

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет» (национальный
исследовательский университет)
Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Информационно-измерительная техника»**

РАБОТА (ПРОЕКТ) ПРОВЕРЕНА

Рецензент, гл. метролог АО «НИИИТ-РК»

_____/ В.С. Губка /

«_____» _____ 2019 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой, д.т.н., проф.

_____/ А.Л. Шестаков /

«_____» _____ 2019 г.

Оценка состояния многокомпонентных труб на основе авторегрессионной модели

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ – 12.04.01.2019.196 ПЗ ВКР**

Руководитель, д.т.н., профессор

_____/ С.Г. Некрасов /

«_____» _____ 2019 г.

Автор

студент группы КЭ – 225

_____/ П.С. Сажин /

«_____» _____ 2019 г.

Нормоконтролер, к.т.н., доцент

_____/ А.С. Волосников /

«_____» _____ 2019 г.

АННОТАЦИЯ

Сажин П.С. Оценка состояния многокомпонентных труб на основе авторегрессионной модели. – Челябинск: ЮУрГУ, КЭ-225, 2019, 112 с., 71 ил., 1 табл., библиогр. список – 50 наим., 2 прил.

Определение состояния многокомпонентных труб в данной работе выполняется путём анализа компонент трубы в её квазистатическом состоянии. Надо учитывать, что определение состояния является частным случаем определения состава текущей жидкости и в частности определения расхода многофазных жидкостей.

Для лучшего приближения к задаче измерения расхода в работе использован жидкий многокомпонентный состав хлорида натрия.

Данная задача может служить упрощающим приближением к определению расхода многокомпонентных сред и касается только одной части – определения состава многокомпонентных труб, например, состоящих из металлической оболочки, ржавчины, накипи и воды.

Изучена среда LabVIEW. Разработан программный модуль для автоматизации процесса виброакустических измерений и оценки состава трехкомпонентных труб.

Произведена компоновка установки для экспериментального исследования на основе авторегрессионной модели. Представлена верификация виброакустических измерений.

					ЮУрГУ – 12.04.01.2019.196 ВКР						
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата							
Разраб.	Сажин				Оценка состояния многокомпонентных труб на основе авторегрессионной модели			Лит.	Лист	Листов	
Провер.	Некрасов									4	112
Рецензент	Губка							ЮУрГУ Кафедра ИНИТ			
Н. Контр.	Волосников										
Утверд.	Шестаков										

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ	9
1.1 Методы оценки состояния многокомпонентных труб.....	9
1.1.1 Рентгеноскопический метод.....	11
1.1.2 Электромагнитный метод контроля	13
1.1.3 Виброакустический метод	16
1.2 Выводы по первому разделу и постановка задач исследования.....	20
2 ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ АВТОРЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ.....	21
2.1 Задача идентификации	21
2.2 Математическое описание моделей объекта управления.....	24
2.3. Параметрические модели в System Identification Toolbox.....	27
2.4 Построение авторегрессионной модели.....	34
2.5 Методика получения ARX-модели	37
2.6 Вывод по второму разделу	39
3 СРЕДА АВТОМАТИЗАЦИИ LabVIEW. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ РЕЖИМЕ	40
3.1 Введение в среду визуального программирования LabVIEW	40
3.1.2 Описание панели управления и функциональной панели	43
3.2 Оценка возможности автоматизации виброакустических измерений с помощью среды автоматизации LabVIEW	46
3.3 Разработка системы диагностирования многокомпонентных труб	48
3.3.1 Коммутация устройств для обработки сигналов.....	48
3.3.2 Описание программного модуля	52
3.4 Снятие экспериментальных данных	57

3.5 Выводы по третьему разделу	60
4 ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ТРУБ	61
4.1 Нахождение и преобразование ARX-модели	61
4.1.1 Нахождение ARX-модели в среде System Identification Toolbox	61
4.1.2 Преобразование полученной ARX-модели.....	66
4.2 Нахождение коэффициентов m , s , r	69
4.3 Базы данных	74
4.3.1 Базы данных в Excel.....	74
4.3.2 Базы данных в LabVIEW	78
4.4 Выводы по четвертому разделу	82
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	83
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	84
ПРИЛОЖЕНИЕ А	89
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	106

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы: Россия по протяженности трубопроводов различного назначения (около 2 млн км внутренних и 15 млн км наружных) занимает второе место в мире после США.

По оценкам специалистов Министерства по чрезвычайным ситуациям, аварийность трубопроводов ежегодно возрастает в 1,7 раза, и в XXI век эти системы жизнеобеспечения страны вошли изношенными на 50-70%. Сейчас на территории России действует 46800 км стальных трубопроводов диаметром от 530 до 1220 мм. Около половины нефтепроводов было построено 30-50 лет назад.

В настоящее время протяженность российских трубопроводов "в возрасте" более 20 лет составляет 37,1%; более 30 лет - 15,9%. На долю "двадцатилетних" нефтепроводов приходится до 29% от их общей протяженности, а 25% - уже перевалило рубеж в 30 лет. За последние 10 лет было обследовано 40 тыс. км магистральных нефтепроводов, выявлено 14 тыс. опасных дефектов. За последние 10 лет было обследовано 40 тыс. км магистральных нефтепроводов, выявлено 14 тыс. опасных дефектов.

Такое большое число дефектов в дальнейшем может привести к авариям. Для предотвращения аварий необходимо проводить исследования образцов труб в лабораториях, для выявления дефектов на ранней стадии.

Исходя из этого, задача разработки лабораторно-измерительного комплекса на основе виброакустического метода является актуальной [1, с. 3-4].

Научная новизна работы состоит в том, что в результате выполнения выпускной квалификационной работы разработана методика оценки состояния многокомпонентных труб.

					ЮУрГУ – 12.04.01.2019.196 ВКР	Лист
						7
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

Практическая значимость заключается в том, что результаты работы имеют прикладное значение для оценки технического состояния многокомпонентных труб, принятия упреждающих мер для повышения надежности длительно эксплуатируемых трубопроводов в условиях ограниченности финансовых и материальных ресурсов при проведении реконструкции и ремонта дефектных участков.

Цель работы: разработка лабораторно-измерительного комплекса для оценки состава многокомпонентных труб.

Задачи:

1) провести анализ различных методов оценки состояния многокомпонентных труб;

2) описать возможность идентификации системы путем авторегрессионной модели;

3) разработать автоматизированный программный модуль в среде LabVIEW для оценки состояния многокомпонентных труб;

4) произвести обработку экспериментальных данных, оценить состояние имеющихся образцов многокомпонентных труб с помощью разработанного комплекса.

					ЮУрГУ – 12.04.01.2019.196 ВКР	Лист
						8
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящее время существует большое количество трубопроводов различного назначения. В случае, если труба эксплуатируется для цели передачи теплоносителя, то имеет место накипь, остатки воды, ржавчина и сам металл (многослойная система). Если накипь занимает большую часть сечения трубы, то состояние трубы можно характеризовать как нерабочее. При добычании нефти состав многокомпонентных труб складывается из состава текущей среды (нефть, вода, газ и т.д.). Если труба предназначена для течения жидкости и газа, то в такой трубе состав будет динамический и он будет меняться с течением времени.

Состояние многокомпонентной трубы определяется составом того вещества, которое заполняет трубу. Следует сказать, что в нашем случае мы будем определять макро параметры трубы.

1.1 Методы оценки состояния многокомпонентных труб

Магистральные, внутрипромысловые трубопроводы, распределительные газопроводы России можно оценить как комплекс пожаровзрывоопасных объектов, представляющий постоянную угрозу ее экологической безопасности, здоровью и жизни людей, что определяется физико-химическими свойствами транспортируемых углеводородов и продуктов их переработки, а также сложившимися в настоящее время особенностями эксплуатации данного вида транспорта [2, с. 12].

Из-за неудовлетворительного технического состояния более 21 тыс. км (14 %) газопроводов эксплуатируется при сниженных давлениях по сравнению с проектными [3, с. 46].

					ЮУрГУ – 12.04.01.2019.196 ВКР	Лист
						9
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

В России 40-60 % машин и сооружений работают в агрессивных средах, 30 % - в слабоагрессивных, и только около 10 % не требуют активной антикоррозийной защиты [4, с. 91].

Ежегодно на внутрипромысловых трубопроводах происходит до 40 тысяч аварий [5, с. 64].

На стенках технологических трубопроводов со временем образуются отложения. Процесс этот не зависит от способа эксплуатации системы и приводит к снижению её пропускной способности [6, с. 232]. А по этой причине возникают аварийные ситуации.

Диагностика трубопроводов, находящихся в эксплуатации длительное время, предполагает также обнаружение коррозии [7, с. 189]. Это — одна из важнейших проблем, решение которой позволит обеспечить безаварийную эксплуатацию и увеличить срок службы трубопроводов, снизить себестоимость доставки энергоносителей потребителям и способствовать экономии потребляемого топлива [8, с. 12].

Для минимизации риска порчи оборудования и локализации проблемных участков, проводится диагностика трубопроводов [9, с. 30].



Рисунок 1.1 – Отложения на стенках трубы

Техническое диагностирование (обследование) линейной части магистральных газопроводов разделяется на функциональное (плановое), специальное и тестовое диагностирование [9, с. 10]. Виды, методы и способы технического диагностирования, которые необходимо использовать при техническом диагностировании [11, с. 42].

Современные методы и средства диагностики трубопроводов получили широкое развитие и распространение. Наибольшее применение получили такие методы как рентгеноскопический, акустические, электрические и другие [12, с. 113].

1.1.1 Рентгеноскопический метод

Рентгеноскопический метод является стационарным методом. При его использовании, исследуемый объект, преобразователь изображения и сам рентгеновский аппарат должны быть помещены в специальную камеру (бункер) [13, с. 101]. Стены таких камер чаще всего выполнены из бетона со свинцовым наполнителем. Так же в помещении находится большое количество датчиков: датчик присутствия, датчик закрытия (входная дверь). Все это сделано для обеспечения безопасности. Измерительный комплекс не будет при одновременном срабатывании двух датчиков, т.к. это будет говорить о том, что в комнате находятся люди и дверь в нее закрыта [14, с. 2].

Рентгеноскопический метод – один из самых мощных методов среди рассматриваемых, т.к. он позволяет исследовать стальные изделия толщиной до 80 мм [15, с. 66]. Изображение с рентгеновского аппарата передается по кабелю в удаленное помещение, в котором располагается оператор, и производит обработку полученных данных [16, с. 421].

					ЮУрГУ – 12.04.01.2019.196 ВКР	Лист
						11
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

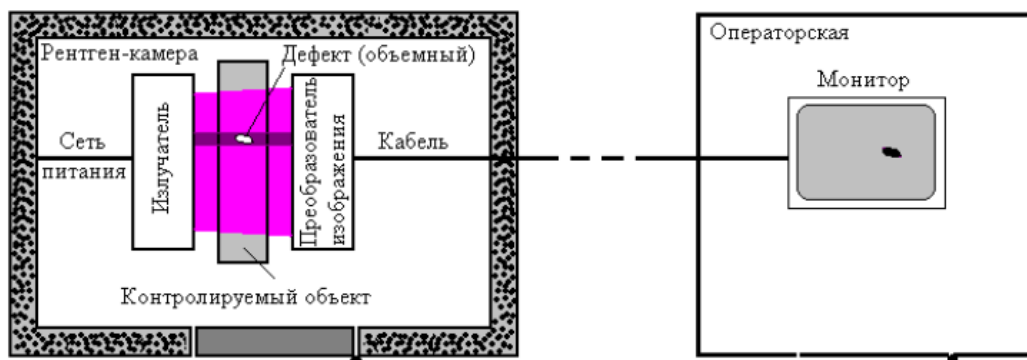


Рисунок 1.2 – Схема рентгеноскопического метода

Стоит отметить, что радиационные методы несут за собой большую опасность. Для осуществления их деятельности существуют особые меры безопасности, которые закреплены в специальных нормативных документах [17, с. 2].

Наглядность результатов контроля – одно из главных достоинств радиационных методов. Здесь же следует упомянуть возможность выявления мелких округлых дефектов [18, с. 155].

Помимо высокой опасности, существуют и другие недостатки радиационного метода [19, с. 2]:

1. Значительные весогабаритные параметры аппаратуры. Вследствие этого, измерительные комплексы не склонны к портативности [20, с. 3].
2. Измерительные комплексы обладают большим расходом электроэнергии, а также различных расходных материалов, таких как пленка и средства ее химической обработки [21, с. 199].
3. Невозможно обнаружить наиболее опасные плоскостные дефекты, так как они практически не влияют на торможение лучистой энергии: совокупная плотность остается одинаковой в области дефекта и вне ее (рисунок 1.3) [22, с. 44].

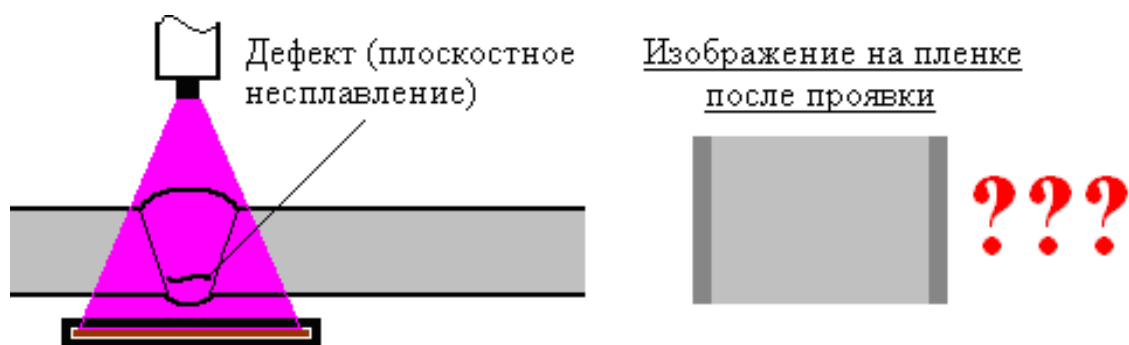


Рисунок 1.3 – Пропуск радиационным методом существующего дефекта

1.1.2 Электромагнитный метод контроля

Основан на анализе взаимодействия электромагнитного поля внешнего источника (обмотка возбуждения вихретокового преобразователя) электромагнитным полем вихревых токов, возбуждаемых в объекте контроля (ОК) переменным магнитным полем ВТП [23, с. 151].

Распределение плотности вихревых токов в электропроводящем объекте контроля определяется источником электромагнитного поля, геометрическими и электромагнитными параметрами ОК, а также взаимным расположением ВТП и ОК. Возбуждающая катушка ВТП может располагаться вблизи ОК (рис. 1.5, а – накладной ВТП), а также проходить внутри трубчатого ОК или облегать его (рис.1.5, б, в – проходные ВТП).

Форма кривых распределения вихревых токов повторяет форму витков обмотки возбуждения ВТП с учетом формы ОК (рис. 1.6, токи i_a). В результате действия вихревых токов в ОК изменяется результирующее магнитное поле.

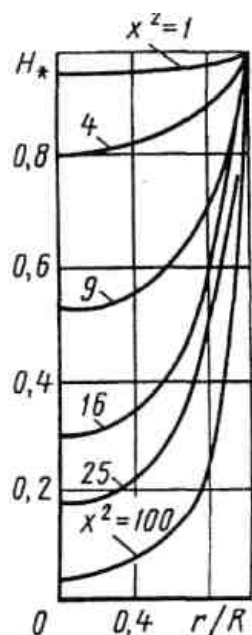


Рисунок 1.4 – Диаграмма ЭМ контроля

Из графика распределения плотности вихревых токов в ОК видно, что максимального значения она достигает под витками возбуждающей обмотки ВТП. Под центром возбуждающей обмотки ВТП вихревые токи отсутствуют, и, следовательно, обнаружить дефект в этом месте ОК не представляется возможным [24, с. 4].

Взаимодействие возбуждающей обмотки ВТП с объектом контроля можно представить схемой воздушного трансформатора, параметры цепи вторичной обмотки $Z_{вт}$ которого определяются эквивалентным контуром вихревых токов в ОК (рис. 1.7, а).

Как известно, воздушный трансформатор можно представить схемой замещения (рис. 1.7, б), на которой $R_{вн}$ – вносимое в катушку активное сопротивление, обусловленное потерями энергии в результате нагрева ОК вихревыми токами; $L_{вн}$ – вносимая индуктивность, обусловленная изменением потокосцепления индуктивной катушки (обмотки возбуждения ВТП) за счет действия вихревых токов. Поскольку потокосцепление ψ из-за действия вихревых токов изменяется, индуктивность катушки при наличии

вблизи нее электропроводящего ОК также изменится. Параметры $R_{вн}$ и $L_{вн}$ зависят от плотности и распределения вихревых токов в ОК.

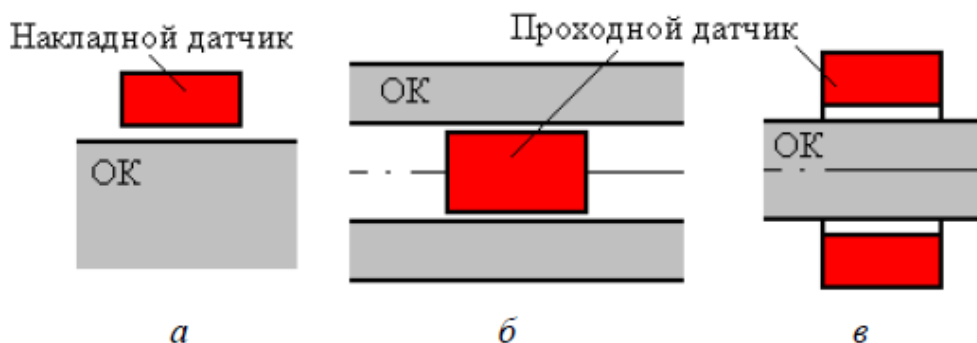


Рисунок 1.5 – Накладной (а) и проходные (б, в) ВТП

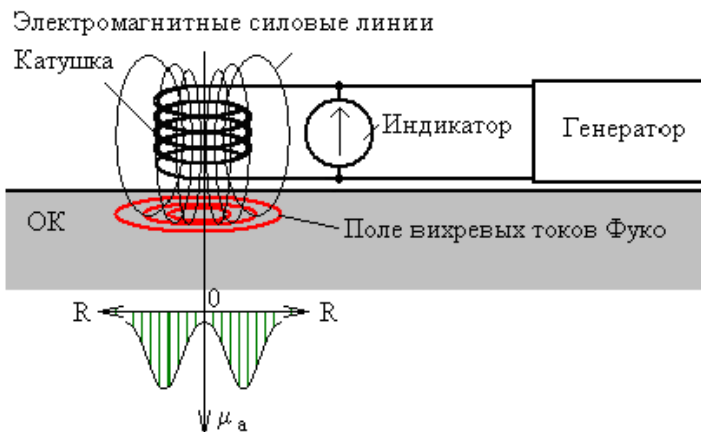


Рисунок 1.6 – Схема принципа действия прибора с накладным ВТП

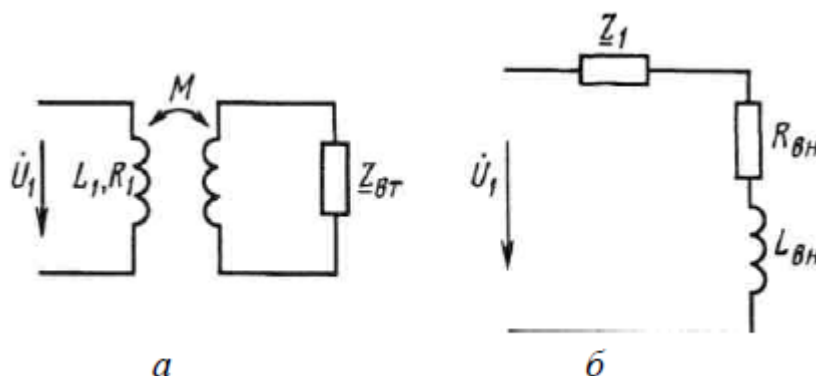


Рисунок 1.7 – Воздушный трансформатор (а) и его схема замещения (б)

Электромагнитный вид контроля содержит только два метода: вихретоковую дефектоскопию и вихретоковую толщинометрию. Оба эти метода в отличие от магнитных могут применяться на любых твердых металлах [25, с. 1].

Вихретоковый метод дефектоскопии широко применяется в металлургии для контроля тонкостенных труб, прутков малого диаметра и проволоки.

Вихретоковая толщинометрия используется для измерения толщины металлизации на неметаллических материалах (например, заготовки для печатных плат в радиоэлектронике) или наоборот – толщины защитных неметаллических покрытий на металле (например, электроизоляция) [26, с. 2]. Понижение толщины исследуемого покрытия вызывает уплотнение поля вихревых токов под датчиком и усиление его влияния на амплитуду тока в катушке. Поскольку существует корреляция между толщиной покрытия и плотностью создаваемого поля токов Фуко, это и дает возможность численной оценки толщины покрытия этим методом, но в пределах не более 2 мм [27, с. 1-3].

1.1.3 Виброакустический метод

Виброакустическое диагностирование осуществляется во время работы объекта и характеризуется тем, что на объект поступают только рабочие воздействия. Оно дает возможность выявить повреждения и нарушения правильности функционирования отдельных узлов, а также немедленно реагировать на них путем перехода на другой режим, остановка или подключения резерва [28, с. 4].

Основной отличительной особенностью виброакустической диагностики является использование в качестве источника информации не статических параметров, характеризующих состояние механизма: температуры, давления, качества смазки и т. и., а динамических, вызывающих появление и

					ЮУрГУ – 12.04.01.2019.196 ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		16

распространение акустических волн, как в самом механизме, так и в окружающей его среде. Важной особенностью подобных процессов является волновой характер их распространения в соответствующих средах. Быстропеременные процессы несут богатую информацию не только о динамических свойствах самой машины, но и о дефектах, возникающих при ее эксплуатации [29, с. 135].

Для обнаружения дефектов в трубе необходимо использовать информацию, заключенную в колебательных процессах объекта диагностирования при испытаниях на режимах, предусмотренных условиями эксплуатации. Эта особенность является определяющей в формировании алгоритмов и процедур диагностирования машинного оборудования.

Признаками состояний диагностируемых элементов агрегатов служат характеристики переменных напряжений в деталях, характеристики колебаний деталей, геометрические погрешности изготовления деталей и сборки узлов, параметры рабочих процессов, протекающих в агрегатах и т. и. Признаки состояния могут быть количественными или качественными, ранговыми или качественными классификационными (не связанными с естественным упорядочением). Характер признаков распознаваемых состояний в значительной степени определяет особенности методов выявления диагностических параметров и методов принятия решений при диагностировании [30, с. 163-164].

При возникновении и развитии дефектов с малой вибрационной активностью возбуждаются колебания, которые, как правило, являются слабыми диагностическими сигналами. Неисправности порождают узкополосные и широкополосные сигналы стационарного и нестационарного характера [31, с. 202-203].

Ввиду сложности определения неисправностей и дефектов в машинах и необходимости анализа слабых сигналов в качестве диагностических

параметров используют большое число количественных характеристик сигналов и их комбинаций. Кроме того, в качестве диагностических параметров используют различные комбинации количественных характеристик процессов, например, уровни отдельных составляющих в спектрах детерминированных и случайных сигналов, а также характеристики изменения перечисленных выше параметров [32, с. 91].

Вибрация агрегатов, рассматриваемая при диагностических исследованиях в широком диапазоне изменения частоты и амплитуды, является комплексным диагностическим признаком, представляющим собой совокупность аддитивных и мультипликативных комбинаций сложных и элементарных диагностических сигналов, возбуждаемых различными источниками колебаний. При этом частотный состав большинства элементарных сигналов может значительно изменяться даже на установившихся режимах работы агрегата [33, с. 7].

Принцип действия виброакустического метода представлен ниже.

Используют для контроля многослойных неметаллических и композитных материалов. Вибратором 2 к точке объекта контроля прилагают колебания, вырабатываемые генератором 1. Ответные колебания принимают микрофоном 3. Индикатор 4 покажет резкое изменение колебаний при расположении вибратора над дефектом 5 [34, с. 15].

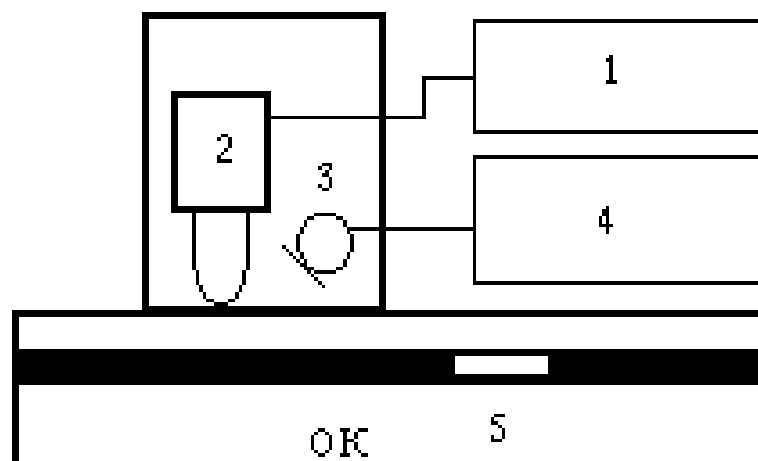


Рисунок 1.8 – Акустический метод

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

1.2 Выводы по первому разделу и постановка задач исследования

Проведя анализ методов оценки состава многокомпонентных труб можно сделать вывод о том, что виброакустический метод является наиболее приемлемым для дальнейших исследований. Он выгоден в плане стоимости и позволяет в реальном времени измерять несколько параметров многокомпонентных труб.

Сформулируем задачи, которые необходимо выполнить для разработки лабораторно-измерительного комплекса:

- 1) описать возможность идентификации системы методом авторегрессионной модели;
- 2) разработать программный модуль в среде LabVIEW для проведения виброакустических измерений;
- 3) исследовать состояние имеющихся образцов многокомпонентных труб с помощью разработанного комплекса.

					ЮУрГУ – 12.04.01.2019.196 ВКР	Лист
						20
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

2 ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ АВТОРЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ

2.1 Задача идентификации

Объект управления (ОУ), подлежащий идентификации (идентифицируемый объект), как правило, представляют в виде, изображенном на рисунке 2.1, где $U(t)$ - входной сигнал (контролируемый); t - время; $\tilde{Y}(t)$ - выход объекта (теоретический); $Y(t)$ - выход объекта (наблюдаемый); $e(t)$ - шум наблюдения или случайная аддитивная помеха, которая в данном случае отражает действие не учитываемых факторов.

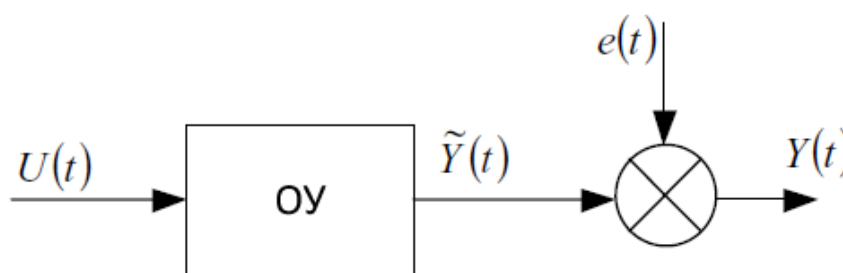


Рисунок 2.1 – Идентифицируемый ОУ

Чаще всего, предполагается, что соотношение между входным и выходным («теоретическим») сигналами определяется некоторым оператором W :

$$Y(t) = \psi[U(t)], \quad (2.1)$$

при этом соотношение 2.2 описывает выход объекта («наблюдаемый») $Y(t)$:

$$Y(t) = \psi [U(t)] + e(t). \quad (2.2)$$

Исходя из принципа суперпозиции, мы можем все действующие помехи объединить в одну общую, обозначаемую $e(t)$, а затем приложить ее к выходу линейной модели. Стоит так же отметить, что, во время рассмотрения задачи идентификации все помехи считаются статически независимыми.

Основная цель идентификации состоит в том, чтобы на основании наблюдений за известными сигналами $U(t)$ и $Y(t)$ на строго определенном интервале времени определить вид оператора, который связывает между собой известный входной сигнал и «теоретический» выходной сигнал $Y(t)$.

Если рассмотреть данную задачу с математической точки зрения, то она является задачей аппроксимации экспериментальных данных некоторым уравнением. Чаще по виду кривой можно оценить описывающее данную систему уравнение. Далее следует найти коэффициенты в искомом уравнении. Но в реальных условиях, как правило, не удастся точно вычислить эти коэффициенты из-за отсутствия точных формул. В следствие этого, на практике чаще всего используют следующие методы определения коэффициентов:

- метод сопряженных градиентов;
- симплекс метод;
- метод координатного спуска;
- МНК (метод наименьших квадратов)

Перед началом экспериментальных исследований проводится априорный анализ перечня входных переменных. Эта процедура проводится для того, чтобы произвести отбор и включить в состав модели только те приоритетные факторы, которые оказывают сильное воздействие на выходные переменные. В первую очередь в их состав включают управляющие входные переменные, с помощью которых осуществляется регулирующее воздействие на ОУ. Наиболее просто задача определения параметров решается для линейных

объектов (линейных по входному воздействию), для которых выполняется принцип суперпозиции.

С учетом выше сказанного, будем считать, что идентификация динамических систем и объектов – комплекс процедур по определению параметров, а также структуры их математической модели, которые при одинаковых входных сигналах объекта и модели обеспечивают близость выхода модели к выходу объекта при наличии какого-либо критерия качества (см. ГОСТ 20913-75 «Автоматизированные системы управления технологическими процессами») [35, с. 7-8].

					ЮУрГУ – 12.04.01.2019.196 ВКР	Лист
						23
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

2.2 Математическое описание моделей объекта управления

Приведем в качестве справки данные по основным видам моделей линейных непрерывных стационарных динамических объектов.

Дифференциальное уравнение. Описание ОУ при помощи дифференциальных уравнений является традиционным, универсальным и рассматривает связь между входным сигналом $u(t)$ и выходным сигналом $y(t)$ в виде уравнения:

$$\sum_{i=0}^{na} a_i y^{(i)}(t) = \sum_{j=0}^{nb} b_j u^{(j)}(t), \quad (2.3)$$

где na - порядок модели ($na > nb$),

a_i и b_j - постоянные коэффициенты (параметры модели),

$u^{(i)}(t)$ и $y^{(i)}(t)$ - производные i -го порядка входного и выходного сигналов, соответственно.

Передаточная функция $W(p)$. Определяется как отношение преобразования Лапласа выходного сигнала к входному при нулевых начальных условиях. С учетом свойств данного преобразования и предыдущего выражения, позволяет получить ее в следующем виде:

$$W(p) = \frac{L\{y(t)\}}{L\{u(t)\}} = \frac{Y(p)}{U(p)} = \frac{\sum_{j=0}^{nb} b_j p^j}{\sum_{i=0}^{na} a_i p^i}, \quad (2.4)$$

где L - символ преобразования Лапласа,

$p = a + jm$ - оператор Лапласа.

Модель для переменных состояния. Представление дифференциальных уравнений ОУ в нормальной форме Коши является основой данного метода. Это представление дополняется алгебраическими уравнениями, которые в

свою очередь связывают выходные переменные с переменными состояниями (2.5):

$$\begin{cases} X'(t) = AX(t) + BU(t) + GZ(t) \\ Y(t) = CX(t) + DU(t) \end{cases}, \quad (2.5)$$

где $U(t) = [u_1(t), u_2(t), \dots, u_m(t)]^T$ - вектор-столбец входных воздействий размерностью m (T - символ транспонирования матрицы);

$Y(t) = [y_1(t), y_2(t), \dots, y_r(t)]^T$ - вектор выходных воздействий размерностью r ;

$X(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)]^T$ - вектор переменных состояний размерностью n ;

$Z(t) = [z_1(t), z_2(t), \dots, z_k(t)]^T$ - вектор возмущающих воздействий размерностью k .

Здесь A - матрица динамической системы размерности $n \times n$, B - матрица входа (или управления) размерностью $n \times m$, G - матрица возмущений размерности $n \times k$; C - матрица выхода или измерений размерности $r \times n$, D - матрица компенсаций размерностью $r \times m$. Кроме того, здесь n - максимальная степень производной исходного дифференциального уравнения, m - число входов по управляющим воздействиям, r - число выходов, k - число входов по возмущениям системы. Последнее уравнение в системе называют уравнением выхода и оно служит для перехода от вспомогательных переменных состояния x_i к искомым y_i .

Решению подвергается первое матричное уравнение системы. В общем случае такое решение можно получить на основе известного метода вариации произвольных постоянных в следующем виде (2.6):

$$X(t) = e^{A(t-t_0)}X(t_0) + \int_{t_0}^t e^{A(t-\tau)}(Bu(\tau) + Gz(\tau))d\tau, \quad (2.6)$$

					ЮУрГУ – 12.04.01.2019.196 ВКР	Лист
						25
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

где $X(t_0)$ - вектор начальных состояний системы,

e - экспоненциал матрицы A .

В качестве математической модели объекта могут также быть использованы его *переходная и импульсная характеристика (ИХ)*, амплитудно-фазочастотные характеристики и некоторые другие.

Для удобства обработки данных на ЭВМ, на практике чаще всего производится измерение непрерывных сигналов в дискретные моменты времени. Вследствие чего, существует задача представления непрерывных объектов дискретными моделями [35, с. 8-10].

Существуют несколько способов перехода от непрерывных моделей к дискретным, например, с применением преобразования Лапласа и z — преобразования. Часто также используют свойства оператора задержки $z^{-1} = e^{pT}$, который работает по следующим правилам: $z^{-1}u_k = u_{k-1}$, $z^{-2}u_k = u_{k-2}, \dots$

Однако, наиболее часто используется дискретизация дифференциальных уравнений с использованием метода конечных разностей, т.е. заменой на «левые» разности производных в дифференциальном уравнении (2.7), описывающем непрерывный объект:

$$\frac{dy(t)}{dt} \approx \frac{y_k - y_{k-1}}{T}, \quad \frac{d^2y(t)}{dt^2} \approx \frac{y_k - 2y_{k-1} + y_{k-2}}{T^2}, \quad (2.7)$$

Например, дискретный аналог модели системы для переменных состояния можно получить с использованием метода конечных разностей в следующем виде:

$$\begin{aligned} X_{k+1} &= AX_k + BU_k + GZ_k \\ Y_k &= CX_k + DU_k \end{aligned} \quad (2.8)$$

2.3. Параметрические модели в System Identification Toolbox

Методы идентификации динамических объектов, рассматриваемые в данной программном комплексе, чаще всего связаны с методами цифровой обработки сигналов, либо с численными методами. Поэтому необходимо, чтобы исходные входной и выходной сигнал были представлены табличным набором экспериментальных данных, т.е. последовательностями дискретных отчетов.

Из-за этого представления мы вынуждены рассматривать модель динамической системы, как дискретную. В случае необходимости может быть получена непрерывная модель реальной системы, основываясь на полученном описании дискретной системы. Вопросы соответствия передаточных функций дискретных систем и их непрерывных прототипов связаны с обеспечением сходимости дискретной задачи. Показано, что из устойчивости и аппроксимации дискретной задачи следует ее сходимость к непрерывной.

В System Identification Toolbox поддерживаются как линейные, так и нелинейные модели, но все они должны иметь вид моделей дискретных объектов. Рассмотрим сначала линейные дискретные модели.

Любую модель можно рассматривать как частный случай обобщенной параметрической модели, представленной формулой (2.9):

$$A(z)y(t) = \frac{B(z)}{F(z)}u(t - nk) + \frac{C(z)}{D(z)}e(t), \quad (2.9)$$

где $A(z) = 1 + a^1z^{-1} + a^2z^{-2} + \dots + a^nz^{-n},$

$$B(z) = b_0 + b_1z^{-1} + \dots + b_mz^{-m},$$

$$C(z) = 1 + c_1z^{-1} + c_2z^{-2} + \dots + c_{nc}z^{-nc},$$

$$F(z) = 1 + f_1z^{-1} + f_2z^{-2} + \dots + f_{nf}z^{-nf},$$

$$D(z) = 1 + d_1 z^{-1} + d_2 z^{-2} + \dots + d_{nd} z^{-nd},$$

Отсюда, в частности, можно получить следующие модели:

1. Модель авторегрессии *AR* (AutoRegressive):

$$A(z)y(t)=e(t), \quad (2.10)$$

где $e(t)$, - входной сигнал, аналогичный по спектральным свойствам белому шуму.

2. *ARX* модель (Autoregressive with eXternal input – модель авторегрессии с внешним входом):

$$A(z) \cdot y(t) = B(z) \cdot u(t) + e(t), \quad (2.11)$$

3. Модель типа «выход-ошибка» («Output-Error»):

$$y(t) = \frac{B(z)}{F(z)} u(t - nk) + e(t), \quad (2.12)$$

4. Auto Regressive-Moving Average with external input (ARMAX) модель (Модель авторегрессии скользящего среднего с внешним входом):

$$A(z) \cdot y(t) = B(z) \cdot u(t - nk) + C(z) \cdot e(t), \quad (2.13)$$

где nk - величина задержки (запаздывания).

5. Модель Бокса-Дженкинса (BJ):

$$y(t) = \frac{B(z)}{F(z)}u(t - nk) + \frac{C(z)}{D(z)}e(t), \quad (2.14)$$

Отношение полиномов $C(z)/D(z)$ определяет дискретную передаточную функцию сглаживающего (обеляющего) фильтра.

6. State-space модель (модель для переменных состояния):

$$\begin{aligned} x(t + 1) &= A \cdot x(t) + B \cdot u(t) \\ y(t) &= C \cdot x(t) + D \cdot u(t) + e(t) \end{aligned} \quad (2.15)$$

где A, B, C, D — матрицы определенных размеров,
 $e(t)$ — белый шум наблюдений.

Каноническая и обновленная форма этой модели может быть так же представлена соотношением (2.16):

$$\begin{aligned} x(t + 1) &= Ax(t) + Bu(t) + Ge(t) \\ y(t) &= Cx(t) + Du(t) + e(t) \end{aligned} \quad (2.16)$$

где G — матрица,

$e(t)$ — дискретный белый шум.

На практике, все объекты являются нелинейными и их выход является нелинейной функцией входного сигнала. Линейная модель всегда является результатом некоторой идеализацией исходной задачи. Тем не менее, линейной модели часто бывает достаточно, чтобы точно описать динамику системы. В большинстве случаев, сначала нужно попробовать, достаточно ли для описания поведения системы линейной модели.

Возможности нелинейных моделей могут потребоваться в следующих случаях:

1. Физическая система имеет слабую нелинейность. Из физической сути или анализа данных иногда можно понять, что система является слабо нелинейной. В этом случае можно построить линейную модель, а затем использовать эту модель в качестве модели начального приближения для нелинейного оценивания. Нелинейная оценка может улучшить соответствие модели экспериментальным данным благодаря корректному описанию динамики объекта, не описываемой линейной моделью.

2. Нелинейность физической системы по своей сути. К таким явлениям относятся сухое трение в механических системах, насыщение силового привода и т.д. В этом случае часто используют модель структуры Гаммерштейна- Винера, которая состоит из последовательно соединенных статических нелинейных объектов и динамических линейных элементов. Такие нелинейные модели могут быть полезны для описания систем, работающих в окрестности рабочих точек. Возможны случаи, когда исходной системе соответствует сразу несколько различных линейных моделей, причем каждая из них будет являться точной лишь при определенных условиях эксплуатации.

3. Линейная модель недостаточно адекватна. Это бывает, когда линейная модель обеспечивает плохое соответствие измеренным выходным сигналам и не может быть улучшена за счет изменения структуры модели или её порядка. Нелинейные модели имеют гораздо большую гибкость в описании сложных явлений, чем линейные модели такого же порядка.

4. Физические системы, в которых линейная и нелинейная динамика рассматривается отдельно. Это бывает, когда система дает различные результаты при различных уровнях входного сигнала. Можно иметь несколько наборов данных, которые возбуждают линейные и нелинейные динамические процессы отдельно. В этом случае имеет смысл сначала

					ЮУрГУ – 12.04.01.2019.196 ВКР	Лист
						30
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

произвести оценку линейной модели системы с использованием первого набор данных. Далее полученную модель используют в качестве исходной для оценки нелинейных моделей, используя второй набор данных.

Нелинейные регрессии могут быть двух классов:

- регрессии, нелинейные относительно включенных в анализ входных и выходных (объясняющих) переменных (регрессоров), но линейные по оцениваемым параметрам (коэффициентам уравнений);

- регрессии, нелинейные по оцениваемым параметрам. К примеру, линейные структуры ARMAX и ARX моделей могут быть расширены до нелинейных следующим образом:

- 1) использованием нелинейных ARX регрессоров, т.е. нелинейных выражений задержанных по времени входных и выходных переменных, например $y(t-1)^2$, $u(t-1) \cdot y(t-2)$, $tg(u(t-1))$, $u(t-1) \cdot y(t-3)$.

- 2) заменой взвешенной суммы линейных регрессоров нелинейной ARX моделью, которая имеет более гибкую нелинейную функцию отображения $F(y(t-1), y(t-2), y(t-3), \dots, u(t), u(t-1), u(t-2), \dots)$, аргументами для F являются модели регрессоров y и u .

Для наглядности нелинейную модель ARX структуры можно отобразить структурной схемой на рисунке 2.2.

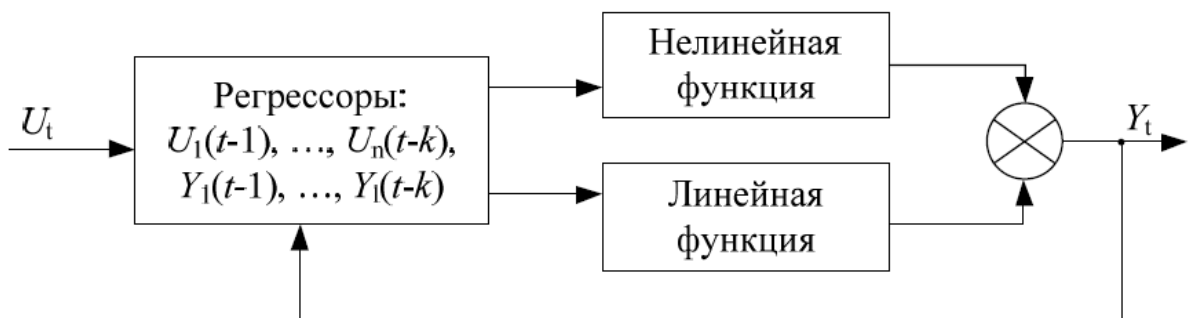


Рисунок 2.2 – Структурная схема нелинейной ARX-модели

Типичные регрессоры просто задерживают входные и выходные переменные и называются обычными (standard) регрессорами. Кроме того, можно использовать более совершенные регрессоры в форме произвольно определяемых пользователем функций задержки входных и выходных переменных. Такие регрессоры называют пользовательскими (custom) регрессорами. По умолчанию, все регрессоры (обычные и пользовательские) модели попадают на входы обоих функциональных блоков модели (линейного и нелинейного), при этом можно отключить один из блоков или выбрать подмножество регрессоров для обработки в нелинейном функциональном блоке.

Как в случае линейных, так и нелинейных моделей параметрическая идентификация – это всегда процедура, состоящая из нескольких этапов:

Выделяют следующие этапы:

1. Структурная идентификация. На основании теоретических и эвристических соображений, а также априорной информации об исследуемом процессе определяется структура математической модели
2. Проверка адекватности. Проверка качества модели в смысле выбранного критерия близости выходов модели и объекта.
3. Выбор критериев близости. Выбор данных критериев для объекта и модели основывается на специфике задачи.
4. Параметрическая идентификация. Данный этап состоит из идентифицирующего эксперимента и определения оценок параметров модели по экспериментальным данным.

Непараметрическая идентификация обычно проводится с целью получения импульсной характеристики оцениваемой модели объекта на основе статистических моделей сигналов с использованием временных экспериментальных данных. За счет некоторых преобразований, данная функция может быть трансформирована в передаточную функцию,

системную функцию линейного объекта, или частотный коэффициент передачи [35, с. 10-15].

					ЮУрГУ – 12.04.01.2019.196 ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		33

2.4 Построение авторегрессионной модели

Имеем набор экспериментальных данных, изображенный на рисунке 2.3. Данный график представляет собой изменение во времени сигнала на выходе динамической системы.

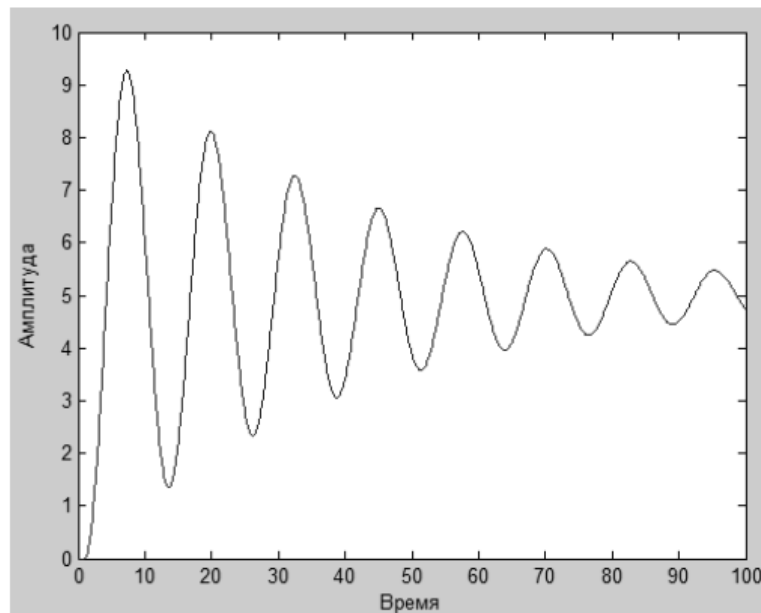


Рисунок 2.3 – Изменение во времени выходной величины

Для описания такого набора данных можно воспользоваться построением полиномиальной регрессионной модели.

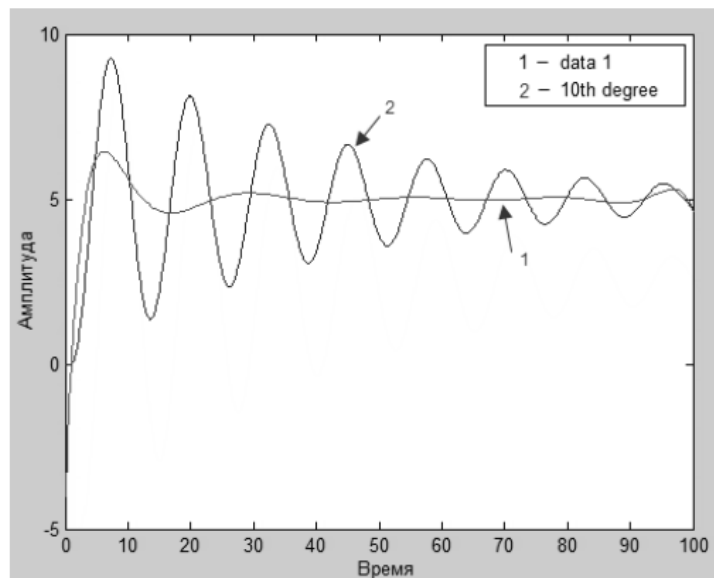


Рисунок 2.4 – Построение полиномиальной модели при помощи пакета
MATLAB

Видим на рисунке 2.4, что даже десятый порядок полинома дает весьма значительную погрешность. Заметим, что график этого набора экспериментальных данных весьма сильно напоминает переходную характеристику колебательного звена или, иначе, решение дифференциального уравнения второго порядка (это лишь предварительное заключение):

$$a_2 \frac{d^2y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b \cdot u \text{ для } u = 1(t), \quad (2.17)$$

Здесь входное воздействие u является единичной функцией или функцией Хевисайда, которая обычно используется для изучения свойств линейных динамических систем. Заменим производные в уравнении на конечные разности по формуле (2.18):

$$\frac{dy}{dt} \approx \frac{y_k - y_{k-1}}{T}, \quad \frac{d^2y}{dt^2} \approx \frac{y_k - 2y_{k-1} + y_{k-2}}{T^2}, \quad (2.18)$$

Дифференциальное уравнение второго порядка преобразуется в разностное уравнение вида:

$$y_k + a_1^* \cdot y_{k-1} + a_2^* \cdot y_{k-2} = b^* \cdot u, \quad (2.19)$$

или иначе

$$(1 + a_1^* \cdot z^{-1} + a_2^* \cdot z^{-2}) \cdot Y(z) = b^* \cdot U(z), \quad (2.20)$$

с подлежащими определению параметрами модели a_1 , a_2 , b .

Отсюда можно найти

$$y_k = -a_1^* \cdot y_{k-1} - a_2^* \cdot y_{k-2} + b^* \cdot u, \quad (2.21)$$

Теперь хорошо видна связь текущего значения функции с ее предыдущими значениями. Таково фундаментальное свойство динамических систем - «память», т.е. зависимость текущего состояния системы от предыстории.

Для нахождения неизвестных коэффициентов a_1 , a_2 , b используем System Identification Toolbox [35, с. 22-25].

2.5 Методика получения ARX-модели

Получение ARX-модели можно разделить на следующие этапы:

- 1) Выбор аппаратного обеспечения для получения необходимых сигналов;
- 2) Реализация установки;
- 3) Проведение эксперимента вблизи частоты резонанса, снятие первичных характеристик;
- 4) Ввод первичных данных в среду MatLAB, нахождение ARX-модели.

Представим принципиальную электрическую схему для виброакустических измерений параметров многокомпонентных труб (рисунок 2.5).

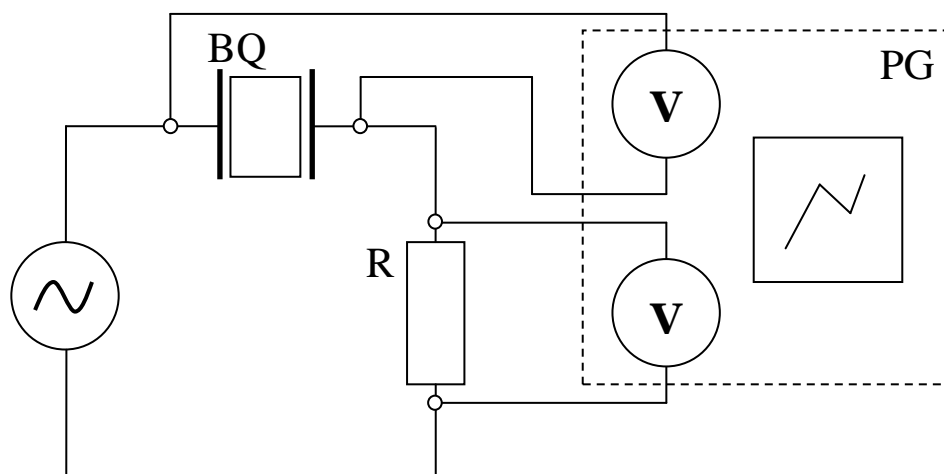


Рисунок 2.5 — Схема для виброакустических измерений параметров многокомпонентных труб

Принцип действия данной схемы заключается в следующем. С генератора сигналов подается единичный ступенчатый сигнал строго определенной величины и не меняющейся в процессе экспериментов (было установлено, что оптимальной величиной напряжения в нашем случае является величина 1

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

В). Этот сигнал подается на пьезодатчик. Одновременно с этим происходит съём отклика системы на единичный ступенчатый сигнал в виде переходной характеристики с сопротивления, подключенного последовательно к пьезодатчику. Полученный сигнал подвергается дальнейшей фильтрации и обработке.

					ЮУрГУ – 12.04.01.2019.196 ВКР	Лист
						38
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

2.6 Вывод по второму разделу

1) проанализировав способ идентификации динамических систем на основе авторегрессионной модели, можно сделать вывод о том, что данный метод является наиболее подходящим для решения поставленных задач, т.к. он позволяет осуществить параметрическую идентификацию исходной динамической системы;

2) из всех рассмотренных типов авторегрессионных моделей наиболее оптимальным является использование авторегрессионной модели типа ARX, т.к. она обладает простотой моделирования и быстротой получения результата.

3) исходя из методики получения ARX-модели следует, что ее построение осуществляется на основе снятой с пьезодатчика переходной характеристики динамической системы. Для снятия этой характеристики необходимо реализовать программный модуль в среде LabVIEW, позволяющий проводить измерения в автоматизированном режиме.

					ЮУрГУ – 12.04.01.2019.196 ВКР	Лист
						39
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

3 СРЕДА АВТОМАТИЗАЦИИ LabVIEW. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ РЕЖИМЕ

3.1 Введение в среду визуального программирования LabVIEW

Среда LabVIEW представляет собой среду визуального программирования, разработанную компанией «National Instruments». За свою более чем 25 летнюю историю компания стала лидером по производству контрольно-измерительной аппаратуры и программного обеспечения. Офис компании в нашей стране был открыт в 2000 г.

Одной из ключевых особенностей построения систем управления и обработки данных на базе программного обеспечения и оборудования компании «National Instruments» является возможность модернизации обычного персонального компьютера в измерительный комплект с собственными метрологическими характеристиками.

Конфигурация таких комплексов может осуществляться как от обработки данных (вычислительная часть), так и от исполнительных механизмов и датчиков (измерительная часть). В первом случае решение задачи происходит за счет встроенных программных средств статического анализа, обработки сигналов, имитации и т.д. Во втором случае требуется подсоединить измерительные датчики к компьютер и осуществить аналого-цифровое преобразование входных сигналов.

					ЮУрГУ – 12.04.01.2019.196 ВКР	Лист
						40
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

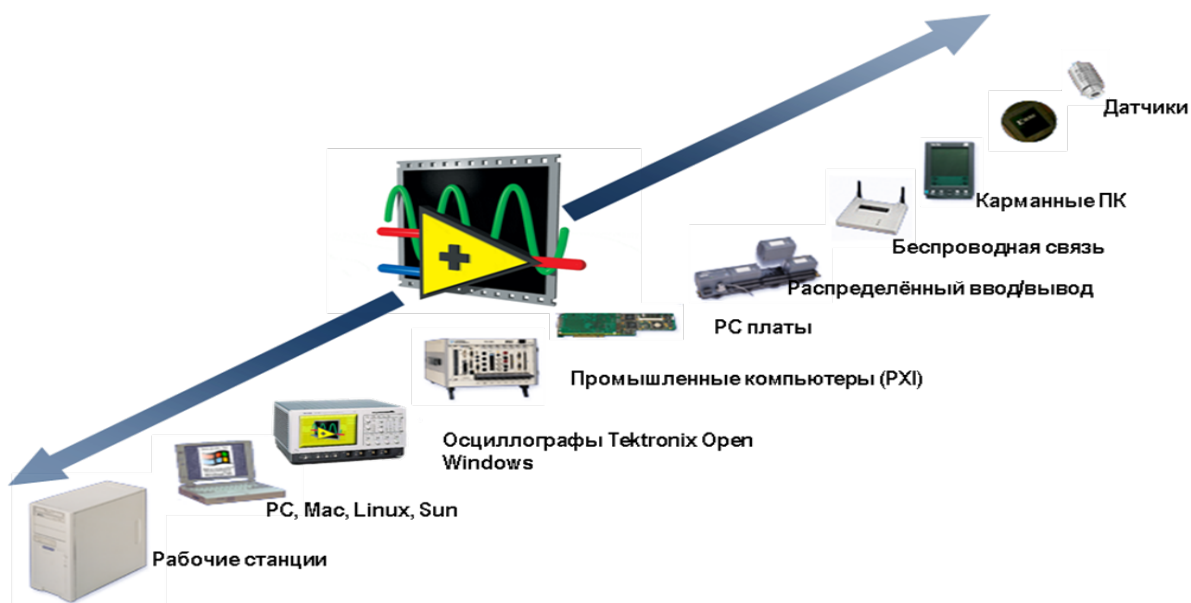


Рисунок 3.1 – Платформы для LABVIEW

Любая программа в LabVIEW представляет собой виртуальный прибор. Можно даже сказать, что виртуальный прибор – это основа программирования в среде LabVIEW.

В состав любого виртуального прибора входят два обязательных элемента – лицевая панель и диаграмма. Лицевая панель содержит комбинацию различных индикаторов, средств управления. Диаграмма содержит в себе алгоритм работы программы.

На рисунке 3.2 представлена лицевая панель и блок-диаграмма виртуального прибора.

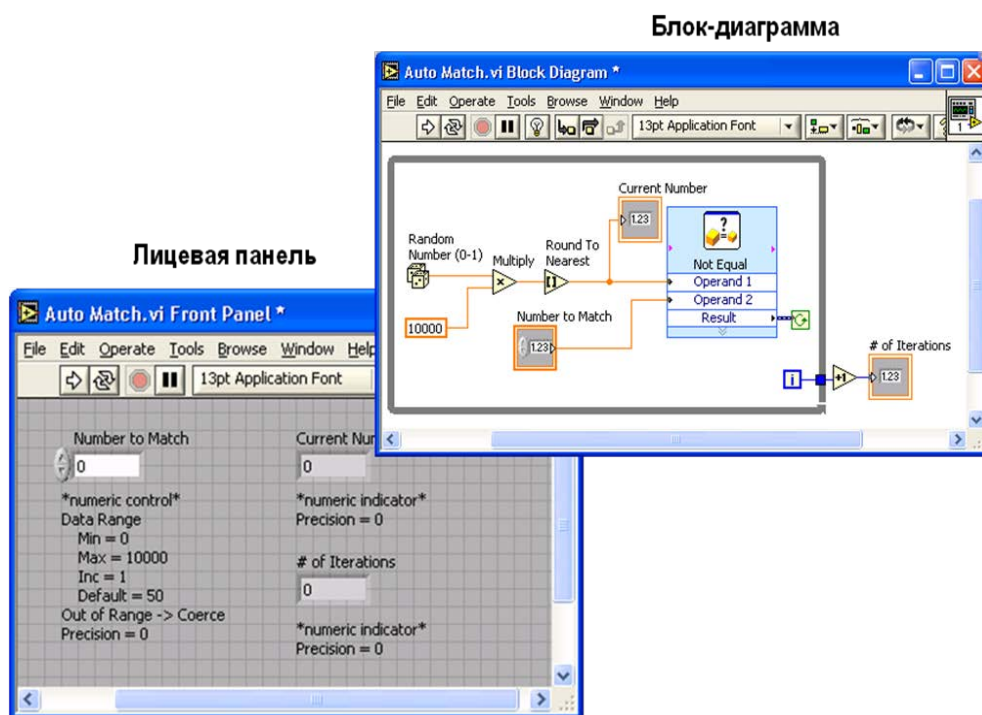


Рисунок 3.2 – Лицевая панель и блок-диаграмма

Одним из основных понятий, которое используется при создании программы, является понятие «Поток данных» или «Data Flow». Это означает, что каждый из элементов программы связан с другим и с помощью этой связи и осуществляется передача данных.

Лицевая панель (пользовательский интерфейс) создается с помощью наборов индикаторов и управляющих элементов. Под индикаторами следует понимать шкалы, лампочки, графики, текстовые поля и т.д. Управляющие элементы – кнопки, тумблеры, поля ввода и т.д.

В среде визуального программирования LabVIEW существует набор подпрограмм, с помощью которых осуществляется настройка устройств, отвечающих за сбор данных и управление устройствами. Как правило, одно устройство здесь может выполнять сразу несколько функций, такие, как цифро-аналоговое преобразование, аналого-цифровое преобразование, операции счета, цифровой ввод-вывод.

При измерение таких физических параметров, как, например, температура, датчик осуществляет преобразование физического сигнала в электрический (напряжение или ток). Лишь после этого система сможет провести измерение реального физического сигнала. Отсюда следует, что устройства DAQ являются лишь частью системы измерений. Как правило, они выступают в роли некоего посредника между исследуемым объектом и персональным компьютером. Они выполняют задачу преобразования данных в цифровой формат.

Устройства DAQ могут быть внешними (т.е. связь с устройством в таком случае осуществляется посредством последовательных портов или Ethernet), либо внутренними (посредством PCI или PCMCIA слотов) [36, с. 128-134].

3.1.2 Описание панели управления и функциональной панели

Функциональная панель и панель управления являются меню, с помощью которых осуществляется доступ к различным функциям, а также библиотекам элементов интерфейса. Каждая из панелей вызывается автоматически, при переключении между панелью интерфейса и окном редактирования.

С помощью панели управления пользователь может добавлять индикаторы и элементы управления. Здесь иконизированное меню содержит подменю, которое содержит в себе соответствующие объекты. Вызов данного меню осуществляется с помощью команды Window -> Show Controls Palette.

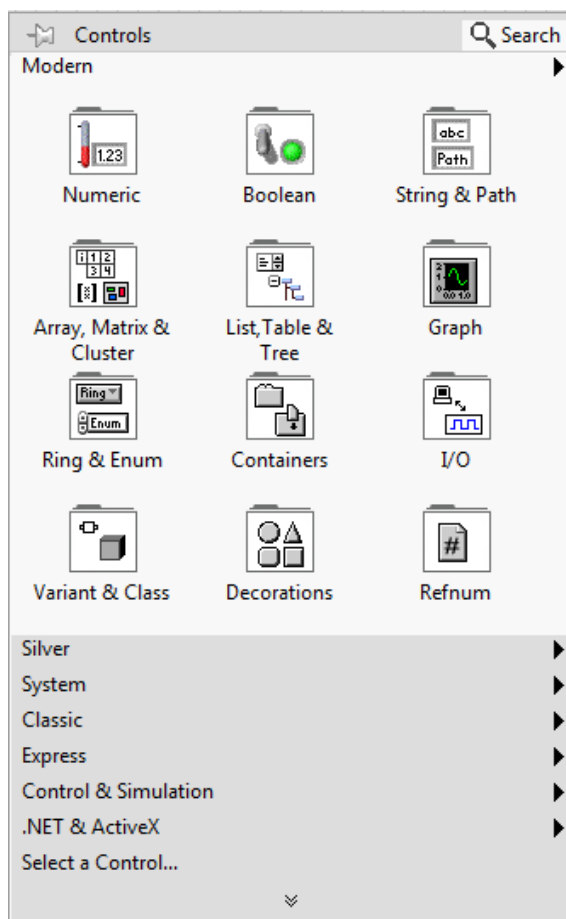


Рисунок 3.3 – Внешний вид панели управления

Основной функцией элементов функциональной панели является создание алгоритмов работы программы. Она содержит в себе все необходимые функции, которые позволяют реализовывать алгоритмы любой сложности (от математических до более сложных функциональных вычислений), а также позволяет работать с различными структурами и типами данных. Вызов данного меню осуществляется с помощью команды `Window > ShowFunctionPalette` [37, с. 485-489].

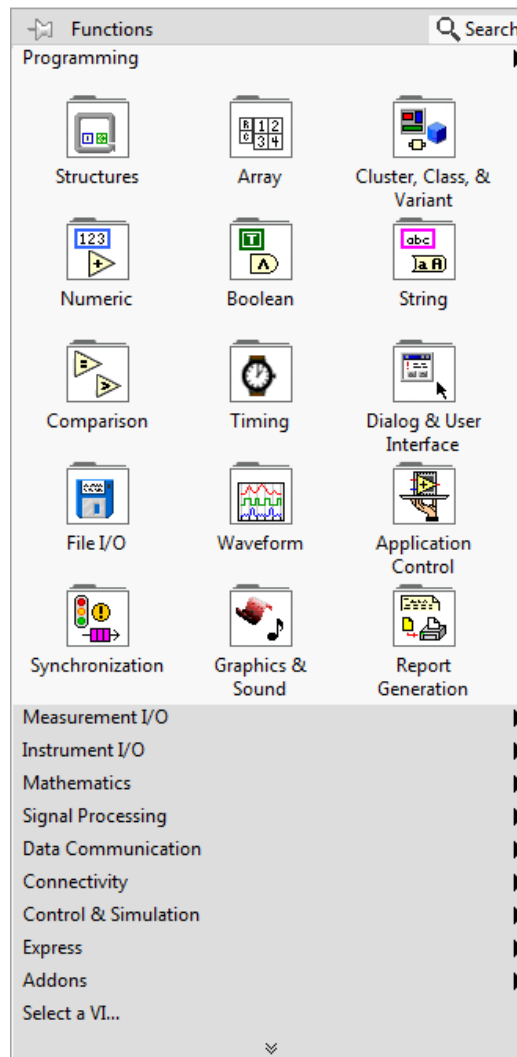


Рисунок 3.4 – Внешний вид функциональной панели

- Structures - основные структуры: циклы, последовательности;

Среда LabVIEW содержит пять структур: цикл While и For (по условию и цикл с фиксированным числом итераций), структуры Case, Sequence, Event (Вариант, Последовательность и Событие), а также Formula Node (узел Формулы).

3.2 Оценка возможности автоматизации виброакустических измерений с помощью среды автоматизации LabVIEW

На основании изучения среды LabVIEW можно сделать вывод о том, что данный программный пакет обладает широким пакетом возможностей для создания различных виртуальных приборов с широким диапазоном функций и безусловно позволяет нам создать виртуальный прибор для автоматизации виброакустических измерений.

В свою очередь устройство сбора данных NI PCI-6251 с блоком разъемов SCB-68 позволяет осуществить непосредственный обмен данными и сигналами между виртуальным прибором и измерительной схемой. Их внешний вид представлен на рисунках 3.5, 3.6. Характеристики данных устройств представлены в приложении А.



Рисунок 3.5 – Устройство сбора данных NI PCI-6251



Рисунок 3.6 – Блок разъемов SCB-68

Таким образом, мы можем выполнить задачу автоматизации виброакустических измерений с помощью среды LabVIEW и устройства сбора данных NI PCI-6251 с блоком разъемов SCB-68. Эта задача будет решена в последующей главе [39, с. 174].

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

3.3 Разработка системы диагностирования многокомпонентных труб

3.3.1 Коммутация устройств для обработки сигналов

LabVIEW состоит из набора подпрограмм, с помощью которых можно собирать, посылать и конфигурировать данные на DAQ-устройства. Аббревиатура DAQ расшифровывается как «сбор данных» (от англ. Data Acquisition). Эти устройства могут выполнять следующие функции: цифро-аналоговое преобразование, аналого-цифровое преобразование, управление таймером, цифровой ввод/вывод. Каждое устройство имеет свою скорость обработки данных.

Перед измерением физического сигнала, DAQ-устройство осуществляет преобразование сигнала измеряемого физической величины в электрический (ток или напряжение). В построенной нами экспериментальной установке в качестве преобразователя выступает керамический пьезодатчик.

В качестве DAQ-устройства в экспериментальной установке используется плата PCIe-6251 фирмы National Instruments.

Один из наиболее важных факторов при работе с аналоговым входом данной измерительной системы – это частота дискретизации. Частота дискретизации – это частота, с которой измерительное устройство осуществляет генерацию исходящего сигнала или считывание входящего. Другое ее название – частота отсчетов. Эта частота определяет с какой частотой выполняется цифро-аналоговое преобразование и аналого-цифровое преобразование. Чем выше данная частота, тем большее количество точек мы можем считать в заданное время, и соответственно, получить более точное представление о входящем сигнале.

Из теоремы Котельникова следует, что считывание сигнала должно осуществляться с частотой дискретизации вдвое превышающей частоты

гармоники в этом сигнале. В этом случается исходный сигнал можно восстановить полностью.

Подавать аналоговый сигнал на УСД PCIe-6251 можно либо по дифференциальной схеме подключения либо по схеме с общим проводом. В нашей экспериментальной установке мы использовали схему подключения датчиков, представленную на рисунке 3.7.

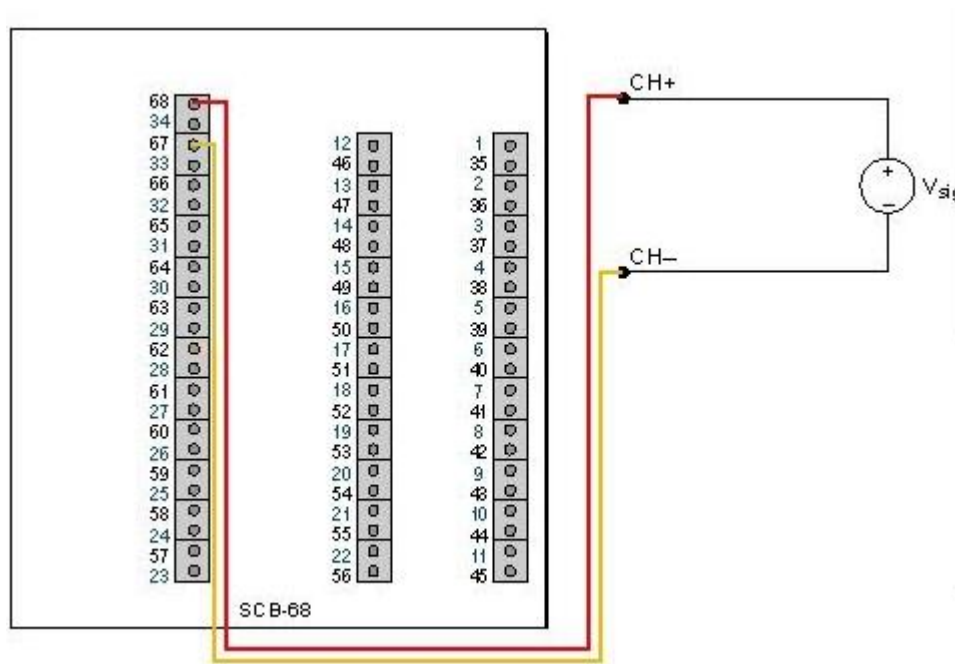


Рисунок 3.7 – Подключение датчиков

Для обработки сигнала, снятого с напряжения и переданного при помощи платы NI PCI 6251 на компьютер, в среде LabVIEW существует специальная подпрограмма DAQmx Assistant.

Для осуществления сбора данных, добавим описанный выше блок на блок диаграмму разрабатываемого программного модуля.

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

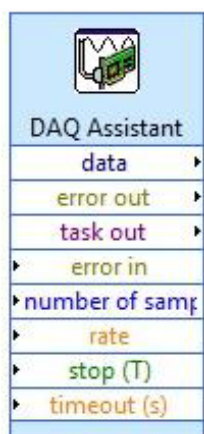


Рисунок 3.8 – Виртуальный прибор DAQmx Assistant

При добавлении DAQmx Assistant появляется диалоговое окно, в котором необходимо произвести конфигурацию устройства. Для начала необходимо выбрать тип измерения. В нашем случае необходимо выбрать аналоговый вход – Analog Input. Т.к. у нас производится измерение напряжения, то на следующем шаге необходимо выбрать Voltage. Затем, выберем аналоговый вход с которого будет осуществляться считывание данных. Выберем вход AI1 и нажмем кнопку Finish. Диалоговое окно, в котором осуществляются данные настройки представлено на рисунке 3.9.

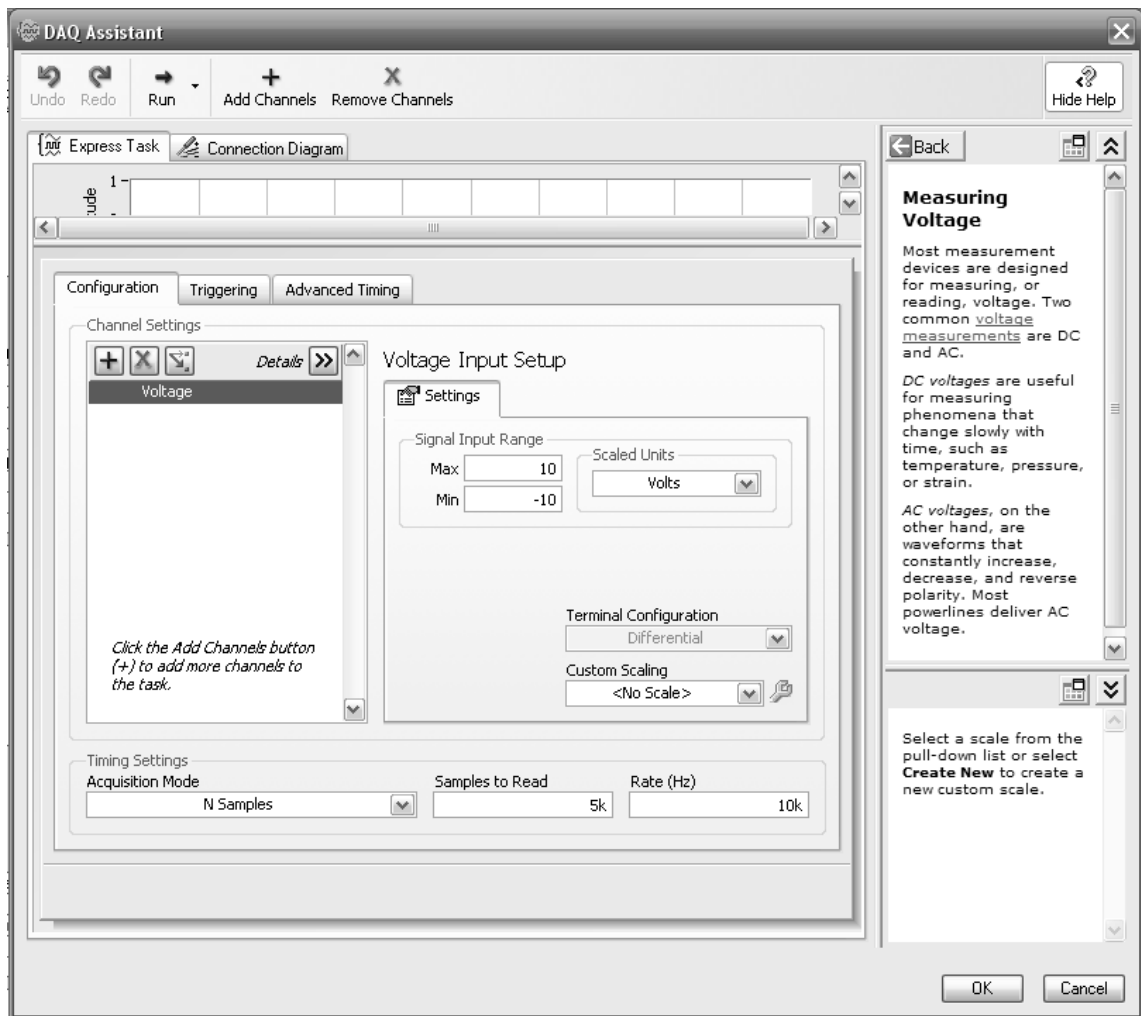


Рисунок 3.9– Настройка параметров для DAQ Assistant

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

3.3.2 Описание программного модуля

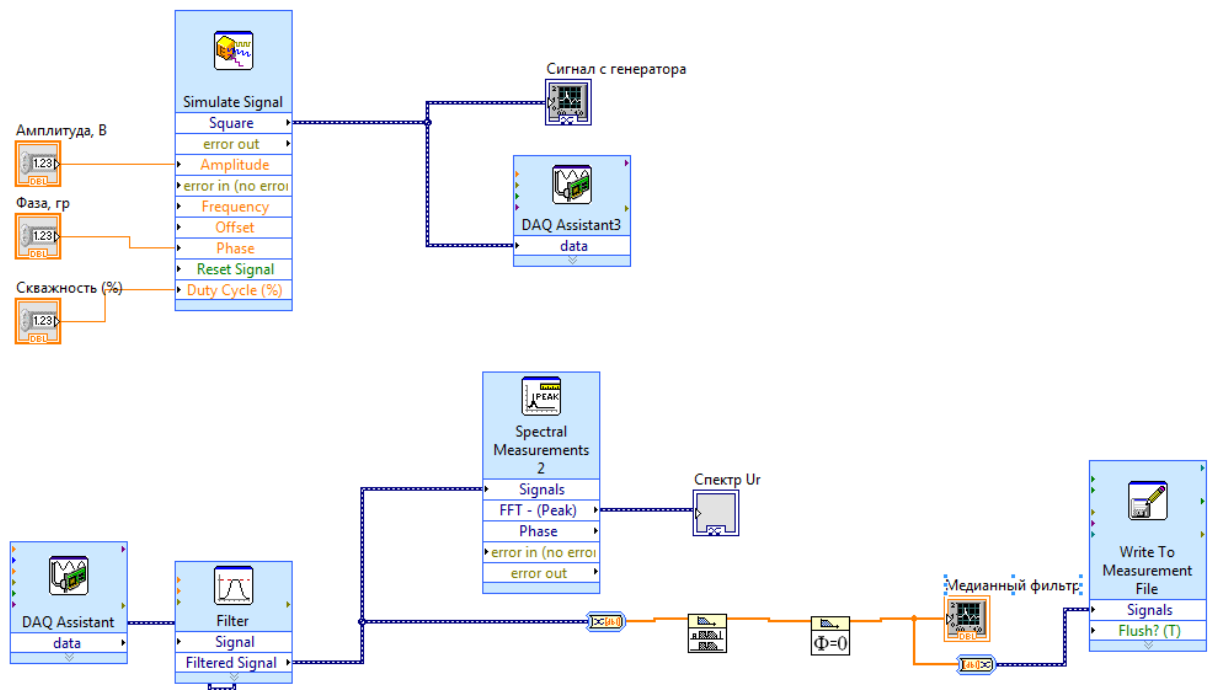


Рисунок 3.10 – Блок схема программного модуля

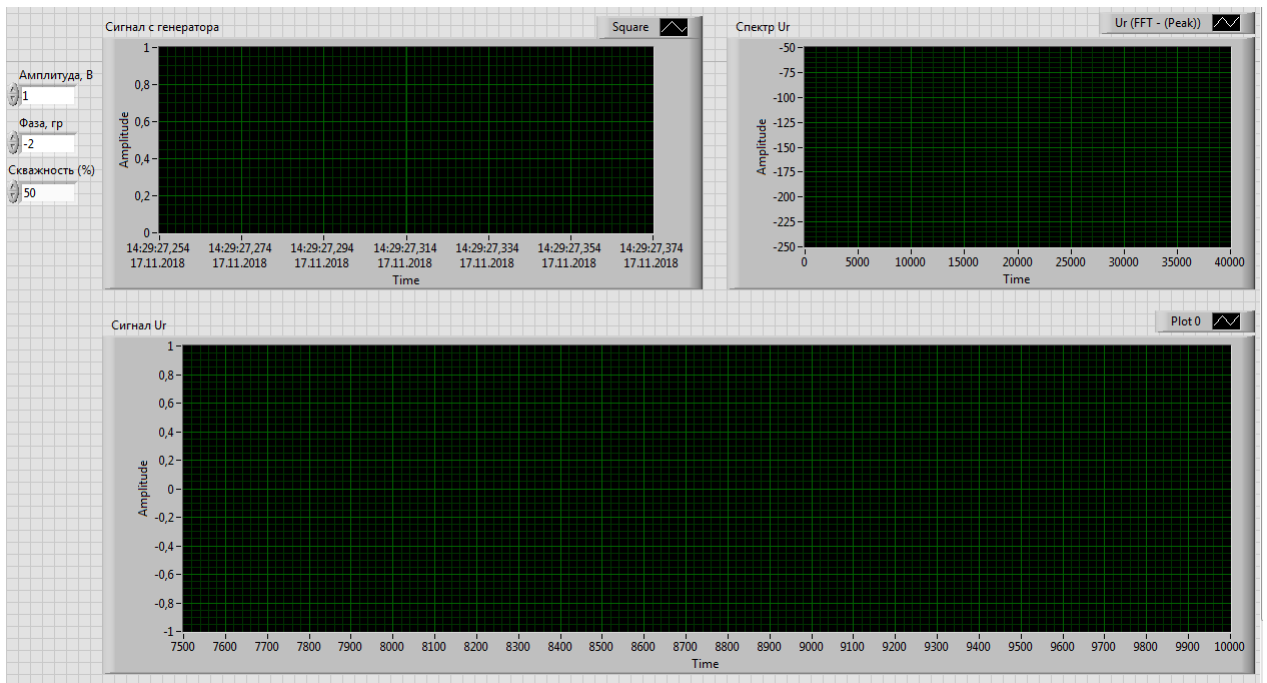


Рисунок 3.11 – Программный модуль (лицевая панель)

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата
------	------	-------------	---------	------

Блок-схема программного модуля представлена на рисунке 3.10.

Рассмотрим каждую из частей программы более подробно:

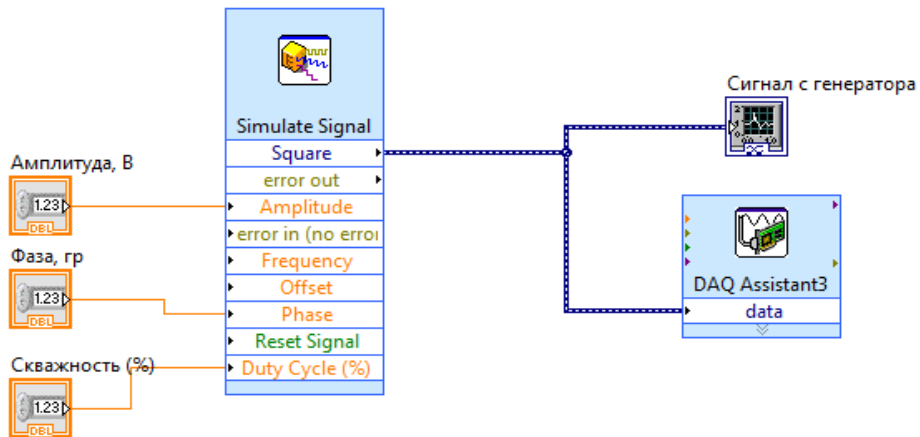


Рисунок 3.12 – Подпрограмма генерации ступенчатого сигнала

1) Верхняя его часть (представлена на рисунке отвечает за генерацию одиночного прямоугольного импульса с разъема А00.

Симуляция сигнала осуществляется с помощью блока Simulate Signal.



Рисунок 3.13 – Блок Simulate Signal

С помощью специальных контрольных полей, пользователь можешь изменять амплитуду, фазу и скважность подаваемого прямоугольного импульса.

Далее, для визуального контроля, сгенерированный сигнал поступает на Waveform Graph – индикатор (графический), который выполняет роль

осциллографа. Его задачей является прием данных в виде определенного массива чисел и их дальнейшее отображение с равномерным шагом.[40, с. 201-205].



Рисунок 3.14 – Блок Waveform Graph

Затем сигнал с помощью блока DAQ Assistant, описанного в предыдущем пункте, поступает на выход А00.

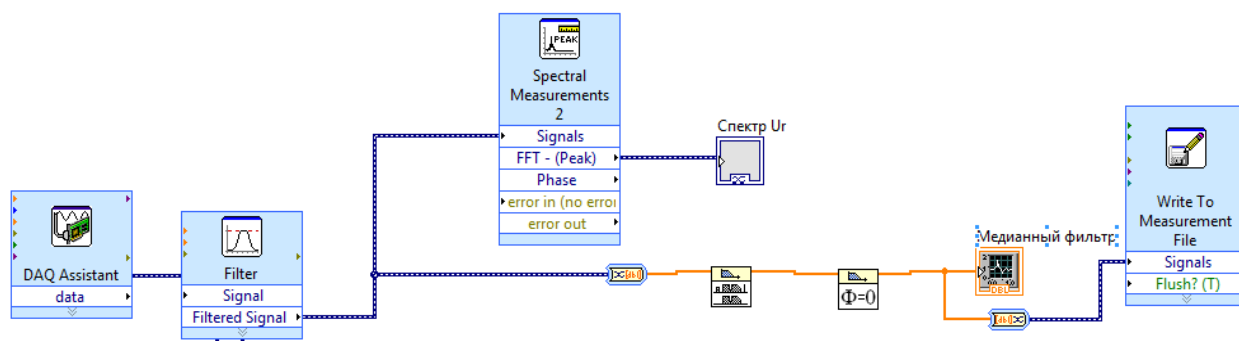


Рисунок 3.15 – Подпрограмма снятия и обработки сигнала

2) Обработка сигнала в программе начинается с того, что сигнал с блока DAQ Assistant одновременно подается полосовой фильтр (блок Filter). Функциональным назначением полосового фильтра (ПФ) является то, что он способен пропустить лишь те частоты, которые заданы определенным диапазоном, при этом вырезая все остальные [41, с. 2].

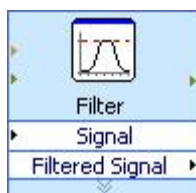


Рисунок 3.16 – Блок Filter

Далее, с помощью блока Spectral Measurements происходит построение спектра полученного сигнала, которые выводится на блок осциллографа Waveform Graph, описанный ранее.

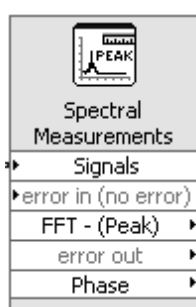


Рисунок 3.17 – Блок Spectral Measurements

Так же ранее отфильтрованный сигнал происходит дальнейшую фильтрацию с помощью медианного фильтра и фильтра нулевого смещения фазы. Результаты также выводятся на осциллограф.



Рисунок 3.18 – Блоки медианного фильтра и фильтра нулевого смещения фазы

В результате выполнения программы, мы получаем отфильтрованный сигнал, представляющий собой переходный процесс. Пример сигнала, полученного в тестовом режиме, представлен на рисунке 3.19.

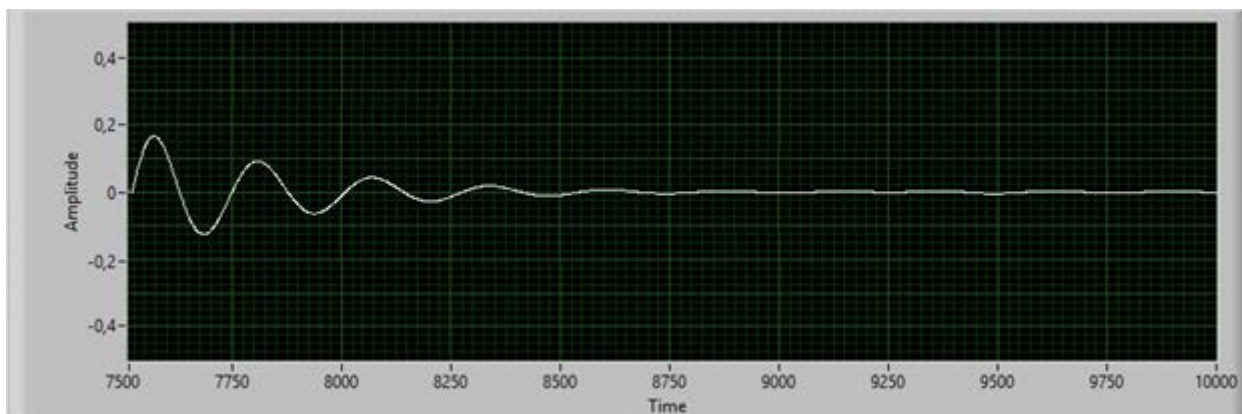


Рисунок 3.19 – Полученный сигнал

Дальнейшая обработка сигнала заключается в нахождении коэффициентов по методу авторегрессии. Для этого, в имеющемся прототипе программного модуля реализована функция вывода данных в файл Excel (Блок Write To Spreadsheet File). [42, с. 3].

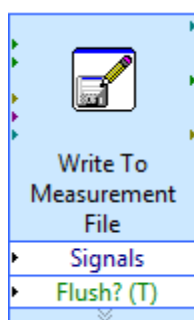


Рисунок 3.20 – Блок Write To Spreadsheet File

3.4 Снятие экспериментальных данных

При получении экспериментальных данных для реальных участков трубопроводов в рамках кафедры мы сталкиваемся со следующими трудностями:

1) отсутствие образцов многокомпонентных труб, на которых можно провести исследование;

2) невозможность реализовать процесс течения жидкости, т.к. для этого необходимы дорогостоящие проливочные установки.

Следует отметить, что различают быстрые и медленные процессы. Если скорость снятия диаграммы настолько быстрая, что за время снятия диаграммы состав трубы не меняется, то можно этот результат распространить и на движущуюся жидкость. В таком случае задача становится статической. Для движущейся жидкости такой квазистатический анализ подходит даже в динамике. В принципе, это является приближением текущей жидкости, но когда процессы измерения несоизмеримо быстрее, чем скорость течения жидкости.

В рамках кафедры будем проводить эксперимент с помощью мерного алюминиевого сосуда цилиндрической формы с прикрепленным к нему пьезомодулем. Как было сказано выше, наш эксперимент мы будем проводить для различных составов жидкости без течения. Будем заливать разные составы жидкости, которые имитируют жидкость в реальной трубе.

Данную резонансную задачу можно свести к нахождению динамических параметров, которые связаны со статическими параметрами, через некий коэффициент калибровки. Если резонансная частота не меняется, то эти коэффициенты остаются постоянными. Для калибровки мы в мерный сосуд заливаем заведомо известные составы жидкости и проводим идентификацию. Если заливаем другой состав, то связь между динамическими и статическими параметрами будет осуществляться через те же самые коэффициенты.

					ЮУрГУ – 12.04.01.2019.196 ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		57

С помощью разработанного программного модуля были получены характеристики для различных составов многокомпонентных сред, в частности для мерного сосуда, полностью заполненного водой (опыт №1), для сосуда с 100% раствором хлорида натрия в воде (опыт №2), для сосуда с 50% раствором хлорида натрия в воде (опыт №3).

Полученные данные представлены в Приложении Б. По ним были построены переходные характеристики, снятые с каждого из трех пьезодатчиков.

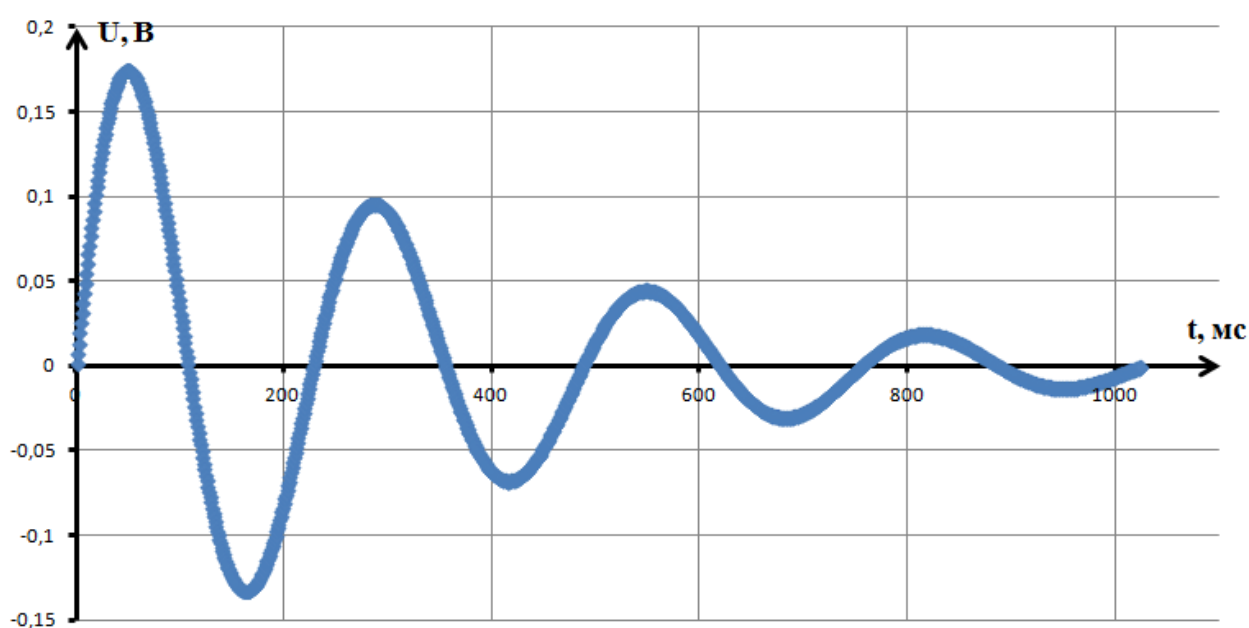


Рисунок 3.23 – Сигнал, во время опыта №1

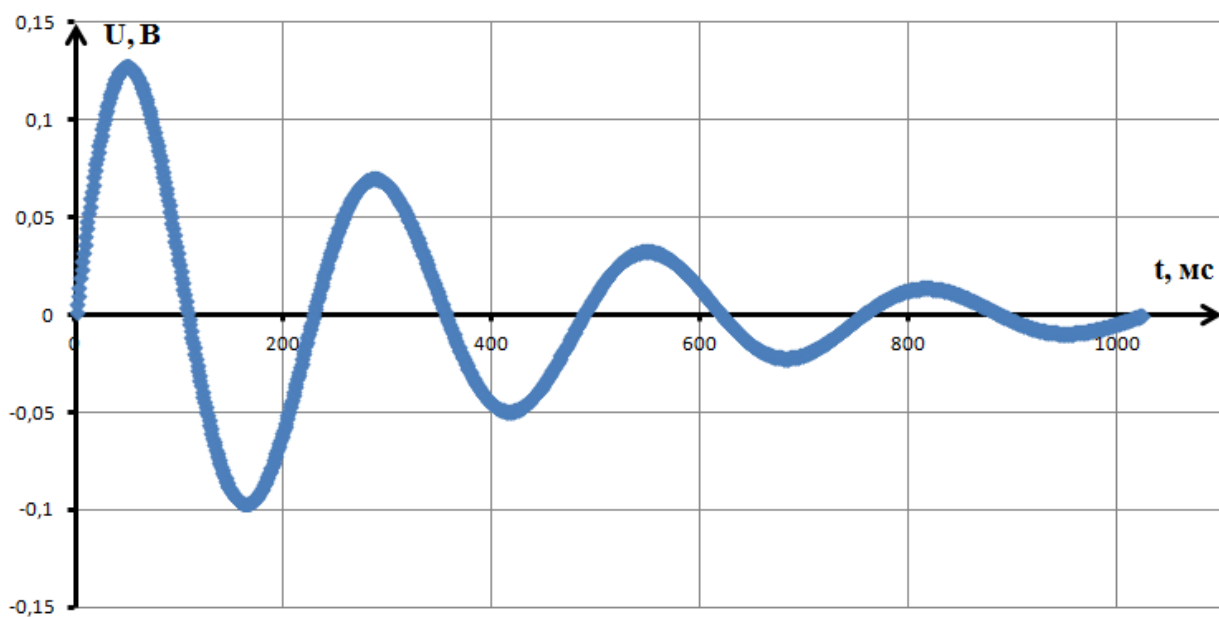


Рисунок 3.27 – Сигнал, снятый во время опыта №2

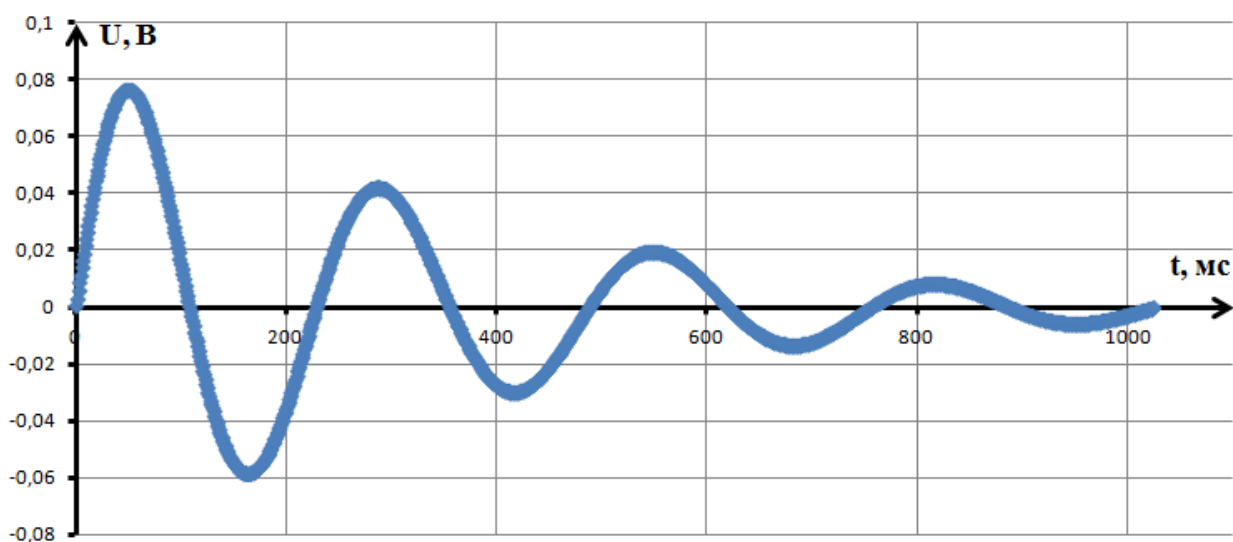


Рисунок 3.28 – Сигнал, снятый во время опыта №3

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

3.5 Выводы по третьему разделу

1) изучена среда визуального программирования LabVIEW, приведено описание функциональной панели и панели управления;

2) произведена оценка возможности автоматизации виброакустических измерений с помощью среды LabVIEW;

3) разработан программный модуль, позволяющий снимать требуемые характеристики в реальном масштабе времени;

4) с помощью созданного программного модуля были получены экспериментальные характеристики для каждого из исследуемых образцов многокомпонентной среды;

5) дальнейшая обработка полученных данных методом ARX-модели позволит установить параметры m , s , r , определяющие состав многокомпонентной среды.

					ЮУрГУ – 12.04.01.2019.196 ВКР	Лист
						60
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

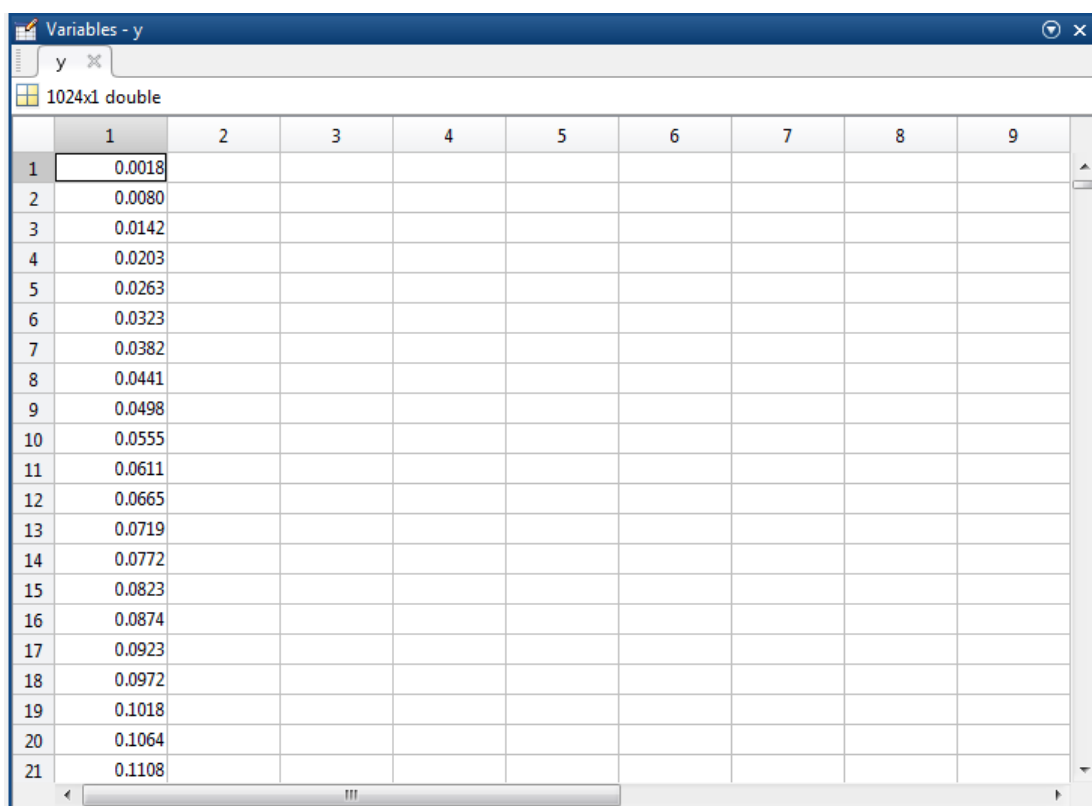
4 ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ТРУБ

4.1 Нахождение и преобразование ARX-модели

4.1.1 Нахождение ARX-модели в среде System Identification Toolbox

Используя полученный ранее сигнал, представленный в виде переходного процесса, определим ARX-модель, соответствующую этому процессу. Данная процедура будет произведена с помощью пакета System Identification Toolbox программы MatLAB.

Сперва, нам необходимо ввести полученные ранее данные в среду MatLAB [43, с. 4]. Для этого создаем новую переменную и добавляем данные. Т.к. это выходной сигнал, назовем переменную y .



	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.0018								
2	0.0080								
3	0.0142								
4	0.0203								
5	0.0263								
6	0.0323								
7	0.0382								
8	0.0441								
9	0.0498								
10	0.0555								
11	0.0611								
12	0.0665								
13	0.0719								
14	0.0772								
15	0.0823								
16	0.0874								
17	0.0923								
18	0.0972								
19	0.1018								
20	0.1064								
21	0.1108								

Рисунок 4.1 – Создание новой переменной

Затем, создаем переменную, соответствующую единичному ступенчатому воздействию. Необходимо отметить, что данная переменная должна иметь такую же размерность, как и созданная ранее переменная y . Т.к. единичное ступенчатое воздействие – это входной сигнал, то назовем переменную u . За создание переменной отвечает следующая команда (4.1):

$$u = \text{ones}(\text{length}(y), 1), \quad (4.1)$$

После того, как мы успешно создали переменные, произведем нахождение ARX-модели. Для этого командой *ident* вызовем модуль System Identification Toolbox [44, с. 13-14].

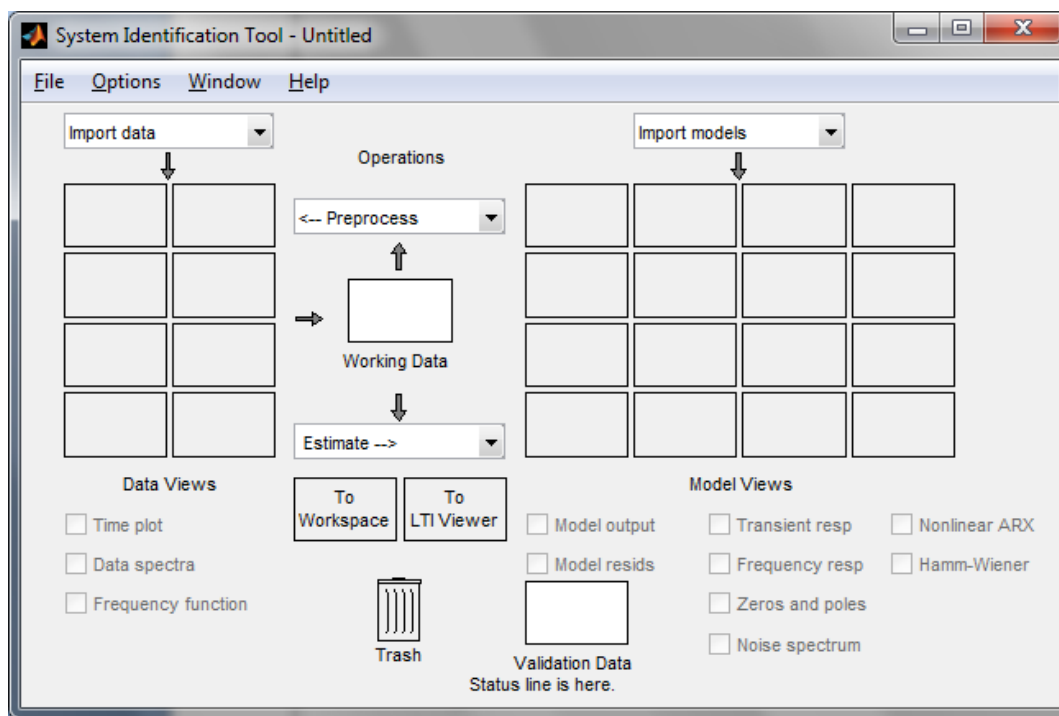


Рисунок 4.2 – Модуль System Identification Toolbox

В окне Import Data добавим исходные данные в среду System Identification Toolbox.

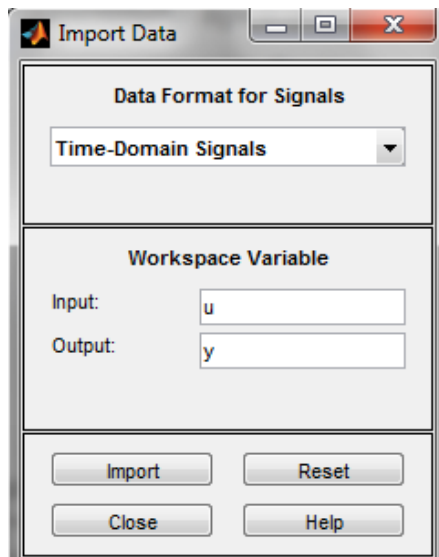


Рисунок 4.3 – Импорт данных

Затем, в окне Estimate, произведем нахождение ARX-модели. Выберем пункт Transfer Functions. И нажмем кнопку Estimate.

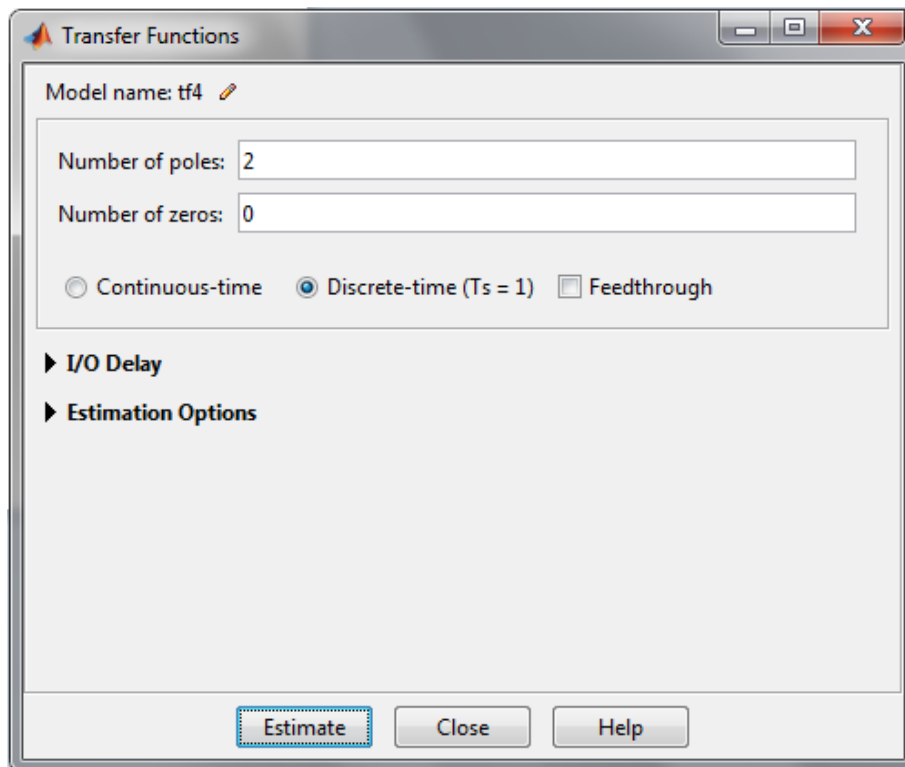


Рисунок 4.4 – Меню Transfer Functions

После этого появится окно, отображающее процесс нахождения ARX-модели [45, с. 5].

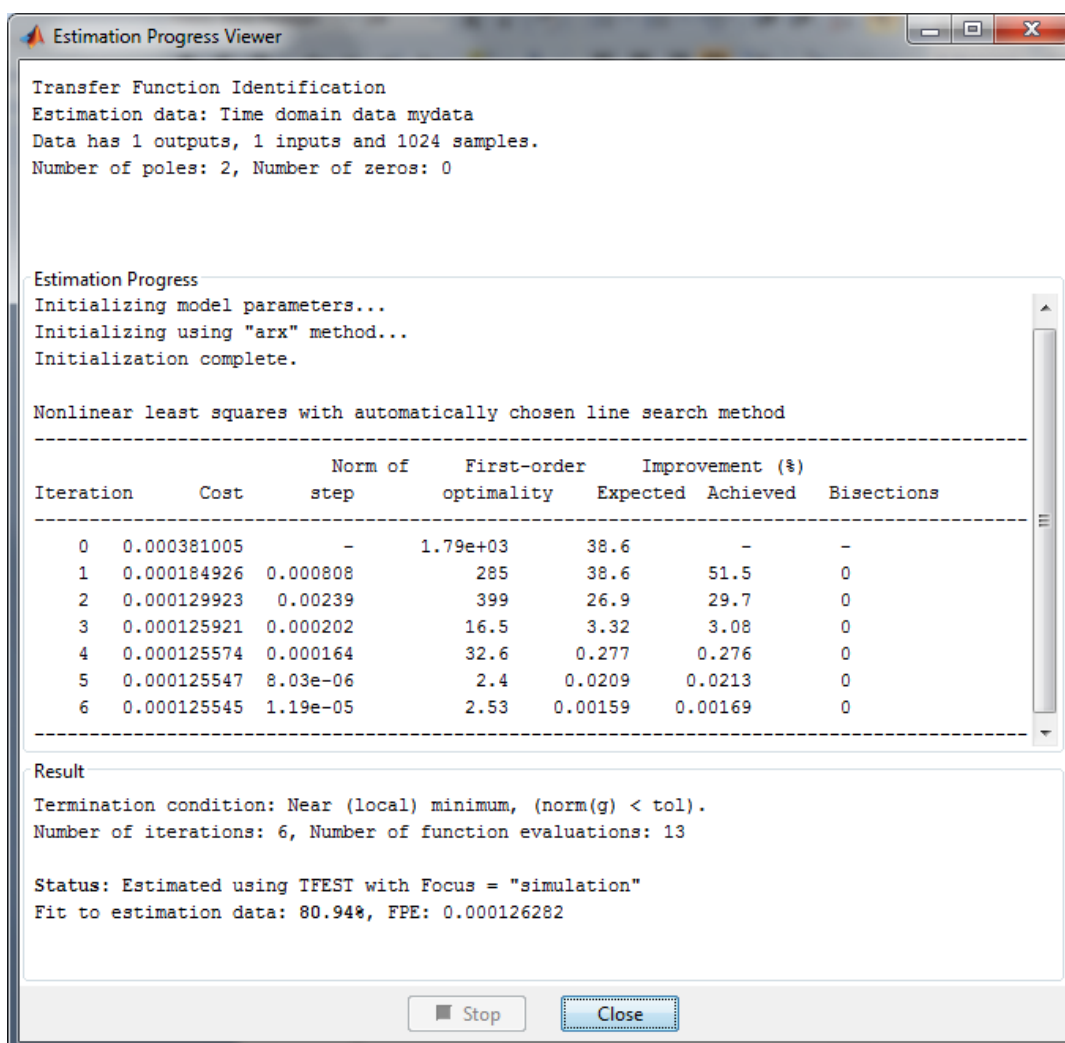


Рисунок 4.4 – Процесс нахождения ARX-модели

После завершения этой операции просматриваем получившуюся ARX-модель.

$$5.488e-07$$

$$1 - 1.994 z^{-1} + 0.9948 z^{-2}$$

Рисунок 4.5 – Полученная ARX-модель

Так же на одном графике мы можем отобразить исходный сигнал и получившуюся ARX-модель.

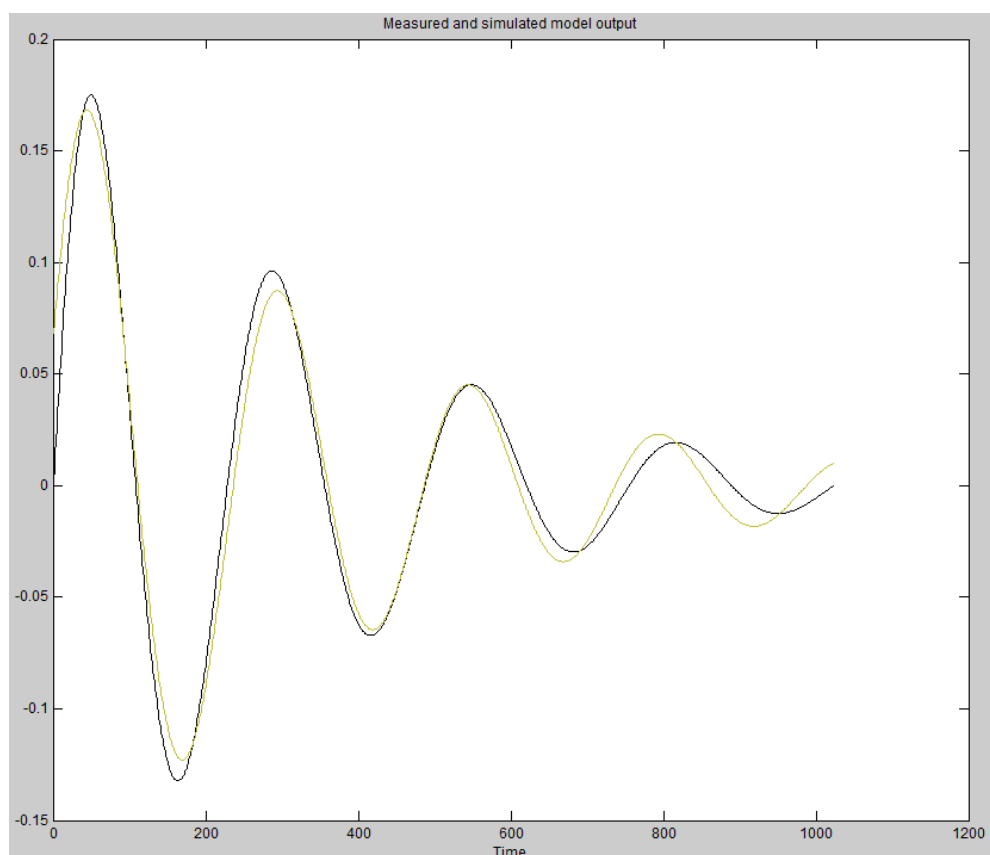


Рисунок 4.6 – Исходный сигнал и получившаяся ARX-модель

Исходя из графика, мы видим, что ARX-модель найдена достаточно точно. Запишем ее:

$$\frac{y(z)}{u(z)} = \frac{5,488 \cdot 10^{-7}}{1 - 1,994 \cdot z^{-1} + 0,9948 \cdot z^{-2}}, \quad (4.2)$$

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

4.1.2 Преобразование полученной ARX-модели

Т.к. исходная динамическая система является системой второго порядка, запишем соответствующее ей дифференциальное уравнение (4.3):

$$a_0 \frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_2 y = b \cdot U_{\text{вх}}, \quad (4.3)$$

где a_0 – масса;

a_1 – коэффициент демпфирования;

a_2 – жесткость;

b – коэффициент усиления (в нашем случае составляет 1,011).

Запишем передаточную функцию звена и произведем нормирование, путем деления на a_2 .

$$W(p) = \frac{b}{a_0 p^2 + a_1 p + a_2} = \frac{\frac{b}{a_2}}{\frac{a_0}{a_2} p^2 + \frac{a_1}{a_2} p + 1}, \quad (4.4)$$

Переобозначим полученные коэффициенты и получим функцию вида (4.5):

$$W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\varepsilon T p + 1}, \quad (4.5)$$

где $k = \frac{b}{a_2}$; $T^2 = \frac{a_0}{a_2}$; $2\varepsilon T = \frac{a_1}{a_2}$.

Запишем полученное уравнение (4.5) в виде дифференциального уравнения второго порядка:

					ЮУрГУ – 12.04.01.2019.196 ВКР	Лист
						66
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

$$T^2\ddot{y} + 2\varepsilon T\dot{y} + y = A \cdot u, \quad (4.6)$$

Осуществим Z-преобразование. Распишем каждую производную отдельно.

$$\ddot{y}: \frac{y(k) - 2y(k-1) + y(k-2)}{Ts^2}, \quad (4.7)$$

$$\dot{y}: \frac{y(k) - y(k-1)}{Ts}, \quad (4.8)$$

В итоге имеем:

$$T^2 \cdot \frac{y(k) - 2y(k-1) + y(k-2)}{Ts^2} + 2\varepsilon T \cdot \frac{y(k) - y(k-1)}{Ts} + y(k) = A \cdot u, \quad (4.9)$$

После преобразования получим (в нашем случае Ts составляет $1,25 \cdot 10^{-5}$ с.):

$$T^2 y(k-2) - 2(T^2 + \varepsilon T \cdot Ts) y(k-1) + (T^2 + \varepsilon T \cdot Ts + Ts^2) \cdot y(k) = Ts^2 A u \quad (4.10)$$

Окончательно осуществим z-преобразование:

$$y(z) \cdot [a_2^* z^{-2} + a_1^* z^{-1} + a_0^*] = Ts^2 \cdot A \cdot u(z), \quad (4.11)$$

Выпишем получившиеся коэффициенты:

$$\begin{cases} a_2^* = T^2; \\ a_1^* = -2(T^2 + \varepsilon T \cdot Ts); \\ a_0^* = (T^2 + \varepsilon T \cdot Ts + Ts^2); \\ A = Ts^2 \cdot k. \end{cases} \quad (4.12)$$

Сопоставим полученные коэффициенты, с ранее найденной ARX- моделью. Получим следующее:

$$\begin{cases} 0,9948 = T^2; \\ 1,994 = 2(T^2 + \varepsilon T \cdot Ts); \\ 1 = T^2 + \varepsilon T \cdot Ts + Ts^2; \\ 5,488 \cdot 10^{-7} = Ts^2 \cdot k. \end{cases} \quad (4.13)$$

Из полученной системы уравнений найдем неизвестные параметры:

$$\begin{cases} k = 3,512 \cdot 10^3, \\ \varepsilon = 240,723, \\ T = 0,997. \end{cases} \quad (4.14)$$

Далее, с помощью найденных параметров исходя из (4.5), найдем искомые коэффициенты где a_0, a_1, a_2 [46, с. 1-4]:

$$\begin{cases} a_0 = 2,8611 \cdot 10^{-4}, \\ a_1 = 0,1382, \\ a_2 = 2,8784 \cdot 10^{-4}. \end{cases} \quad (4.15)$$

4.2 Нахождение коэффициентов m , s , r

Сопоставим теперь полученные коэффициенты реальным механическим параметрам. Для этого приведем эквивалентную схему преобразователя (рисунок 4.7).

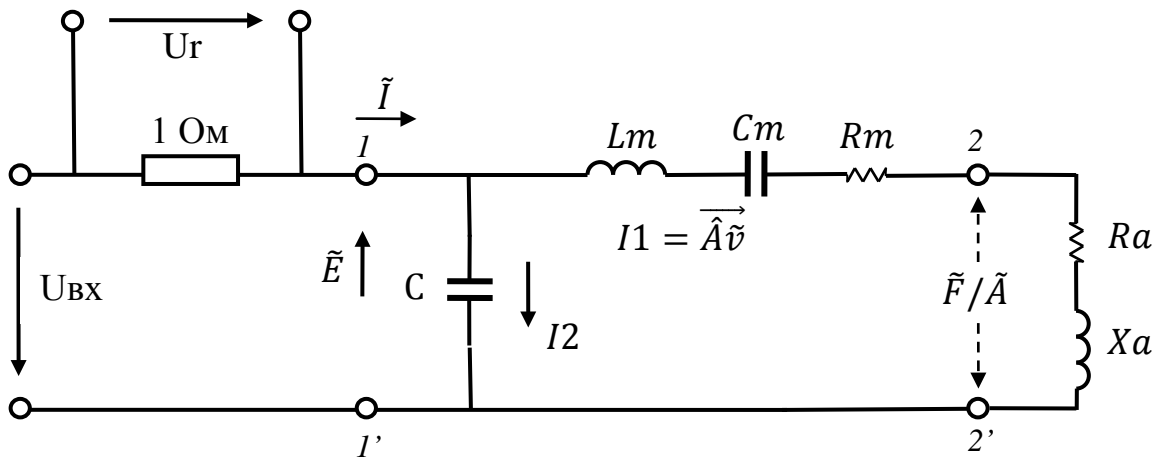


Рисунок 4.7 – Эквивалентная схема преобразователя

Рассмотрим участок 1-1', ведь именно на него подается входное напряжение в виде единичного ступенчатого сигнала [47, с. 20-21]. Упростим схему и запишем каждое из полученных сопротивлений:

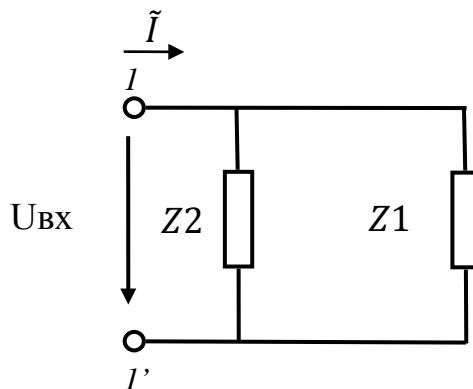


Рисунок 4.8 – Упрощенная схема

$$Z_1 = R_a + R_m + \frac{1}{j\omega C_m} + j\omega(L_m + X_a), \quad (4.16)$$

$$Z_2 = \frac{1}{j\omega C}, \quad (4.17)$$

Найдем общее сопротивление данной цепи. Оно представляет собой параллельное соединение Z_1 и Z_2 и записывается в виде (4.18):

$$Z_{\text{общ.}} = \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2}, \quad (4.18)$$

Подставим в уравнение (4.18) полученные ранее сопротивления:

$$Z_{\text{общ.}} = \frac{\frac{1}{j\omega C} \cdot (R_a + R_m + \frac{1}{j\omega C_m} + j\omega(L_m + X_a))}{\frac{1}{j\omega C} + R_a + R_m + \frac{1}{j\omega C_m} + j\omega(L_m + X_a)}, \quad (4.19)$$

Преобразуем полученное уравнение (4.19):

$$Z_{\text{общ.}} = \frac{1}{p} \frac{p^2 C_m (L_m + X_a) + p C_m (R_a + R_m) + 1}{p^2 C_m C (L_m + X_a) + p C_m C (R_a + R_m) + C_m + C}, \quad (4.20)$$

Т.к. величину C известна и является очень малой ($\sim p\Phi$), то имеем право записать:

$$Z_{\text{общ.}} = p \frac{C_m}{C_m + C} (L_m + X_a) + \frac{C_m}{C_m + C} (R_a + R_m) + \frac{1}{p(C_m + C)}, \quad (4.21)$$

Обозначим $R_0 = (R_a + R_m)$, $L_0 = (L_m + X_a)$:

$$Z_{\text{общ.}} = p \frac{C_m}{C_m + C} L_0 + \frac{C_m}{C_m + C} R_0 + \frac{1}{p(C_m + C)}, \quad (4.22)$$

Полученные коэффициенты приравняем к найденным ранее:

$$\begin{cases} a_0 = \frac{1}{cm+c}, \\ a_1 = \frac{c_m}{cm+c} R_0, \\ a_2 = \frac{c_m}{cm+c} L_0. \end{cases} \quad (4.23)$$

Решим систему уравнений (4.23) и получим искомые механические параметры:

$$\begin{cases} C_m = 3495,159; \\ R_0 = 0,1382; \\ L_0 = 0,00028. \end{cases} \quad (4.24)$$

Теперь, нам необходимо определить искомые параметры m , s , r . Они связаны с найденными ранее механическими следующей зависимостью (4.25) [48, с. 36]:

$$L_0 = \frac{m}{A^2}, C_m = \frac{A^2}{s}, R_0 = \frac{r}{A^2}, \quad (4.25)$$

Отсюда:

$$m = A^2 \cdot L_0, s = \frac{A^2}{C_m}, r_0 = A^2 \cdot R_0, \quad (4.26)$$

Величина A носит название фактор силы и определяется следующим выражением (4.27):

$$A = \frac{2 \cdot s}{h} \cdot e, \quad (4.27)$$

где S – площадь электродов;

e – пьезоэлектрическая постоянная напряжения;

h – толщина.

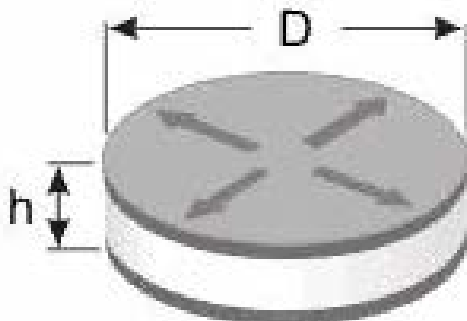


Рисунок 4.9 – Геометрические параметры пьезокерамики

Геометрические параметры для нашего пьезомодуля известны и составляют $S = 1,257 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$; $h = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Пьезоэлектрическая постоянная выражается соотношением (4.28):

$$e = d \cdot E_{\text{Ю}}, \quad (4.28)$$

где d – пьезомодуль;

$E_{\text{Ю}}$ – модуль Юнга.

Подставляя в формулу (4.28) определим величину пьезоэлектрической постоянной, а затем и фактора силы [49, с. 22-24]:

$$e = 4,74 \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2} \quad (4.29)$$

$$A = 2,383 \frac{\text{Кл}}{\text{м}} \quad (4.30)$$

Далее, исходя из выражения (4.26) определим искомые параметры m , s , r :

$$m = 1,634 \cdot 10^{-3}, s = 1,624 \cdot 10^{-3}, r = 0,785, \quad (4.31)$$

Аналогичным образом находим параметры на основе экспериментальных данных, полученных при остальных опытах. Найденные параметры заносятся в базу данных, доступ к которой может осуществляться в динамическом режиме.

					ЮУрГУ – 12.04.01.2019.196 ВКР	Лист
						73
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

4.3 Базы данных

База данных — это совокупность взаимосвязанных данных, обрабатываемых с помощью системы управления и хранящихся на машинных носителях информации. То есть, база данных помимо связанных между собой данных может также включать в себя совокупность программных средств для управления ими.

4.3.1 Базы данных в Excel

В офисном пакете Microsoft Office существует отдельная среда для работы с базами данных – Microsoft Access. Несмотря на это, работать с базами данных можно и в среде Microsoft Excel. Она, так же как и Access, позволяет создавать базы данных, редактировать их и генерировать отчеты. Стоит отметить, что Microsoft Excel чаще всего используется в тех случаях, когда осуществляется работа с базами данных небольшого объема.

Организация данных в Excel происходит в виде таблиц или списков. Конечно, организация такой базы данных несравнима с профессиональными СУБД, но вполне имеет место быть. Как и в профессиональных СУБД, данные здесь взаимосвязаны, а в среде содержатся специальные команды и функции для управления ими. Так же стоит отметить наличие специальной подпрограммы под названием MS Query, которая позволяет работать с более мощными и сложными базами данных.

Каждая отдельная строка в таблицах Microsoft Excel рассматривается как запись. Она состоит из полей, которые взаимосвязаны друг с другом. Каждому такому полю соответствуют клетки таблицы. Столбец таблицы тоже может восприниматься как поле. Каждому полю соответствует свое имя. Сортировка данных по одному или нескольким условиям – один из самых простых способов по обработке данных.

					ЮУрГУ – 12.04.01.2019.196 ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		74

При работе с различными данными среди значений нужно найти промежуточное число, для этого есть такое определение как интерполяция. Рассмотрим как это сделать в программе Excel для значений в таблицах

Часто интерполяция используется при работе с табличными значениями. Рассмотрим таблицу с аргументами и функции, которая относится к ним. Проведем интерполяцию соответственно к аргументу 28 с помощью функции ПРЕДСКАЗ.

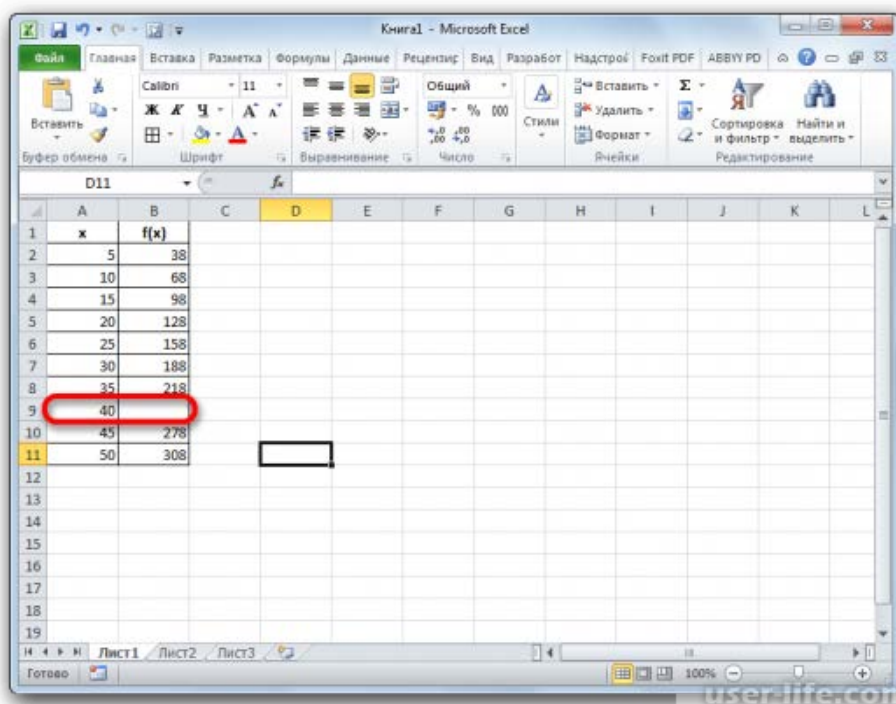


Рисунок 4.10 – Интерполяция в Excel

Нужно выбрать ячейку без значения, в которой в конечном итоге мы получим результат. Далее кликнуть в строке формул слева на кнопку "Вставка функции".

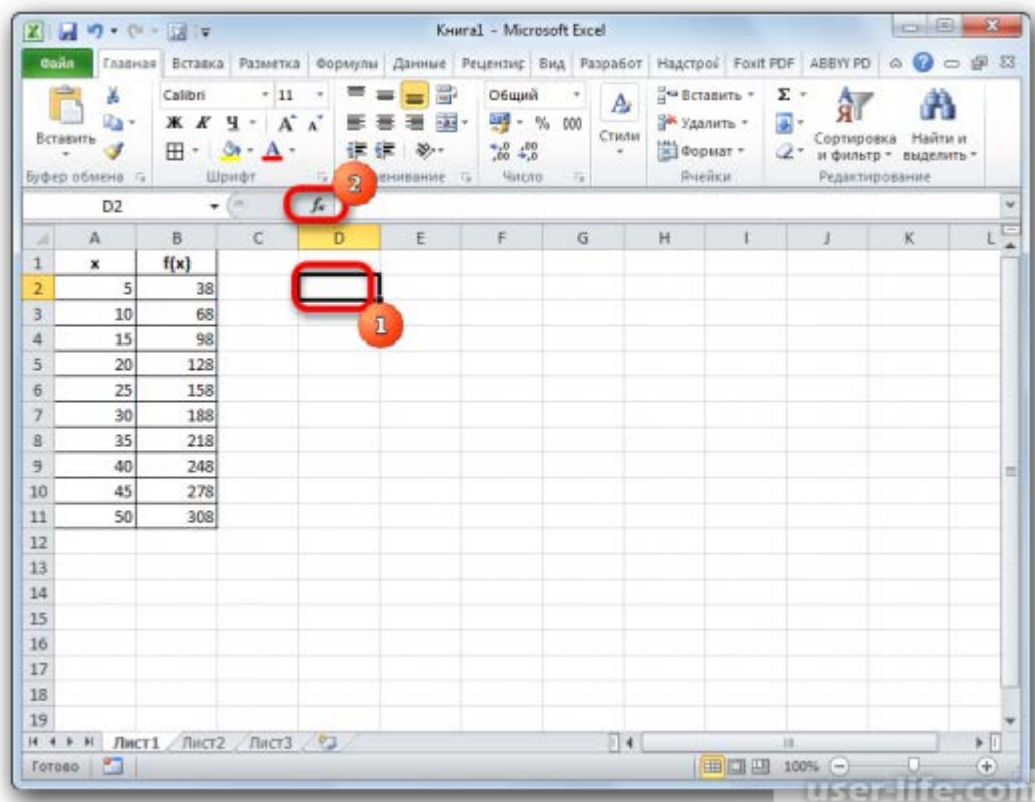


Рисунок 4.11 – Интерполяция в Excel

В окне мастера функций нужно выбрать категорию "Математические" и в списке функций выбрать ПРЕДСКАЗ, а после этого подтвердить действие.

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

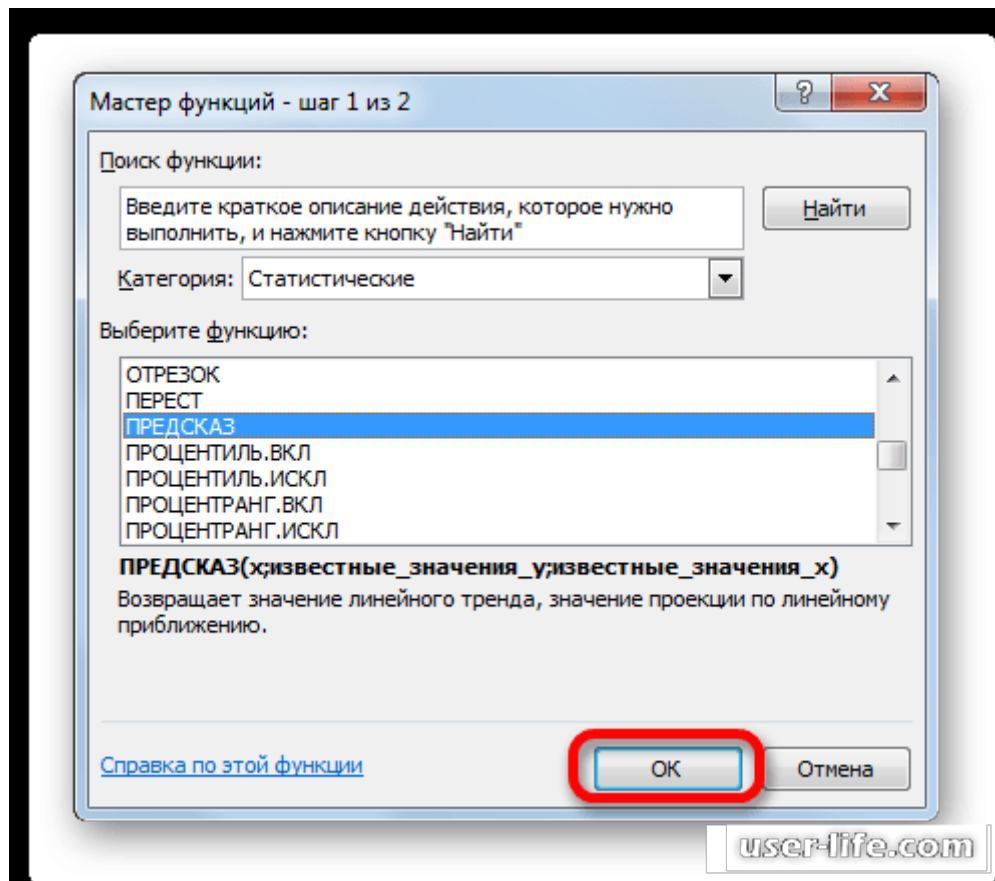


Рисунок 4.12 – Интерполяция в Excel

Откроется окно, в котором нужно задать параметры выбранной нами функции. В поле с названием "X" нужно ввести искомое число (28). В поле где надо ввести известные значения у вводим диапазон ячеек, где введены значения в таблице. Аналогично делается и для поля значений аргументов X. После произведенных манипуляций - подтверждаем действие.

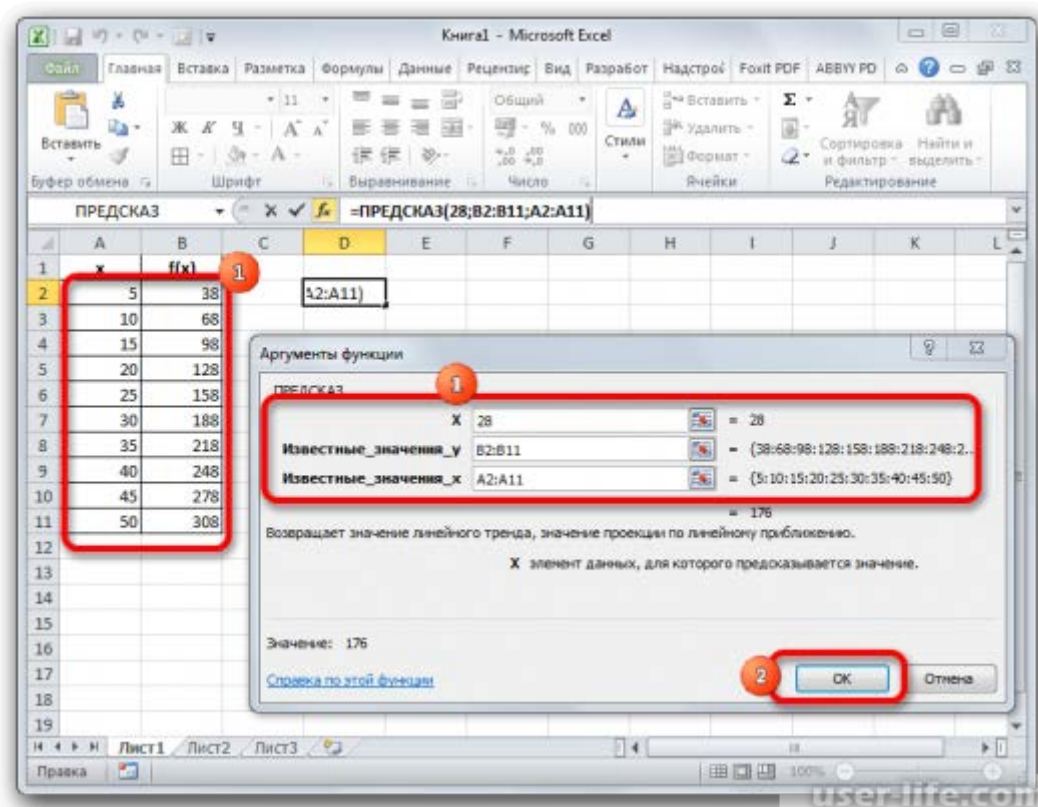


Рисунок 4.13 – Интерполяция в Excel

Число, которое нужно было определить, будет показано в ячейке, которая была выбрана для показа результата.

4.3.2 Базы данных в LabVIEW

Среда LabVIEW имеет библиотеку функций позволяющих создавать и редактировать БД. На основе этих средств, был разработан ВП, который организует создание БД в формате Microsoft Access, запись в них информации и просмотр. В виртуальном приборе, LabVIEW выступает в роли клиента ActiveX, который имеет доступ к свойствам, объектам, событиям и методам, непосредственно связанными с другими приложениями, поддерживающими ActiveX (в нашем случае - Microsoft Access). Под ActiveX следует понимать набор технологий, с помощью

которого программные компоненты осуществляют взаимодействие друг с другом на локальной машине или по сети, независимо от того, на каком языке они написаны. Объекты ActiveX могут быть двух типов: видимые (кнопки, окна) и невидимые (реестровые объекты приложения). С помощью узлов методов и свойств можно устанавливать программно методы и свойства отображаемых объектов. Фрагмент подпрограммы, отвечающего за создание новой базы данных представлен на рисунке 4.14.

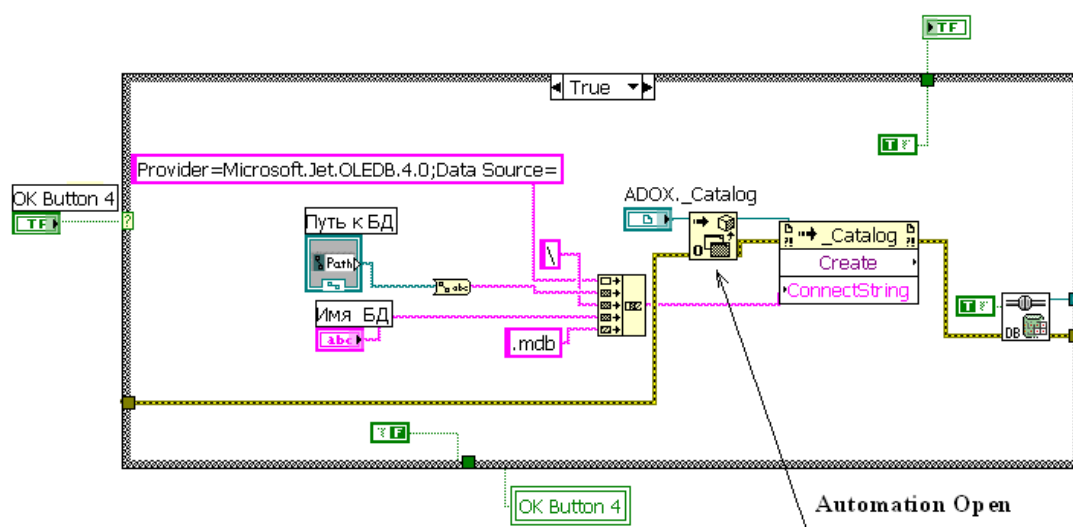


Рисунок 4.14 – Фрагмент блок–диаграммы программ

Чтобы обеспечить доступ к требуемому приложению, на блок диаграмме (рисунок 4.14) следует установить функцию Automation Open (Открыть автоматизацию) и с помощью объекта управления или постоянной величины (константы) установить ссылку. Установка ссылки производится с помощью строки Select ActiveX Class (Выбрать класс ActiveX) контекстного меню объекта или элемента управления. К выходу ссылки функции Automation Open подключаются входы ссылки методов и свойств. Приведенная блок-диаграмма, осуществляет открытие приложения Microsoft Access и устанавливает связь с ним с помощью узла метода Catalog. Интерфейс

разработанного ВП представлен на рисунок 4.15, который реализован в виде лицевой панели.

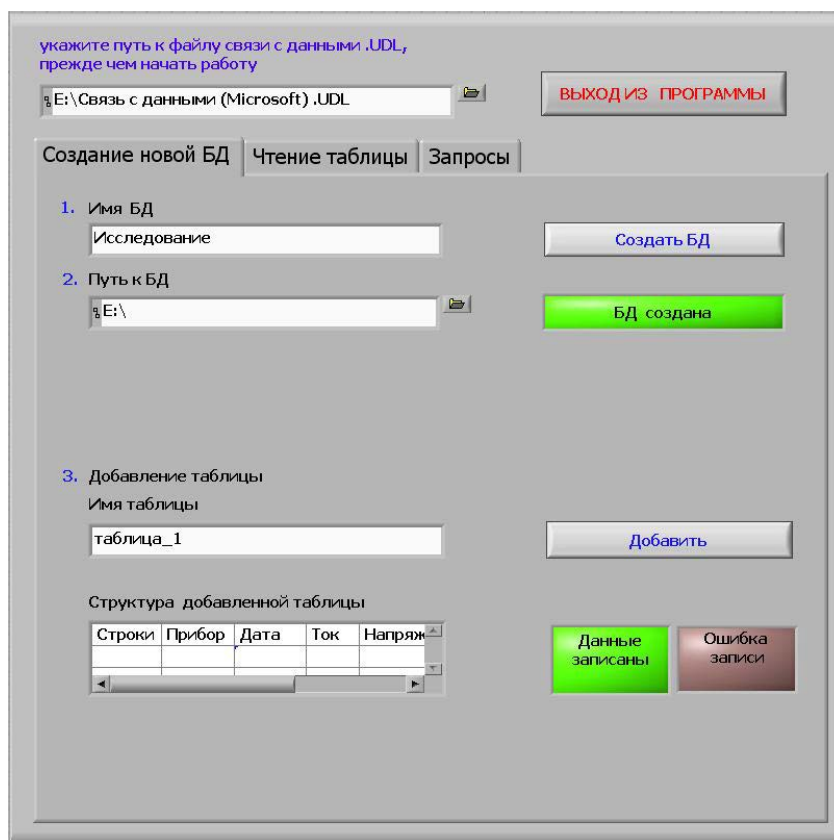


Рисунок 4.15 – Лицевая панель виртуального прибора

На вкладке «Создание БД» может быть создана новая БД. Работа пользователя начинается с указания пути к файлу связи с данными (назначение которого будет описана ниже). и, затем, заполнения представленных полей (Имя БД, Путь к БД и т.д.). Те же операции производятся при добавлении таблицы в новую или уже имеющуюся БД.

При работе с выборкой данных из БД LabVIEW использует язык структурированных запросов SQL (Structured English Query Language). Однако SQL не является языком программирования. Это интерфейсное средство для выполнения различных операций с БД, предоставляющее инструкции для доступа к информации. В данном ВП рассмотрены наиболее

простые структуры запросов, пользователь лишь должен ввести необходимые условия выборки, не задумываясь какие команды при этом используются. Вкладка демонстрирует выбор нужного столбца из таблицы, дополнительные условия выборки предполагают использование математических операндов и выбор чисел лежащих в определенном числовом диапазоне.

Следует отметить, что в LabVIEW, как и в среде Excel существуют свои методы интерполяции данных, которые так же могут быть применены к созданной базе данных.

Представленные выше методы отыскивания и подбора требуемых параметров в базах данных не являются единственными. В настоящее время существует большое количество различных сред для работы с базами данных. Цель нахождения наилучших из них в моей работе не ставиться, но представленные выше методы позволяют решить задачу подбора и отыскивания параметров в созданной БД. [50, с. 2-4].

					ЮУрГУ – 12.04.01.2019.196 ВКР	Лист
						81
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

4.4 Выводы по четвертому разделу

1) на основе полученной ранее переходной характеристики, в среде System Identification Toolbox была найдена ARX-модель, соответствующая исходной характеристике;

2) осуществлено преобразование, нормирование и обработка полученной модели,

3) найдены требуемые параметры m , s , r , определяющие состав многокомпонентной среды.

					ЮУрГУ – 12.04.01.2019.196 ВКР	Лист
						82
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы проведен анализ различных методов оценки состояния многокомпонентных труб.

Проанализированы способы идентификации динамических систем на основе авторегрессионных моделей. Выбран наиболее оптимальный тип авторегрессионной модели, в большей степени подходящий для решения поставленных задач.

Разработан автоматизированный программный модуль в среде LabVIEW для снятия экспериментальных данных. С помощью созданного программного модуля сняты характеристики различных многокомпонентных сред.

Произведена обработка экспериментальных данных, описана методика нахождения и преобразования ARX-модели. Описана методика нахождения требуемых параметров m , s , r , определяющих состав многокомпонентной среды.

					ЮУрГУ – 12.04.01.2019.196 ВКР	Лист
						83
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Потапов, И.А. Акустические методы и средства неразрушающего контроля и дистанционной диагностики трубопроводов: автореферат дис. ... канд. техн. наук / И.А. Потапов. – Санкт-Петербург, 2007. – 24 с.
2. Некрасов, С.Г. Диагностика состава многокомпонентных сред виброакустическим способом / С.Г. Некрасов // Известия Челябинского научного центра (электронный журнал). – 2005. – Вып. 2. – №1(27). – С. 46-53
3. Некрасов, С.Г. Некоторые вопросы обоснования виброакустических измерений параметров и состава многокомпонентных сред / С.Г. Некрасов // Известия Челябинского научного центра (электронный журнал). – 2005. – Вып. 2. – №1(28). – С. 89-95
- 4 Кашубский, Н.И. Методы неразрушающего контроля: учебное пособие / Н.И. Кашубский, А.А. Сельский, А.Ю. Смолин. – Красноярск: Изд-во ИПК СФУ, 2009. – 108 с.
- 5 Кикучи, Е. Ультразвуковые преобразователи / Е. Кикучи; пер. с англ. И.П. Голямина. – М.: МИР, 1972. – 424 с.
6. Кремлевский, П.П. Расходомеры и счетчики количества вещества: справ. пособие / П.П. Кремлевский. – СПб: Политехника, 2002. – 409 с.
7. Мельникова, Е.Ю. Разработка критериев диагностирования насосно-компрессорных труб виброакустическим методом в промышленных условиях: автореферат дис. ... канд. техн. наук / Е.Ю. Мельникова. – Уфа, 2002. – 24 с.
8. Хлыбов, А.А. Оценка накопления повреждений в конструкционных металлических материалах акустическими методами для обеспечения безопасной эксплуатации технических объектов: автореферат дис. ... д-ра техн. наук / А.А. Хлыбов. – Нижний Новгород, 2011. – 32 с.
9. Прилуцкий, М.А. Разработка методики и оборудования определения напряженно-деформированного состояния линейной части газопроводов:

					ЮУрГУ – 12.04.01.2019.196 ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		84

автореферат дис. ... канд. техн. наук / М.А. Прилуцкий. – Москва, 2009. – 18 с.

10. Некрасов, С. Г. Измерение количества растворенного газа в жидкости на основе резонансных характеристик высокочастотной электромеханической системы с локализованной кавитационной нагрузкой / С.Г. Некрасов // Известия Челябинского научного центра (электронный журнал). – 2005. – Вып. 2. – №1(29). – С. 41-43

11. Рейтер, Т. Трубы и их потребители / Т. Рейтер // Промышленно-строительное обозрение. – 2012. – №143. – С. 112-118.

12. Мальцева, Г.Н. Коррозия и защита оборудования от коррозии: учебное пособие / Г.Н. Мальцева. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2000. – 211 с.

13. Скалли, Дж. Основы учения о коррозии и защите металлов / Дж. Скалли. – М.:Мир, 1978. – 223 с.

14. Методы неразрушающего контроля. – <http://www.defectoscop.ru/methods.html>

15. Добромыслов, В.А. Радиационные методы неразрушающего контроля / В.А. Добромыслов. – М.: Машиностроение, 1999. – 101с.

16. Румянцев, С.В. Радиационная дефектоскопия / С.В. Румянцев. – М.: Атомиздат, 1974. – 509 с.

17. Методы контроля: радиационная дефектоскопия. – http://www.welding.su/library/kontrol/kontrol_120.html

18. Ключев, В.В. Теория и практика радиационного контроля: учебное пособие / В.В. Ключев, Ф.Р. Соснин. – М.: Машиностроение, 1998. – 170 с.

19. Радиационная дефектоскопия. Часть 1. – http://metaloved.com/spravochnik/svarochnye_raboty/radiatsionnaya_defektoskopiy1/

20. Радиационная дефектоскопия. Часть 2. – http://metaloved.com/spravochnik/svarochnye_raboty/radiatsionnaya_defektoskopiy2/

					ЮУрГУ – 12.04.01.2019.196 ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		85

21. Румянцев, С.В. Справочник по радиационным методам неразрушающего контроля / С.В. Румянцев, А.С. Штань, В.А. Гольцев. – М.: Энергоиздат, 1982. – 240 с.

22. Назипов, Р.А. Основы радиационного неразрушающего контроля: учебное пособие / Р.А. Назипов, А.С. Храмов, Л.Д. Зарипова. – Казань: Изд-во Казанского го. ун-та, 2008. – 66 с.

23. Румянцев, С.В. Типовые методики радиационной дефектоскопии и защиты / С.В. Румянцев, В.А. Добромыслов, О.И. Борисов. – М.: Атомиздат, 1979. – 198 с.

24. Электромагнитный метод контроля. - <http://autocarta.ru/tex-sostojanie-machin-agregatov/tekhnologiya-kontrolya/elektromagnitnyy-metod-kontrolya.html>

25. Электромагнитный контроль. – <http://xrs.ru/elektromagnitnyj-kontrol>

26. Неразрушающий контроль. – http://www.maxplant.ru/article/nondestructive_testing.php

27. Электромагнитная дефектоскопия. – <http://delta-grup.ru/bibliot/27/23.htm>

28. Виброакустический контроль. – <http://izmerenie.pro/vibroakusticheskiy-kontrol.html>

29. Ширман, А.Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А.Р. Ширман, А.Б. Соловьев. — Москва: Мир, 1996. — 276 с.

30. Капранов, Б.И. Акустические методы контроля и диагностики. Часть 1 / Б.И. Капранов, М.М. Коротков. – Томск: Изд-во Томского политехнического института, 2008. – 186 с.

31. Оглезнева, Л.А. Акустические методы контроля и диагностики. Часть 2 / Л.А. Оглезнева, А.Н. Калиниченко. – Томск: Изд-во Томского политехнического института, 2009. – 292 с.

32. Кашубский, Н.И. Методы неразрушающего контроля / Н.И. Кашубский, А.А. Сельский. – Красноярск: ИПК СФУ, 2009. – 108 с.

33. Вибро-акустический неразрушающий контроль и вибрационно-диагностический метод – <http://www.tehnoinfra.ru/vibrodiagnostika/1.html>

34. Юдин, П.Е. Причины разрушения, методы оценки качества и идентификации состава внутренних антикоррозионных полимерных покрытий нефтепроводных труб: автореферат дис. ... канд. техн. наук / П.Е. Юдин. – Самара, 2014. – 20 с.

35. Некрасов, С.Г. Практикум по идентификации динамических объектов в системе MATLAB: учебное пособие / С.Г. Некрасов. – Саарбрюккен: Palmarium Academic Publishing, 2014. – 117 с.

36. Демирчян, К.С. Использование виртуальных инструментов LAbVIEW / К. С. Демирчян, В. Г. Миронов. — М.: Солон, 1999. — 268 с.

37. Тревис, Дж. LabVIEW для всех / Дж. Тревис. – М.: ДМК, 2005. — 521 с.

38. Бутырин, П. А. Автоматизация физических исследований и эксперимента компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW 7 / П. А. Бутырин, Т. А. Васьковская. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 264 с.

39. Евдокимов, Ю. К. LabVIEW для радиоинженера / Ю.К. Евдокимов. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 400 с.

40. Суранов, А.Я. LabVIEW 7: справочник по функциям / А.Я. Суранов. – М.: ДМК, 2005. – 512 с.

41. Проектирование и разработка на единой платформе LabVIEW. – <https://studfiles.net/preview/880975/page:15/>

42. Виртуальный прибор LabView для виброакустической диагностики. – <https://rep.bntu.by/handle/data/9417>

43. MATLAB - высокоуровневый язык технических расчетов. – <https://matlab.ru/products/matlab>

44. System Identification Toolbox. – <https://matlab.ru/products/system-identification-toolbox>

					ЮУрГУ – 12.04.01.2019.196 ВКР	Лист
						87
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

45. System Identification Toolbox - Обработка сигналов. – <http://matlab.exponenta.ru/systemidentific/index.php>
46. Звено второго порядка (колебательное звено). – https://life-prog.ru/1_13805_zveno-vtorogo-kolebatelnoe-zveno.html
47. Пьезокерамические материалы и элементы – Элпа. – http://www.elpapiero.ru/Catalogs/Catalog_of_piezoceramic/
48. Справочный каталог. Пьезокерамика - Аврора-ЭЛМА. – http://avroraelma.ru/wp-content/themes/aurora/text/piezo_catalog/
49. Пьезоэлектрические преобразователи. – <https://docplayer.ru/43152271-Rezoelektricheskie-preobrazovateli.html>
50. Основные понятия баз данных. – http://inf.susu.ac.ru/Klinachev/lc_sga_26.htm

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Характеристики устройства NI 6251

DEVICE SPECIFICATIONS

NI 6251

M Series Data Acquisition: 16 AI, 1.25 MS/s, 24 DIO, 2 AO

The following specifications are typical at 25 °C, unless otherwise noted. For more information about the NI 6251, refer to the *M Series User Manual* available at ni.com/manuals.

Analog Input

Number of channels	8 differential or 16 single ended
ADC resolution	16 bits
DNL	No missing codes guaranteed
INL	Refer to the <i>AI Absolute Accuracy</i> section
Sample rate	
Single channel maximum	1.25 MS/s
Multichannel maximum (aggregate)	1.00 MS/s
Minimum	No minimum
Timing resolution	50 ns
Timing accuracy	50 ppm of sample rate
Input coupling	DC
Input range	±0.1 V, ±0.2 V, ±0.5 V, ±1 V, ±2 V, ±5 V, ±10 V
Maximum working voltage for analog inputs (signal + common mode)	±11 V of AI GND
CMRR (DC to 60 Hz)	100 dB
Input impedance	
Device on	
AI+ to AI GND	>10 GΩ in parallel with 100 pF
AI- to AI GND	>10 GΩ in parallel with 100 pF

Рисунок А.1 – Основные параметры NI 6251

Device off	
AI+ to AI GND	820 Ω
AI- to AI GND	820 Ω
Input bias current	± 100 pA
Crosstalk (at 100 kHz)	
Adjacent channels	-75 dB
Non-adjacent channels	-95 dB
Small signal bandwidth (-3 dB)	1.7 MHz
Input FIFO size	4,095 samples
Scan list memory	4,095 entries
Data transfers	
PCI/PCI Express/PXI/PXI Express	DMA (scatter-gather), interrupts, programmed I/O
USB	USB Signal Stream, programmed I/O
Overvoltage protection for all analog input and sense channels	
Device on	± 25 V for up to four AI pins
Device off	± 15 V for up to four AI pins
Input current during overvoltage condition	± 20 mA maximum/AI pin

Settling Time for Multichannel Measurements

Table 1. Settling Time for Multichannel Measurements

Range	± 60 ppm of Step (± 4 LSB for Full-Scale Step)	± 15 ppm of Step (± 1 LSB for Full-Scale Step)
± 1 V, ± 2 V, ± 5 V, ± 10 V	1 μ s	1.5 μ s
± 0.5 V	1.5 μ s	2 μ s
± 0.1 V, ± 0.2 V	2 μ s	8 μ s

Рисунок А.2 – Основные параметры NI 6251



Note Sensitivity is the smallest voltage change that can be detected. It is a function of noise.

Gain tempco	13 ppm/°C
Reference tempco	1 ppm/°C
INL error	60 ppm of range

AI Absolute Accuracy Equation

$$AbsoluteAccuracy = Reading \cdot (GainError) + Range \cdot (OffsetError) + NoiseUncertainty$$

$$GainError = ResidualAIGainError + GainTempco \cdot (TempChangeFromLastInternalCal) + ReferenceTempco \cdot (TempChangeFromLastExternalCal)$$

$$OffsetError = ResidualAIOffsetError + OffsetTempco \cdot (TempChangeFromLastInternalCal) + INLError$$

$$NoiseUncertainty = \frac{Random\ Noise \cdot 3}{\sqrt{100}} \text{ for a coverage factor of } 3\sigma \text{ and averaging } 100 \text{ points.}$$

AI Absolute Accuracy Example

Absolute accuracy at full scale on the analog input channels is determined using the following assumptions:

- TempChangeFromLastExternalCal = 10 °C
- TempChangeFromLastInternalCal = 1 °C
- number_of_readings = 100
- CoverageFactor = 3 σ

For example, on the 10 V range, the absolute accuracy at full scale is as follows:

$$GainError = 60 \text{ ppm} + 13 \text{ ppm} \cdot 1 + 1 \text{ ppm} \cdot 10 = 83 \text{ ppm}$$

$$OffsetError = 20 \text{ ppm} + 21 \text{ ppm} \cdot 1 + 60 \text{ ppm} = 101 \text{ ppm}$$

$$NoiseUncertainty = \frac{280 \mu V \cdot 3}{\sqrt{100}} = 84 \mu V$$

$$AbsoluteAccuracy = 10 \text{ V} \cdot (GainError) + 10 \text{ V} \cdot (OffsetError) + NoiseUncertainty = 1,920 \mu V$$

Analog Triggers

Number of triggers	1
Source	AI <0..15>, APFI 0
Functions	Start Trigger, Reference Trigger, Pause Trigger, Sample Clock, Convert Clock, Sample Clock Timebase

Рисунок А.3 – Характеристики NI 6251

Source level	
AI <0..15>	±Full scale
APFI 0	±10 V
Resolution	10 bits, 1 in 1,024
Modes	Analog edge triggering, analog edge triggering with hysteresis, and analog window triggering
Bandwidth (-3 dB)	
AI <0..15>	3.4 MHz
APFI 0	3.9 MHz
Accuracy	±1%
APFI 0 characteristics	
Input impedance	10 kΩ
Coupling	DC
Protection, power on	±30 V
Protection, power off	±15 V

Analog Output

Number of channels	2
DAC resolution	16 bits
DNL	±1 LSB
Monotonicity	16 bit guaranteed
Accuracy	Refer to the AO Absolute Accuracy section
Maximum update rate	
1 channel	2.86 MS/s
2 channels	2.00 MS/s per channel
Timing accuracy	50 ppm of sample rate
Timing resolution	50 ns
Output range	±5 V, ±10 V, ±external reference on APFI 0
Output coupling	DC
Output impedance	0.2 Ω
Output current drive	±5 mA
Overdrive protection	±25 V
Overdrive current	20 mA

Рисунок А.4 – Характеристики NI 6251

Power-on state	$\pm 5 \text{ mV}^1$
Power-on glitch	1.5 V peak for 1.5 s
Output FIFO size	8,191 samples shared among channels used
Data transfers	
PCI/PCI Express/PXI/PXI Express	DMA (scatter-gather), interrupts, programmed I/O
USB	USB Signal Stream, programmed I/O
AO waveform modes	Non-periodic waveform, periodic waveform regeneration mode from onboard FIFO, periodic waveform regeneration from host buffer including dynamic update
Settling time, full-scale step, 15 ppm (1 LSB)	2 μs
Slew rate	20 V/ μs
Glitch energy at midscale transition, $\pm 10 \text{ V}$ range	
Magnitude	10 mV
Duration	1 μs

AO Absolute Accuracy

Absolute accuracy at full-scale numbers is valid immediately following internal calibration and assumes the device is operating within 10 °C of the last external calibration.



Note Accuracies listed are valid for up to two years from the device external calibration.

Table 3. AO Absolute Accuracy

Nominal Range Positive Full Scale	Nominal Range Negative Full Scale	Residual Gain Error (ppm of Reading)	Gain Tempco (ppm/°C)	Residual Offset Error (ppm of Range)	Offset Tempco (ppm of Range/°C)	Absolute Accuracy at Full Scale (μV)
10	-10	75	17	40	2	2,080
5	-5	85	8	40	2	1,045

Reference tempco 1 ppm/°C

INL error 64 ppm of range

¹ When the USB Screw Terminal device is powered on, the analog output signal is not defined until after USB configuration is complete.

Рисунок А.5 – Характеристики NI 6251

					ЮУрГУ – 12.04.01.2019.196 ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		93

Device Pinouts

Figure 9. NI PCI/PCIe/PXI/PXIe-6251 Pinout

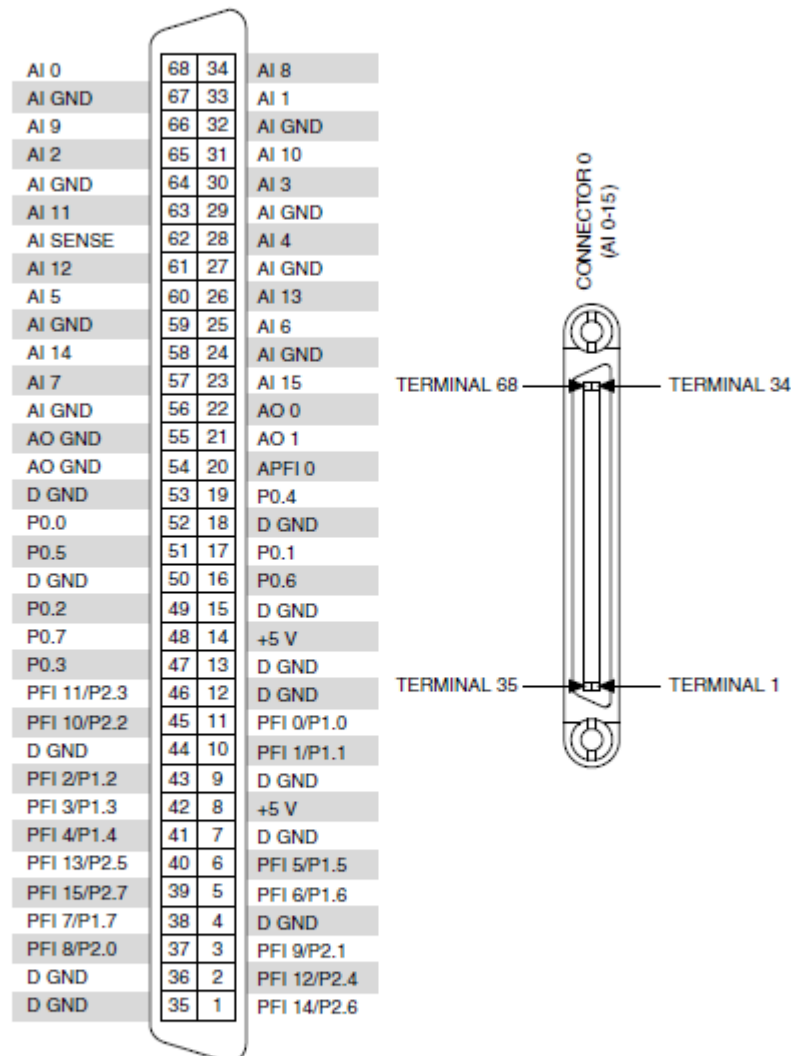


Рисунок А.6 – Характеристики NI 6251

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

Figure 12. NI USB-6251 Mass Termination Pinout

AI 8	34	68	AI 0
AI 1	33	67	AI GND
AI GND	32	66	AI 9
AI 10	31	65	AI 2
AI 3	30	64	AI GND
AI GND	29	63	AI 11
AI 4	28	62	AI SENSE
AI GND	27	61	AI 12
AI 13	26	60	AI 5
AI 6	25	59	AI GND
AI GND	24	58	AI 14
AI 15	23	57	AI 7
AO 0	22	56	AI GND
AO 1	21	55	AO GND
APFI 0	20	54	AO GND
P0.4	19	53	D GND
D GND	18	52	P0.0
P0.1	17	51	P0.5
P0.6	16	50	D GND
D GND	15	49	P0.2
+5 V	14	48	P0.7
D GND	13	47	P0.3
D GND	12	46	PFI 11/P2.3
PFI 0/P1.0	11	45	PFI 10/P2.2
PFI 1/P1.1	10	44	D GND
D GND	9	43	PFI 2/P1.2
+5 V	8	42	PFI 3/P1.3
D GND	7	41	PFI 4/P1.4
PFI 5/P1.5	6	40	PFI 13/P2.5
PFI 6/P1.6	5	39	PFI 15/P2.7
D GND	4	38	PFI 7/P1.7
PFI 9/P2.1	3	37	PFI 8/P2.0
PFI 12/P2.4	2	36	D GND
PFI 14/P2.6	1	35	D GND

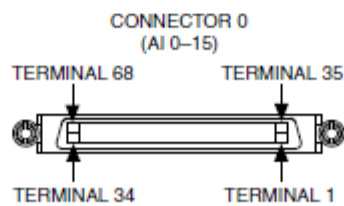


Рисунок А.7 – Характеристики NI 6251

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

SCB-68 User Guide

68-Pin Shielded Desktop Connector Block

This guide describes how to connect and use the NI SCB-68 with 68-pin or 100-pin data acquisition (DAQ) devices and other NI products with a 68-pin SCSI or VHDCI I/O connector. For a complete list of supported devices and available SCB-68 features, refer to the KnowledgeBase document, *Compatible Devices and Cabling for the NI SCB-68 Terminal Block*. To access this document, go to ni.com/info and enter the info code `scb68dev`.

Figure 1 shows the SCB-68 connector block.

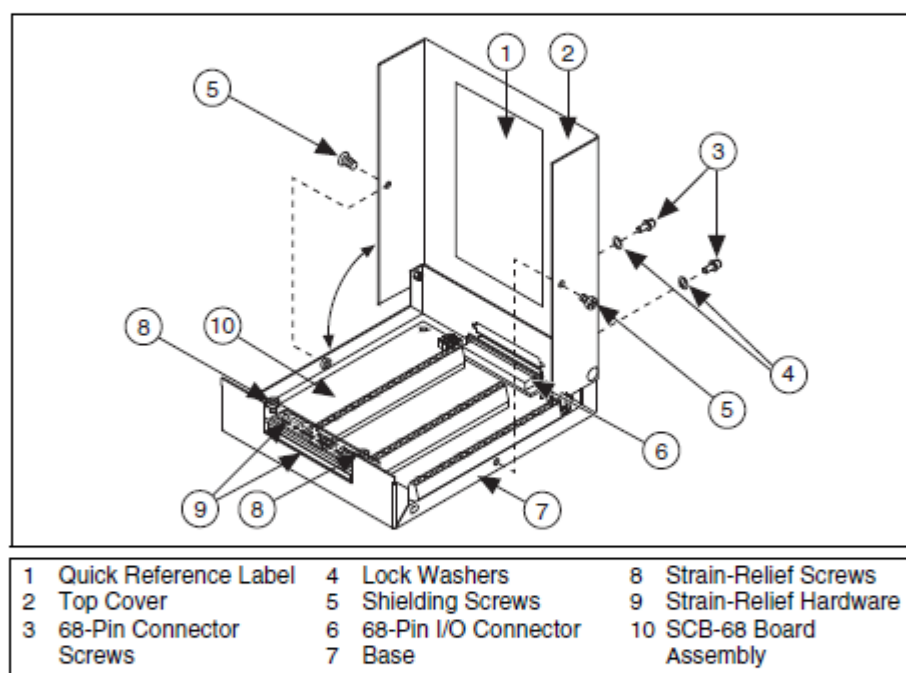


Figure 1. SCB-68 Parts Locator Diagram



Note To use the SCB-68 with devices without analog input functionality, you *must* change the default switch setting. Refer to the [Using the SCB-68 in Direct Feedthrough Mode](#) section for more information.



Рисунок А.8 – Характеристики SCB-68

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

What You Need to Get Started

To set up and use your SCB-68, you need the following:

- SCB-68 68-pin shielded connector block kit(s)¹, containing the SCB-68, SCB-68 quick reference label, and *SCB-68 User Guide*
- Compatible 68-pin or 100-pin DAQ device, and device documentation
- The correct cable(s) for your device, as listed in the KnowledgeBase document, *Compatible Devices and Cabling for the NI SCB-68 Terminal Block*. To access this document, go to ni.com/info and enter the info code `scb68dev`.
- Phillips #1 and #2 screwdrivers
- 0.125 in. flathead screwdriver
- 14–30 AWG wire
- Wire cutters
- Wire insulation stripper

Getting Started with the SCB-68

The following cautions contain important safety information concerning hazardous voltages and connector blocks.



Cautions To avoid electrical shock, do *not* remove equipment covers or shields unless you are qualified to do so. Before removing the cover, disconnect any live circuit from the connector block.

The chassis ground terminals on your SCB-68 are for grounding high-impedance sources, such as a floating source (1 mA maximum). Do *not* use these terminals as safety earth grounds.

Do *not* connect hazardous voltages ($\geq 42 V_{pk}/60 VDC$).

¹ You can use up to two SCB-68 accessories with AOM Series devices with two connectors and E Series 100-pin devices.

You can use up to four SCB-68 accessories with R Series devices with four connectors, and up to three SCB-68 accessories with R Series devices with three connectors.

Рисунок А.9 – Характеристики SCB-68

Figure 2 shows the SCB-68 board parts locator diagram.

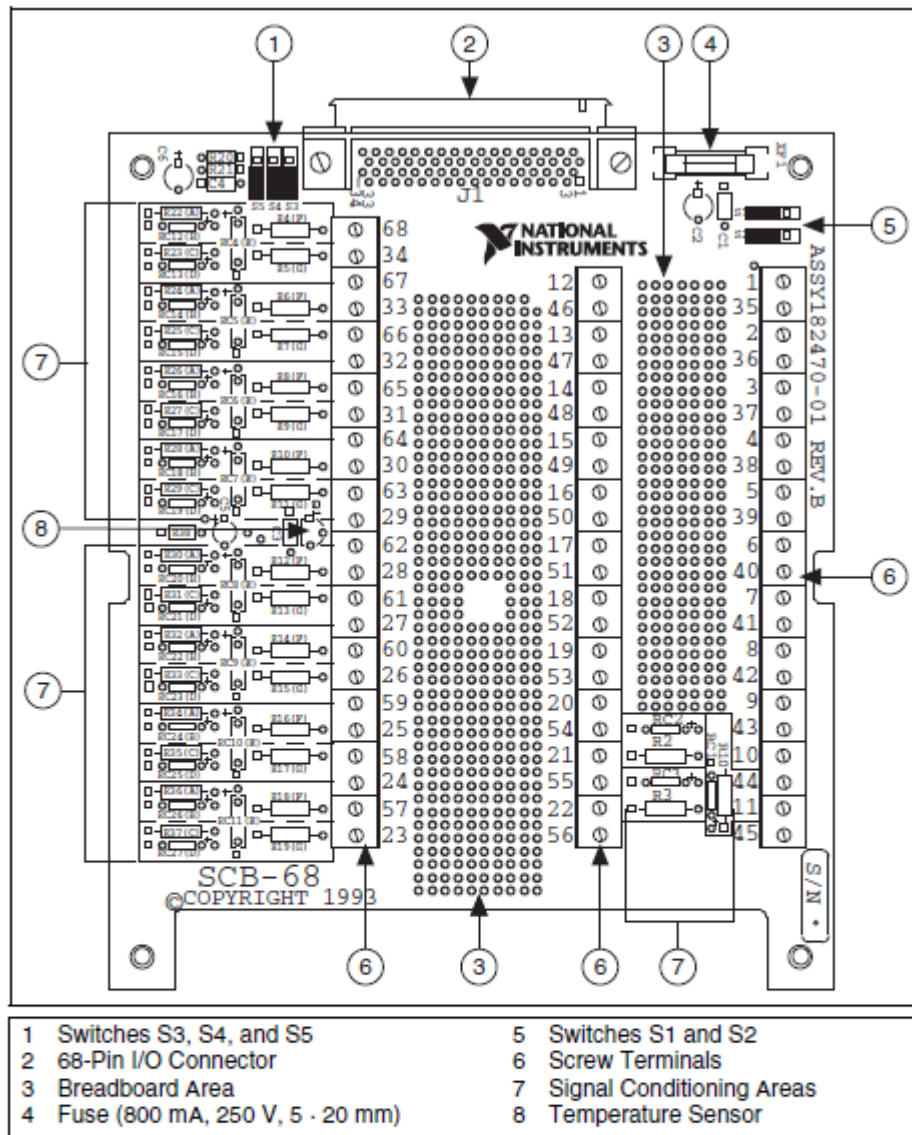


Figure 2. SCB-68 Printed Circuit Board Diagram

To get started with the SCB-68, complete the following steps while referring to Figures 1 and 2. If you have not already installed your DAQ device, refer to the *DAQ Getting Started Guide* for instructions.

1. Disconnect the cable from the SCB-68, remove the shielding screws with a Phillips #1 screwdriver, and open the top cover.
2. Attach the quick reference label to the inside of the top cover as shown in Figure 1. For quick reference label PDFs for most compatible devices, refer to the KnowledgeBase document, *Where Can I Find*

Рисунок А.10 – Характеристики SCB-68

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

SCB-68/SCB-100 Quick Reference Labels?. To access this KnowledgeBase, go to ni.com/info and enter the info code `rdwpdf`.

3. Configure switches for the signal types you are using, as explained in the *Using the SCB-68 in Direct Feedthrough Mode* section or the *Using the SCB-68 with MIO DAQ Devices* section.
4. Adjust the strain-relief hardware by loosening the strain-relief screws with a Phillips #2 screwdriver and sliding the signal wires through the front panel strain-relief opening. If you are connecting multiple signals, remove the top strain-relief bar and add insulation or padding if necessary.
5. Connect the wires to the screw terminals by stripping 6.35 mm (0.25 in.) of insulation, inserting the wires into the screw terminals, and securely tightening the screws with the flathead screwdriver to a torque of 0.5–0.6 N · m (4.43–5.31 lb · in.).
6. Reinstall the strain-relief (if removed) and tighten the strain-relief screws.
7. Close the top cover and reinsert the shielding screws to ensure proper shielding.



Caution Do *not* connect input voltages $\geq 42.4 V_{pk}/60$ VDC to the SCB-68. The SCB-68 is not designed for any input voltages $\geq 42.4 V_{pk}/60$ VDC, even if a user-installed voltage divider reduces the voltage to within the input range of the DAQ device. Input voltages $\geq 42.4 V_{pk}/60$ VDC can damage the SCB-68, all devices connected to it, and the host computer.

8. Connect the SCB-68(s) to the DAQ device using the appropriate cable(s) for your device. For a complete list of cabling options for supported devices, refer to the KnowledgeBase document, *Compatible Devices and Cabling for the NI SCB-68 Terminal Block*. To access this document, go to ni.com/info and enter the info code `scb68dev`.
9. Launch Measurement & Automation Explorer (MAX), confirm that your DAQ device is recognized, and configure your device settings. Refer to the *DAQ Getting Started Guide* for more information.
10. (Optional) If you are going to take measurements with an MIO DAQ device, configure the SCB-68 as an accessory for a DAQ device using MAX by completing the following steps.
 - a. Navigate to MAX by selecting **Start»Programs»National Instruments»Measurement & Automation**.
 - b. In the left pane of MAX, expand **Devices and Interfaces**, then right-click on your DAQ device and select **Properties** from the pull-down menu.
 - c. Select the **Accessory** tab from the dialog box, select **SCB-68** from the pull-down menu, then select **Configure**.

Рисунок А.11 – Характеристики SCB-68

For more information about configuring the SCB-68 for a DAQ device, refer to the *Measurement & Automation Explorer Help for NI-DAQmx*.

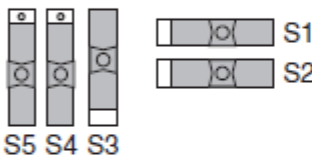
11. Test specific device functionality. Refer to the *DAQ Getting Started Guide* for detailed information about running test panels in MAX.

When you have finished using the SCB-68, power off any external signals connected to the SCB-68 before you power off your computer.

Using the SCB-68 in Direct Feedthrough Mode

High-Speed Digital I/O (DIO), NI Switch, R Series, AO Series, and TIO Series devices, and devices without analog input functionality *must* use direct feedthrough mode. Move the switches to the direct feedthrough mode switch setting shown in Table 1.

Table 1. Direct Feedthrough Switch Setting

Switch Setting	Description
	<p>Direct feedthrough mode—Move switches S1, S2, S3, S4, and S5 to the positions shown at left. In this mode:</p> <ul style="list-style-type: none"> All 68 signals from the device connect directly to screw terminals. <p>Refer to Figure 3 for a detailed diagram.</p>

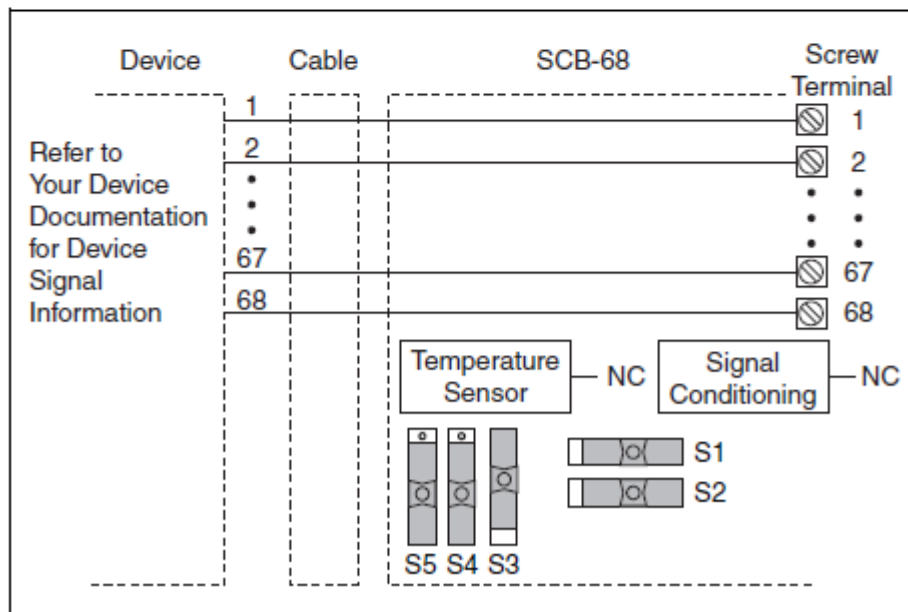


Figure 3. Direct Feedthrough Mode Switch Setting

Рисунок А.12 – Характеристики SCB-68

Using the SCB-68 with MIO DAQ Devices

You can take measurements with the SCB-68 and multifunction I/O (MIO) DAQ devices, such as E/M/S Series devices, in a number of ways. Switches S1 and S2 provide power to the signal conditioning area of the accessory. The SCB-68 has a temperature sensor for cold-junction compensation (CJC) to accommodate thermocouples; switches S3, S4, and S5 configure the temperature sensor for different analog input settings. Table 2 shows the different switch settings for MIO DAQ devices.

Table 2. MIO DAQ Device Switch Settings

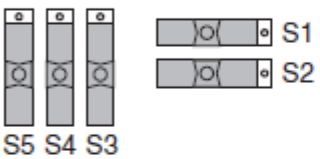
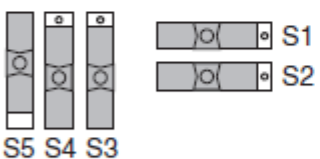
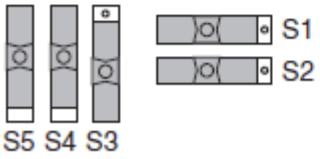
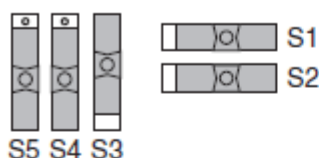
Switch Setting	Description
 <p>S5 S4 S3</p> <p>S1</p> <p>S2</p>	<p>MIO with disabled temperature sensor mode (default configuration)*—Move switches S1, S2, S3, S4, and S5 to the positions shown at left. In this mode:</p> <ul style="list-style-type: none"> • The temperature sensor is not used. • AI 0 and AI 8 are available on screw terminals. • +5 V power provided to signal conditioning area of the accessory. <p>Refer to Figure 4 for a detailed diagram.</p>
 <p>S5 S4 S3</p> <p>S1</p> <p>S2</p>	<p>MIO with single-ended temperature sensor mode*†—Move switches S1, S2, S3, S4, and S5 to the positions shown at left. In this mode:</p> <ul style="list-style-type: none"> • The temperature sensor can be read using AI 0 in referenced single-ended (RSE) mode. • AI 8 is available on a screw terminal. • +5 V power provided to signal conditioning area of the accessory. <p>Refer to Figure 4 for a detailed diagram.</p>
 <p>S5 S4 S3</p> <p>S1</p> <p>S2</p>	<p>MIO with differential temperature sensor mode*—Move switches S1, S2, S3, S4, and S5 to the positions shown at left. In this mode:</p> <ul style="list-style-type: none"> • The temperature sensor can be read using AI 0 and AI 8 in differential mode. • +5 V power provided to signal conditioning area of the accessory. <p>Refer to Figure 4 for a detailed diagram.</p>

Рисунок А.13 – Характеристики SCB-68

Table 2. MIO DAQ Device Switch Settings (Continued)

Switch Setting	Description
	<p>Direct feedthrough mode—Move switches S1, S2, S3, S4, and S5 to the positions shown at left. In this mode:</p> <ul style="list-style-type: none"> All 68 signals from the device connect directly to screw terminals. <p>Refer to Figure 3 for a detailed diagram.</p>
<p>* Not available on Connector 1 of NI 6225/6255 devices. † Not available on S Series devices.</p>	

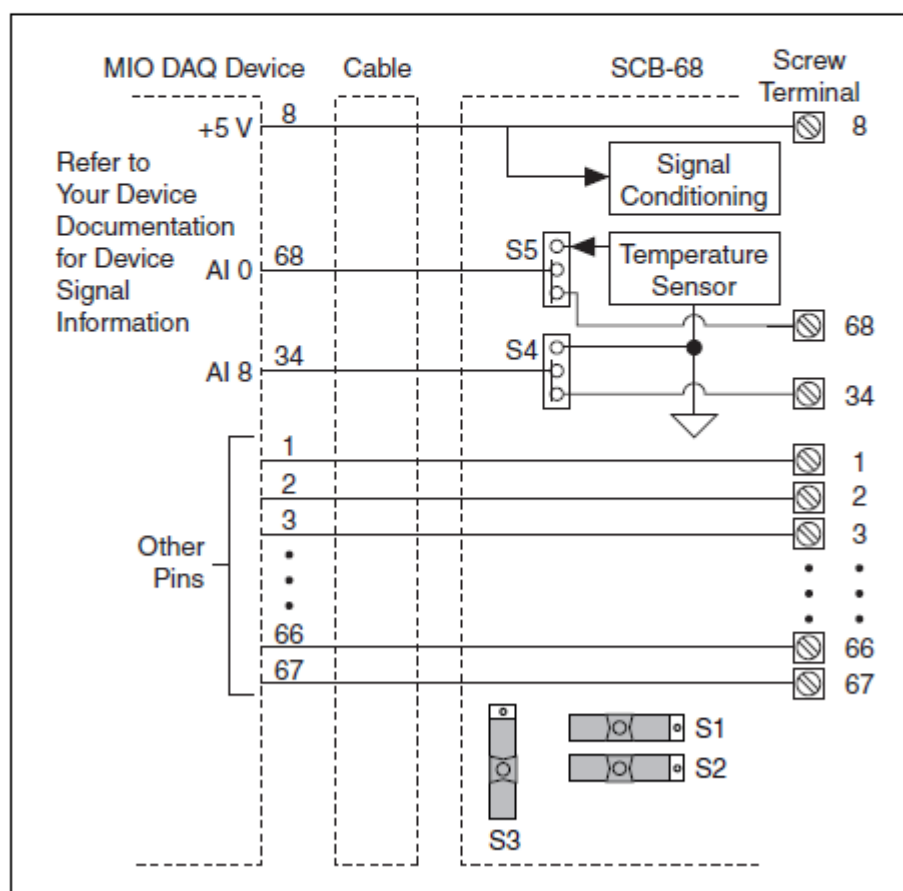


Figure 4. MIO DAQ Device Modes Switch Settings

Рисунок А.14 – Характеристики SCB-68

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

Connecting Signal Sources to Analog Inputs

For detailed information about connections from floating or ground-referenced signal sources to analog inputs, refer to your device documentation.

Refer to the *SCB-68 User Manual for Advanced Functions* for more information about using the temperature sensor, taking thermocouple measurements, and adding bias resistors and signal conditioning components to the SCB-68.

Fuse and Power Information

Some DAQ devices provide +5 V power on pin 8 and pin 14. Pin 8 from the DAQ device is protected by an 800 mA, 250 V, 5 · 20 mm fuse on the SCB-68, shown in Figure 2. Shorting pin 8 to ground blows the fuse on the SCB-68. Pin 14 is *not* fuse-protected on the SCB-68. Shorting pin 14 will cause the fuse on the DAQ device to open.

If the SCB-68 does not work when you power on the DAQ device, check the switch settings, then check the fuse on the SCB-68, shown in Figure 2, and the output fuse (if any) on the DAQ device. Littelfuse part number 235.800 (www.littelfuse.com) is a suitable replacement fuse. Before replacing any fuses, check for short circuits from power to ground.

Refer to the *SCB-68 User Manual for Advanced Functions* for information about filtering the power on the SCB-68.

Where to Go from Here

Refer to the *SCB-68 User Manual for Advanced Functions*, available from ni.com/manuals, for information about the temperature sensor, thermocouple measurements, bias resistors, soldering components on the SCB-68, filtering, current input measurements, and accessory specifications.

Рисунок А.15 – Характеристики SCB-68

					ЮУрГУ – 12.04.01.2019.196 ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		103

Physical

Box dimensions (including box feet)	7.7 by 6.0 by 1.8 in. (19.5 by 15.2 by 4.5 cm)
I/O connectors	One 68-pin male SCSI connector
Screw terminals	68

Operating Environment

Temperature	0° to 70° C
Relative humidity	5% to 90% noncondensing

Storage Environment

Temperature	-55° to 125° C
Relative humidity	5% to 90% noncondensing

Рисунок А.16 – Характеристики SCB-68

					ЮУрГУ – 12.04.01.2019.196 ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		104

Removing the SCB-68 Board

To solder components in place, you can remove the SCB-68 board using the following steps:

1. Disconnect the 68-pin cable from the SCB-68 if it is connected.
2. Remove the shielding screws on either side of the top cover with a Phillips-head number 1 screwdriver. You can now open the box.
3. Loosen the strain-relief screws with a Phillips-head number 2 screwdriver.
4. Remove the signal wires from screw terminals.
5. Remove the board mount screws and the 68-pin connector screws.
6. Tilt the board up and pull it out.

To reinstall the SCB-68 board, reverse the order of the steps.

Application Notes

When you use the SCB-68 with the AT-MIO-16X or MIO-16E Series boards, you can use the 16 screw terminals for signal connection to the 16 analog inputs. There is a breadboard area for these inputs to allow RC filtering, 4 to 20 mA current sensing, open thermocouple detection, and an attenuator. There are also pads for DAC0OUT, DAC1OUT, and EXTTRIG to permit RC filtering and an attenuator. The open component positions on the SCB-68 board make adding signal conditioning components to the analog input signals easier. Figure 7 shows an example for a specific input channel, and all of the channels are arranged the same way.

Soldering and Desoldering on the SCB-68 Board

Some applications discussed here require you to make modifications to the printed circuit board, usually in the form of adding components. The SCB-68 board is shipped with wire jumpers in the F and G positions (see Figure 7); you must remove them to use the positions. Use a low-wattage soldering iron (20 to 30 W) when soldering to the board. To desolder on the SCB-68, vacuum-type tools work best. Be careful to avoid damaging the component pads when desoldering. Use only rosin-core electronic grade solder, because acid-core solder damages the printed circuit board and components.

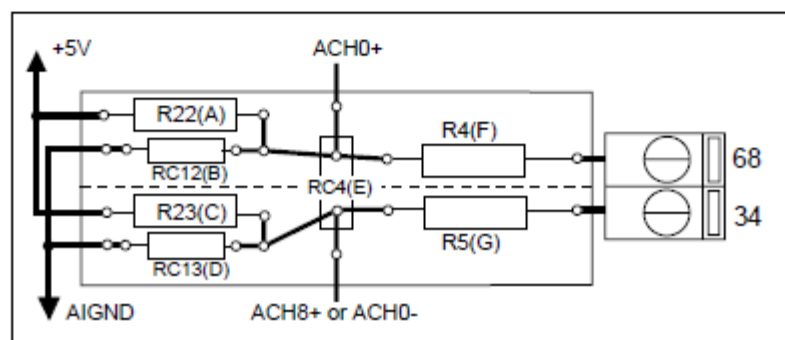


Рисунок А.17 – Характеристики SCB-68

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Данные, снятые в ходе проведения эксперимента

Таблица Б.1 – Данные, снятые в ходе эксперимента

Значение напряжения, В			Время, мс
Опыт №1	Опыт №2	Опыт №3	
0,026323	0,019216	0,011582	0
0,061051	0,044567	0,026862	5
0,092335	0,067405	0,040627	10
0,119318	0,087102	0,0525	15
0,141367	0,103198	0,062201	20
0,158035	0,115366	0,069535	25
0,169086	0,123433	0,074398	30
0,174476	0,127367	0,076769	35
0,174333	0,127263	0,076707	40
0,168947	0,123331	0,074337	45
0,158742	0,115882	0,069846	50
0,144259	0,105309	0,063474	55
0,126129	0,092074	0,055497	60
0,105046	0,076684	0,04622	65
0,081748	0,059676	0,035969	70
0,056991	0,041603	0,025076	75
0,031527	0,023015	0,013872	80
0,006085	0,004442	0,002677	85
-0,01865	-0,01361	-0,00821	90
-0,04205	-0,03069	-0,0185	95
-0,06354	-0,04638	-0,02796	100
-0,08266	-0,06034	-0,03637	105
-0,099	-0,07227	-0,04356	110
-0,11227	-0,08195	-0,0494	115
-0,12225	-0,08924	-0,05379	120
-0,12883	-0,09405	-0,05669	125
-0,132	-0,09636	-0,05808	130
-0,1318	-0,09621	-0,05799	135
-0,12838	-0,09372	-0,05649	140
-0,12197	-0,08904	-0,05367	145
-0,11282	-0,08236	-0,04964	150
-0,10128	-0,07394	-0,04456	155

Продолжение таблицы Б.1

Значение напряжения, В			Время, мс
Опыт №1	Опыт №2	Опыт №3	
-0,08772	-0,06404	-0,0386	160
-0,07254	-0,05295	-0,03192	165
-0,05615	-0,04099	-0,02471	170
-0,039	-0,02847	-0,01716	175
-0,02152	-0,01571	-0,00947	180
-0,00412	-0,00301	-0,00181	185
0,012804	0,009347	0,005634	190
0,028874	0,021078	0,012705	195
0,043759	0,031944	0,019254	200
0,057164	0,04173	0,025152	205
0,068845	0,050257	0,030292	210
0,078603	0,05738	0,034585	215
0,086292	0,062993	0,037968	220
0,091819	0,067028	0,0404	225
0,095142	0,069454	0,041862	230
0,096234	0,070251	0,042343	235
0,095263	0,069542	0,041916	240
0,092219	0,06732	0,040576	245
0,087281	0,063715	0,038404	250
0,080627	0,058858	0,035476	255
0,072465	0,052899	0,031885	260
0,063028	0,04601	0,027732	265
0,052564	0,038372	0,023128	270
0,041336	0,030175	0,018188	275
0,029613	0,021617	0,01303	280
0,017662	0,012893	0,007771	285
0,005746	0,004195	0,002528	290
-0,00588	-0,0043	-0,00259	295
-0,01699	-0,0124	-0,00748	300
-0,02737	-0,01998	-0,01204	305
-0,03681	-0,02687	-0,0162	310
-0,04517	-0,03297	-0,01987	315
-0,0523	-0,03818	-0,02301	320
-0,0581	-0,04241	-0,02556	325
-0,06249	-0,04562	-0,0275	330
-0,06545	-0,04778	-0,0288	335

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

Продолжение таблицы Б.1

Значение напряжения, В			Время, мс
Опыт №1	Опыт №2	Опыт №3	
-0,06696	-0,04888	-0,02946	340
-0,06704	-0,04894	-0,0295	345
-0,06574	-0,04799	-0,02893	350
-0,06315	-0,0461	-0,02778	355
-0,0592	-0,04318	-0,02596	360
-0,05433	-0,03962	-0,02382	365
-0,04852	-0,03538	-0,02127	370
-0,04193	-0,03057	-0,01836	375
-0,03471	-0,0253	-0,01519	380
-0,02705	-0,01971	-0,01182	385
-0,01911	-0,01391	-0,00832	390
-0,01106	-0,00803	-0,00478	395
-0,00307	-0,0022	-0,00127	400
0,004692	0,003466	0,002148	405
0,012088	0,008865	0,005403	410
0,018978	0,013894	0,008434	415
0,025241	0,018466	0,01119	420
0,030775	0,022506	0,013625	425
0,035495	0,025952	0,015702	430
0,039336	0,028756	0,017392	435
0,042254	0,030886	0,018676	440
0,044223	0,032323	0,019542	445
0,04524	0,033066	0,01999	450
0,04532	0,033124	0,020025	455
0,044495	0,032522	0,019662	460
0,042817	0,031297	0,018923	465
0,04035	0,029496	0,017838	470
0,037173	0,027177	0,01644	475
0,033377	0,024406	0,01477	480
0,029059	0,021254	0,01287	485
0,024327	0,017799	0,010788	490
0,019288	0,014121	0,008571	495
0,014056	0,010301	0,006269	500
0,008742	0,006422	0,00393	505
0,003455	0,002563	0,001604	510
-0,0017	-0,0012	-0,00066	515
-0,00663	-0,0048	-0,00283	520

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

Продолжение таблицы Б.1

Значение напряжения, В			Время, мс
Опыт №1	Опыт №2	Опыт №3	
-0,01124	-0,00816	-0,00486	525
-0,01545	-0,01124	-0,00672	530
-0,0192	-0,01398	-0,00836	535
-0,02243	-0,01633	-0,00978	540
-0,02508	-0,01827	-0,01095	545
-0,02714	-0,01977	-0,01186	550
-0,02859	-0,02083	-0,01249	555
-0,02956	-0,02158	-0,013	560
-0,02976	-0,02172	-0,01309	565
-0,02937	-0,02144	-0,01292	570
-0,02842	-0,02075	-0,0125	575
-0,02694	-0,01967	-0,01185	580
-0,02498	-0,01824	-0,01099	585
-0,02261	-0,0165	-0,00995	590
-0,01988	-0,01451	-0,00875	595
-0,01686	-0,01231	-0,00742	600
-0,01362	-0,00994	-0,00599	605
-0,01024	-0,00747	-0,00451	610
-0,00678	-0,00495	-0,00298	615
-0,00332	-0,00243	-0,00146	620
0,000072	5,26E-05	3,17E-05	625
0,003336	0,002435	0,001468	630
0,00641	0,004679	0,00282	635
0,009241	0,006746	0,004066	640
0,011782	0,008601	0,005184	645
0,013995	0,010216	0,006158	650
0,015847	0,011568	0,006973	655
0,017318	0,012642	0,00762	660
0,018391	0,013425	0,008092	665
0,019062	0,013915	0,008387	670
0,019331	0,014112	0,008506	675
0,01921	0,014023	0,008452	680
0,018716	0,013663	0,008235	685
0,017873	0,013047	0,007864	690
0,01671	0,012198	0,007352	695
0,015262	0,011141	0,006715	700
0,01357	0,009906	0,005971	705

Продолжение таблицы Б.1

Значение напряжения, В			Время, мс
Опыт №1	Опыт №2	Опыт №3	
0,011676	0,008523	0,005137	710
0,009624	0,007026	0,004235	715
0,007462	0,005447	0,003283	720
0,005236	0,003822	0,002304	725
0,002993	0,002185	0,001317	730
0,000776	0,000566	0,000341	735
-0,00137	-0,001	-0,0006	740
-0,00341	-0,00249	-0,0015	745
-0,0053	-0,00387	-0,00233	750
-0,00702	-0,00512	-0,00309	755
-0,00853	-0,00622	-0,00375	760
-0,00981	-0,00716	-0,00432	765
-0,01086	-0,00792	-0,00478	770
-0,01165	-0,0085	-0,00512	775
-0,01218	-0,00889	-0,00536	780
-0,01245	-0,00909	-0,00548	785
-0,01246	-0,0091	-0,00548	790
-0,01223	-0,00893	-0,00538	795
-0,01177	-0,00859	-0,00518	800
-0,0111	-0,0081	-0,00488	805
-0,01023	-0,00747	-0,0045	810
-0,0092	-0,00671	-0,00405	815
-0,00802	-0,00585	-0,00353	820
-0,00673	-0,00491	-0,00296	825
-0,00536	-0,00391	-0,00236	830
-0,00394	-0,00287	-0,00173	835
-0,00249	-0,00182	-0,0011	840
-0,00105	-0,00077	-0,00046	845
0	0	0	850
0	0	0	855
0	0	0	860
0	0	0	865
0	0	0	870
0	0	0	875
0	0	0	880
0	0	0	885
0	0	0	890

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

Продолжение таблицы Б.1

Значение напряжения, В			Время, мс
Опыт №1	Опыт №2	Опыт №3	
0	0	0	895
0	0	0	900
0	0	0	905
0	0	0	910
0	0	0	915
0	0	0	920
0	0	0	925
0	0	0	930
0	0	0	935
0	0	0	940
0	0	0	945
0	0	0	950
0	0	0	955
0	0	0	960
0	0	0	965
0	0	0	970
0	0	0	975
0	0	0	980
0	0	0	985
0	0	0	990
0	0	0	995
0	0	0	1000
0	0	0	1005
0	0	0	1010
0	0	0	1015
0	0	0	1020
0	0	0	1025
0	0	0	1030
0	0	0	1035
0	0	0	1040
0	0	0	1045
0	0	0	1050
0	0	0	1055
0	0	0	1060
0	0	0	1065
0	0	0	1070

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

Продолжение таблицы Б.1

Значение напряжения, В			Время, мс
Опыт №1	Опыт №2	Опыт №3	
0	0	0	1075
0	0	0	1080
0	0	0	1085
0	0	0	1090
0	0	0	1095
0	0	0	1100
0	0	0	1105
0	0	0	1110
0	0	0	1115
0	0	0	1120
0	0	0	1125
0	0	0	1130
0	0	0	1135
0	0	0	1140
0	0	0	1145
0	0	0	1150
0	0	0	1155
0	0	0	1160
0	0	0	1165
0	0	0	1170
0	0	0	1175
0	0	0	1180
0	0	0	1185
0	0	0	1190
0	0	0	1195
0	0	0	1200
0	0	0	1205
0	0	0	1210
0	0	0	1215
0	0	0	1220
0	0	0	1225
0	0	0	1230
0	0	0	1235
0	0	0	1240
0	0	0	1245
0	0	0	1250

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата