройств при заданных весах и габаритах. Преодоление этих трудностей становится возможным благодаря созданию специализированного аппаратно программного комплекса – инерциальной навигационной системы.

Инерциальные навигационные системы различают по ряду признаков:

1) по ориентации направлений осей чувствительности инерциальных измерителей:

- с произвольной ориентацией;
- с ориентацией по звёздам;
- с ориентацией по осям, жестко связанным с объектом;
- с неизменной ориентацией относительно небесного тела, например Земли;
- с горизонтальной ориентацией относительно некоторой поверхности и др.;

2) по способу построения вертикали места:

- с аналитической, или расчётной, вертикалью;
- с инерциальным построителем вертикали;

3) по наличию стабилизированной платформы:

- со стабилизированной гироскопической или астроплатформой;
- бесплатформенные и др.

Классические инерциальные навигационные системы весьма сложны и дорогостоящи. Срок их службы меньше, чем у обычных гироскопических приборов. Для правильного функционирования инерциальной навигационной системы перед стартом объекта требуется ввести начальные данные по координатам пункта старта и скорости, произвести ориентирование инерциальных измерителей. Простота, надёжность и достоверность измерений с применением предлагаемого метода инерционной навигации определяется несколькими причинами:

- простота системы и надёжность системы, за счет малого количества входящих в нее звеньев;
- модульный принцип построения системы;
- возможность полной автоматизации измерения и управления;
- метрологическое обеспечение измерительной части, то есть аппаратные и программные средства внесены в государственный реестр РФ и являются средствами измерения;

Для создания простейшей инерциальной навигационной системы достаточно иметь персональный компьютер (ноутбук), анализатор спектра или модуль АЦП-ЦАП и акселерометр.

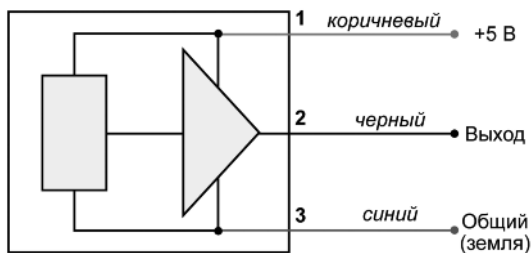


Рис. 2. Акселерометр ZET BC201. Схема электрическая



Рис. 3а. Способ крепления акселерометров серии ZET BC201

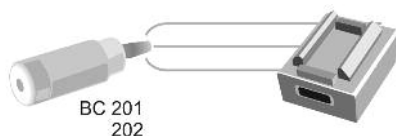


Рис. 3б. Функциональная схема подключения акселерометров серии ZET BC201



Рис. 3в. Подготовка к измерениям: установка датчика BC201 и модуля АЦП-ЦАП ZET220 в кабине лифта

Акселерометр – прибор, измеряющий постоянную составляющую ускорения движения лифтовой кабины. Современные акселерометры позволяют измерять ускорение сразу в трех плоскостях. Акселерометр может применяться как для измерения проекций абсолютного линейного ускорения, так и для косвенных измерений проекции гравитационного ускорения. Последнее свойство используется для создания инклинометров. Акселерометры входят в состав инерциальных навигационных систем, где полученные с их помощью измерения интегрируют, получая инерциальную скорость и координаты носителя. В настоящей системе предлагается использовать акселерометр BC201. Он является ёмкостным акселерометром и может использоваться как датчик линейных ускорений и датчик положений, поскольку измеряет не только переменную, но и постоянную составляющую сигнала ускорения. При установке акселерометра BC201 на наклонную поверхность можно измерить центробежное ускорение.

Акселерометр BC201 хорошо подходит для создания инерциальных навигационных систем. В сочетании с модулем АЦП-ЦАП ZET220, подключаемым к персональному компьютеру (ноутбуку), датчик BC201 составляет достаточно компактную и многофункциональную систему.

С точки зрения эксплуатации такую систему (рис. 4) можно представить в ином виде, а именно: в ключе «измерение и моментальное отображение результата» (рис. 5). Акселерометр BC201 надежно закрепляется в вертикальном положении в кабине лифта (рис. 3а, 3в) и подключается к модулю АЦП-ЦАП ZET220 (рис. 3б), который подсоединен к персональному ком-

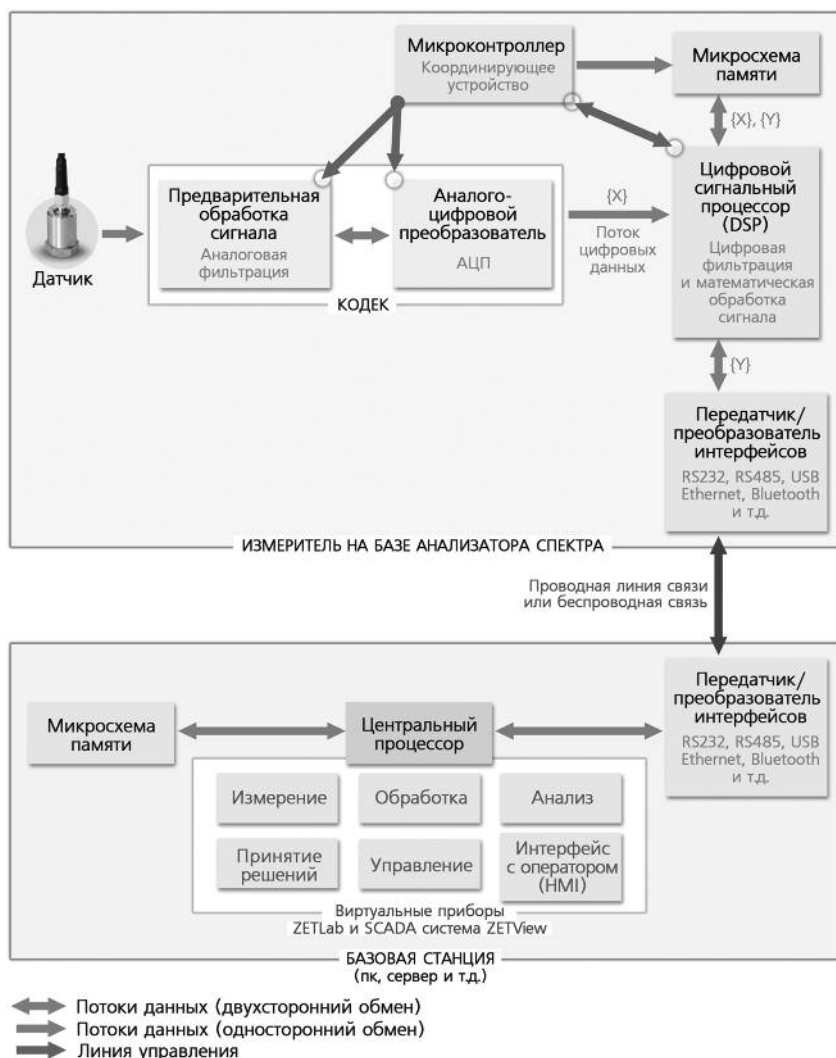


Рис. 4. Принцип работы анализатора спектра (АЦП-ЦАП)



Рис. 5. Упрощенная функциональная схема АПК

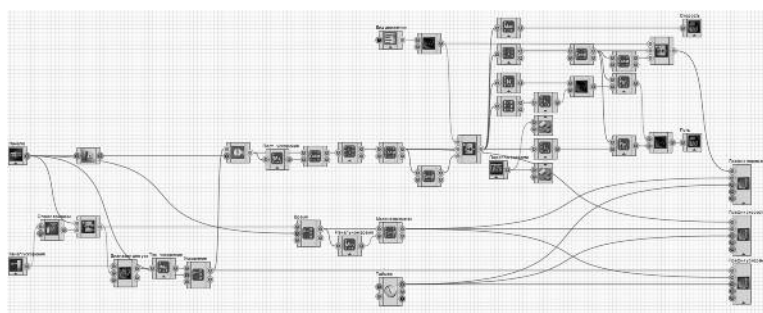


Рис. 6. SCADA проект «Инерциальная навигационная система»

пьютеру (ноутбуку). Обработка результатов эксперимента осуществляется при помощи готового решения, созданного в SCADA-системе ZETView – программа «Инерциальная навигационная система» (рис.6). Использование SCADA позволяет пользователю редактировать как логику автоматизации процесса измерения и управления, так и внешний вид оператора, для адаптации под себя, если это необходимо.

Результаты работы программы – измерения при движении лифта вниз и вверх – представлены на рисунках 7 и 8.

При проведении серии экспериментов, заключающихся в измерении скорости и перемещения лифта при движении на различные расстояния вниз и вверх, была рассчитана погрешность метода, которая составляет 0,5% при наличии собственных шумов у измерительного датчика, равных 0,0002 g. В частности, при поездке на 21 этаж одного здания получены значения, представленные на рисунках 7 и 8.

Безусловным преимуществом системы является графическая визуализация всего процесса. На графиках отчетливо виден момент начала разгона и момент остановки, что дает возможность детально проанализировать переходные процессы, возникающие при старте и остановке.

Результаты серии экспериментов представлены в таблице 1.

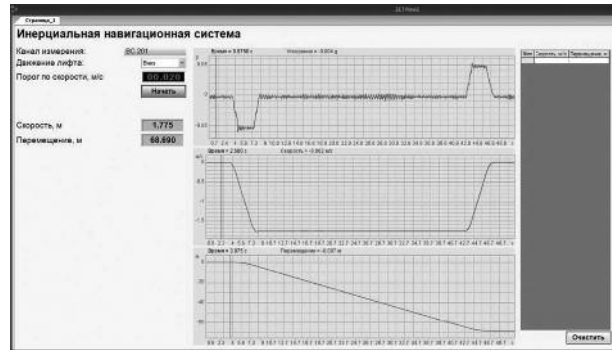


Рис. 7. Результат работы программы при движении лифта вниз

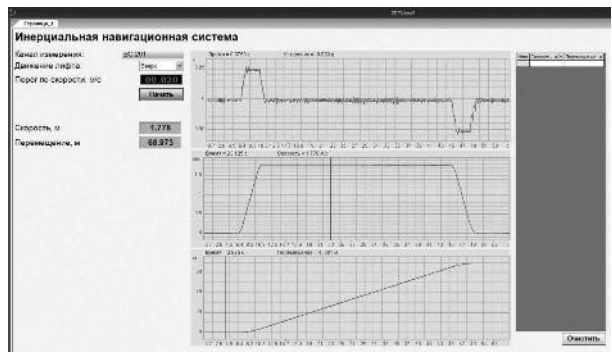


Рис. 8. Результат работы программы при движении лифта вверх

№	Этаж	ПОЕЗДКА ВНИЗ					ПОЕЗДКА ВВЕРХ				
		Скорость, м/с	Отклонение, м/с	Путь, м	Этаж, м	Отклонение, м	Скорость, м/с	Отклонение, м/с	Путь, м	Этаж, м	Отклонение, м
1	1 эт.	1,762	-0,006601493	14,13			1,774	0,00303895	13,97		
2	2 эт.	1,768	-0,000601493	17,2	3,07	0,074871288	1,773	0,00203895	17,06	3,09	0,098692594
3	3 эт.	1,768	-0,000601493	20,07	2,87	-0,125128712	1,775	0,00403895	20,07	3,01	0,018692594
4	4 эт.	1,769	0,000398507	23,12	3,05	0,054871288	1,772	0,00103895	23,18	3,11	0,118692594
5	5 эт.	1,767	-0,001601493	26,2	3,08	0,084871288	1,774	0,00303895	26,28	3,1	0,108692594
6	6 эт.	1,769	0,000398507	29,3	3,1	0,104871288	1,771	3,89502E-05	29,3	3,02	0,028692594
7	7 эт.	1,766	-0,002601493	32,18	2,88	-0,115128712	1,769	-0,00196105	32,24	2,94	-0,051307406
8	8 эт.	1,769	0,000398507	35,32	3,14	0,144871288	1,769	-0,00196105	35,46	3,22	0,228692594
9	9 эт.	1,769	0,000398507	38,47	3,15	0,154871288	1,771	3,89502E-05	38,41	2,95	-0,041307406
10	10 эт.	1,764	-0,004601493	41,36	2,89	-0,105128712	1,768	-0,00296105	41,36	2,95	-0,041307406
11	11 эт.	1,769	0,000398507	44,5	3,14	0,144871288	1,771	3,89502E-05	44,62	3,26	0,268692594
12	12 эт.	1,77	0,001398507	47,67	3,17	0,174871288	1,769	-0,00196105	47,58	2,96	-0,031307406
13	13 эт.	1,772	0,003398507	50,66	2,99	-0,005128712	1,769	-0,00196105	50,67	3,09	0,098692594
14	14 эт.	1,768	-0,000601493	53,7	3,04	0,044871288	1,773	0,00203895	53,79	3,12	0,128692594
15	15 эт.	1,77	0,001398507	56,79	3,09	0,094871288	1,772	0,00103895	56,82	3,03	0,038692594
16	16 эт.	1,773	0,004398507	59,83	3,04	0,044871288	1,771	3,89502E-05	59,76	2,94	-0,051307406
17	17 эт.	1,768	-0,000601493	62,76	2,93	-0,065128712	1,77	-0,00096105	62,86	3,1	0,108692594
18	18 эт.	1,769	0,000398507	65,83	3,07	0,074871288	1,774	0,00303895	66,07	3,21	0,218692594
19	19 эт.	1,77	0,001398507	69,09	3,26	0,264871288	1,769	-0,00196105	68,88	2,81	-0,181307406
20	20 эт.	1,767	-0,001601493	72,02	2,93	-0,065128712	1,771	3,89502E-05	71,91	3,03	0,038692594
21	21 эт.	1,77	0,001398507	75,08	3,06	0,064871288	1,769	-0,00196105	75,13	3,22	0,228692594
22	22 эт.	1,769	0,000398507	78,11	3,03	0,034871288	1,77	-0,00096105	78,06	2,93	-0,061307406
23	23 эт.	1,771	0,002398507	81,26	3,15	0,154871288	1,77	-0,00096105	81,14	3,08	0,088692594
24	24 эт.	1,767	-0,001601493	84,11	2,85	-0,145128712	1,771	3,89502E-05	84,31	3,17	0,178692594
25	25 эт.	1,771	0,002398507	87,44	3,33	0,334871288	1,769	-0,00196105	87,19	2,88	-0,111307406

Таблица 1.

Цифровая обработка в ZETLab при идентификации параметров сейсмического сигнала

Землетрясение – сильное колебание земной коры, вызываемое причинами вулканического, тектонического характера (1) или искусственными процессами: взрывы, заполнение водохранилищ, обрушением подземных полостей горных выработок (2).

В России зоны повышенной сейсмической опасности (от 6 баллов и выше, с периодом повторяемости 500 лет) занимают около 40% от общей площади, в том числе 9% территории относится к 8-9 балльным зонам, карта сейсмической активности, в некотором приближении, приведена на рисунке 1. Стоит отметить, что в сейсмически активных зонах проживает более 20 млн. человек. Ежегодно на территории России происходят десятки и даже сотни землетрясений, большинство из них протекают незаметно, оставаясь таковыми как для рядовой общественности, так и для исследователей, изучающих протекающие в земле тектонические процессы. Однако, в новейшей истории России, три были сильнейшими: Шикотанское (Курилы), октябрь 1994 года, Нефтегорское, май 1995 года, Кроноцкое, декабрь 1997 года (3).

Важность этой задачи не вызывает сомнений, поскольку, подобные исследования позволяют накопить статистику о сейсмической обстановке в конкретном регионе – выявить уровень микросейсм, что в свою очередь, дает возможность специалистам принять ре-

	Источник шумов	Расстояние от источника, км
1	Основные линии электропередач	10 – 15
2	Основные высокоскоростные дороги	5 – 10
3	Второстепенные дороги	1 – 3
4	Трубопроводы, насосные станции и т.д.	3 – 5
5	Дороги к лесозаготовкам и шахтам	1 – 3
6	Карьеры и большие шахты	10 – 20
7	Большие реки	3 – 5
8	Большие озера, океаны	50 – 100
9	Бурение глубоких скважин	5 – 10
10	Города и небольшие деревни	10 – 15

Таблица 1. Нормы удаленности сейсмостанции от источников шума

шение о размещении тех или иных объектов или проведении различных работ на местности.

Причина затруднений практической реализации мониторинга заключается в том, что малые сейсмические воздействия лишь немного превышают уровень микросейсм, что так же осложняется наличием помех, электрических наводок. На основе экспериментальных исследований в США разработаны нормы для размещения сейсмостанций относительно окружающих источников естественных техногенных шумов [GSE\WG2/2], эти нормы приведены в таблице 1 (4).

Все приведенные в таблице данные справедливы и применяются до сих пор. Стоит отметить, что в этот перечень потенциально “вредных” для качества сиг-



Рис. 1. Карта сейсмической активности на территории РФ

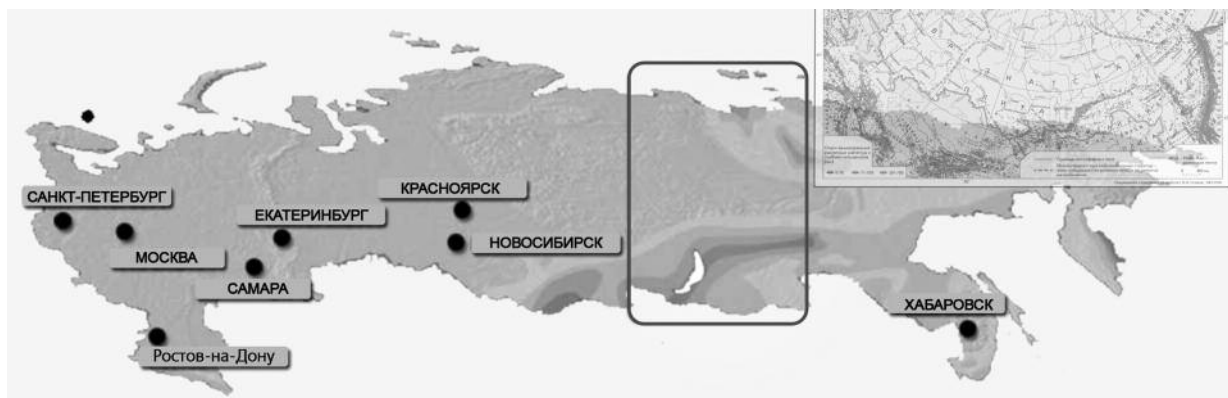


Рис. 2. Зона расположения сейсмостанций (выделена прямоугольником).

нала объектов абсолютно отнесли источники техногенного шума: 1-6, 9, 10. Но так же и природные источники шумов – 7, 8.

Однако, все же бывают случаи, когда избежать близкого расположения техногенных и природных источников шумов невозможно. Именно такая задача и возникла (строки из таблицы 1, помеченные темным цве-

том). В попытках найти оптимальное решение задачи обнаружения землетрясения, а именно, определить точный момент времени начала землетрясения на фоне постоянно присутствующих шумов и помех была предложена описанная в настоящей статье система.

Система предназначена для определения самого факта произошедшего землетрясения, в том числе и

минимальной магнитуды, и самое главное – поиск начала события с точностью до нескольких отсчетов АЦП, для последующей передачи этой информации в алгоритм пеленгации эпицентра землетрясения, описание которого в данной статье рассматриваться не будет. Отметим, что система требует точного обнаружения времени начала события, в том числе и в условиях сезонных изменений естественного фона шумов, поскольку шумы варьируют не только в пространстве, но во времени т.к. любая станция подвержена суточным и сезонным вариациям (4), что гарантирует повышение точности в задаче поиска эпицентра землетрясения. Это свойство наиболее важно при анализе данных несколькими группами сейсмостанций одновременно, когда две или более сейсмостанций работают совместно в целях обнаружения эпицентра.

Помехи и электрические наводки, являясь шумами техногенного характера, зачастую, детерминированы, либо выходят за границы частотного диапазона полезного сигнала, это говорит о том, что от них, сравнительно легко, можно избавиться различными методами фильтрации: полосовая фильтрация, а так же методы адаптивной фильтрации. Некоторые алгоритмы адаптивной фильтрации очень неплохо описаны в статье А.Б. Сергиенко “Алгоритмы адаптивной фильтрации: особенности реализации в MATLAB” (5), однако, практическая реализация таких систем довольно затруднительна.

Для решения поставленной задачи будем оперировать реально записанным материалом, а именно, будем анализировать запись землетрясения, произошедшего в районе оз. Байкал 20 августа 2010 года (Рисунок 2). Сигнал был зарегистрирован тремя сейсмостанциями, установленными в районе оз. Байкал. Приблизительная схема регистрации приведена на рисунке 3.

Для решения поставленной задачи будем оперировать реально записанным материалом, а именно, будем анализировать запись землетрясения, произошедшего в районе оз. Байкал 20 августа 2010 года (Рисунок 2). Сигнал был зарегистрирован тремя сейсмостанциями, установленными в районе оз. Байкал. Приблизительная схема регистрации приведена на рисунке 3.

Рис. 3. Схема регистрации сейсмического сигнала и передачи на вычислитель (ПК, производящий математическую обработку сигнала)



На схеме регистрации (Рисунок 3) исходные данные обрабатываются и архивируются на сейсмостанции, передавая на сервер только измеренные параметры: наличие события и время начала события. Для работы системы выбран трехкомпонентный (X,Y,Z) датчик, синхронно регистрирующий отрабатывающий сигнал по всем измерительным осям (Рисунок 4), что при взаимном анализе показаний по каждой из осей датчика, дает возможность определить вектор распространения сейсмической волны, возникшей в результате землетрясения. Оцифрованные данные пе-ресылаются на верхний уровень по технологии OPC (стандартный протокол, основу которого составляет DCOM, предназначен для обмена данных по промышленной сети Ethernet, используется большинством

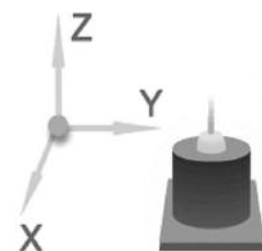


Рис. 4. Схематичное расположение измерительных осей X, Y, Z

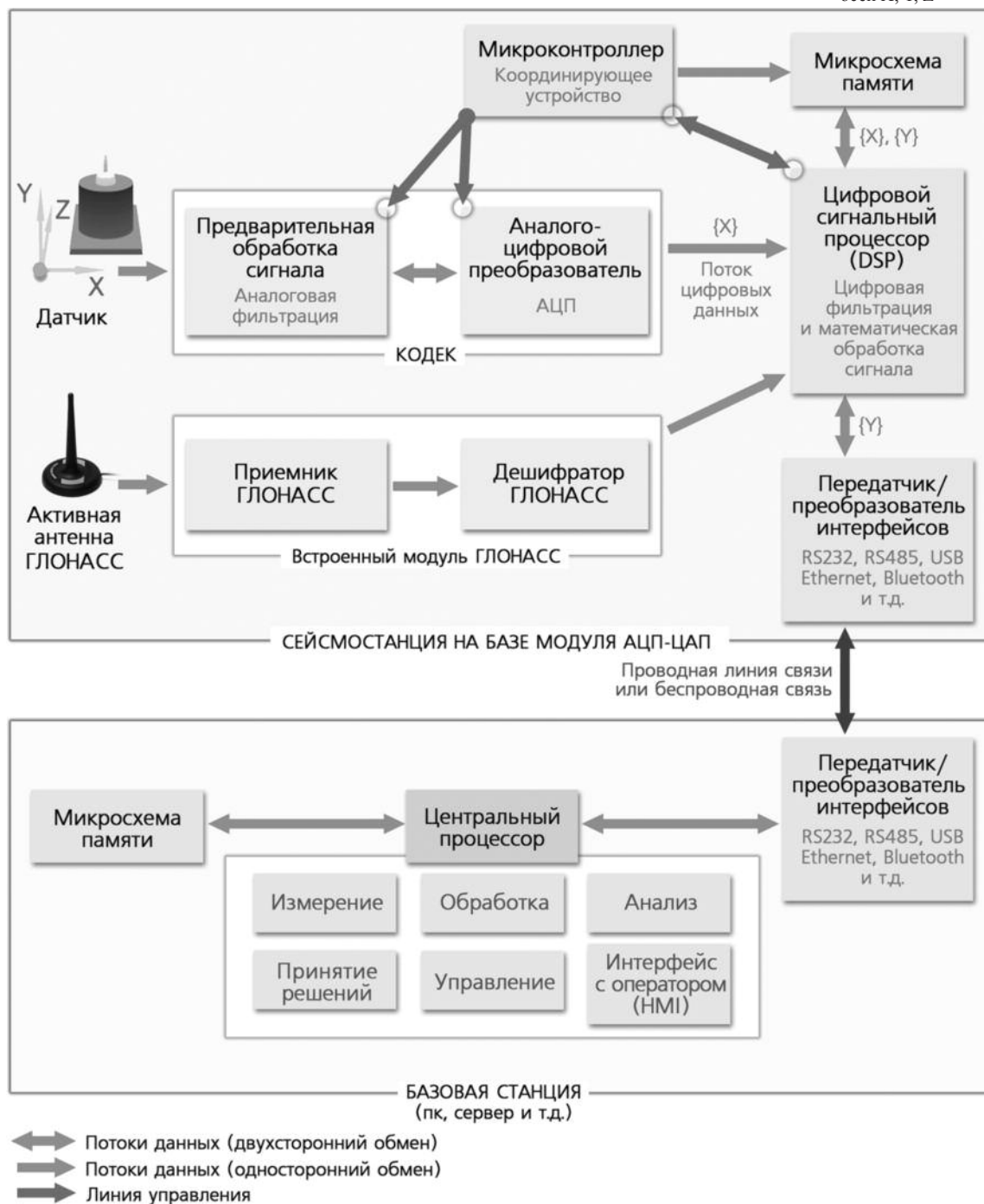


Рис. 5. Схема потоков данных. Источник информации – сейсмодатчик. Антенна ГЛОНАСС в составе спутниковой системы необходима для синхронизации данных между разными сейсмостанциями

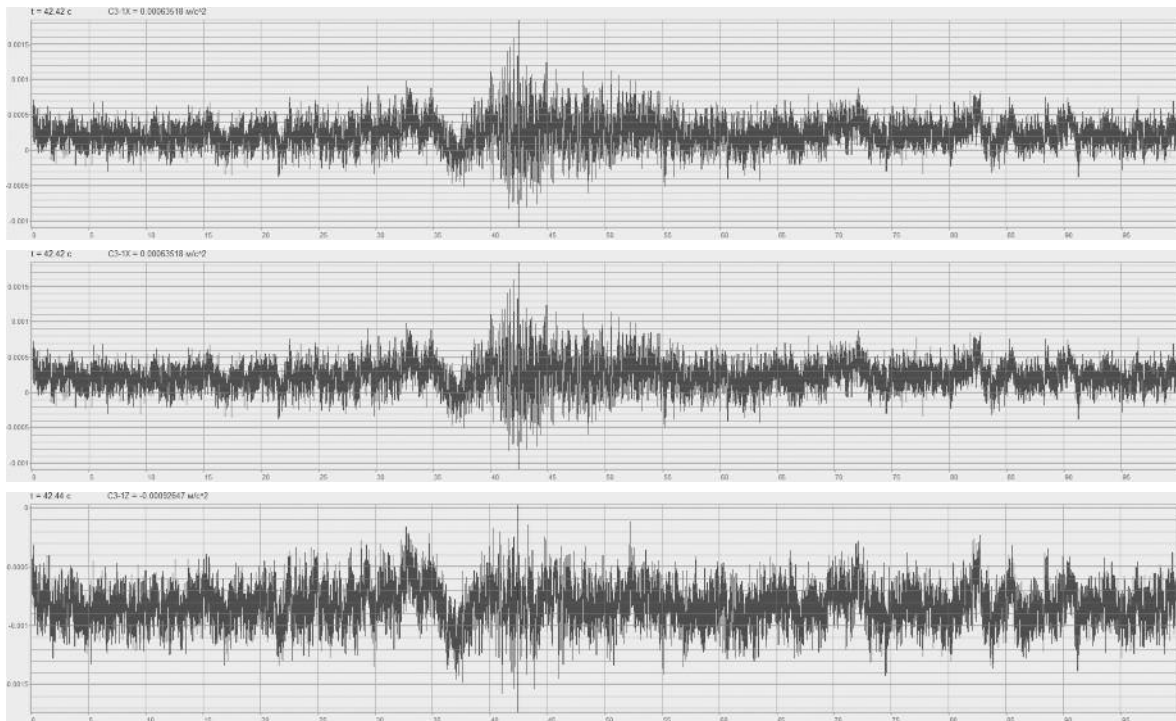


Рис. 6. Сейсмограммы. Компоненты одного из сейсмодатчиков: X-верхний, Y-средний, Z-нижний графики. Показания до полосовой фильтрации. Данные представлены в относительном времени

производителей, как аппаратуры, так и программ для обеспечения стандартного обмена данными между элементами системы).

Итак, мы имеем первичный преобразователь (трехкомпонентный датчик), сейсмостанцию (в приближении – это модуль АЦП + промышленный компьютер, обеспечивающий математическую обработку и передачу данных на верхний уровень по технологии OPC). Задача состоит в том, что б обработать сигнал в реальном времени или записать исходный сигнал, проанализировать его и однозначно определить наличие события (землетрясение), если событие обнаружено, то необходимо указать время его начала с минимальной погрешностью но так же необходимо указать и длительность события.

Составим структурную схему (Рисунок 5, сверху) потоков данных на нижнем уровне – уровень сейсмостанции включает в себя датчик, спутниковую систему синхронизации данных (основа – GPS или ГЛОНАСС), модуль АЦП. Информация в реальном масштабе времени поступает с датчика на модуль АЦП и далее передается на промышленный компьютер, где и обрабатывается проектируемым алгоритмом.

Для первоначальной оценки параметров сигнала воспользуемся методом визуального анализом временной реализации данного сигнала, т.е. сейсмограммой (Рисунок 6) сто секундной записи. На рисунке 6 представлены записи с трех компонент сверху вниз по порядку – ось X, ось Y, Ось Z. Видно, что приблизительно на 40 секунде виден всплеск сигнала, (для справки, соответс-

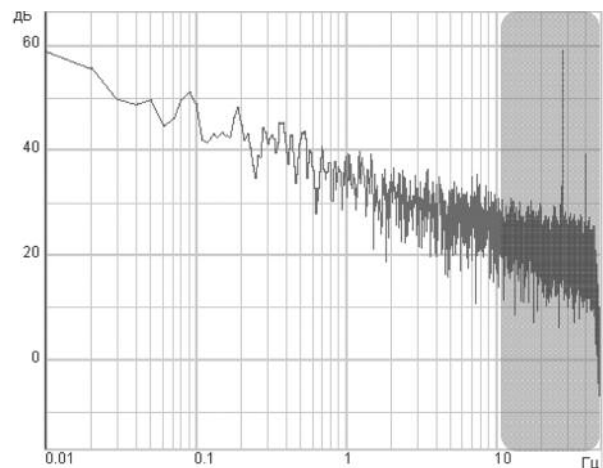


Рис. 7. Выделен высокочастотный участок (относительно полезной частоты в нашей задаче), в данной задаче является шумами

твует московскому времени 17:31 20 августа 2010 года). В качестве рабочей записи примем этот временной диапазон, и все математические операции по идентификации сейсмического сигнала будем проводить именно с этим сигналом. Отметим, что в окнах сейсмограмм по оси абсцисс используется относительное время, а не абсолютное.

Проанализируем шумовую составляющую записи, то есть ту часть, где заведомо не было полезного сигнала. На рисунке 7 представлен спектральный анализ сигнала – график спектральной мощности шумов в децибелах (относительно опорного значения для расчета дБ, принятого в случае единиц измерения ускорения в m/s^2 ,

что составляет 0.0003 м/с^2) в зависимости от частоты.

Параметры расчета:

- метод расчета – дискретное преобразование Фурье;
- от 0.01 Гц до 40 Гц;

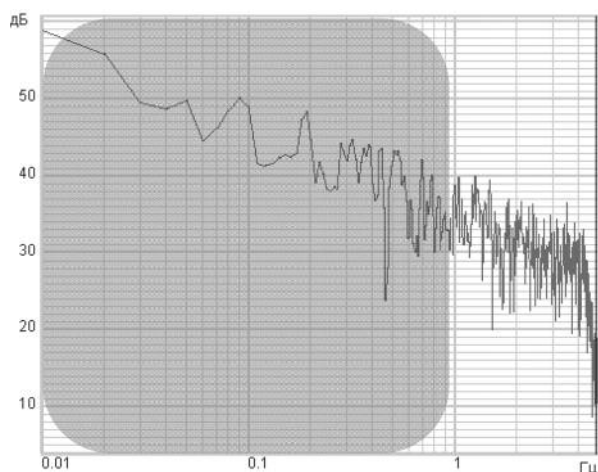


Рис. 8. Выделен низкочастотный участок (относительно полезной частоты в нашей задаче), в данной задаче является шумами, это микросейсмы (шумы океанов, крупных озер и т.д. (4))

- частотное разрешение 0.01 Гц;
- изображен максимальный график за 100 секунд усредненных по 5 секунд различных реализаций сигнала;

На рисунке 8 представлен более подробный график (за счет выбора иного частотного диапазона – в 10 раз меньше) со следующими параметрами:

- метод расчета – дискретное преобразование Фурье;

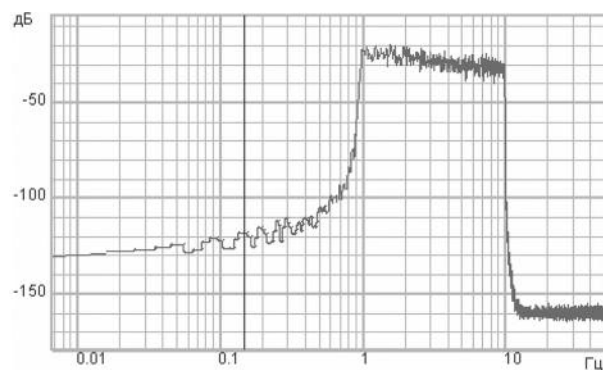


Рис. 9. Спектр шумовой составляющей сигнала по оси X (до события)

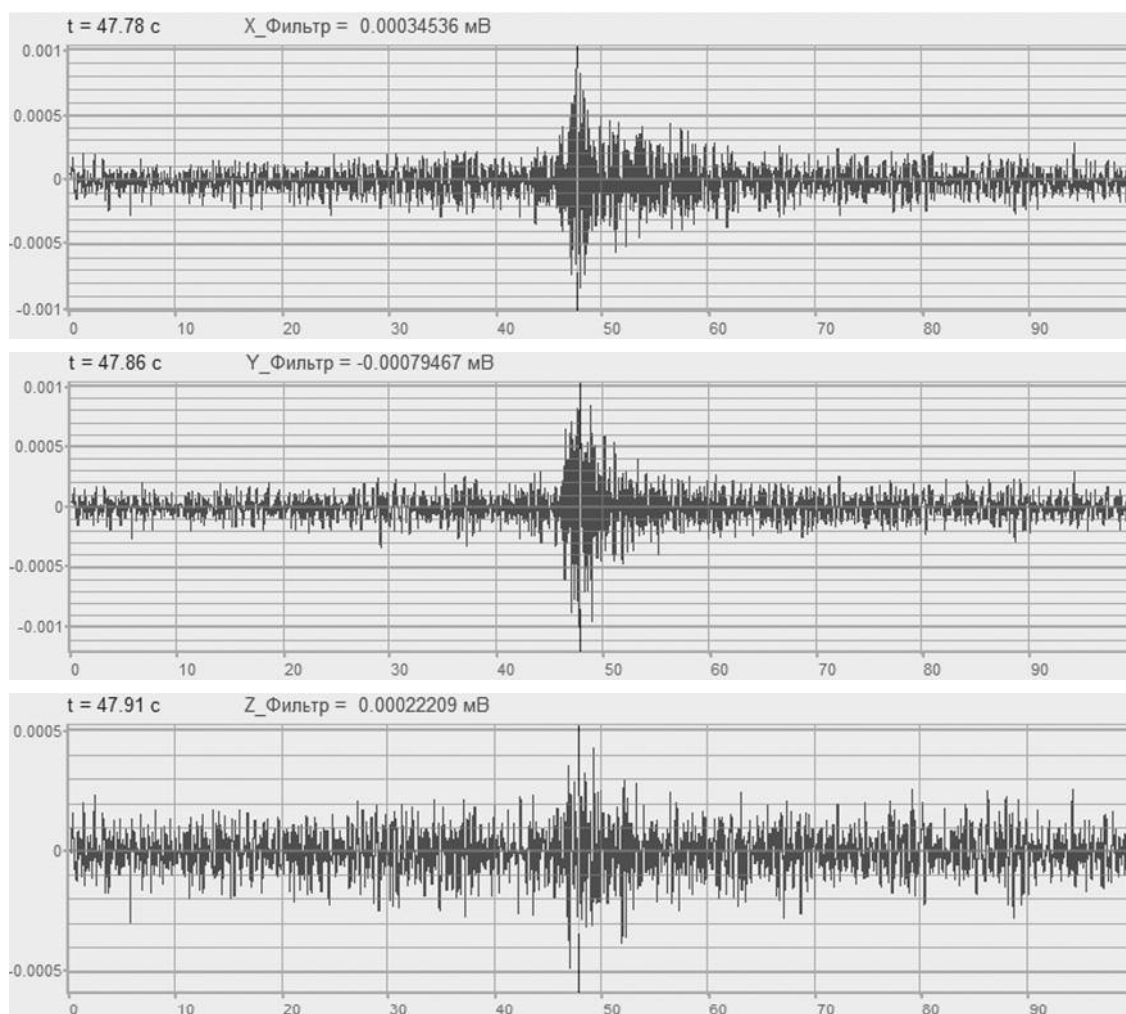


Рис. 10. Сейсмограммы. Компоненты одного из сейсмодатчиков: X-верхний, Y-средний, Z-нижний графики. Показания после полосовой фильтрации. Данные представлены в относительном времени

- от 0.01 Гц до 4 Гц;
- частотное разрешение 0.01 Гц;
- изображен максимальный график за 100 секунд усредненных по 5 секунд различных реализаций сигнала;

Данные, на обоих рисунках, приведены в логарифмическом масштабе для того, что бы более подробно рассмотреть сигнал на низких частотах, являющихся информативными, и иметь общее представление о сигнале на высоких частотах, которые содержат шумы техногенного характера, и их необходимо отфильтровать.

Приняв во внимание то условие, что в нашей задаче техногенные шумы и шумы микросейсм являются “нежелательными” подвергнем сигнал полосовой фильтрации.

Произведем цифровую фильтрацию исходного сигнала, для этого сформируем полосовой фильтр со следующими параметрами по всем измерительным осям:

- ФВЧ 10 Гц;
- ФНЧ 1 Гц;

Фильтр реализуем с применением программы ZETLabZFormula, текст формулы, представлен на рисунке 16. Результат работы полосового фильтра приведен на рисунке 9 – спектральная мощность сигнала.

Сравнительным анализом временной реализации данных по осям X, Y и Z до и после проведения цифровой фильтрации в полосе 1-10 Гц (на рисунках 6 и 10) виден существенный выигрыш – теперь факт наличия события отчетливо виден на сейсмограммах (Рисунок 10). Однако, момент начала события можно определить лишь с большим приближением (Рисунок 11):

- $\pm 1-3$ секунд для показаний по оси X;
- $\pm 1-5$ секунд для показаний по оси Y;
- по оси Z факт наличия события невозможно определить (либо с погрешностью более 10 секунд);

После полосовой фильтрации соотношение сигнал/шум увеличилось, но все же начало события с точностью до нескольких отсчетов АЦП определить невозможно. Далее, предварительно отфильтрованный сигнал, обработаем методом анализа отношения

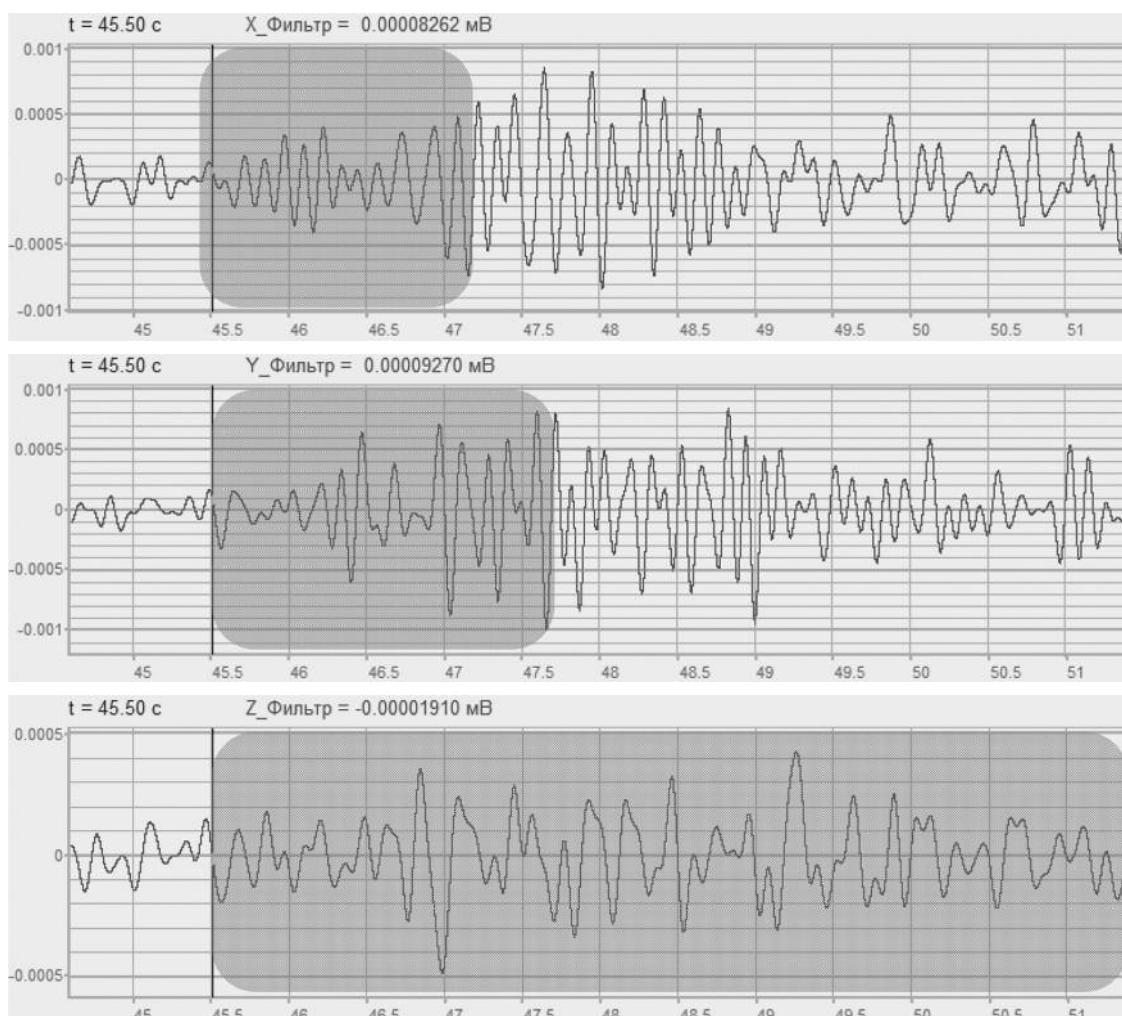


Рис. 11. Компоненты одного из сейсмодатчиков: X-верхний, Y-средний, Z-нижний графики. Увеличение масштаба по оси времени. Данные представлены в относительном времени. Зона неопределенности подсвечена темным фоном

амплитуд в коротком и длинном временных окнах – метод STA/LTA (STA/LTA - Short

Time Average to Long Time Average). Впервые данный метод был описан в теоретической работе Фрейбергера. Эти методики требуют небольшого объема вычислений, что является существенным аргументом

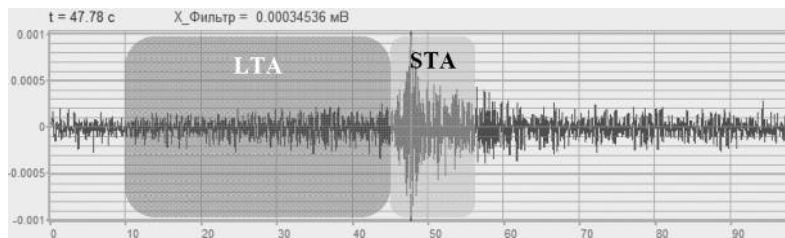


Рис. 12. Наглядная демонстрация алгоритма. Данные представлены в относительном времени

использования их в системах реального времени (6). Результат работы алгоритма из статьи (6) приведен на рисунке 12. Результат собственной реализации алгоритма приведен на рисунке 13.

Приведем формулу расчета критерия STA/LTA:

$$STA(t) \backslash LTA(t) = \frac{MX[t_1]}{MX[t_2]},$$

где MX – математическое ожидание амплитуды сигнала за разное время наблюдения, например STA на участке 1 секунда, LTA на участке 10 секунд.

$$MX[t_1] = LTA(t) = \frac{1}{NS} \sum_{j=i}^{i+NS} \sqrt{x(jh)^2 + y(jh)^2 + z(jh)^2}$$

$$MX[t_2] = LTA(t) = \frac{1}{NL} \sum_{j=i-NL}^i \sqrt{x(jh)^2 + y(jh)^2 + z(jh)^2}$$

где $t = ih$ ($i=1,2,\dots$) – дискретное время, $1/h$ – частота дискретизации,

NS и NL – число отсчетов в коротком и длинном временных окнах.

Временная сложность детектора STA/LTA равна $O(N)$, где N – число отчетов анализируемой записи. Столь малая временная сложность объясняет широкое применение детектора в геофизических системах, функционирующих в реальном времени (6).

Как видно из рисунка 13, четкость в определении времени начала достигнута. Теперь необходимо добиться автоматического детектирования начала события. В работе Фрейбергера сказано, что порог детектирования задается как константа.

Очевидны существенные недостатки такого алгоритма:

- возможны ложные срабатывания при низком значении пороговой линии для повышения точности работы;
- влияние межсезонных и суточных вариаций (4), тем самым может изменяться точность алгоритма во времени;
- при заранее высоком уровне порога снижение точности метода;

Как решение, устраняющее все вышеперечисленные недостатки, предлагаю использование адаптивного алгоритма обнаружения, когда порог подстраивается автоматически, в зависимости от статистических характеристик сигнала за время наблюдения NKL , где время предыстории сигнала $NKL > NL$ в K раз, то есть $NKL = NL \times K$.

В качестве заключения отметим, что предложенный метод адаптации детектора STA/LTA позволяет автоматически определять

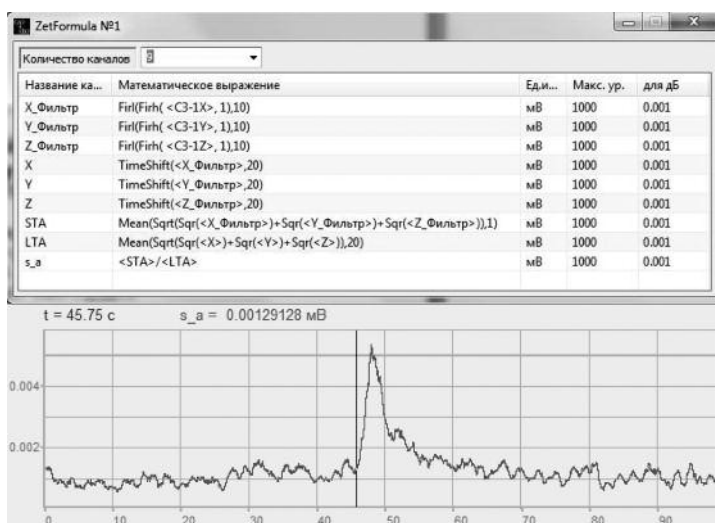


Рис. 13. результат работы программы STA/LTA. Данные представлены в относительном времени. Формула расчета выполнена на программном обеспечении ZETLab

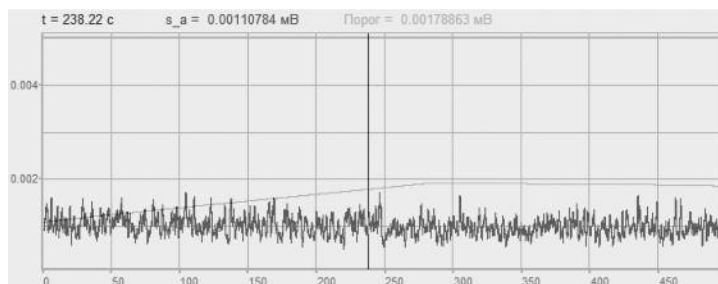


Рис. 14. Переходный процесс во время накопления статистики NKL. Прямолинейный график – порог, красный график – критерий STA/LTA. Данные представлены в относительном времени

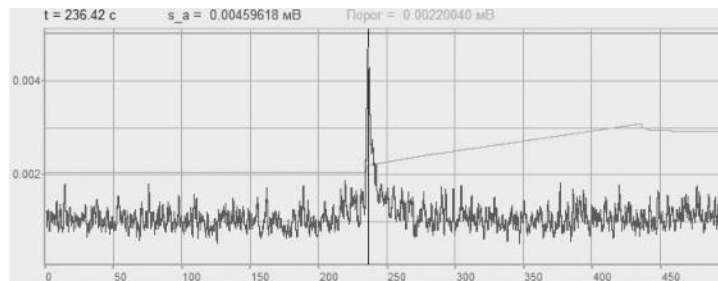


Рис. 15. Пересечение графика адаптивного порога срабатывания с графиком критерия STA/LTA. Данные представлены в относительном времени.

ZetFormula №1			
Количество каналов	10		
Название ка...	Математическое выражение	Ед.и...	Макс. ур. для дБ
X_Фильтр	Fir(Firh(<C3-1X>, 1),10)	мВ	1000 0.001
Y_Фильтр	Fir(Firh(<C3-1Y>, 1),10)	мВ	1000 0.001
Z_Фильтр	Fir(Firh(<C3-1Z>, 1),10)	мВ	1000 0.001
X	TimeShift(<X_Фильтр>, 20)	мВ	1000 0.001
Y	TimeShift(<Y_Фильтр>, 20)	мВ	1000 0.001
Z	TimeShift(<Z_Фильтр>, 20)	мВ	1000 0.001
STA	Mean(Sqrt(Sqr(<X_Фильтр>)+Sqr(<Y_Фильтр>)+Sqr(<Z_Фильтр>)),1)	мВ	1000 0.001
LTA	Mean(Sqrt(Sqr(<X>)+Sqr(<Y>)+Sqr(<Z>)),20)	мВ	1000 0.001
s_a	<STA>/<LTA>	мВ	1000 0.001
Порог	Mean(Max(<s_a>, 200),600)+Mean(Max(<s_a>, 50),200)*0.05	мВ	1000 0.001

Рис. 16. Формула, реализующая алгоритм адаптации порога срабатывания. Формула расчета выполнена на программном обеспечении ZETLab

участок сейсмограммы, что обеспечивает высокую точность в определении момента вступления волн. Математический аппарат ZETLab позволяет настраивать систему в кратчайшие сроки, позволяя изменять различные параметры алгоритма во время системы, без реконфигурации работы аппаратной части и остальных программ комплекса программ. Стоит отметить, что адаптация алгоритма STA/LTA с высокой точностью результата может применяться в условиях плавно нарастающего фронта сигнала и в условиях сезонных вариаций фонового шума. Так же, данный метод может быть применен и в прикладных областях, где необходимо определение момента вступления волн, например, при работе с датчиками акустической эмиссии, в методах неразрушающего контроля.

Предложенный алгоритм, выполненный с применением программно-аппаратного комплекса ZETLab, может быть полезен инженерам в реализации специализированной техники, необходимой для обнаружения события в сигнале на фоне посторонних шумов.

А система в целом предоставляет данные специалистам в области сейсмологии и смежных научных областях, дает возможность принять решение о размещении тех или иных объектов или проведении различных работ в определенной местности.

В статье была использована следующая литература:

1. Д.Н.Ушаков. Толковый словарь русского языка. Москва : Гос. ин-т "Сов. энцикл."; ОГИЗ; Гос. изд-во иностр. и нац. слов., 1935-1940.
2. МЧС. www.spas-extreme.ru. Интернет-портал МЧС. [В Интернете] [Цитировано: 18 08 2010 г.] <http://www.spas-extreme.ru/schoolsafety/prirodchs/zemletryenie/russia.php>.
3. О.К.Кедров Сейсмические методы контроля ядерных испытаний. Москва, Саранск :Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта; Рос. Акад. Наук, 2005.
4. статья "Алгоритмы адаптивной фильтрации: особенности реализации в MATLAB". А.Б.Сергиенко б.м. : Математика в приложениях, №1 2003 г.
5. Автоматическое определение длительности сейсмического события в режиме реального времени. С.В.Баранов Москва : Сборник статей аспирантов, соискателей, докторантов и научных работников, №3 2004 г.

О применении информационно-управляющей системы, основанной на интеграции различных методов обнаружения утечек и посторонних воздействий на магистральных нефтепроводах

Статья посвящена обзору методов контроля утечек, основанных на расчете векторов информационных параметров, одновременно с несколькими сегментами мониторинга технического состояния нефтепровода в рамках единой системы управления. Предлагаемый метод будет способствовать раннему обнаружению утечек транспортируемого продукта с целью обеспечения экологической безопасности. Предлагается вариант его реализации путем построения системы контроля на основе разработанной структурной схемы единой системы управления промышленной безопасностью магистрального нефтепровода.

Исследования [1] показали, что основной риск возникновения чрезвычайных ситуаций на магистральных трубопроводах связан с авариями на линейной части (ЛЧ). Расчеты частоты утечек на ЛЧ магистрального нефтепровода (МН) показывают, что для объемов утечки более 1 т частота утечек составляет 0.25 на 1000 км, для 100 т – 0.07, для 500 т – 0.06, для 1000 т – 0.04, для объемов утечки более 5000 т составляет менее 0.01. Перечисленные выше коэффициенты могут быть увеличены при прохождении МН по территории с повышенной сейсмической активностью за счет наличия вероятности возникновения землетрясения.

Когда происходит землетрясение, возникает вопрос, насколько сильным оно было и может ли продуктопровод функционировать в штатном режиме. Данные вопросы являются более чем существенными для экономической и экологической составляющих. В свете недавнего события, связанного с разливом нефти компании British Petroleum в Мексиканском заливе у побережья США [2] в 2010 году, во всем мире, в том числе и в России, экологический аспект приобретает особую важность.

Фактически, при функционировании реальной системы обнаружения утечек (СОУ) необходимо учитывать техническую составляющую, а именно: возможность системы обнаружить тот или иной тип утечки, а так же, время, необходимое для обнаружения. Стоит учесть, что при наложении нескольких факторов возможна ситуация, когда утечка не будет обнаружена или будет обнаружена со значительной временной задержкой.

Таким образом, данная статья сосредотачивается на

том, как применение информационно-измерительной системы, основанной на интеграции различных методов обнаружения утечек (учитывающих различные физические проявления утечек) и посторонних воздействий на МН может способствовать раннему обнаружению утечек с целью обеспечения экологической безопасности транспортировки нефти и нефтепродуктов.

Влияние землетрясения на магистральный нефтепровод на примере магистрали Trans-Alaska Pipeline System

3 ноября 2002 года землетрясение магнитудой 7.9 баллов произошло на Аляске и непосредственно затронуло магистраль "Trans-Alaska Pipeline System" (параметры магистрали: 1287 км, 48 дюймов или 122 см) рассчитанную на 8.5 баллов. Команда экспертов прибыла на предполагаемое место воздействия стихии на линейную часть МН через 40 минут. Исследования аварийного участка показали, что опоры повреждены, но утечек нет, однако, очевидно, что труба в целом, не выдержит повторного удара, магистраль не функционировала более 66 часов [3]. По рис. 1 можно оценить состояние до и после землетрясения.

Прохождение МН по территориям с повышенной сейсмической активностью в России

В настоящее время на территории России эксплуатируется более 50 тыс. км МН, которые обеспечивают транспортировку 99,5 % добываемой в России нефти [4], некоторые магистрали проходят по территориям с повышенной сейсмической. В нашей стране тако-



Рис. 1. Последствия землетрясения 7.9 баллов на магистрали Trans-Alaska Pipeline System

выми считаются 40% территорий от общей площади, в том числе 9% территорий относится к 8-9 балльным зонам по шкале MSK-64, в сейсмически активных зонах проживает более 20 миллионов человек, ежегодно происходят десятки [5] землетрясений (однако большинство из них являются слабыми, не затрагивающими существующую инфраструктуру). По карте сейсмической активности, изображенной на рис. 2, можно визуально оценить процентное соотношение территорий РФ, подверженных землетрясениям.

История современной России знает, по крайней мере, несколько случаев, когда внедрение новых методов обеспечения безопасности было бы исключительно полезным. Так, в приказе Госкомэкологии № 303 от 18.05.1998г. [6] и соответствующем отчете [7] «Об утверждении заключения государственной экологической экспертизы по материалам обоснования инвестиций в строительство нефтепроводной системы Каспийского трубопроводного консорциума (выбор места размещения морского терминала и трасс нефтепровода на территории Краснодарского края)» особо отмечается экологический аспект, учитываю-

щий курортно-рекреационный статус местности. Но в отчете, так же, говорится об альтернативных коридорах выхода нефтепровода на Черноморское побережье России, то есть, выбор одного из двух путей, более безопасного с точки зрения экологии и существующих инфраструктур, не решает проблемы своевременного обнаружения утечек особенно, на фоне вероятности возникновения 9-балльного землетрясения.

Все вышесказанное лишь подтверждает актуальность внедрения новых технологий обеспечения безопасности нефтепроводов.

Основные недостатки существующего способа обеспечения промышленной безопасности МН и предлагаемые способы устранения

Количество нефти, которое может вытечь при аварии, является вероятностной функцией, зависящей от многих случайных параметров [8]:

- места расположения и площади дефектного отверстия;
- продолжительности утечки нефти с момента возникновения аварии до остановки перекачки, продолжительности утечки нефти с момента остановки перекачки до закрытия задвижек, времени прибытия аварийной бригады (от десятков минут до нескольких часов);
- диаметра нефтепровода, профиля трассы, характеристик насосов;
- “установки” на защиту и других параметров.

В правилах [9] организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории РФ подробно регламентируется время фактической локализации и устранения разливов при поступлении сообщения. Регламентируемое время локализации и устранения утечек может достигать нескольких часов, этот параметр учитывает множество факторов, в том числе, технический, а именно, возможность системы обнаружить тот или иной



Рис. 1. Карта сейсмической активности на территории РФ

Недостаток	Способ устранения недостатка
Задержка поступления информации от момента возникновения возможной неисправности до момента оповещения персонала	Ввод в систему автоматических аппаратно-программных комплексов устанавливаемых на МН
Возможность искажения информации из-за неверного применения методик измерения	Унификация конструкторского исполнения установленного на МН оборудования мониторинга утечек
Возможность искажения информации из-за несвоевременного контроля метрологической исправности средств измерения	Использование алгоритмов самодиагностики и автоматического определения неисправностей установленного на МН оборудования мониторинга утечек
Возможность сокрытия инцидентов и фактов неудовлетворительного технического состояния	Накопление всей поступившей информации в базе данных на сервере истории, персонификация квитирования тревожных сообщений системы

Таблица 1. Основные недостатки в обеспечении промышленной безопасности МН [13]

тип утечки и время реакции системы. Анализ параметров работы многих существующих СОУ, нормативной документации [10,11], а так же данных по действиям персонала в аварийных ситуациях показал (в том числе и в газотранспортной сфере [12,13]), что с момента фактического разрыва продуктопровода до отключения аварийного участка требуется от 10 до 20 минут для крупных утечек, и несколько часов для малых утечек, которые “трудно” зафиксировать приборами [11].

Эффективным способом обеспечения экологической безопасности нефтепроводов является своевременное обнаружение утечек и точная локализация места истечения транспортируемого продукта, поэтому крайне важно ускорить время реакции системы от нижнего уровня до оператора и в дальнейшем до руководства, принимающего решение. Для этого необходимо улучшать технические показатели СОУ и устранить некоторые недостатки существующего способа обеспечения промышленной безопасности (табл. 1).

Одним из основополагающих недостатков является задержка от момента возникновения возможной неис-

правности до момента оповещения персонала, данная задержка может возникнуть в том числе и по причине невозможности детектирования того или иного события существующими СОУ, либо по причине необходимости в длительном накоплении сигнала, поступающего с датчиков в реальном масштабе времени (РВ).

Стоит отметить, что существует более глубокая проблема в обеспечении безопасности и заключается в том, что в основе многих существующих систем контроля утечек положен один метод поиска утечек, основанный на одном из многих физических принципов работы (табл. 2), каждый из которых имеет свои недостатки и преимущества. Некоторые системы нацелены на обнаружение несанкционированных врезок, при которых процесс возникновения утечки сопровождается высоким уровнем сигналов, такого рода сигналы являются “утопическими” в большинстве других задач (например, при возникновении утечки под воздействием русловых процессов или коррозии и т.д.).

К решению данного вопроса необходимо подходить комплексно, а именно, проанализировать все основные

Метод поиска утечек и посторонних воздействий на МН	Преимущество	Недостаток
Акустико-эмиссионный	Высокая точность локализации места истечения на малых дистанциях (десятки метров), способность накопления сигнала с целью повышения точности	Низкая скорость работы, и невозможность использования на больших дистанциях
Акустический	Высокая точность локализации места истечения на больших дистанциях (тысячи метров), способность накопления сигнала с целью повышения точности	Низкая скорость работы, высокая чувствительность к фоновым шумам акустического диапазона
Параметрический (анализ давления)	Высокая скорость работы	Невысокая точность локализации места истечения, невозможность накопления сигнала с целью повышения точности
Мониторинг сейсмической активности	Высокая скорость реакции на факт воздействия сейсмического события, возможность расчета вектора распространения волны и дальности эпицентра от объекта	Невозможность обнаружения факта утечки

Таблица 2. Преимущества и недостатки

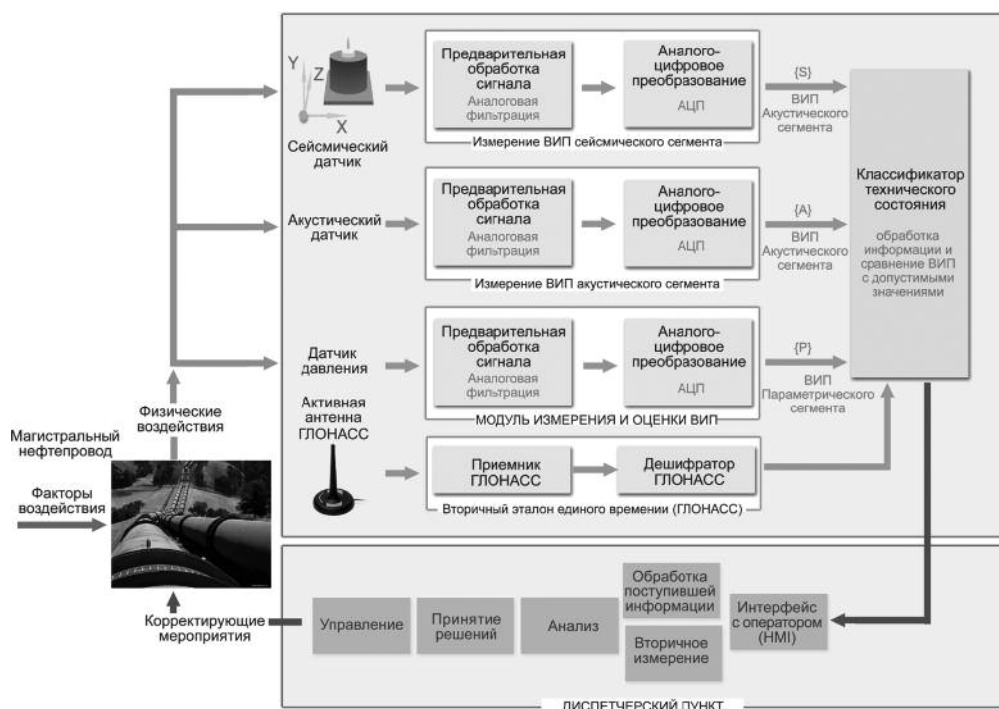


Рис. 3. Структурная схема информационно-измерительной и управляющей системы обеспечения промышленной безопасности МН

угрозы и произвести интеграцию нескольких подсистем в рамках единой системы обеспечения безопасности транспортировки, в том числе, в регионах с повышенной сейсмической активностью необходимо использовать подсистему мониторинга сейсмической активности.

Автором статьи предлагается произвести интеграцию нескольких методов, основанных на различных физических принципах и на различных алгоритмах поиска утечек в рамках единой системы мониторинга. Применение нескольких подсистем в рамках единой системы позволяет перекрывать недостатки каждой из них, тем самым, в конечном счете, минимизировать время истечения транспортируемого продукта.

Интеграция нескольких методов обнаружения утечек с целью сокращения времени истечения нефтепродукта

Исходя из вышесказанного, в том числе, основываясь на конкретном примере с Trans-Alaska Pipeline System, интеграция дополнительного звена в виде системы контроля сейсмических воздействий и нескольких "классических" подсистем обнаружения и локализации утечек, позволяет более оперативно реагировать на факт возникновения утечки. Ввиду актуальности использования систем контроля утечек, не только в сейсмически опасных зонах, но и в регионах характеризующихся более стабильным сейсмическим фоном, часть работы посвящена "классическим" методам обнаружения утечек: поиск утечек параметрическим

методом анализа волны давления и гидроакустическим методом. Важность использования системы интегрирующей несколько методов обнаружения утечек и посторонних воздействий очевидна, поскольку достоверность события подтверждается источниками информации, основанными на различных физических принципах. В системах автоматизированных мониторинга различными источниками информации можно считать сенсорные системы, основанные на различных физических принципах: акустический [14,15], акустико-эмиссионный [16-18], параметрический, основанный на анализе волны давления, сейсмический метод обнаружения посторонних воздействий на нефтепровод [19].

В соответствии с табл. 1 и 2, а так же, основываясь на предлагаемом принципе суперпозиции нескольких методов мониторинга, создана структурная схема информационно-измерительной и управляющей системы обеспечения промышленной безопасности МН. Предлагаемая структурная схема изображена на рис. 3.

Изображенная на рисунке структурная схема показывает одновременную работу трех подсистем (сегментов) в пределах единой системы безопасности МН. Техническое состояние трубы с точки зрения наличия или отсутствия утечки характеризуется тремя векторами информационных параметров:

- вектор $\{A\} = \{a_1, 2, \dots, n\}$ (Acoustic) определяет набор информационных параметров для акустического сегмента;
- вектор $\{P\} = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ (Pressure) описы-

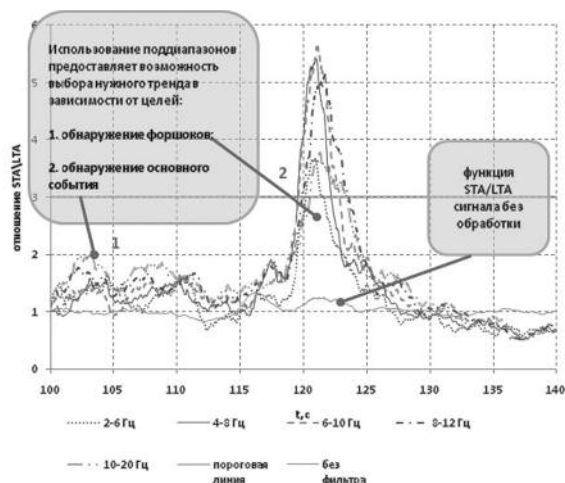


Рис. 4. Результат обнаружения сейсмического события одним сейсмоприемником, использование группы сейсмоприемников позволяет определить эпицентр и направление распространения волны по анализу временных задержек

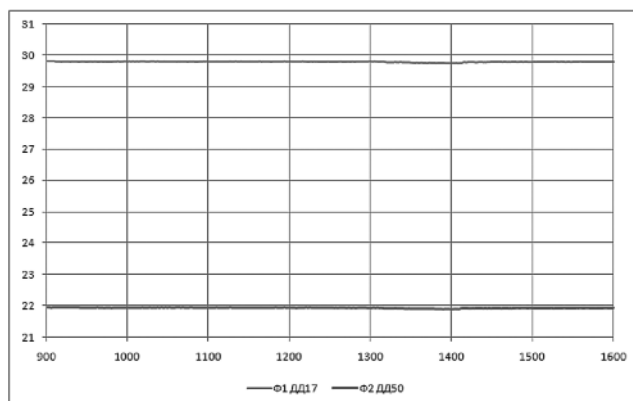


Рис. 5. Тренды давления в РВ по двум датчикам (расстояние между датчиками 33 км). Слева в оригинальном виде. Справа в приведенном масштабе. Точность обнаружения ± 2000 метров

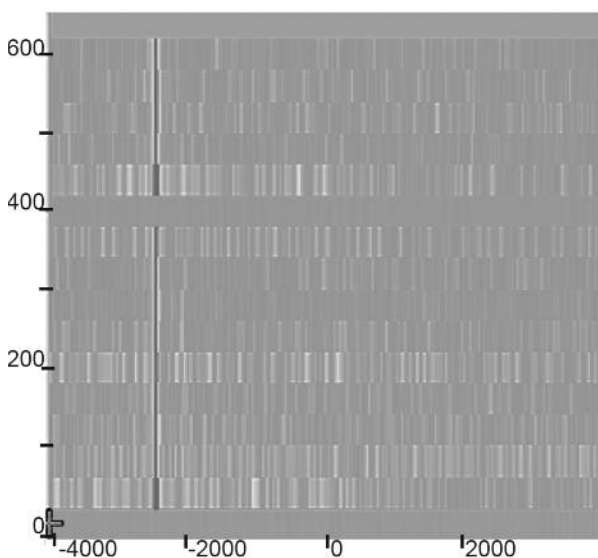
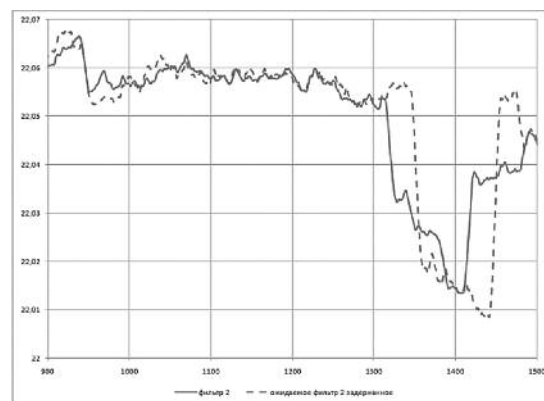


Рис. 6. Результат работы акустического алгоритма поиска утечек (на графике изображен максимум взаимной корреляционной функции, рассчитанная для пары датчиков на расстоянии 7500 м)

ет параметрический сегмент анализа давления;

- вектор $\{S\} = \{S1, S2, \dots, Sn\}$ (Seismic) определяет набор информационных параметров для сейсмического сегмента.

В соответствии с алгоритмом работы классификатора технического состояния происходит контроль параметров каждого из векторов в РВ с передачей соответствующих информационных сообщений на автоматизированное рабочее место оператора (АРМ оператора) диспетчерского пункта единой системы управления технологическим процессом (УСУ ТП). Оператор системы контроля действует в соответствии с инструкцией по мониторингу технического состояния МН, где определен перечень мероприятий, которые он обязан предпринять в случае получения тех или иных сообщений системы. Отдельно следует отметить, что немедленная остановка транспортирования предпринимается в исключительных случаях, поз-

тому в предлагаемую систему включена некоторая избыточность методов обнаружения, параметры которых заложены в классификаторе.

Пример использования предлагаемой системы

Использование сейсмического сегмента, при необходимости, позволяет приступить к подготовительным работам и координации действий аварийно-ремонтной бригады (АРБ) по факту возникновения утечки, не дожидаясь показаний сегмента системы обнаружения утечек (поскольку пример МН на Аляске показывает, что землетрясение не всегда приводит к возникновению утечки).

Пример математической обработки сейсмического сигнала (магнитудой 4.5 балла) изображен на рис. 4.

Для расчетов используется специализированный математический аппарат, основанный на алгоритмах фильтрации для выделения полезного сигнала на фоне посторонних шумов и на алгоритме выделения полезного сигнала из отфильтрованной цифровой последовательности.

По результатам работы системы обнаружения утечек (СОУ), основанной на использовании результатов работы сразу нескольких сегментов можно достичь высокой скорости и точности обнаружения утечки, а именно:

- при базе между датчиками 7456м время обнаружения утечки гидроакустическим методом составляет несколько минут (1-5 минут) с погрешностью локализации ± 15 м; время обнаружения утечки составляет менее 5 секунд, с погрешностью ± 300 м;
- при базе между датчиками 33000м время обнаружения утечки гидроакустическим методом составляет несколько минут (3-5 минут) с погрешностью локализации ± 1000 м; скорость обнаружения утечки составляет менее 33 секунд с погрешностью локализации ± 2000 м;

Результат работы алгоритмов СОУ в графическом виде приведен на рис. 5 и 6.

Таким образом, использование системы, основанной на нескольких сегментах, может значительно ускорить время реакции системы на произошедшую нештатную ситуацию, а интеграция сейсмического сегмента, в случае сейсмического воздействия на нефтепровод, позволяет, не изменяя режим работы МН, начать координацию АРБ заблаговременно (одновременно ожидая показаний СОУ), что в значительной степени может сократить ущерб, нанесенный окружающей среде в случае возникновения утечки.

В статье была использована следующая литература:

1. Гражданкин и др. Современные подходы обеспечения безопасности и предупреждения аварийности и производственного травматизма на опасных производственных объектах трубопроводного транспорта. URL: <http://hazard.fromru.com/Risk>. Дата посещения: 13.12.2010.
2. Российская газета: Федеральный выпуск. ВР потратила на борьбу с ущербом от разлива нефти 11 миллиардов долларов. 01.10.2010.
3. L. Grisser, Dr. M. Wieland, R. Walter atc. Pipeline & Gas Jurnal. December 2004.
4. Гумеров А.Г., Зубаиров А.Г. и др. Капитальный ремонт подземных нефтепроводов. М.: «Недра-Бизнесцентр», 1999. – С. 525.
5. Интернет-портал МЧС. URL: <http://www.spas-extreme.ru/schoolsafety/prirodchs/zemletrysenie/ussia.php>. Дата обращения: 01.10.2010.
6. Приказ Госкомэкологии РФ «Об утверждении заключения государственной экологической экспертизы по материалам обоснования инвестиций в строительство нефтепроводной системы Каспийского трубопроводного консорциума». 18.05.1998 г. № 303.
7. Заключение экспертной комиссии государственной экологической экспертизы по материалам «обоснования инвестиций в строительство нефтепроводной системы Каспийского трубопроводного консорциума». 13.05.1998.
8. РД «Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах» (утв. ОАО «АК «Транснефть»» 30.12.99 пр. №152, согл. Госгортехнадзором России №10-03/418 от 07.07.99).
9. «Правила организации мероприятий по предотвращению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации». – Постановление правительства Российской Федерации №240. 15 апреля 2002.
10. РД Газпром 39-1.10.-084-2003. Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром».
11. РД «Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах». -М.: Федеральный горный и промышленный надзор России. НТЦ «Промышленная безопасность». Издание №2. -2002.
12. Повышение безопасности эксплуатации газопроводов и интеллектуальная система управления линейными кранами магистрального газопровода при авариях. Ростехнадзор. Наши регион. науч.-практич.информ.журнал. -Уфа: 2008, №4. – С. 70-76.
13. Пиксайкин Р.В. Автореферат на соискание ученой степени к.т.н. Разработка и создание информационно-измерительной системы обеспечения промышленной безопасности переходов магистральных газопроводов через авто- и железные дороги. М.: 2008. – С. 26.
14. Компания GroupLB Техническая документация «Wave Alert Автоматическая система обнаружения повреждений трубопроводов». Май 2009.
15. Техническая презентация: Компания LDS. Система обнаружения утечек и ударов для трубопроводов. Париж, Франция, апрель 2003 г.
16. НИИ Интроскопии при Томском политехническом университете. Техническая информация о системе непрерывного контроля герметичности участков нефтепровода ШКГН-1, ШКГН-2: URL: <http://inri.tpu.u/ub/snkgn.html>. Дата обращения: 01.11.2010.
17. Баранов Н., Вальчук А., Данилов С. Система обнаружения повреждений трубопроводов «Капкан». Технологии ТЭК, Нефтесервис: науч.-техн. журнал.-2005, № 2.
18. Техническая справка: ОАО «Завод им. Г.И. Петровского», «Магистраль-1», Нижний-Новгород, 2006.
19. Красовский А.А. Цифровая обработка в ZETLab при идентификации параметров сейсмического сигнала. Цифровая обработка сигналов. науч.-техн. журнал. - М.: 2010, №3. – С. 70-76.

Последние разработки

В данном разделе мы хотели представить последние разработки
ЗАО "Электронные технологии и метрологические системы"

Интеллектуальные датчики. Серия 7000

Семейство интеллектуальных датчиков ZET Sensor

ZET 7000 – семейство интеллектуальных миниатюрных простых в применении устройств. Семейство разрабатывалось для встраивания в корпуса всевозможных датчиков. Каждое устройство является одно-, двух или трехканальным, специализировано под конкретный тип датчика и содержит цифровой сигнальный процессор, что позволяет производить вычисления автономно и передавать пользователю уже готовые данные, не требующие дальнейшей обработки. Важным преимуществом серии является возможность использования устройств без сложных настроек и конфигураций. Датчик начинает работать и передавать данные сразу после подачи питания. Усиление и обработка производятся максимально близко к чувствительному элементу, а данные передаются в цифровом виде, что снижает требования к каналу передачи данных и для организации сети могут использоваться дешёвые кабели.

С помощью устройств данного семейства возможно построение распределенных измерительных сетей. В отличие от централизованных схем измерений, используемых традиционно, не требуется подключения типа «звезда», что позволяет снизить общую длину цепей.

Передача данных осуществляется по интерфейсам CAN 2.0 и RS-485. Сети также могут объединяться по радиоканалу и оптоволокну. Радиоканал позволяет размещать устройства на расстоянии сотен метров друг от друга и объединять до 120 устройств с возможностью работать синхронно. Использование оптоволокну позволяет объединять сети на расстоянии в несколько

километров. Модули допускают "горячую" замену, что облегчает обслуживание.

Передача данных по радиоканалу осуществляется на расстояние до 100 м, при использовании стандартного модуля. При использовании «усиленного» модуля расстояние будет увеличено до 1 км.

Устройство может быть оборудовано энергонезависимой памятью объемом до 32 Гб и источником питания для регистрации сигналов в автономном режиме. Для скачивания данных не требуется демонтировать устройство, а надо лишь подключить его к сети.

Исполнение устройств зависит от конкретной задачи.

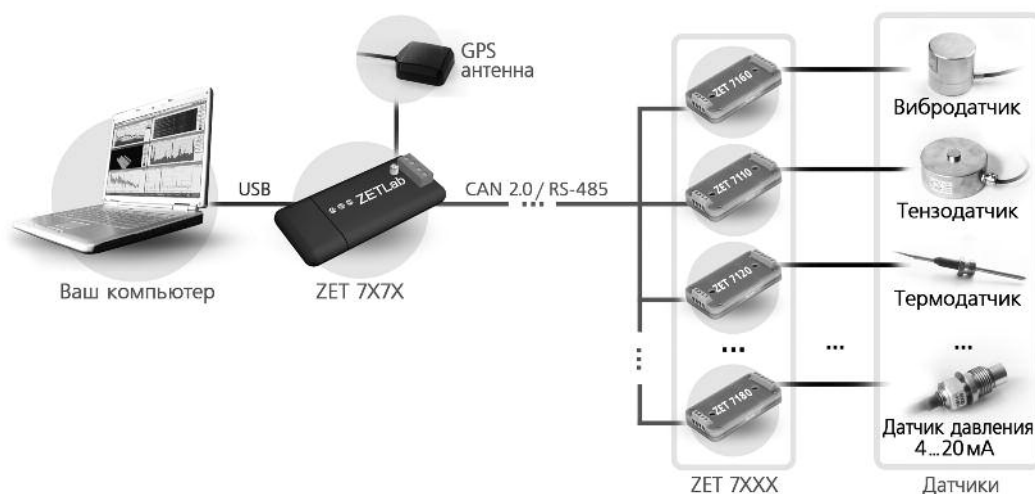


Рис. 1. Схема подключения модулей 7000 по шине RS-485 и CAN

Специализированные модули на шину		Измеряемый параметр	Тип подключаемого измерителя
на шину RS-485	на шину CAN		
ZET 7010	ZET 7110	относительная деформация (частота опроса до 10 Гц)	тензомост
ZET 7011	ZET 7111	динамические измерения (частота опроса до 5 кГц)	тензодатчик
ZET 7012	ZET 7112	давление (частота опроса до 5 кГц)	датчик давления (со встроенным измерителем)
ZET 7020	ZET 7120	температура (в °C)	термопара
ZET 7021	ZET 7121	температура (в °C)	термосопротивление
ZET 7040	ZET 7140	параметры акустической эмиссии	преобразователь акустической эмиссии
ZET 7041	ZET 7141	перемещение (в мкм)	вихретоковый датчик
ZET 7042	ZET 7142	расстояние (в мм)	акустический дальномер
ZET 7050	ZET 7150	параметры вибрации: ускорение, скорость, перемещение	вибродатчик стандарта ICP (IEPE)
ZET 7051	ZET 7151	мгновенные значения: ускорение, скорость, перемещения	сейсмометр
ZET 7052	ZET 7152	мгновенные значения: ускорение, скорость, перемещения	датчик линейного ускорения (со встроенным измерителем)
ZET 7053	ZET 7153	параметры вибрации: ускорение, скорость, перемещение	зарядовый вибропреобразователь

Таблица 1. Специализированные модули серии 7000

Модули для измерения различных параметров		Измеряемый параметр	Тип подключаемого измерителя
на шину RS-485	на шину CAN		
ZET 7060	ZET 7160	цифровой вход/выход медленный	тензомост
ZET 7061	ZET 7161	цифровой вход/выход быстрый	тензодатчик
ZET 7062	ZET 7162	выход "сухой контакт"	датчик давления (со встроенным измерителем)
ZET 7063	ZET 7163	гальванически развязанный вход	термопара
ZET 7080	ZET 7180	вход по току 4-20 мА, встроенный источник	термосопротивление
ZET 7081	ZET 7181	вход по постоянному напряжению 0-10 В	преобразователь акустической эмиссии
ZET 7082	ZET 7182	вход по переменному напряжению ±5 В (4 канала)	вихретоковый датчик
ZET 7090	ZET 7190	аналоговый выход ±5 В (2 канала)	акустический дальномер

Таблица 2. Модули серии 7000 для измерения различных параметров

Это может быть как обычное климатическое исполнение (от 0 до 60 °C), так и специализированное: пыле-, влагозащищенное, для расширенного температурного диапазона -40 до +125 °C, в искробезопасном исполнении.

Передача данных осуществляется по стандартному протоколу MODBUS, что позволяет подключать модули к системам различных производителей.

В комплект поставки входит программное обеспечение ZETLab и ZETView. С помощью этих программ можно строить автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУТП). Также в комплект входит OPC-сервер, который позволяет под-

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ИНТЕРФЕЙСОВ	
Название	Тип
ZET 7070	Преобразователь интерфейса USB в RS-485
ZET 7271	Преобразователь интерфейса CAN в Радиоканал
ZET 7172	Преобразователь интерфейса Радиоканал в CAN
ZET 7174	Преобразователь интерфейса USB в CAN

Таблица 3. Преобразователи интерфейсов серии 7000

ключать модули к любой существующей SCADA системе, поддерживающей OPC технологию.

Пример измерения температуры с помощью интеллектуального термометра термосопротивления ZET 7021

Интеллектуальный датчик температуры состоит из термометра термосопротивления и модуля ZET 7X21, преобразующим сигнал с датчика в значение температуры. Сигнал с модуля ZET 7X21 передается по протоколу MODBUS по интерфейсу RS-485 (модуль ZET 7021) или CAN (модуль ZET 7121). (см. рис. 1)

Для подключения измерительной сети на шине RS-485 или CAN к компьютеру для дальнейшей работы с данными в виртуальной лаборатории ZETLab или SCADA системе ZETView используются преобразователи интерфейсов ZET 7070 или ZET 7174.

Преимущество использования интеллектуальных датчиков в том, что настройки измерителя установлены в обрабатывающем модуле и пользователю передают

готовые данные, т.е. измеряемое значение температуры. Для настройки обрабатывающего модуля и просмотра текущих параметров предназначена программа "Конфигуратор 7000".

Для отображения значения температуры, измеренной с помощью интеллектуального датчика достаточно запустить программу "Вольтметр постоянного тока" (меню "Измерение" панели ZETLab). В заголовке программы отобразится название измеряемого параметра (температура) и название измерительного канала (задается в программе "Конфигуратор 7000"). На индикаторе отобразится значение температуры в °C. (см. рис. 2)

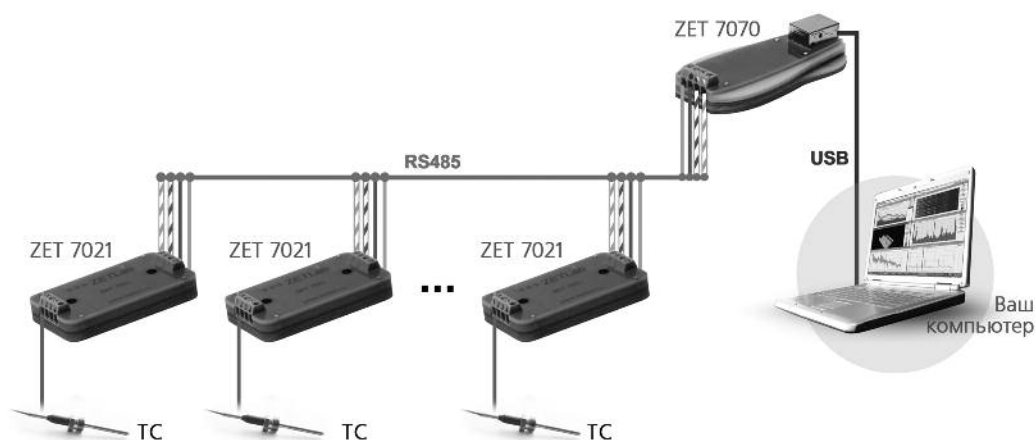


Рис. 1. Измерение температуры несколькими датчиками с передачей данных по интерфейсу RS-485. Структурная схема измерительной сети

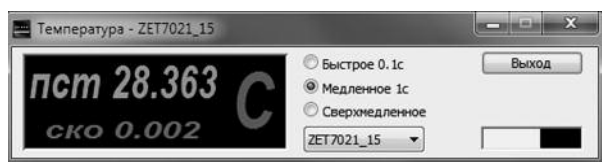


Рис. 2. Программа "Вольтметр". Измеряемый параметр - температура

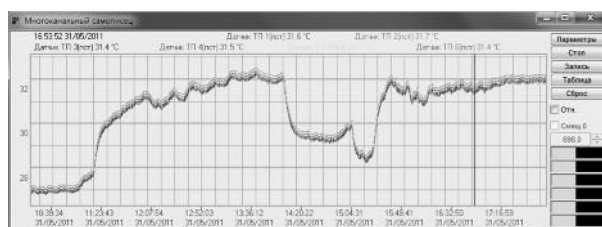


Рис. 3. Программа "Многоканальный самописец"

Для построения графика изменения температуры с течением времени используется программа "Многоканальный осциллограф". Максимальный интервал отображения данных зависит от частоты дискретизации осциллографа.

Для записи регистрируемых значений температуры предназначена программа "Многоканальный самописец", которая позволяет вести непрерывную запись в файл (в один файл, с разбивкой по суткам, по неделям). Одна программа "Многоканальный самописец" позволяет одновременно записывать до 80 сигналов (при необходимости можно запускать несколько экземпляров программы) с различных устройств. На рисунке 3 представлена запись сигналов с 4-х интеллектуальных термометров термосопротивлений за 15 часов.

Авторы статьи:

Сафронов А.А. — начальник отдела разработок ЗАО "ЭТМС"
Фейзханов У.Ф. — руководитель проектов ЗАО "ЭТМС"
Коновалова Т.Н. — инженер-программист ЗАО "ЭТМС"

Автоматизированные испытательные стенды

Для повышения качества и надежности выпускаемой продукции и увеличения ее конкурентоспособности необходимо осуществлять сплошной непрерывный контроль технических характеристик производимых устройств. Это возможно только при автоматизации процесса проведения испытаний и создании специализированных систем (стендов).

Области применения автоматизированных испытательных стендов

В жизненном цикле машины или оборудования с точки зрения диагностики можно выделить три основных этапа:

1. проектирование и исследование опытных образцов;
2. изготовление или ремонт серийной продукции, ее монтаж и наладка на месте эксплуатации;
3. контроль состояния в процессе эксплуатации между ремонтами.

Каждый этап сопровождается множеством испытаний, которые, зачастую, проводятся по одной и той же методике. Реализовав алгоритм проверки в аппаратно-программном комплексе, можно автоматизировать процесс проведения испытаний. Это повысит не только производительность, поскольку в автоматическом режиме измерения проводятся многократно быстрее, но и точность, поскольку виртуальные приборы позволяют проводить измерения по нескольким каналам одновременно, гарантируя идентичность сигналов при относительных измерениях и испытаниях, проводимых методом сличения с образцом. Кроме того, математическая обработка результатов измерений также может производиться автоматически – по окончании испытаний на экран (и в отчет!) выводятся значения измеряемых параметров и их отклонений от номинального значения.

Устройство стендов

Автоматизированные стенды для проведения ПСИ и других видов испытаний – это программно-аппаратный комплекс. Виртуальные приборы осуществляют управление подключенными устройствами при проведении проверки. Это и позволяет полностью автоматизировать процесс, поскольку оператору не требуется ни коммутировать измерительные каналы (это делает коммутационный блок), ни изменять параметры питания (используются программируемые источники питания), ни выставлять значения генератора (выход ЦАП также управляется программно), ни снимать показания (результаты измерений фиксируют-

ся в журнал проверки, настройки измерителей и время измерений подбираются в соответствии с условиями проверки), ни производить расчеты (SCADA система ZETView имеет мощный математический аппарат).

Аппаратная часть

Аппаратная часть стенда строится на базе анализатора спектра и коммутационного блока, и также может включать другие устройства. Набор приборов подбирается по функциональному назначению стенда, тип устройств – по их техническим параметрам в соответствии с требуемыми точностными характеристиками.

АНАЛИЗАТОР СПЕКТРА

Реализует задающие и измерительные функции.

На входы АЦП поступают аналоговые сигналы от проверяемого устройства. Измерение параметров сигналов осуществляется виртуальными приборами в соответствии с требованиями методики.

С выхода ЦАП на вход проверяемого устройства подается тестирующий сигнал: синусоидальной формы, импульсный, пилообразный, сигнал постоянного тока и др.

Цифровой вход/выход может использоваться для приема/передачи цифровых сигналов.

КОММУТАЦИОННЫЙ БЛОК

Переключение измерительных и тестирующих цепей.

Переключение цепей позволяет последовательно подавать тестирующие сигналы на все входы проверяемого устройства, и, наоборот, подключать измерительные цепи на входные каналы анализатора спектра. Таким образом, количество каналов АЦП/ЦАП стенда определяется количеством одновременно измеряемых/тестирующих сигналов. Использование коммутационного блока для программного переключения сигналов избавляет оператора от необходимости переключения каналов.

УСИЛИТЕЛИ

Усиление сигналов, гальваническая развязка.

При необходимости стенд может комплектоваться предварительными усилителями сигналов, как с гальванической развязкой, так и без нее.

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

Запитывание проверяемого устройства или частей стенда.

Автоматизированные стенды для проверки нестандартных устройств часто включают в себя программируемые источники питания, поскольку проверяемые устройства могут требовать различные параметры питания при проверке различных параметров.

МУЛЬТИМЕТРЫ

Прецизионные измерения.

При проверке анализаторов спектра и других устройств, требующих использования измерителя более высокой точности, в состав стенда может входить прецизионный мультиметр, например, типа Agilent.

ПЛАТЫ АЦП/ЦАП

Контроль параметров.

При проведении контроля величин, не требующего высокой точности, вместо анализатора спектра могут использоваться платы АЦП/ЦАП, что значительно снизит стоимость стенда.

ПЕРВИЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Расширение номенклатуры измеряемых параметров.

Определение истинного значения измеряемой величины при проведении измерений методом сравнения.

Для измерения таких параметров, как температура, давление, ускорение, напряженность и т.д. в состав стенда могут входить различные датчики: термопары, термосопротивления, тензодатчики акселерометры, датчики перемещения, и др.

Автоматизированные стенды проверки датчиков методом сравнения комплектуются первичными преобразователями, используемых в качестве образцовых. Отличительными особенностями таких датчиков являются высокая точность и большой динамический диапазон.

ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Тестирование.

Для воспроизведения требуемых условий испытаний автоматизированные стенды могут осуществлять управление различными устройствами и механизмами: вибростендами, поворотными установками, разрывными машинами, климатическими камерами и т.д.

В работе стенда может использоваться имеющееся на предприятии оборудование, или же стенд может комплектоваться всеми необходимыми устройствами.

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ РАЗРАБОТКИ

Дополнительные устройства.

Стенд может комплектоваться не только стандартными устройствами отечественных и зарубежных производителей, но и специализированными, выполняющими определенные требованиями методики испытаний функции. Это могут быть платы преобразования (для преобразования закодированной информа-

ции), имитаторы различных устройств (для имитации сигналов при испытании составных частей механизмов) и т.д.

Несколько устройств аппаратной частью могут объединяться в один корпус. На рисунке 1 приведен пример автоматизированного стенда для проведения калибровки датчиков угловых скоростей (описание программной части приведено в последнем разделе данной статьи), в состав которого входят: анализатор спектра, программируемый источник питания, поворотный механизм, и пульт контроля, который содержит коммутационный блок и усилители сигналов.

Программная часть

Программная часть стенда реализуется в SCADA системе ZETView. В соответствии с методикой проведения испытаний строится алгоритм проверки в виде блок-схемы.

ГИБКОСТЬ

При разработке проекта учитывается необходимая степень гибкости. Стенд может быть специализирован для проведения испытаний устройств определенного типа, например, при сплошном выходном контроле и иметь лишь кнопку «СТАРТ», или использоваться для различных устройств и иметь множество элементов управления.

1. Специализированные стенды

Специализированные стенды предназначены для проведения испытаний определенного типа устройства – оператор вводит номер устройства и запускает проверку.

В таких проектах могут быть предусмотрен выбор вида испытаний или условий проведения проверки (рисунок 2), в зависимости от которых будут меняться условия проведения измерений, например, список проверяемых параметров, номинальные значения параметров, пределы погрешностей и т.д.

Также в специализированных стендах обычно предусматривают возможность выборочной проверки. В таких случаях оператор выбирает тип тестирования:

- Проверка всех параметров (сплошной контроль)
- Проверка нескольких параметров (выборочный контроль)
- Проверка одного параметра

Особенностью специализированных стендов является то, что оператор не задает непосредственно параметры проверки (значения питающих напряжений, номинальное значение параметра и т.д.) – все эти данные заложены в проекте. Оператор выбирает вид проверки, условия испытаний и т.п. – и все параметры задаются автоматически, после чего запускается алгоритм, соответствующий выбранному испытанию.

Пример специализированного стенда: «Калибровка датчиков угловых скоростей»

2. Универсальные стенды

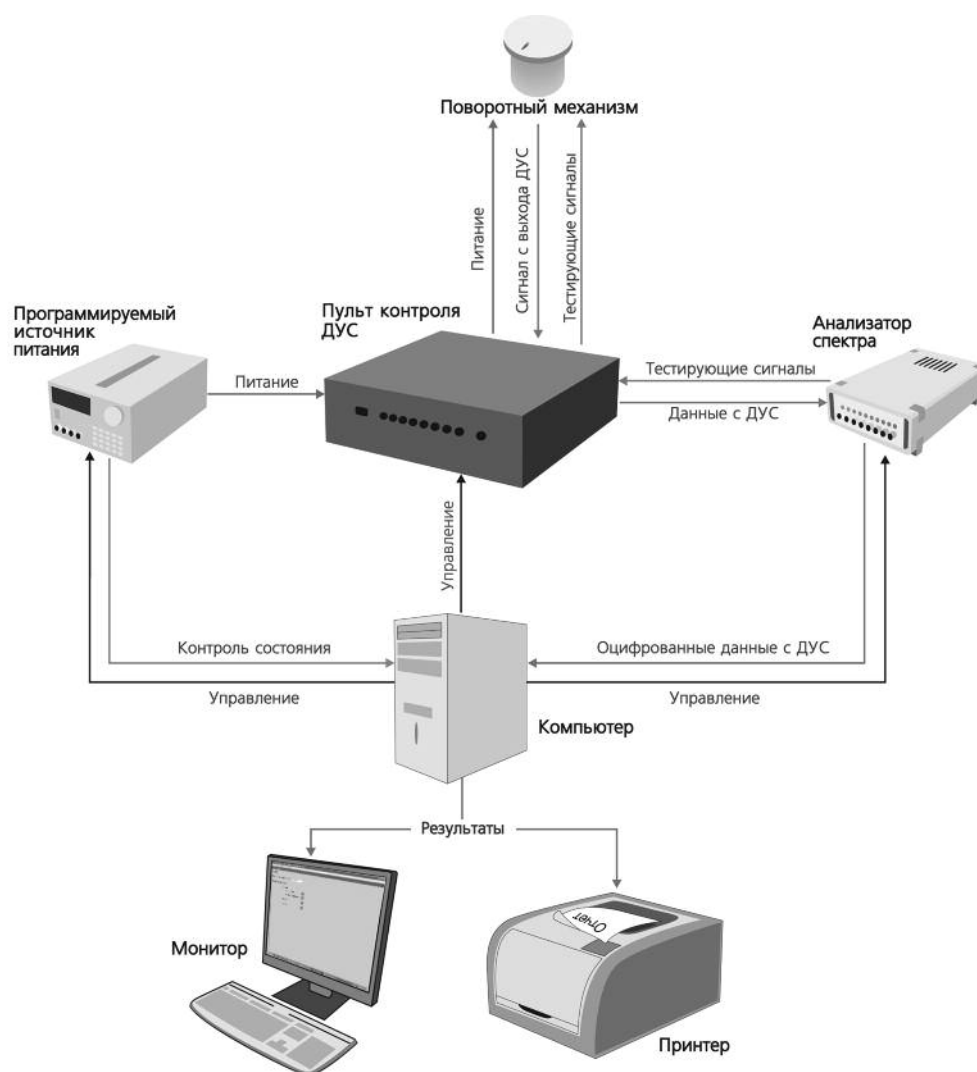


Рис. 1. Структурная схема аппаратной части автоматизированного стенда «Калибровка ДУС»

Универсальные стенды позволяют проводить испытания различных типов устройств со схожими параметрами. Оператор выбирает тип устройства из списка, и, в зависимости от выбранного типа, изменяются параметры проведения проверки: значения тестирующих сигналов, частотный диапазон, динамический диапазон, список проверяемых параметров, номинальные значения параметров, пределы погрешностей и т.д.

Такие стенды, как правило, имеют более сложный интерфейс, предоставляя оператору возможность менять настройки программы.

Примеры универсальных стендов: «Проверка анализаторов спектра», «Проверка вибропреобразователей».

3. Многофункциональные стенды

Многофункциональные стенды позволяют проводить проверки в различных режимах: проверка, калибровка, отладка и т.д. Например, в режиме проверки определяются параметры устройства и делается вывод об их соответствии требованиям нормативной документации, а в режиме калибровки вносятся по-

правки в калибровочную таблицу.

Режим отладки позволяет оператору проводить измерения при условиях, отличных от указанных в методике испытаний, например, чтобы определить поправочные коэффициенты для работы прибора в условиях повышенных температур.

Многофункциональные стенды позволяют не просто проводить периодические испытания устройств, но и их тестирование, исследование влияния различных параметров на показания прибора.

Пример многофункционального стенда: «Устройство контроля электрических цепей»

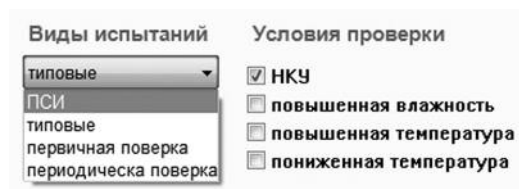


Рис. 2. Выбор вида испытаний и условий проведения проверки

ИНТЕРФЕЙС

Внешний вид программы настраивается в соответствии со стандартами предприятия. Программы могут занимать малую часть экрана или быть многостраничными, иметь дополнительные окна настроек и файлы-конфигурации (для сохранения различных профилей).

1. Представление результатов

Результаты измерений помимо стандартного представления в численном и графическом виде могут быть представлены таблично, в виде световых индикаторов и индикаторов-рисунков:



2. Сообщения оператору

На экран могут выводиться сообщения оператору с инструкциями (например, подключить на вход заглушку), вопросами («Наблюдалась ли индикация на панели устройства») с вариантами ответа. Также в проекте может осуществляться световая и звуковая сигнализация.

3. Рисунки

Проекты могут содержать изображения, например, схемы подключения, пояснительные рисунки (Рисунок 3, Рисунок 4 – положения «1» и «0» при измерении крутящего момента проверяемого устройства). Рисунок может меняться в зависимости от вида проверки или других параметров. Также рисунки могут быть динамическими и демонстрировать, например, последовательность соединения частей механизма.

СОЗДАНИЕ ОТЧЕТОВ

Одно из очевидных преимуществ автоматизированных стендов – сохранение результатов измерений в виде протоколов испытаний по заданной форме. Протоколы могут создаваться автоматически по окончании измерений или нажатием кнопки оператором. Возможен автовыбор директории для сохранения отчетов – по дате, по типу устройства, по результату испытаний.

Отчеты могут создаваться в форматах .txt, .dtn, .doc, .xls. Типы передаваемых данных: численные значения, массивы, текст, графики, дата. Также возможна интерпретация результатов в строки «Испытуемый образец отвечает требованиям ТУ XXXX-XXX-XXXXXXX-XXXX» или «По результатам испытаний представленный образец признан не годным к эксплуатации» и т.п.

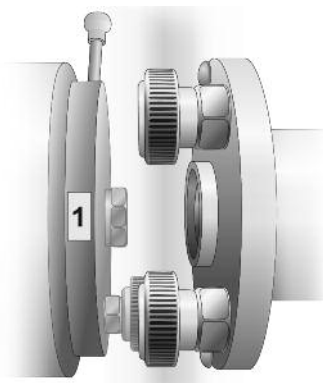


Рис. 3. Фиксация в положении «1»

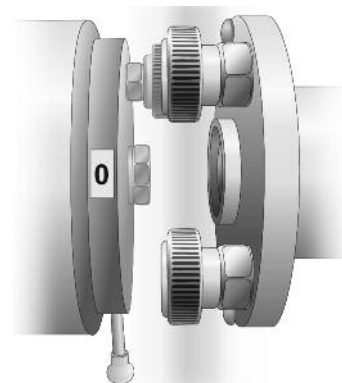


Рис. 4. Фиксация в положении «0»

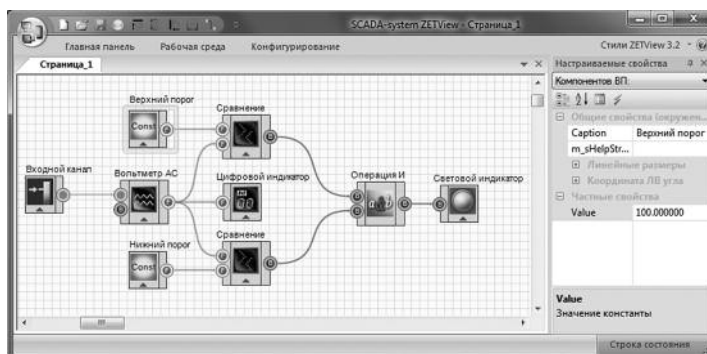


Рисунок 5. Схема измерения переменного напряжения и сравнения полученного значения с допусками (интерфейс проектирования)

Отчет об испытаниях может быть вписан в шаблон с реквизитами предприятия.

На рисунке 8 представлен пример отчета, формируемого автоматизированным стендом «Калибровка датчиков угловых скоростей».

ВНЕСЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ

Поскольку программная часть автоматизированных стендов чаще всего выполняется в среде графического программирования ZETView, внесение изменений не занимает много времени и не предъявляет особых требований к квалификации персонала. Алгоритм проверки реализуется в виде блок-схемы. На рисунке 5 представлен алгоритм измерения переменного напряжения и сравнения полученного значения с допусками. При изменении значений допусков необходимо лишь указать новое значение в настройках компонента «Константа» (свойство «Value»). При этом найти данный компонент совсем не сложно, он имеет пиктограмму с надписью «Const». Окно настроек располагается в правой части окна программы.

Законченный проект компилируют в виде исполняемого файла, в который невозможно внести изменения. Таким образом, оператор работает с исполняемым файлом, а исходный проект хранится на диске, входящем в состав стенда.

Примеры

Автоматизированный стенд

«Калибровка датчиков угловых скоростей»

Назначение

Калибровка датчиков угловых скоростей.

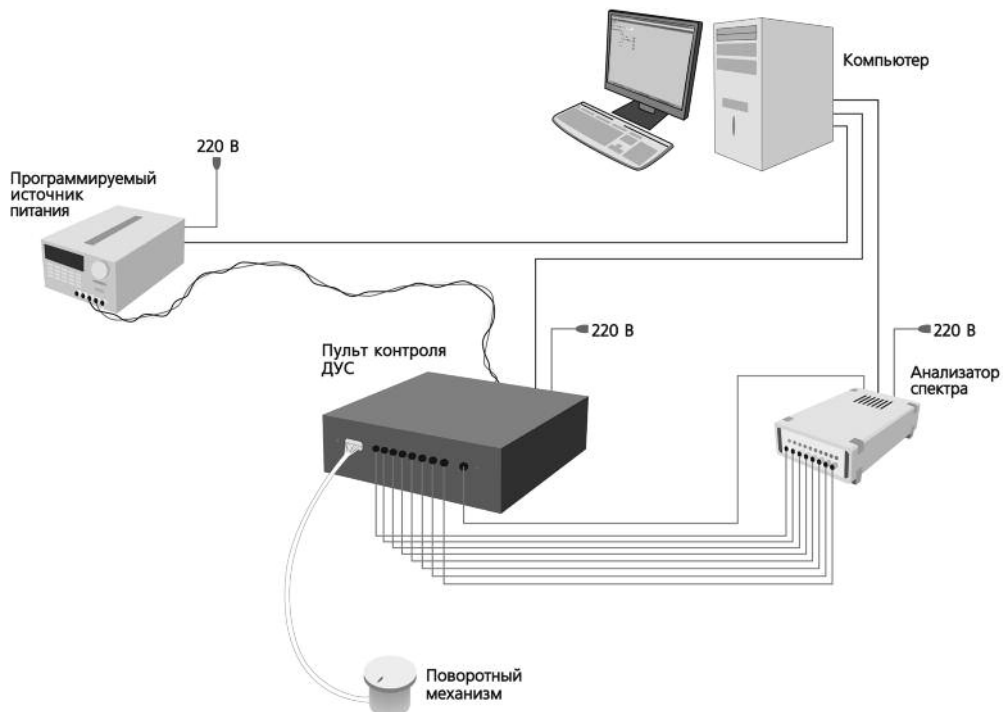


Рис. 6. Автоматизированный стенд «Калибровка датчиков угловых скоростей». Аппаратная часть

Аппаратная часть

Структурная часть стенда представлена на рисунке 6. Стенд состоит из: анализатора спектра, источника питания, пульта контроля (коммутационный блок и усилители) и поворотного механизма.

Программная часть

Управление испытаниями осуществляется с помощью SCADA-проекта. Данный проект имеет одну страницу. Оператор вводит номер устройства, выбирает вид проверки (по часовой стрелке, против часовой стрелки и обе проверки) и запускает определение градуировочной характеристики. Пусковой ток и ток потребления определяются отдельно. Также проект содержит кнопки для сброса результатов, сохранения данных в отчет и открытия последнего сохраненного файла. На рисунке 7 представлен пример работы стенда, на рисунке 8 – отчет, сохраненный по окончании измерений.

Специализированный стенд. Процесс измерений полностью автоматизирован!

Автоматизированный стенд «Проверка анализатора спектра»

Назначение

Проверка анализаторов спектра типа ZET017.

Аппаратная часть

В аппаратную часть стенда входят мультиметр и коммутационный блок. В качестве



Рис. 7. Автоматизированный стенд «Калибровка датчиков угловых скоростей». Интерфейс оператора

Градуировочная характеристика датчика ДУС № 008

1. Напряжение		0 °/с	45 °/с	60 °/с	90 °/с	120 °/с
Выходное напряжение, мВ:						
Вращение по часовой	отсутствует	1932,6	1563,2	840,8	122,9	
Вращение против часовой	отсутствует	4105,1	4448,1	5158	5888,2	
Вращение отсутствует		3003,5	отсутствует	отсутствует	отсутствует	отсутствует
Входное напряжение, мВ:						
Вращение по часовой	отсутствует	6073	6072,3	6069,1	6071,7	
Вращение против часовой	отсутствует	6069,3	6069,3	6070,2	6070,7	
Вращение отсутствует		6069,2	отсутствует	отсутствует	отсутствует	отсутствует
Относительное напряжение, %:						
Вращение по часовой	отсутствует	31,7	25,5	13,8	2	
Вращение против часовой	отсутствует	67,6	73,3	85	96,9	
Вращение отсутствует		49,5	отсутствует	отсутствует	отсутствует	отсутствует
2. Ток						
Пусковой ток, мА:		307,3				
Ток потребления, мА:		72,2				

Дата проверки: 27.09.2010 - 15:49:43

Рис. 8. Автоматизированный стенд «Калибровка датчиков угловых скоростей». Файл отчета



Рис. 9. Автоматизированный стенд «Поверка анализатора спектра». Аппаратная часть

генератора используется выход ЦАП анализатора спектра, параметры тестирующих сигналов контролируются мультиметром. При необходимости стенд может комплектоваться высокоточным генератором.

Программная часть

Управление испытаниями осуществляется с помощью SCADA-проекта. Перед проведением измерений выбирается количество каналов анализатора. На главной странице можно запустить общую проверку (последовательная проверка каждого параметра) или провести проверку одного параметра. При нажатии на кнопку в строке с номером пункта методики, происходит переход на страницу проверяемого параметра. Результаты измерений отображаются на цифровых индикаторах, в виде символов «V» и «X», в графическом виде.

На рисунках 10, 11, 12 представлено несколько страниц проекта: главная страница (в процессе проведения общей проверки) и страницы проверки уровня собственных электрических шумов в 1/3 октавных фильтрах и затухания 1/3 октавных фильтров (результаты измерения).

Универсальный стенд. Аппаратная часть может использоваться для проверки различных приборов. Проект может быть адаптирован для проверки анализатора любого типа или использоваться как шаблон для создания алгоритмов проверки других устройств.

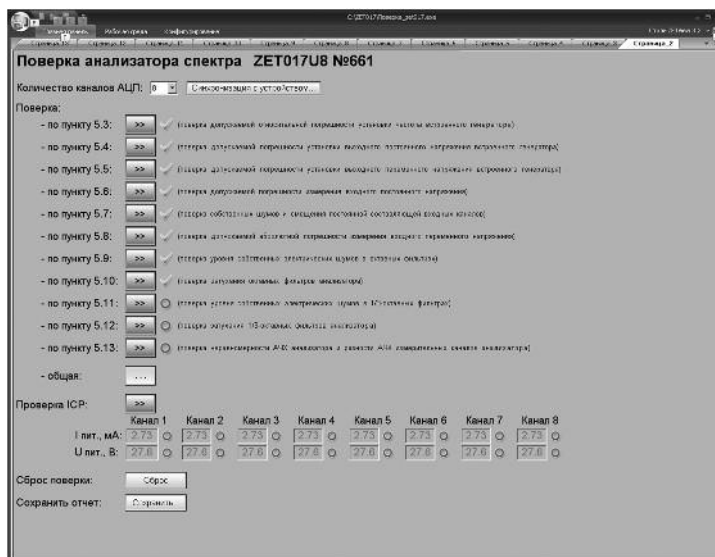


Рис. 10. Автоматизированный стенд «Поверка анализатора спектра». Интерфейс оператора – главная страница

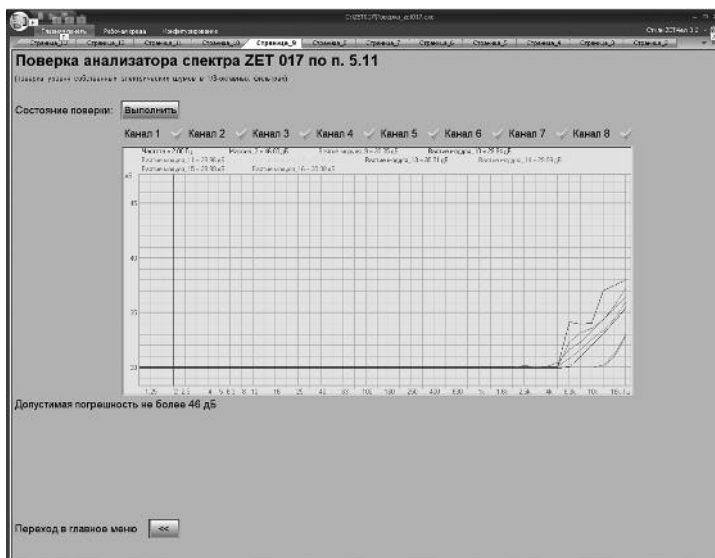


Рис. 11. Автоматизированный стенд «Поверка анализатора спектра». Интерфейс оператора – страница проверки уровня собственных электрических шумов в 1/3 октавных фильтрах

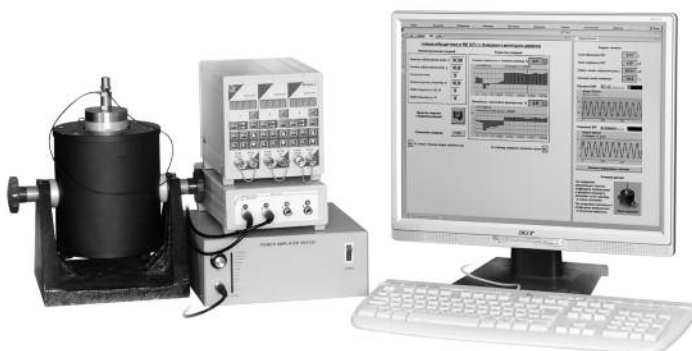


Рис. 13. Автоматизированный стенд «Поверка вибропреобразователей». Аппаратная часть

Автоматизированный стенд «Проверка вибропреобразователей»

Назначение

Проверка вибропреобразователей:

- пьезоэлектрических
- зарядовых
- емкостных
- с выходом стандарта ICP

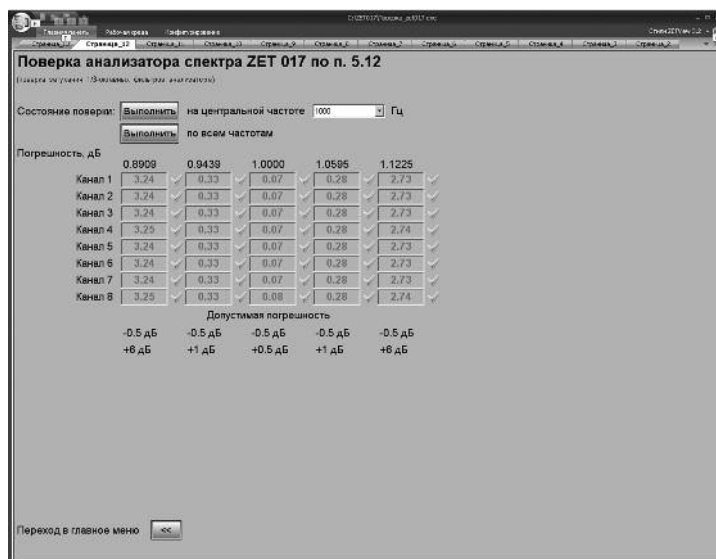


Рис. 12. Автоматизированный стенд «Проверка анализатора спектра». Интерфейс оператора – страница проверки затухания 1/3 октавных фильтров

- датчиков линейного ускорения
- и др.

Аппаратная часть

Аппаратная часть стенда представлена на рисунке 13 и базируется на анализаторе спектра и вибростенде (с усилителем мощности). Для подключения зарядовых датчиков используется усилитель заряда. Обязательной частью стенда является образцовый вибропреобразователь. Стенд может комплектоваться несколькими образцовыми датчиками, имеющими различные частотные и динамические диапазоны.

Программная часть

Программная часть реализует несколько функций:

- Определение действительного значения коэффициента преобразования (Рисунок 14)
- Определение неравномерности АЧХ (Рисунок 15)
- Определение нелинейности АХ (Рисунок 16)
- Определение коэффициента преобразования в поперечном направлении (Рисунок 17).

Каждый параметр определяется на отдельной вкладке, кроме того, проект имеет

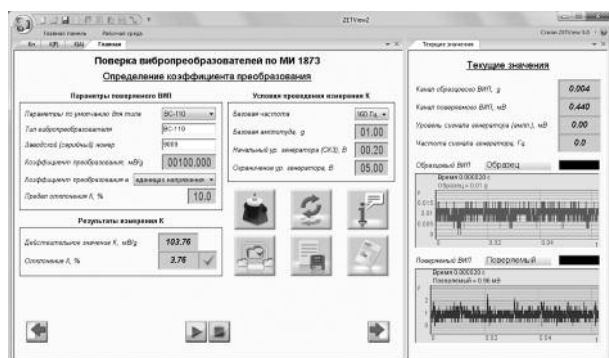


Рис. 14. Автоматизированный стенд «Проверка вибропреобразователей». Аппаратная часть

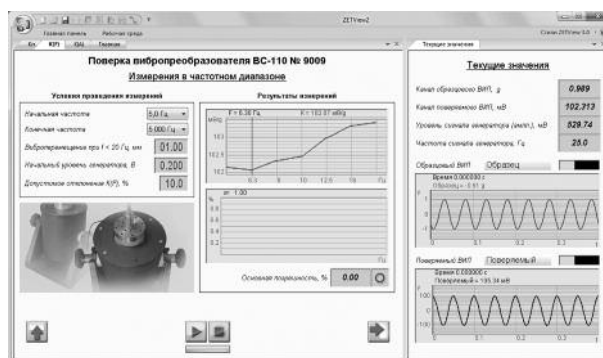


Рис. 15. Автоматизированный стенд «Проверка вибропреобразователей». Страница определения неравномерности АЧХ

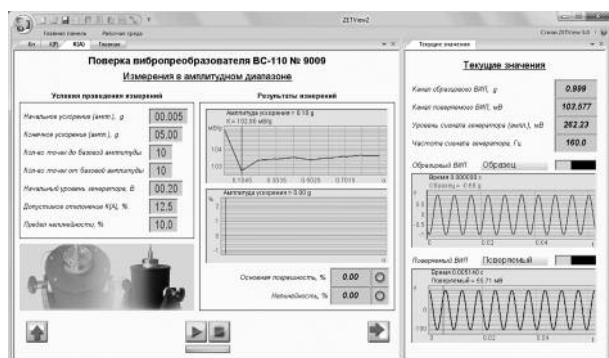


Рис. 16. Автоматизированный стенд «Проверка вибропреобразователей». Страница определения нелинейности АХ

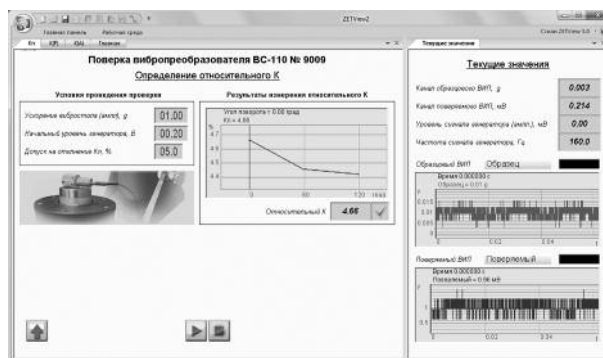


Рис. 17. Автоматизированный стенд «Проверка вибропреобразователей». Страница определения $K_{\text{поперечн}}$



Рис. 18. Автоматизированный стенд «Устройство контроля электрических цепей»

окно для отображения текущих параметров при проведении каждой из проверок (Рисунки 14-17).

Универсальный стенд. Параметры проверок могут задаваться автоматически по типу датчика, или устанавливаться оператором. Проект позволяет определять коэффициент преобразования по ускорению (в «мВ/г» или «мВ/м·с⁻²»), скорости (мВ/мм·с⁻¹) или перемещению (мВ/мм).

Автоматизированный стенд «Устройство контроля электрических цепей» Назначение

Устройство контроля параметров электрических цепей предназначено для измерений электрических сопротивлений цепей, а также величин сопротивлений электрической изоляции в автоматическом режиме по заданной программе без участия оператора. Устройство более чем в 20 раз снижает время, требуемое на проведение проверок по сравнению с использованием стандартных измерительных приборов. Количество проверок в минуту при измерении величин сопротивления электрических цепей – 600, количество проверок в минуту при измерении сопротивления электрической изоляции – 60. Количество контролируемых цепей: 72.

№	X, A	X, B	Порог, Ом	Результат, Ом	Порог, мВ
1	X.01	X.02	0.000100	0.000000	0.040527
2	X.02	X.01	0.000000	1.000000	0.019225
3	X.30	X.55	0.000000	1.000000	0.000000
4	X.03	X.04	0.000000	0.000000	0.000000
5	X.05	X.06	0.000000	0.000000	0.000000
6	X.07	X.08	0.000000	0.000000	0.000000
7	X.09	X.10	0.000000	0.000000	0.000000
8	X.32	X.33	0.000000	0.000000	0.000000
9	X.34	X.35	0.000000	0.000000	0.000000
10	X.36	X.37	0.000000	0.000000	0.000000
11	X.38	X.39	0.000000	0.000000	0.000000
12	X.40	X.41	0.000000	0.000000	0.000000

Рис. 19. Измерение сопротивления

№	X, A	X, B	Порог, МОм	Результат, МОм
1	X.62	X.66	20.000000	Open
2	X.62	X.64	20.000000	Open
3	X.62	X.22	30.000000	Open
4	X.62	X.41	40.000000	Open
5	X.62	X.40	30.000000	Open
6	X.62	X.63	100.000000	Open
7	X.63	X.60	0.000000	Open

Рис. 20. Измерение сопротивления изоляции

№	X, A	X, B	Порог, МОм	Результат, МОм
1	X.62	X.66	20.000000	Open
2	X.62	X.64	20.000000	Open
3	X.62	X.22	30.000000	Open
4	X.62	X.41	40.000000	Open
5	X.62	X.40	30.000000	Open
6	X.62	X.63	100.000000	Open
7	X.63	X.60	0.000000	Open

Рис. 21. Режим отладки

Диапазон	Погрешность измерения
до 10 Ом	± 0,1 Ом
от 10 Ом до 10 кОм	± 1%
от 10 кОм до 1 МОм	± 2%
от 1 до 100 МОм	± 3%

Таблица 1. Точностные характеристики автоматизированного стенда «Устройство контроля электрических цепей»

Аппаратная часть

Аппаратная часть стенда реализована в едином корпусе (Рисунок 18). Стенд может комплектоваться переходниками для подключения к проверяемым цепям устройств.

Программная часть

Программная часть реализована в виде приложения (исполняемого .exe файла). Программа имеет 3 вкладки: «Сопротивление» – для измерения сопротивления в автоматическом режиме (Рисунок 19), «Изоляция» – для измерения сопротивления изоляции в автоматическом режиме (Рисунок 20), «Отладка» – для проведения измерений отдельной цепи в ручном режиме (Рисунок 21).

Для каждого устройства создается таблица проверок (или несколько). Для проведения измерений достаточно выбрать файл с таблицей проверки и запустить проверку. Результаты измерений сравниваются с допусками и изменяется цвет строки: зеленый – значение в допуске, красный – не в допуске, желтый – за пределами шкалы измерений.

Стенд имеет встроенную систему калибровки.

Заключение

Автоматизированные испытательные стенды находят множество областей применения:

1. Различные виды испытаний:

- приемосдаточные,
- периодические,
- типовые,
- контрольные на надежность.

2. Различные методы проверки:

- аттестация,
- поверка,
- калибровка,
- контроль точностных характеристик.

УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ

Стенды строятся на базе универсальных приборов, что позволяет использовать одну и ту же аппаратуру для проведения различных испытаний. Один стенд может иметь несколько программ – каждая для проверки устройств определенного типа. Таким образом, многофункциональный «испытательный центр» может разместиться на одном рабочем месте.

ГИБКОСТЬ

При разработке проекта учитывается «степень свободы», которую необходимо предоставить оператору

для проведения проверки. Проекты могут иметь окна параметров с переключателями режимов, списками значений переменных, полями ввода. При настройке возможно чтение данных из файлов (тарировочных таблиц, файлов-конфигураторов). Стенды могут обладать системой удаленной настройки.

ИНТУИТИВНО-ПОНЯТНЫЙ ИНТЕРФЕЙС

Поскольку программная часть стенда разрабатывается для решения определенной задачи, внешний вид программы максимально удобен для работы с ней. Используемая терминология, цветовые решения, форматы данных и форма отчетов полностью соответствуют стандартам предприятия.

ПРОСТОТА СОПРОВОЖДЕНИЯ

Построение проектов в графической среде программирования позволяет легко и быстро вносить в них изменения обычному пользователю, не обладающему навыками программиста. Построение аппаратной части на базе универсальных приборов обеспечивает простоту замены вышедшего из строя устройства. Каждый стенд комплектуется конструкторской документацией на аппаратную часть стенда, а также руководствами: программиста (описание построения проекта), оператора (работа с проектом), по эксплуатации (правила использования и методика настройки).

Автор статьи:

Коновалова Т.Н. — инженер-программист ЗАО "ЭТМС"

Готовые решения на базе анализаторов спектра

Многофункциональность анализаторов спектра позволяет использовать их для решения широкого круга задач, что подразумевает подключение к одному устройству датчиков различного типа. Поскольку разные датчики имеют разные схемы подключения, иногда приходится использовать переходники, что не прибавляет системе надежности и простоты использования. Если же перед Вами стоит четкая задача с известным количеством параметров, то мы готовы предложить Вам решение "под ключ" на базе наиболее подходящего для Вас устройства: анализатора спектра, тензометрической станции, сейсмостанции и т.д. Подобная измерительная система может иметь от 4 до 164 измерительных каналов. Тип разъема каждого канала определяется типом подключаемого к нему датчика.

Варианты исполнения измерительных систем "под ключ":

- офисный – в этом случае приобретаемый анализатор спектра будет отличаться от устройства в стандартной комплектации лишь типом разъемов;



- промышленный – анализатор спектра изготавливается в промышленном корпусе;
- в защитном кейсе – данное исполнение позволяет использовать измерительную систему как в лабораторных, так и в полевых условиях. По сути, анализатор спектра изготавливается в офисном исполнении с входными каналами требуемого типа, которые дублируются на защитном кейсе. При установке анализатора спектра в кейс, он может использоваться в условиях повышенной/пониженной температуры, повышенной влажности, кроме того кейсы обладают защитой от пыли и ударных воздействий.

<http://zetms.ru/>

Виртуальная учебная лаборатория – специальное предложение ВУЗам!

Поскольку "Электронные технологии и метрологические системы" основано на базе СКБ ФГУП ВНИИФТРИ, особое место в политике предприятия занимает сотрудничество с учебными заведениями. Одной из последних разработок в этом направлении стала "виртуальная лаборатория". В данном случае речь идет не о том, что программное обеспечение ZETLab - это комплекс виртуальных приборов, а о том, что оцифрованные сигналы, с которыми работают в студенческой лаборатории, могут быть виртуальными.

Это реализуется следующим образом: основной компьютер, с подключенной к нему платой АЦП передает оцифрованные сигналы на все компьютеры в сети, оснащенные USB-ключом ZETKey. Таким образом, достаточно иметь один лабораторный стенд, а данные эксперимента в режиме реального времени могут передаваться на столько компьютеров, сколько студентов в группе.

Преимущества виртуальной лаборатории:

- экономичность лаборатории
- синхронность выполнения работ студентами
- легкость проверки преподавателем

ЭКОНОМИЧНОСТЬ ЛАБОРАТОРИИ

Экономичность виртуальной лаборатории обуславливается двумя факторами:

1. Вместо множества реальных приборов используется одна плата АЦП/ЦАП, данные с которой передаются по локальной сети.
2. ZETKey обеспечивает учебные компьютеры ПО ZETLab, в состав которого входят такие виртуальные приборы, как вольтметр, амперметр, омметр, виброметр, термометр, узкополосный спектр, осциллографы, генераторы и т.д.

СИНХРОННОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ СТУДЕНТАМИ

В обычных условиях, когда одну и ту же лабораторную работу могут выполнять одновременно максимум 3-4 человека, студентам часто приходится приступать к практическим занятиям по темам, еще не освещенным на лекциях. Противоположная ситуация – когда с момента получения теоретических сведений прошло немало времени. Виртуальная лаборатория позволяет проводить лабораторную работу всеми студентами одновременно, таким образом, лекционный материал закрепляется практическими занятиями сразу же, а не через 2-3 месяца.

ЛЕГКОСТЬ ПРОВЕРКИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ

Какова бы ни была задача, способов ее решения столько, сколько добросовестных студентов в лаборатории. Но когда обрабатываются оцифрованные сигналы одного и того же эксперимента, правильный результат лишь один – вне зависимости от выбранного алгоритма.

Кроме того, можно одновременно наблюдать различия в результатах обработки эксперимента в зависимости от настроек, например, выбора весовой функции при расчете узкополосного спектра.

Всего одна плата АЦП с поставляемым с ней ПО ZETLab обеспечивает каждый ПК в лаборатории, оснащенный ZETKey, множеством измерительных приборов!

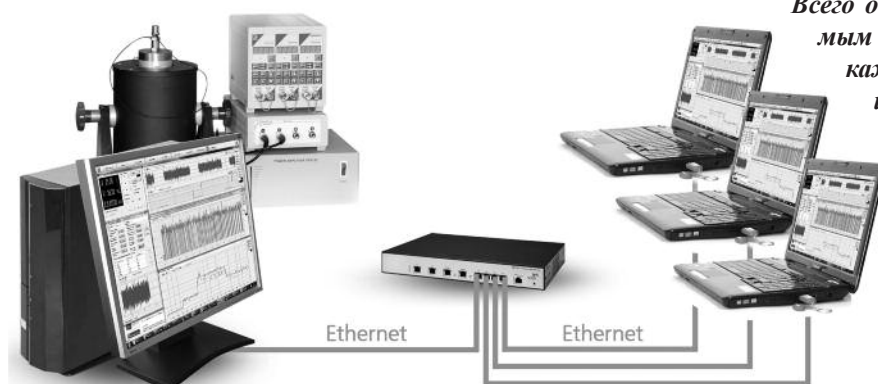


Рис. 1. Структурная схема виртуальной учебной лаборатории