

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Южно-Уральский государственный университет»

(национальный исследовательский университет)

Высшая школа электроники и компьютерных наук

Кафедра «Информационно-измерительная техника»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой, д.т.н., проф.

_____/А.Л. Шестаков/

«____»_____ 2018 г.

Метрологическая аттестация программного обеспечения стенда динамической
характеризации датчиков давления

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 308 - 119. ВКР

Руководитель, доц. каф. ИНИТ

_____/Е.В. Юрасова/

«____»_____ 2018 г.

Автор

студент группы КЭ-476

_____/Р.Г. Станев/

«____»_____ 2018 г.

Нормоконтроллер, доц. каф. ИНИТ

_____/А.С. Волосников/

«____»_____ 2018 г.

АННОТАЦИЯ

Станев Р.Г. Метрологическая аттестация программного обеспечения стенда динамической характеристики датчиков давления. – Челябинск: ЮУрГУ, КЭ-476, 2018, ___ с, 55 ил., 26 табл., 1 прилож., библиогр. список – 30 наим.

Выпускная квалификационная работа посвящена исследованию методов метрологической аттестации средств измерений, а также проведению метрологической аттестации программного обеспечения в ходе его тестирования.

В ходе выполнения ВКР были решены следующие задачи:

1. Информационный поиск зарубежных и отечественных источников законодательной метрологии, содержащих информацию о требованиях к программному обеспечению (ПО) средств измерений (СИ).
2. Анализ методов метрологической аттестации ПО СИ.
3. Разработка документации ПО стенда в соответствии с ЕСПД.
4. Экспериментальное исследование встроенного ПО стенда динамических испытаний датчиков давления в процессе его метрологической аттестации.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2018.308-119.ВКР			
Изм.	Лист.	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.		Р.Г.Станев			Метрологическая аттестация программного обеспечения стенда динамической характеристики датчиков	Лит.	Лист	Листов
Пров.		Е.В.Юрасова					4	107
Н. Контр.		А.С.Волосников				ЮУрГУ Кафедра ИнИТ		
Утв.		А.Л. Шестаков						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ	11
1.1 Программное обеспечение средств измерений, анализ особенностей ПО	11
1.2 Регламентация требований к ПО СИ	14
1.2.1 Зарубежный опыт регламентации требований к ПО СИ.....	16
1.2.2 Отечественный опыт регламентации требований к ПО СИ.....	21
1.3 Современные исследования в области метрологической аттестации программного обеспечения	24
1.4 Выводы по главе 1	34
2 АНАЛИЗ МЕТОДОВ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ АТТЕСТАЦИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	35
2.1 Особенности методов испытаний программного обеспечения средств измерений	35
2.2 Метод испытаний основанный на использовании опорного программного обеспечения.	36
2.3 Метод сличения программного обеспечения одинакового уровня вычислительной точности.	39
2.4 Метод испытаний, основанный на анализе исходного кода.	40
2.4.1 Виды анализа исходного кода.	41
2.5 Выводы по главе 2.	43
3 РАЗРАБОТКА ДОКУМЕНТАЦИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТЕНДА В СООТВЕТСТВИИ С ЕСПД.	44
3.1 Стенд исследования динамических характеристик датчиков давления.	44
3.1.1 Описание принципа работы динамического измерительного стенда.	44
3.1.2 Генератор опорного сигнала	49
3.1.3 Блок клапанов и блок управления клапанами	51

3.1.4 Рабочий объем и испытываемые датчики	54
3.2 Цифровой запоминающий осциллограф АСК-3117.	55
3.3 Описание отладочной платы стенда	58
3.4 Описание программы блока управления клапанами по ГОСТ 19.402-78	60
3.4.1 Общие сведения	60
3.4.2 Функциональное назначение	60
3.4.3 Используемые технические средства.	61
3.4.4 Вызов и загрузка	62
3.4.5 Входные данные	65
3.4.6 Выходные данные	65
3.5 Руководство оператора по ГОСТ 19.505-79	65
3.5.1 Назначение программы.....	65
3.5.2 Условия выполнения программы.....	65
3.5.3 Выполнение программы	66
3.6 Руководство программиста по ГОСТ 19.503-79.....	69
3.6.1 Общие сведения о программе	69
3.6.2 Проверка программы и системные сообщения программисту.	69
3.7.....Методика выполнения измерений.....	70
3.7.1 Область применения	70
3.7.2 Нормативные документы.....	71
3.7.3 Термины и определения.....	71
3.7.4 Обозначения и сокращения	72
3.7.5 Условия проведения измерений.....	73
3.7.6 Метод измерения	74
3.7.7 Применяемые средства измерения	74
3.7.8 Подготовка к измерениям и их проведение.....	74
3.7.9 Обработка результатов измерений	75
3.8 Разработка программы метрологической аттестации.....	75
3.8.1 Проверка документации	76
3.8.2 Проверка разделения программного обеспечения.....	77

3.8.3 Установление идентификационных данных и проверка методов идентификации программного обеспечения.	78
3.8.4 Проверка структуры программного обеспечения	78
3.8.5 Оценка влияния программного обеспечения на метрологические характеристики средств измерений	79
4.ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВСТРОЕННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТЕНДА ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ЕГО МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ АТТЕСТАЦИИ.	81
4.1 Исследование встроенного программного обеспечения стенда динамических испытаний датчиков давления	81
4.2 Эксперимент «Сравнение сигнала с эталонным»	81
4.3 Обработка результатов измерения	94
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	107
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	108
ПРИЛОЖЕНИЕ А	112

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В настоящее время средства программного обеспечения открывают все более широкое использование в метрологии для выполнения стоящих перед ней задач. Такое широкое использование вызвано широким использованием средств вычислительной техники для сбора, обработки, передачи, хранения и представления данных измерений, необходимой вспомогательной инфраструктурной информации, также для метрологического сопровождения и имитации моделирования измерительного эксперимента.

Применяемое в метрологии программное обеспечение (ПО), которое расширяет функциональные возможности программно-управляемых средств измерений и решает другие не менее значимые метрологические задачи, представляющие интерес, прежде всего, со стороны оценки его точностных характеристик.

Программное обеспечение (ПО) обработки результатов измерений все чаще применяется при решении различных метрологических задач. Включая в себя программы обработки данных, которые в свою очередь, встроены в средства измерений и/или в вычислительные компоненты измерительных систем, программных средств, автоматизирующих процессы сбора, хранения, передачи и представления измерительных данных, также обработки результатов измерений в соответствии с методиками выполнения измерений.

Современные цифровые интеллектуальные средства измерений (СИ) состоящие из устройств со встроенным ПО, в которых микропроцессор, интерфейс подключения периферийных устройств и инструментальная часть находятся в общем корпусе.

По причине повышения надежности механических, электрических, электронных компонентов СИ, можно считать, что качество измерений в основном зависит от правильной работы ПО. Во время испытаний определяется

надежность средств измерений с целью утверждения типа. ПО как отдельный объект не оценивается, а оценивается только в составе СИ. При этом задача метрологической аттестации ПО приобретает высокую значимость. Проводя анализ данной проблемы можно сказать, что несмотря на большое количество научных статей и монографий, связанных с влиянием ПО на правдивость результатов измерений, нет единого подхода к решению этой проблемы.

Метрологическая аттестация – это признание средства измерений (испытаний) узаконенным для применения (с указанием его метрологического назначения и метрологических характеристик) на основании тщательных исследований метрологических свойств этого средства [2].

Метрологическая аттестация может быть проведена для средств измерений, которые не подлежат государственным испытаниям или утверждению типа органами Государственной метрологической службы, опытных образцов средств измерений, измерительных приборов, выпускаемых или привозимых из-за границы мелкими партиями или в единичных экземплярах, измерительных систем и их каналов.

Основными задачами аттестации СИ являются:

1. Определение метрологических характеристик и установление их соответствия требованиям нормативной документации;
2. Установление перечня метрологических характеристик, подлежащих контролю при поверке; [2]

Метрологическую аттестацию могут проводить органы государственной метрологической службы или метрологической службы юридических лиц по специальной, разработанной и утвержденной программе. Результаты аттестации заносят в протокол определенной формы. При положительных результатах выдается свидетельство о метрологической аттестации установленной формы, в котором указывают его метрологические характеристики, установленные в ходе аттестации. [1]

Чаще всего, метрологическая оценка качества используемого ПО в ходе метрологической аттестации, не проводится. Очевидно, что встроенное ПО оказывает влияние на результат измерения и оценку его погрешности. Вопрос разработки методик метрологической аттестации встроенного и внешнего ПО цифровых измерительных устройств является актуальным [1].

Целью выпускной квалификационной работы

Метрологическая аттестация с целью повышения точности программного обеспечения стенда для измерения динамических характеристик датчиков давления.

В соответствии с целью были поставлены следующие задачи:

1. Информационный поиск зарубежных и отечественных источников законодательной метрологии содержащих информацию о требованиях к программному обеспечению (ПО) СИ. Информационный поиск научных разработок в области метрологической аттестации ПО СИ и испытательных стендов.
2. Анализ методов метрологической аттестации ПО.
3. Выявление и анализ источников погрешности ПО стенда динамических испытаний датчиков давления. Разработка методики аттестации ПО стенда.
4. Экспериментальное исследование встроенного программного обеспечения ПО стенда динамических испытаний датчиков давления в процессе его метрологической аттестации.

1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

В данном разделе необходимо провести информационный поиск зарубежных и отечественных источников законодательной метрологии по метрологической аттестации программного обеспечения (ПО) СИ. Выявить и анализировать источники погрешности ПО.

1.1 Программное обеспечение средств измерений, анализ особенностей ПО

В настоящее время производства в своих системах управления используют различные датчики: давления, температуры, расхода. Встроенные в датчик микроконтроллер и двунаправленный цифровой интерфейс, позволяют нам считать датчик «интеллектуальным», то есть датчик имеет способность по команде от компьютера изменять свои режимы работы, повышая точность и достоверность передаваемой измерительной информации. Общая функциональная схема цифрового средства измерения представлена на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Функциональная схема цифрового средства измерения

Принцип работы цифрового средства измерения заключается в том, что измеряемая физическая величина, поступая на сенсор, преобразуется им в электрический сигнал, который с помощью АЦП оцифровывается и поступает на

микроконтроллер. Далее обработанный на микроконтроллере сигнал, поступает в систему управления через цифровой интерфейс (RS485, Fieldbus) или аналоговый интерфейс 4 – 20 мА.

Цифровое средство измерения имеет встроенное программное обеспечение. Введем понятие программного обеспечения средств измерений (ПО СИ).

Программное обеспечение средств измерений - это программа (совокупность программ), используемая в средствах измерений и реализующая сбор, передачу, обработку, хранение и представление измерительной информации, а также программные документы, необходимые для функционирования этих программ.

[4]

Основные требования к программному обеспечению средств измерений:

- 1) Документация ПО. ПО СИ следует сопровождать документацией действующего стандарта, относящихся к документации ПО.
- 2) Идентификация ПО. При подтверждении соответствия ПО должна быть проведена идентификация ПО.
- 3) Влияние ПО на метрологические характеристики СИ. Степень влияния ПО на метрологические характеристики СИ при необходимости оценивают при подтверждении его соответствия.
- 4) Защита ПО и данных. ПО СИ должно иметь средства обнаружения и защиты, которые могут нарушить целостность ПО и данных.
- 5) Влияние на ПО информационных технологий. Указанные требования к ПО СИ применяются, когда ПО применяются такие информационные технологии, как обновление (загрузка) ПО, хранение и передача данных через сети коммуникации.

[ГОСТ Р 8.654-2015]

Программное обеспечение средств информации классифицируется по виду:

- Аппаратное обеспечение ПО. Классификация на основе типа аппаратного обеспечения. Является первичным и наиболее существенным.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2018.308-119.ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

- **Функция ПО.** Классификация по функциональному признаку ПО показывает, не ограничены ли функции ПО одним из указанных классификационным признакам.
- **Готовность ПО.** Классификация ПО отвечает за такую характеристику ПО как неизменность (соответствие).
- **Критичность ПО.** Классификация ПО обозначает уровень последствий в случае искажения измерительных данных, неправильного использования и ошибок ПО.

В программном обеспечении существует 3 уровня критичности: низкий, средний и высокий.

В аппаратном обеспечении существует два класса программного обеспечения: автономное и встроенное.

Автономное программное обеспечение – это программное обеспечение, которое функционирует на базе компьютера.

Класс 1- ПО, работающее на базе персонального компьютера и связанное с определенным типом СИ. Средства связи СИ и ПО могут быть представлены, АЦП или последовательным портом персонального компьютера (RS 232), а также другими устройствами, с помощью которых ПО получает измерительные данные от СИ.

Класс 2 - ПО, работающее на базе компьютера и не связанное с СИ. Такое ПО может выполнять одну или же все функции в схеме классификации, получая измерительные данные путем импорта файлов с измерительными данными или путем прямого внесения таких данных пользователем.

Встроенное ПО – программное обеспечение автономного СИ, представляющее собой целевое устройство, имеющее установленный набор измерительных функций.

К различным видам ПО СИ предъявляются разные метрологические требования, что приводит к созданию различных методик испытаний. В процессе

информационного поиска было найдено российское руководство метрологической аттестации программного обеспечения: МИ 2891-2004, МИ 2955-2010.

В соответствии с [4 МИ 2891-2004] к программному обеспечению средств измерений выдвигаются общие требования:

- Документация. Это требование заключается в том, что ПО, подвергаемое испытаниям (аттестации), должно сопровождаться документацией;
- Структура. Данное требование говорит о том, что ПО должно быть разработано так, чтобы не подвергалось недопустимому воздействию со стороны любого другого ПО, а также разрабатывается таким образом, что на него невозможно воздействовать через интерфейсы пользователя;
- Соответствие ПО утвержденному типу. Это требование заключается в том, что поле утверждения ПО, оно должно оставаться неизменным. Для поверки ПО осуществляется идентификация ПО.
- Погрешность, вносимая ПО. Это требование заключается в том, что при испытаниях погрешность, вносимая ПО не должна превышать пределы, установленные нормативно-технической документацией;
- Защита. Это требование заключается в том, что ПО должно иметь средства обнаружения, устранения функциональных дефектов которые нарушают итоговые результаты измерения. Обеспечивается защита ПО от непреднамеренных и случайных измерений.

1.2 Регламентация требований к ПО СИ

За последние 20 лет информационные технологии глубоко укоренились в нашей жизни и сейчас подавляющее большинство современных средств измерений уже невозможно представить без автоматизированной обработки измерительной информации и использования в нем в том или ином виде программного обеспечения. При этом под программным обеспечением средств

					ЮУрГУ – 12.03.01.2018.308-119.ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

измерений понимаются программы (совокупность программ), предназначенных для использования в средствах измерений и реализующие, в том числе, сбор, передачу, обработку, хранение и представление измерительной информации, а также программные модули и компоненты, необходимые для функционирования этих программ [1].

Использование ПО внутри или вместе с средствами измерений, помимо решения основных задач, расширяет функциональные возможности устройств, повышает точность и оперативность обработки измерительной информации и ее отображение в удобной и эффективной форме. Более того, многие средства измерений и измерительные системы не могут функционировать без наличия соответствующего ПО.

Все это привело к тому, что объемы и масштабы использования автоматизированной обработки измерительной информации в последнее время стремительно возрастают. Вместе с тем, предоставляя большие возможности и преимущества по сравнению с традиционными методами обработки измерительной информации, использование ПО может привести к появлению дополнительных погрешностей, связанных, например, с неадекватностью используемых алгоритмов измерительной задаче, с нестабильностью (необусловленностью) алгоритмов, положенных в основу ПО, с неправильной их реализацией и т.п.

В ряде случаев применение программного обеспечения может приводить к проявлению рисков, обусловленных как внутренними свойствами самих программных продуктов, так и возможностями внешнего воздействия на них. При этом крайне актуальными становятся вопросы защиты измерительной информации от преднамеренных и не преднамеренных изменений и взаимного влияния приложений друг на друга, что для программных средств метрологического назначения является крайне важным.

Естественно, что все это приводит к необходимости проведения проверки программного обеспечения СИ, которая требует четкого установления требований к ПО и методов его испытаний.

В процессе информационного поиска были найдены следующие зарубежные и отечественные руководства в области требований к программному обеспечению:

1.2.1 Зарубежный опыт регламентации требований к ПО СИ

В зарубежном стандарте КОOMET R/LM/10:2004 «Программное обеспечение средств измерений. Общие технические требования» дается структура требований к ПО.

Эта Рекомендация была разработана с учетом требований, изложенных в Руководстве [13], и устанавливает основные требования к ПО устройств с измерительными функциями, используемых в области законодательной метрологии, а также критерии, определяющие объем испытаний ПО в целях его утверждения. Данная рекомендация является обязательной для применения разработчиками СИ, используемого в области законодательной метрологии среди стран участниц входящих в Евро-Азиатское сотрудничество государственных метрологических учреждений.

В рекомендации [11] требования к ПО СИ разнесены по группам и включают в себя следующие разделы:

- Требования к проекту и структуре программного обеспечения;
- Требования к защите программного обеспечения от искажений, неумышленных изменений и намеренных изменений;
- Требования к идентификации ПО и его соответствию утвержденному;
- Требования к готовности к испытаниям;
- Требования к документации, требуемой для утверждения программного обеспечения.

Рекомендация [11] устанавливает три критерия испытаний и три характеристики для каждого критерия.

Критерии испытаний:

- а) уровень защиты программного обеспечения;
- б) жесткость испытаний программного обеспечения;
- в) степень соответствия программного обеспечения;

При установлении критериев должны учитываться технические особенности средств измерений, ввиду чего требования к программному обеспечению могут устанавливаться в разном объеме. Испытания ПО проводятся по согласованной с разработчиком и заказчиком программе испытаний.

Защита ПО означает принятие адекватных мер, направленных на предотвращение неумышленных или намеренных изменений. Уровень защиты ПО влияет на принимаемое техническое решение конструкции СИ и поэтому, должен учитываться, главным образом, изготовителем и разработчиком ПО.

Характеристики уровней защиты:

- Низкий. ПО не имеет защиты от неумышленных или намеренных изменений;
- Средний. ПО защищено от неумышленных и намеренных изменений с использованием простых общедоступных программных средств;
- Высокий. Уровень защиты ПО соответствует последним достижениям в области защиты данных.

Жесткость испытаний программного обеспечения устанавливается в целях утверждения программного обеспечения. Характеристики жесткости испытаний:

- Низкая. Главный упор делается на результаты испытаний по определению метрологических характеристик и результаты испытаний, подтверждающие корректность информации эксплуатационных документов.

- Средняя. В дополнение к испытаниям утверждения типа программное обеспечение испытывается на основании описания программных функций, предоставленных изготовителем;
- Высокая. В дополнение к испытаниям по определению метрологических характеристик и испытаний на правильность выполняемых функций, проверяется правильность исходного кода законодательно контролируемого программного обеспечения.

Программное обеспечение, находящееся в эксплуатации и проверяемое при метрологическом надзоре и контроле должно соответствовать программному обеспечению, которое проходило процедуру утверждения, в зависимости от выбранной характеристики степени соответствия.

При контроле соответствие утвержденному программному обеспечению проверяется по законодательно контролируемой идентификации программы, которая приводится в описании утвержденного программного обеспечения или описании типа средства измерений. Характеристики степени соответствия:

- Низкая. ПО не имеет идентификации или алгоритм идентификации не является частью программы, представленной на утверждение;
- Средняя. Любое изменение утвержденной законодательно контролируемой части программного обеспечения автоматически приводит к формированию его новой идентификации;
- Высокая. ПО идентично утвержденному программному обеспечению.

Директива 2004/22/ЕС европейского парламента и совета 31 марта 2004 г. на средства измерений - (Directive 2004/22/EC of the European parliament and of the council of 31 March 2004 on measuring instruments).

Данный документ впервые установил на законодательном уровне ряд существенных требований к ПО СИ, в частности к его идентификации и защите:

- В п.7.6 документа говорится о том, что конструкция СИ должна предоставлять возможность для осуществления контроля, при этом, если для этого используются специальные программные средства, то они должны быть частью СИ;

- ПО, влияющие на метрологические характеристики СИ, должно быть идентифицировано и не быть подвержено недопустимому влиянию;

- В п. 8.3 документа содержатся требования о защите от несанкционированного вмешательства метрологически значимое ПО должно быть идентифицировано и защищено. Кроме того, говорится о необходимости простых инструментов для идентификации ПО и выявлению несанкционированных вмешательств в ПО;

- В п. 8.4 измерительная информация, метрологически значимые параметры и ПО, должны быть защищены от случайных и преднамеренных вмешательств;

- В п.5.2 Приложения «В» содержится требование о необходимости внесения в сертификат на СИ идентификационных признаков ПО.

Документ обращает внимание на специальные программные требования к следующим видам приборов и систем с измерительными функциями:

- счетчики воды;
- счетчики газа и приборы преобразования объема;
- счетчики активной электрической энергии;
- теплосчетчики;
- измерительные системы для непрерывных и динамических измерений количества жидкостей, отличных от воды;
- автоматические взвешивающие устройства;
- таксометры;
- вещественные меры;
- средства линейных измерений и анализаторы выхлопных газов.

Рекомендация OIML D 31:2008 Общие требования к программному обеспечению, контролирующему средства измерения (OIML D 31:2008 General requirements for software controlled measuring instruments): INTERNATIONAL ORGANIZATION OF LEGAL METROLOGY. (ГОСТ Р 8.839-2013/OIML D 31:2008 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Общие требования к измерительным приборам с программным управлением)

Данный документ содержит общие требования к функциональным возможностям измерительных приборов, связанным с программным обеспечением, и предлагает правила подтверждения соответствия измерительных приборов этим требованиям. Может учитываться национальными органами по стандартизации стран - членом МОЗМ ТК и ПК МОЗМ в качестве основы для разработки конкретных требований к ПО и конкретных процедур, имеющих отношение к отдельным категориям измерительных приборов. Правила данного стандарта применимы только к тем измерительным приборам или электронным устройствам, которые имеют программное управление.

МОЗМ - международная организация законодательной метрологии, призванная помогать в устранении барьеров в торговле путём разработки согласованных законодательных, административных и технических процедур для измерительных приборов, применяемых в торговле или регулирующей деятельности. Организация была основана в 1955 году в Париже и по состоянию на октябрь 2013 года в состав МОЗМ в качестве полноправных участников входят 59 стран и в качестве наблюдателей - 67 стран.

Требования к измерительным приборам в части практического применения программного обеспечения:

- Идентификация программного обеспечения;
- Корректность алгоритмов и функций;
- Защита программного обеспечения;

- Поддержка аппаратных функций.

Требования для конкретных вариантов конфигурации:

- Определение и разделение значимых частей и определение интерфейсов между частями;
- Совместная индикация;
- Сохранение данных, передача через системы связи;
- Совместимость операционных систем и аппаратного обеспечения, портативность;
- Соответствие изготавливаемого устройства утвержденному типу;
- Техническое обслуживание и реконфигурация.

1.2.2 Отечественный опыт регламентации требований к ПО СИ

В МИ 2891-2004 [4] к программному обеспечению средств измерений выдвигаются общие требования:

- Документация. Данное требование говорит о том, что ПО, которое подвергается испытаниям (аттестации), должно сопровождаться документацией;
- Структура. Это требование заключается в том, что ПО должно быть разработано таким образом, чтобы не подвергалось nepозволительному влиянию со стороны любого другого программного обеспечения, а также разрабатывается таким образом, что на него невозможно воздействовать через интерфейсы пользователя;
- Соответствие ПО утвержденному типу;
- Погрешность, вносимая ПО. Это требование заключается в том, что при испытаниях погрешность, вносимая программным обеспечением не должна превышать пределы, установленные нормативно-технической документацией;

- Защита. Заключается в защите ПО от непреднамеренных и случайных изменений, а также имеет средства обнаружения, устранения сбоев которые нарушают итоговые результаты измерения.

В [ГОСТ 8.654–2009] выдвигаются следующие общие требования к ПО:

- Документация. ПО должно сопровождаться документацией, соответствующей требованиям стандартов;
- Структура. ПО СИ должно быть таким, чтобы его невозможно было подвергнуть искажающему воздействию;
- Влияние ПО на метрологические характеристики СИ. Степень влияния ПО на метрологические характеристики СИ оценивают при его аттестации;
- Защита ПО и данных. ПО СИ должен содержать средства обнаружения, отображения или устранения сбоев.

Данный стандарт включает в себя и специальные требования:

- Требования к разделению ПО и его идентификации;
- Специальные требования к ПО: 1) требования к обновлению ПО, 2) требования к хранению данных и передаче их через сети коммуникаций.

ГОСТ Р 8.596-2002 устанавливает требования к технической документации измерительных систем. Вводится требование о необходимости проведения повторной метрологической аттестации ПО в случае ее модификации разработчиком или в процессе ее эксплуатации в той части, которая связана с обработкой измерительной информации. Таким образом, ПО измерительных каналов ИС в соответствии с этим ГОСТом должно подлежать оценке, если оно влияет на результаты и погрешности измерений. Но к сожалению, убедиться в наличии такого влияния можно только в процессе самой аттестации. [16]

Данный стандарт распространяется на алгоритмы и программы компьютерной генерации цифровых тестовых сигналов, предназначенных для определения метрологических характеристик систем обработки данных компьютерных средств измерений и их ПО. Документ содержит требования к перечню и форме документации, представляемой для аттестации ПО, а также требования к содержанию программы метрологической аттестации ПО.

ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93 определяет шесть основных характеристик, которые с минимальным дублированием описывают качество ПО. Данные характеристики образуют основу для дальнейшего уточнения и описания качества ПО. Данные руководства описывают использование характеристик качества для оценки качества ПО:

- **Функциональность.** Набор атрибутов, относящихся к сути набора функций и их конкретным свойствам. Функциями являются те, которые реализуют установленные или предполагаемые потребности;
- **Надежность.** Набор атрибутов, относящихся к способности программного обеспечения сохранять свой уровень качества функционирования при установленных условиях за установленный период времени;
- **Практичность.** Набор атрибутов, относящихся к объему работ, требуемых для использования и индивидуальной оценки такого использования определенным или предполагаемым кругом пользователей;
- **Эффективность.** Набор атрибутов, относящихся к соотношению между уровнем качества функционирования программного обеспечения и объемом используемых ресурсов при установленных условиях;
- **Сопровождаемость.** Набор атрибутов, относящихся к объему работ, требуемых для проведения конкретных изменений (модификаций);
- **Мобильность.** Набор атрибутов, относящихся к способности программного обеспечения быть перенесенным из одного окружения в другое.

Эти характеристики являются основными для создания ПО. [19]

В документе [20] приведены следующие требования к ПО:

- Требования к описанию продукта,
- Требования к документации пользователя и
- Требования к любым программным данным, входящим в состав пакета программ.

В стандарте [21] содержатся требования, рекомендации и методические материалы по оценке качества программной продукции и предназначен для использования разработчиками, закупщиками и независимым оценщиками программных продуктов.

В документе описаны процессы оценки качества продукции и установлены специальные требования для применения процесса оценки с точки зрения вышеперечисленного круга лиц. Стандарт не предназначен для оценки других аспектов ПО, таких как функциональные требования, требования к процессу, бизнес-требования и т.д.

1.3 Современные исследования в области метрологической аттестации программного обеспечения

Вопросам метрологической аттестации программного обеспечения посвящены работы многих исследователей.

В настоящее время средства программного обеспечения открывают все более широкое использование в метрологии для выполнения стоящих перед ней задач. Это вызвано широким использованием средств вычислительной техники для сбора, обработки, передачи, хранения и представления данных измерений, необходимой вспомогательной инфраструктурной информации, также для

метрологического сопровождения и имитации моделирования измерительного эксперимента.

Возникает вопрос об оценке качества ПО, причем задача описания качества ПО сама по себе не является тривиальной, так как достаточно сложно представить унифицированный набор показателей его качества. Нужно учитывать, с одной стороны, неизбежное разделение труда при разработке, создании, отладке, исследовании, применении и сопровождении ПО, а с другой — различие в представлениях о качестве ПО как со стороны разработчиков, так и со стороны пользователей различного уровня.

Адекватный набор показателей качества программных продуктов зависит от функционального назначения и свойств каждого ПО. Программы и комплексы программ для компьютеров и микропроцессоров, как объекты проектирования и разработки характеризуются следующими обобщенными показателями [16]:

- проблемно-ориентированной областью применения;
- техническим и социальным назначением используемого комплекса;
- конкретным типом решаемых функциональных задач с достаточно определенной областью применения соответствующими пользователями;
- объемом и сложностью совокупности программ и баз данных, решающих единую целевую задачу данного типа;
- необходимым составом и требуемыми значениями характеристик качества функционирования программ, а также величиной допустимого ущерба из-за их недостаточного качества;
- степенью связи решаемых задач с реальным масштабом времени или допустимой длительностью ожидания результата решения задачи;
- прогнозируемыми значениями длительности эксплуатации и перспективой создания множества версий программ и комплексов программ;
- предполагаемым тиражом производства и применения программ;
- степенью необходимой документированности программного обеспечения.

Сказанное напрямую относится и к программному обеспечению хроматографических измерений. Специалистам известно, что в связи со все возрастающими объемами хроматографических измерений соответственно возрастает и цена всякого рода ошибок, в том числе и ошибок, обусловленных использованием некачественного программного обеспечения.

В работе [АТТЕСТАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ - ПРОГРАММЫ «АНАЛИЗАТОР»] описывается опыт метрологической аттестации программного обеспечения хроматографических измерений – программы «Анализатор». Данная аттестация была проведена совместно специалистами ВНИИМС и организации – разработчика программы «Анализатор» - ООО «БАКС» (г. Самара) в марте 2004 г. Результаты аттестации и методы, которые при этом использовались, являются предметом данной публикации.

Программа «Анализатор» предназначена для использования при проведении качественного и количественного анализа компонентов исследуемой смеси. Авторы подробно описали функции программы «Анализатор».

Данная программа может использоваться в комплексе с газовыми, жидкостными или ионными хроматографами, системами капиллярного электрофореза или с хроматомасс-спектрометрами, предоставляющими измерительную информацию в цифровом виде посредством встроенных или дополнительных АЦП.

Основными частями программы являются:

- подпрограмма сбора хроматографической информации
- подпрограмма определения параметров и метрологических характеристик хроматографических пиков на нулевой линии для набора значений уровня шумов и дрейфа нулевой линии;

- подпрограмма, содержащая интерпретатор расчетных формул и алгоритмы вычисления расчетных параметров анализируемых смесей по стандартным методикам;

- подпрограммы настроек, режимов работы, графического представления и ряда других управляющих и вспомогательных функций.

Первичная обработка отдельной хроматограммы анализа может быть проведена одним из стандартных способов: - методом абсолютной калибровки (включая метод внутреннего стандарта), методом нормировки, методом добавки, методом имитированной дистилляции.

Настройки ПО позволяют использовать необходимое число методик анализов и задавать всю необходимую для их проведения и обработки информацию.

Аттестация ПО проводилась методом «черного ящика», т.е. без исследования исходных кодов. Метод «черного ящика» характеризуется относительной простотой и достаточной глубиной тестирования программного продукта и в силу этого широко используется при тестировании ПО СИ.

Метод «черного ящика» можно реализовать, по меньшей мере, в двух вариантах: первый вариант основан на использовании «эталонного программного обеспечения», второй – на генерации так называемых «эталонных наборов данных». Под «эталонным программным обеспечением» понимают ПО, отвечающее наивысшим требованиям к его точностным и функциональным характеристикам, подтвержденным при его неоднократном тестировании и использовании. Метод генерации «эталонных данных» используют в качестве альтернативы методу, основанному на использовании «эталонного программного обеспечения», когда таковое отсутствует, при этом предполагается, что модельное решение измерительной задачи, должно быть априори известно.

Во время аттестации ПО основное внимание было уделено тем частям, которые ответственны за сбор хроматографической информации, определение параметров и метрологических характеристик хроматографических пиков на

нулевой линии (максимальных погрешностей при определении времени удерживания, их площадей и высот) в зависимости от уровня шумов и дрейфа нулевой линии и за вычисление расчетных параметров анализируемых смесей по стандартным методикам. В соответствии с рекомендациями руководства WELMES 7.1. [1], процедура аттестации применялась не ко всему ПО в целом, а только к тем ее частям, которые определяет основные показатели качества ПО и в силу этого должны подвергаться метрологическому контролю.

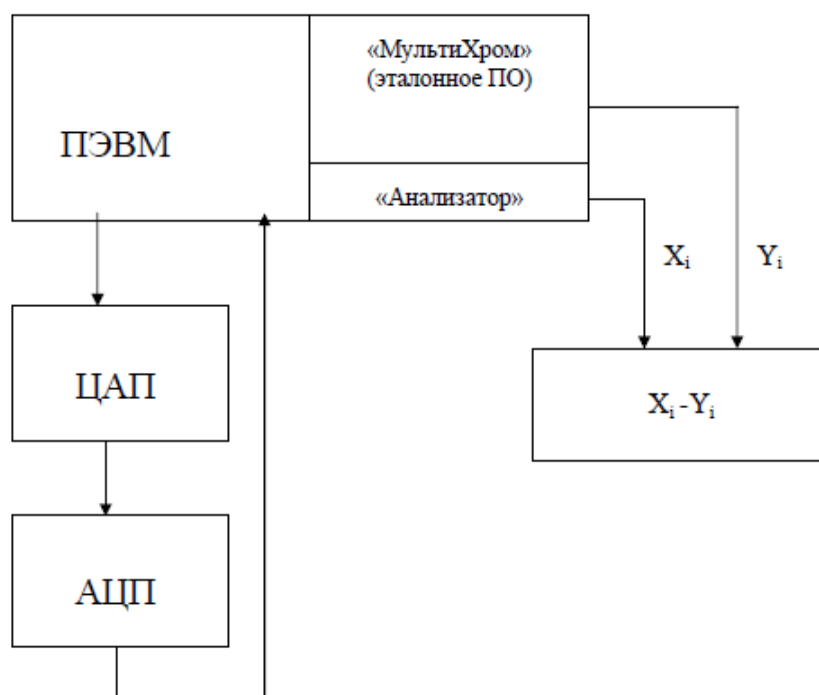


Рис.2. Принципиальная схема, используемая при аттестации программы "Анализатор"

Различные подходы к аттестации ПО представлены в работах национальной физической лаборатории Великобритании (NPL) [9]. В них указаны рекомендации нацеленные на ПО, используемое при обработке измерительной информации. Заметим, что авторы работы из NPL считают, что аттестация ПО является частью жизненного цикла ПО и должна осуществляться разработчиками программного продукта. В работах упоминается о "целостности" ПО.

В Национальной физической лаборатории считают (NPL) [10], что метод «черного ящика» (black box testing) является самым эффективным методом аттестации ПО, используемого в средствах измерений.

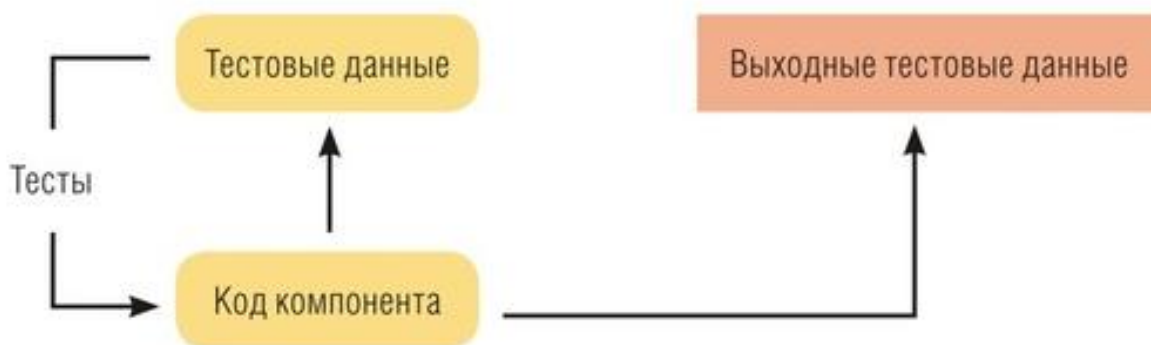


Рисунок 1.3 – Метод черного ящика.

Основой данного метода аттестации ПО является сопоставление результатов обработки так называемых «эталонных» данных самим тестируемым ПО и «эталонных» результатов, полученных при обработке тех же данных «эталонным» ПО. Однако, у такого метода существует недостаток, который заключается в том, что при таком подходе нам необходимо иметь в своем распоряжении «эталонное» ПО, то есть такое ПО, которое записано с использованием программных средств, отвечающих предельно высоким стандартам. Мало в каких испытательных центрах располагают таким программным обеспечением. Исходя из практики, решение можно найти используя, так называемые генераторы «эталонных» данных.

Данная лаборатория проводит аттестацию методом «белого ящика». Основой данного метода аттестации ПО является проверка исходного кода и детальное исследование функций (применяется лишь при испытаниях очень сложных измерительных систем, когда к этим системам предъявляются исключительные требования по безопасности и надежности их функционирования).

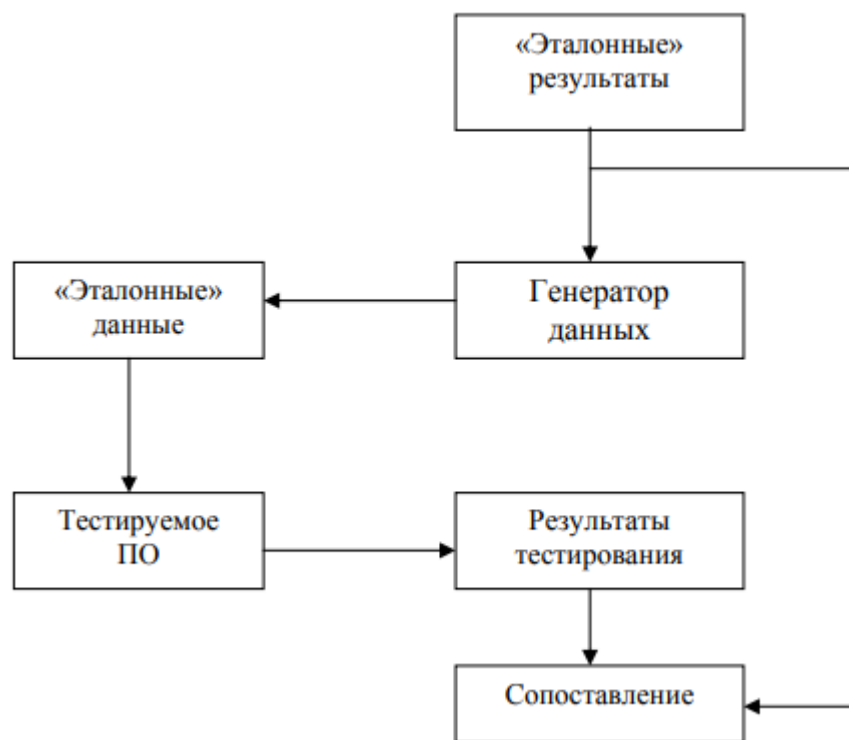


Рисунок 1.4 – Схема испытаний ПО с использованием генерации данных

Использовать схему генерации «эталонных» пар можно только в том случае, когда известно математическое решение соответствующей метрологической задачи. К счастью, большинство метрологических задач относится именно к этому классу.

На самом деле даже при известной математической постановке задачи проблема генерации «эталонных» данных по известным «эталонным» результатам не является однозначной. Результатом такой генерации можно получить целые семейства или классы «эталонных» данных, удовлетворяющим условиям математической задачи. В принципе, для решения задачи аттестации ПО можно работать с любым полученным набором «эталонных» данных при условии их соответствия исследуемой измерительной задаче.

В работах данной лаборатории говорится о, следующих, этапах, которые проводят для аттестации ПО:

- 1) Спецификация испытываемого ПО;

- 2) Исполнение (реализация) испытываемого ПО;
- 3) Спецификация наборов «эталонных» данных;
- 4) Спецификация выполняемых измерений и требований испытаний;
- 5) Генерация «эталонных» пар.

Начиная с 2000 года, в ФГУП ВНИИМС успешно производятся испытания ПО методом «черного ящика», реализуя при этом все необходимые программные и аппаратные составляющие испытаний. Правда, речь идет не о средствах измерений, а об игровых автоматах с денежным выигрышем. Но дело вот в чем, основой этих автоматов является игровая программа, реализующая соответствующий игровой алгоритм, и с этой точки зрения нет никакой разницы между испытанием ПО, входящего в состав средства измерения или в состав игрового автомата.

В статье [10] содержится база по вопросам аттестации ПО. Это задача идентификации погрешностей, вносимых математическим и программным обеспечением и средством вычислений в результаты решения измерительных задач при преобразованиях погрешностей измерений. В типовой методике аттестации МИ 2955-2010 не решена задача аттестации ПО. Следовательно на практике метрологическую аттестацию ПО часто подменяют экспертизой, материалы которой не содержат объективных данных о композиции погрешностей, а результат «аттестации», представляет собой «продукт» соглашения между заказчиком и исполнителем.

Методы аттестации описаны в статье [23], которая посвящена методам метрологической аттестации ПО в соответствии с различным нормативно-техническим документам.

В статье рассказывается, что аттестация может распространяться на следующие виды ПО СИ:

- ПО, которое является частью измерительной системы функционирующей на базе ПК;

- ПО, которое является самостоятельным программным продуктом, может применяться для сбора, обработки, хранения и представления измерительной информации;
- ПО, которое является неотъемлемой частью СИ (встроенное ПО);
- ПО для контроллеров и вычислительных блоков.

Также рассказывается о видах, аттестации, которые приведены на рисунке 1.7

Общая (исследовательская)	Метрологическая
Объект аттестации, алгоритм (программа), который является	
Самостоятельным объектом	Составной частью прикладного программного обеспечения конкретных измерительных устройств, измерительно-вычислительных комплексов, измерительных систем
Цель аттестации	
Последующее обоснование применения алгоритма (программы) в конкретных задачах	Оценивание характеристик, составляющих погрешность получаемых результатов измерений
Исходные данные	
Может применяться для обработки исходных данных с различными свойствами	Необходима значительная априорная информация об исходных данных
Объект исследования	
Внутренние свойства алгоритма (программы)	Точностные свойства алгоритма в рамках конкретной измерительной задачи
Результат аттестации, свидетельство об аттестации с указанием	
Характеристик точности, устойчивости и сложности алгоритма (программы) при различных моделях исходных данных	Характеристик, составляющих погрешность результатов обработки (оценка влияния программного обеспечения на метрологические характеристики СИ)
Аттестацию проводят	
На заключительном этапе разработки алгоритма (программы), прежде, чем рекомендовать его для практического применения	При выборе алгоритма для решения конкретной измерительной задачи при проектировании измерительно-вычислительных комплексов, измерительных систем

Рисунок 1.5 – Виды аттестации

Опыт тестирования программного обеспечения проводился в ФГУП «СНИИМ». Специалисты Новосибирского ФГУП «СНИИМС» определили проблему тестирования ПО СИ. Смысл подхода заключается в разработке типового шаблона проверки ПО, целью которого является дать метрологу

конкретную последовательность операций с заранее заданным набором критериев оценки результатов их выполнения. [24]

В организации Ростехрегулирования уделяют большое внимание метрологическому обеспечению систем учета нефти и нефтепродуктов [11]. По данным Новороссийского филиала ФГУ «Краснодарский ЦСМ», при экспорте нефти «...погрешность» измерений по танкам судов достигает 0,5–0,8 %. Для компенсации суммарной погрешности российская сторона должна увеличивать количество нефти и нефтепродуктов, перекачиваемых в танки судов.

Каждый год потери российской стороны только в Новороссийском порту составляют около 6 млн. долларов. Что бы вести учет количества товарной и сырой нефти применяются системы измерений количества и показателей качества нефти (СИКН) и системы измерений количества и параметров сырой нефти (СИКНС). И СИКН, и СИКНС (далее – системы) состоят из функционально объединенных средств измерений (СИ), системы обработки информации (СОИ) и технологического оборудования, предназначенных для измерения массы нефти методом прямых или косвенных динамических измерений, отображения (индикации) и регистрации результатов измерений. «Интеллектуальными» компонентами систем являются встроенное (реализует алгоритмы обработки информации в СОИ) и автономное (на автоматизированном рабочем месте оператора (АРМ-оператора)) программное обеспечение. [11]

Рекомендация МОЗМ Р76-1:2006 «Весы неавтоматического действия. Часть 1. Метрологические и технические требования. Испытания» включает экспертизу ПО, необходимость участия в МAA (Message Authentication Algorithm — Алгоритм проверки подлинности сообщения) для МОЗМ Р76, пересмотр ЯПС для приведения в соответствие с новым МОЗМ Р76-1, введение вновь экспертизы типа шкал для грузовых автомобилей и железнодорожных платформ, включая

индикаторы веса; важность для других специализированных СИ, хотя это и не срочная задача.

Недавно в Японии начата практическая экспертиза ПО СИ, подлежащих законодательному контролю. В настоящее время экспертиза программного обеспечения взвешивающих устройств является чрезвычайно актуальной в связи с пересмотром Японских промышленных стандартов для НАВСИ. Однако существует несколько проблем, касающихся вопроса: что делать с современными компьютерными системами: Windows, Базы данных.

1.4 Выводы по главе 1

Проведя аналитический обзор, были определены источники погрешности встроенного программного обеспечения, выяснены отечественные и зарубежные регламентации требований ПО СИ, а так же найдены современные подходы к метрологической аттестации встроенного программного обеспечения.

2 АНАЛИЗ МЕТОДОВ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ АТТЕСТАЦИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

2.1 Особенности методов испытаний программного обеспечения средств измерений

Всего в настоящее время при испытании программных продуктов выделяют два метода: метод «черного ящика» и «белого ящика». Из-за своей простоты и дешевизны метод «черного ящика» получил широкое использование для метрологических приложений. В ходе тестирования её подвергают известному набору воздействий, и по полученным данным в ходе реакции на эти воздействия определяются заключения о некоторых его свойствах. Тестирование программы методом «белого ящика» применяется лишь при испытаниях очень сложных измерительных систем, когда к этим системам предъявляются исключительные требования по безопасности и надежности их функционирования. В тестирование входит детальное исследование функций и проверка исходного кода ПО. [43]

Применяя метод «черного ящика» свойства ПО можно оценивать, как на основе его реакции на модели исходных данных, так и путем сличения итогов тестирования с итогами, которые были получены с помощью опорного ПО или с применением наборов «эталонных» данных. Опорное ПО, в соответствии с [8], представляет собой ПО, отвечающее высоким требованиям к его функциональным и точностным характеристикам, подтвержденным при его многократном тестировании и использовании. Часто опорное ПО, разрабатывается специалистами испытательной лаборатории, проводящей испытания. Исходя из этого, критерии отнесения программного продукта к опорному являются сравнительными и носят индивидуальный характер и, тем самым, являются предметом соглашения сторон, участвующих в испытаниях ПО. [27]. Этот подход, при известном решении измерительной задачи, позволяет

формировать «эталонные» данные в соответствии с особенностями задачи, решаемой тестируемым ПО.

2.2 Метод испытаний основанный на использовании опорного программного обеспечения.

Проводя испытание программного обеспечения методом с применением эталонного ПО. Смысл этого метода заключается в сравнении результатов проверки с результатом, полученным с помощью опорного («эталонного») программного обеспечения. Схема тестирования методом с применением опорного ПО приведена на рисунке 2.1.

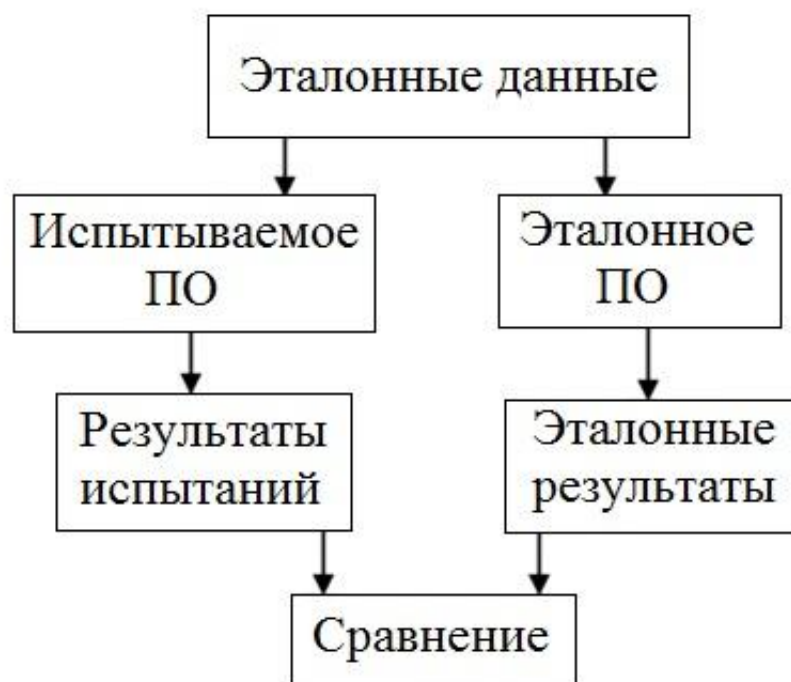


Рисунок 2.1 – Схема испытаний ПО с использованием «эталонного» ПО

Термин опорного ПО является новым для нормативной базы в области метрологии. Впервые он был отмечен в рекомендациях [9] 2005 г. и по сегодняшний день имеет обширное применение в области, связанной с проверкой

ПО СИ. Своим появлением он обязан такому понятию, как «принятое опорное значение». В соответствии с ГОСТ Р ИСО 5725-1 под принятым опорным значением понимается то значение, которое служит в качестве согласованного для сравнения и получено как:

- теоретическое или установленное значение, которое базируется на научных принципах;
- приписанное или аттестованное значение, которое базируется на экспериментальных работах какой-либо национальной или международной организации;
- согласованное или аттестованное значение, которое базируется на совместных экспериментальных работах под руководством научной или инженерной группы.

В некоторых случаях, опорным может служить ПО, прошедшее ранее процесс подтверждения соответствия, пакеты коммерческого ПО, такие как, математические пакеты и электронные таблицы, или в качестве опорных возможно использование библиотек алгоритмов высокой точности.

Достоинствами данного метода являются:

- простота тестирования и дешевизна;
- быстрое определение ошибок;
- возможность выполнения большого числа тестов.

Недостатками данного метода являются:

- необходимость наличия опорного ПО;
- возможное наличие ошибок в опорном ПО.

Использование опорного ПО определяет ряд ограничений на применение этого метода тестирования, например, подразумевается совпадение реализованных алгоритмов, наличие вероятности ввода одинаковых данных, совпадение выдачи результата обработки информации и т.д. Как отмечалось ранее, важной характеристикой ПО является степень его влияния на МХ СИ.

Прежде всего, речь идет об неудовлетворительном влиянии ПО, проявляющимся в ошибочной обработке измерительной информации, в сбоях в его работе, в неустойчивой работе алгоритмов, в «зависании» программ обработки измеренных данных, в неправильной работе ПО при определенных наборах входных данных и т.д. Эта задача является сложной и многофакторной, которая не имеет, в общем случае прямого и конкретного решения. Тем самым, например, методы испытаний, основанные на использовании опорного ПО, позволяют при некоторых условиях такую оценку произвести. По определению опорное ПО обладает большими вычислительными возможностями при обработке измерительной информации. Это значит, что оно на практике не оказывает влияния на МХ СИ. В ходе испытаний тестируемого ПО методом, который основан на использовании опорного ПО, будет определено, что, например, относительное отклонение тестовых результатов от опорных не будет превышать некоторого заранее согласованного критериального значения, то можно заявить, что на уровне этого критерия тестируемое ПО не оказывает влияния на МХ СИ. Также можно использовать рекомендацию ГОСТ Р 8.596-2002, сводящейся к необходимости экспериментального определения погрешности, автоматизированного СИ с учетом наличия в нем ПО. При получении погрешности находящейся в пределах нормируемого допуска, можно утверждать, что ПО не оказывает влияния на МХ СИ. Тем не менее, о степени влияния ПО на МХ СИ можно также судить по поведению исполнительной характеристики ПО в зависимости от значений тех или иных его параметров. Исходя из этого, можно сделать вывод, что оценка влияния ПО на МХ СИ определяется методом тестирования ПО и полностью зависит от его свойств, которые определяются в процессе испытаний (проверки) ПО. [43]

2.3 Метод сличения программного обеспечения одинакового уровня вычислительной точности.

Аттестацию ПО проводят методом сличения программного обеспечения одинакового уровня вычислительной точности. Смысл этого метода заключается в том, что на вход подаются одинаковые наборы опорных данных, и затем они сравниваются. Схема тестирования методом сличения приведена на рисунке 2.2.

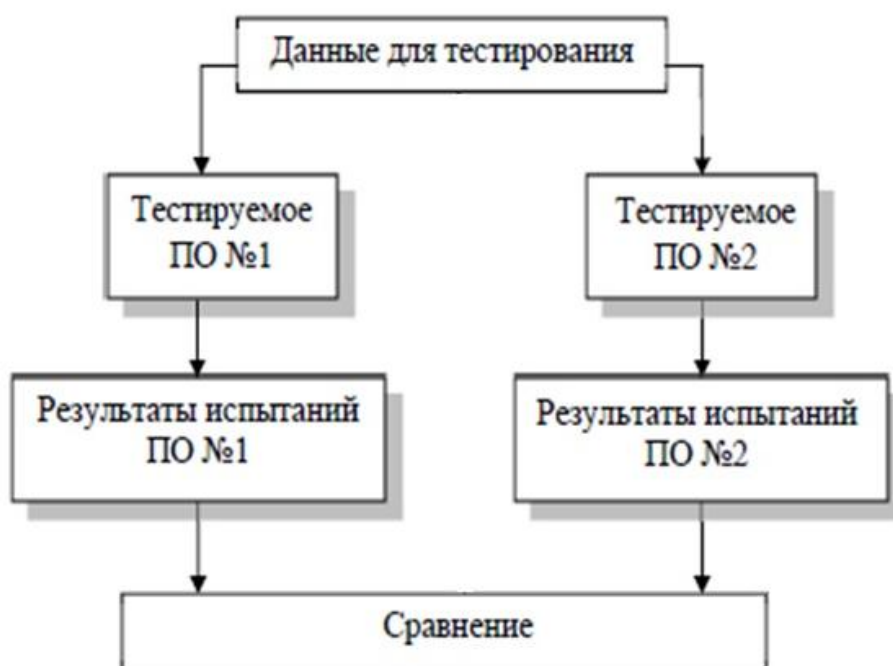


Рисунок 2.2 – Тестирование методом сличения программного обеспечения одинакового уровня вычислительной точности

Достоинствами данного метода являются:

- дешевизна и простота тестирования;
- возможность применения метода при отсутствии или невозможности использования опорного ПО или методов моделей исходных данных, генерации «эталонных» данных.

- возможность тестирования сложных программ, основанных на больших формулах и математических соотношениях [27];

Недостатками данного метода являются:

- необходимость наличия нескольких ПП сопоставимого уровня и вычислительных возможностей.

Результаты сличения признаются правильными, если в тестовых результатах различие не выходит за предусмотренные рамки.

2.4 Метод испытаний, основанный на анализе исходного кода.

Метод испытаний, применяющийся на практике очень редко, является испытание ПО на основе анализа исходного кода. В большей части представляющий собой метод оценки влияния ПО на метрологические характеристики СИ и используемый только в некоторых случаях. Его конкретное содержание полностью определяется теми целями, для реализации которых он применяется.

Достоинствами данного метода являются:

- надежность;
- правильность реализации средств защиты ПО СИ и данных;
- правильность выполнения разделения ПО СИ;
- правильность генерации идентификации ПО СИ;
- возможность получения ответа на большинство поставленных при испытаниях ПО СИ вопросов, таких, например, как:

- правильность реализации и соответствия алгоритмов заявленным в документации и т.д.

Недостатками данного метода являются:

- дороговизна, поскольку требуются большие временные затраты и людские ресурсы;
- необходимость в высокой квалификации специалистов;

- неприменимость в случае отсутствия исходного кода.

2.4.1 Виды анализа исходного кода.

Среди огромного числа способов анализа исходного кода на практике применяются три основных, среди них: инспекция кода вручную, статический и динамический анализы.

1. Инспекция кода вручную.

Данный подход считается самым результативным с точки зрения полноты и точности проверки. Осуществляется юнит-тестирование (unit testing) - процесс в программировании, позволяющий проверить корректность отдельных модулей исходного кода программы. Технология данного подхода заключается в том, что исходный код разбивается на небольшие блоки (юниты) и они отдельно тестируются.

Недостатками этого метода являются высокие трудоемкость и требования к квалификации и опыту экспертов. Для исключения субъективизма в работе экспертов, могут быть задействованы независимые группы тестирования, что может повлечь за собой еще большие затраты.

2. Статический анализ.

Под статическим анализом понимается анализ ПО, который проводится без реального выполнения исследуемых программ. Чаще всего анализ проводится над какой-либо версией исходного кода, хотя иногда анализу подвергается какой-нибудь вид объектного кода.

В зависимости от используемого инструмента глубина анализа может варьироваться от определения поведения отдельных операторов до анализа, включающего весь имеющийся исходный код. Способы применения приобретенной в ходе анализа информации также различны – от выявления мест, возможно содержащих ошибки, до формальных методов, позволяющих

математически доказать какие-либо свойства программы (например – соответствие поведения спецификации). Смысл статического анализа кода состоит в применении средств автоматизации анализа и поиска потенциально опасных конструкций кода в исходном коде программы. Этот метод будет полезен при поиске простых уязвимостей и немаскируемых закладок, таких как переполнение буфера, парольные константы или логические бомбы. К автоматизированным средствам проведения статического метода относят сканеры уязвимостей кода PRefix, PRefast, AK-BC, UCA, FlawFinder, ITS4, RATS, FxCop. Применение средств автоматизации позволяют сократить время проверок в десять-двадцать раз. [43]

К недостаткам метода относят то, что результаты строго ограничены набором предварительно определенных шаблонов известных классов уязвимостей.

Помимо этого, может быть получено огромное количество ложных срабатываний, что снижает эффективность труда. Перспективным направлением развития сканеров уязвимостей кода является внедрение элементов эвристического анализа потенциально опасных операций.

3. Динамический анализ.

Динамическим анализом считается анализ ПО при помощи выполнения программ на реальном или виртуальном процессе. Утилиты динамического анализа могут требовать загрузки специальных библиотек, перекомпиляцию программного кода. Некоторые утилиты могут инструментировать исполняемый код в процессе исполнения или перед ним. Для большей эффективности динамического анализа требуется подача тестируемой программе необходимого количества входных данных, чтобы получить более полное покрытие кода.

Динамический анализ состоит в наблюдении действия программы при выполнении различных ее функций, связанных с безопасностью: инсталляции, изменении прав, пересылке паролей, очистки памяти и др. Наиболее известны

процедуры мониторинга работы программы и анализ трассы, а также ручной просмотр в отладочном режиме работы подсистемы безопасности. На практике, динамические методы часто игнорируются экспертами по причине длительности процесса тестирования при отсутствии гарантий выявления нарушений безопасности.

2.5 Выводы по главе 2.

Проведя анализ методов метрологической аттестации программного обеспечения определено, что необходимый метод тестирования программного обеспечения выбирается прежде всего от возможности его применения. Выбор метода тестирования также зависит от жесткости, требований которые предъявляются к программному обеспечению средств измерений.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2018.308-119.ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

3 РАЗРАБОТКА ДОКУМЕНТАЦИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТЕНДА В СООТВЕТСТВИИ С ЕСПД.

3.1 Стенд исследования динамических характеристик датчиков давления.

Динамический измерительный стенд для тестирования различных датчиков давления, с целью проведения экспериментов в ходе учебного процесса в университете. Внешний вид стенда представлен на рисунке 3.1.

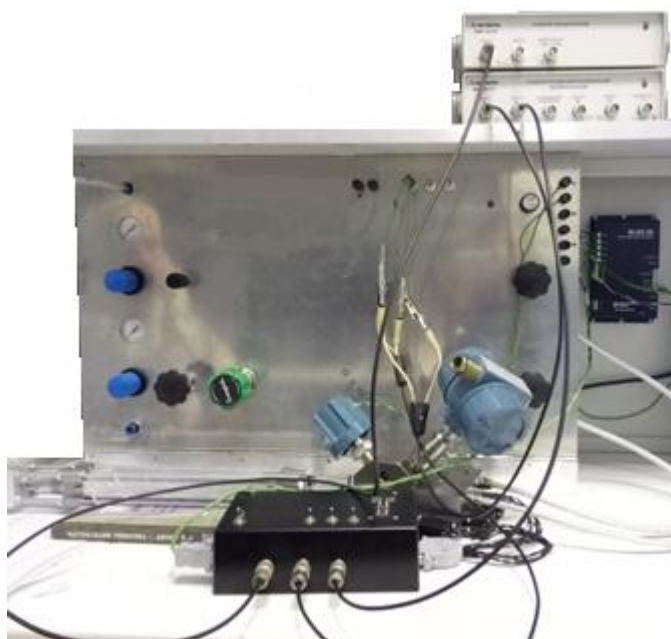


Рисунок 3.1 – Динамический измерительный стенд

Прежде чем описать принцип работы этого стенда, рассмотрим, что же такое динамические измерения, которые будут проводиться на стенде.

Погрешности, которые появляются из-за влияния скоростей изменения измеряемой величины или процесса, называются динамическими погрешностями.

3.1.1 Описание принципа работы динамического измерительного стенда.

Большинство задач, решаемых при измерении давления жидкости и газа, можно разделить на две основные группы: коммерческий учет расхода продукта и

обеспечение контроля и управления технологическими процессами. Каждая из этих задач накладывает определенные специфические требования к характеристикам средств измерений. Так, в первом случае требуется минимизация полной погрешности измерения в квазистатическом режиме (приведенная погрешность измерения 0,1% и меньше при времени усреднения результатов измерения 10–100 сек.). Во втором случае, как правило, не требуется такая высокая точность измерения, но предъявляются более высокие требования к динамическим характеристикам средств измерения. Например, в некоторых применениях требуется обеспечить измерение мгновенного значения давления с погрешностью порядка 1% при амплитуде пульсаций давления до 30% на частоте десятки герц.

В соответствии с ГОСТ 22520-85 динамические характеристики датчиков давления должны нормироваться:

- переходной характеристикой при скачкообразном изменении измеряемой величины;
- временем установления выходного сигнала при скачкообразном изменении измеряемой величины;
- максимальным отклонением выходного сигнала при скачкообразном изменении измеряемой величины.

ГОСТ допускает так же возможность нормировать другие динамические характеристики, установленные в.

Таким образом, выбор нормируемых динамических характеристик, позволяющих однозначно определить динамическую погрешность средства измерения в условиях применения, – вопрос далеко не однозначный, и, очевидно, должен решаться в соответствии или хотя бы с учетом решаемых задач и условий применения средства измерения.

Разработчики и изготовители приборов измерения давления, как правило, нормируют время установления выходного сигнала при скачкообразном

изменении измеряемого параметра, что не всегда позволяет однозначно определить динамическую погрешность измерения и, соответственно, возможность применения датчика в заданных условиях.

С учетом вышесказанного, исследование динамических характеристик приборов измерения давления и их прогнозирование (расчет, моделирование) в процессе разработки является весьма актуальной задачей.

Метрологическая база для обеспечения контроля и калибровки измерителей давления широко представлена датчиками (контроллерами) и калибраторами давления компаний Additel, Fluke, Wika, Метран, ЭЛИМЕТРО, Druck и других. Однако все эти приборы предназначены для работы в статическом режиме (время достижения заданного значения давления порядка 10 с и более). Датчиков давления для контроля динамических характеристик средств измерения давления серийно не производится.

Рассматриваемый стенд предназначен для исследования динамических характеристик приборов измерения давления и представлен на рисунке 3.2.

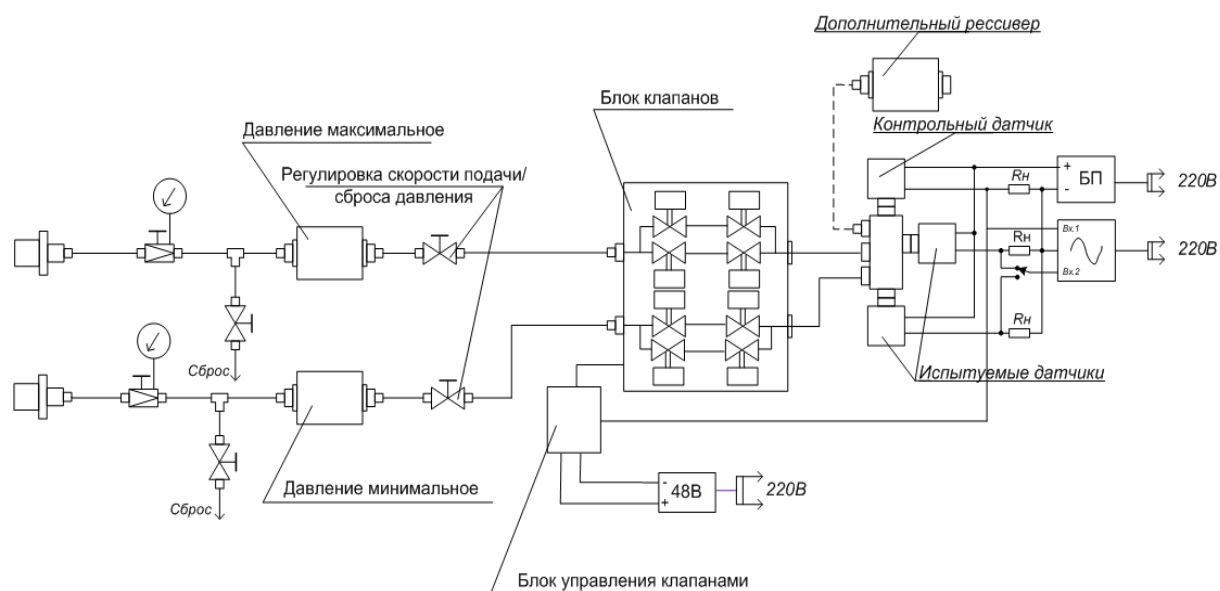


Рисунок 3.2 – Динамический измерительный стенд

Для того чтобы описать принцип работы динамического измерительного стенда, необходимо привести функциональную схему этого стенда.

Стенд состоит из устройства формирования испытательных входных сигналов, измерительного комплекса для контроля параметров испытательных сигналов и выходных сигналов испытуемых измерителей давления и блока управления для управления устройством формирования и расчета характеристик испытуемых изделий.



Рисунок 3.3 – Структурная схема стенда

Для контроля полных динамических характеристик средств измерения давления требуются следующие виды испытательных входных сигналов, формируемых с высокой степенью точности:

- ступенчатый сигнал;
- импульсный сигнал достаточно малой длительности;
- псевдослучайный двух- или трехуровневый сигнал.

Описание способов и устройств формирования пульсирующего давления можно найти в научно-технической и патентной литературе. Обобщая, приведенные способы и устройства можно свести к двум методам:

- изменение количества рабочего тела (жидкости или газа) в заданном рабочем объеме;

- изменение рабочего объема при заданном (фиксированном) количестве рабочего тела.

Примеры возможной реализации методов приведены на рисунке 3.4.

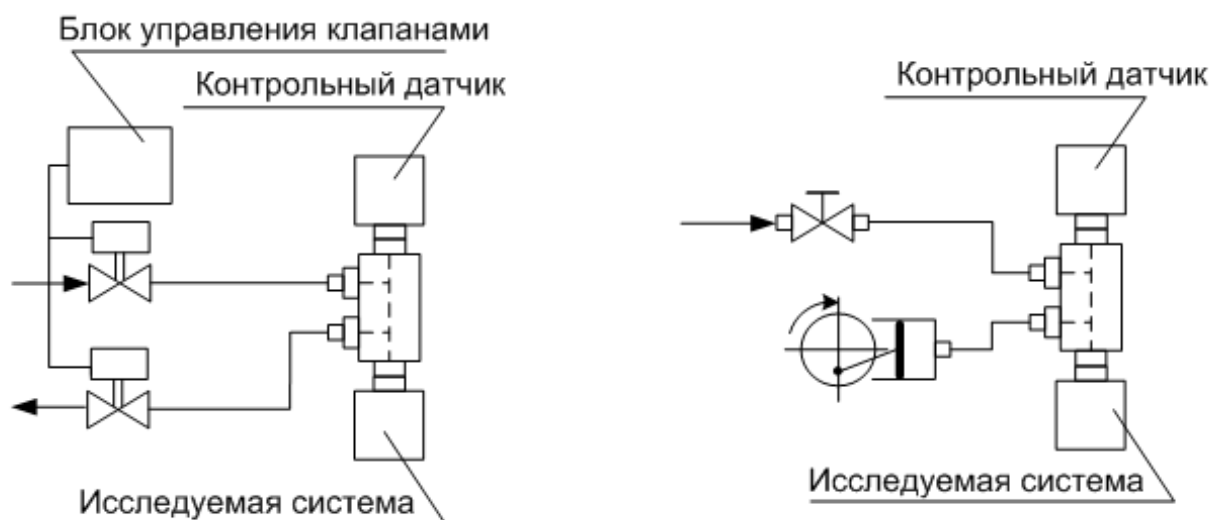


Рисунок 3.4 – Реализация методов

Каждый из этих методов имеет определенные преимущества и недостатки при формировании различных испытательных сигналов, поэтому в стенде применяются оба метода.

Устройство формирования испытательных входных сигналов стенда (рисунок 3.3) состоит из 3-х каналов формирования давления:

- на базе высокочастотных пневмоклапанов (канал «ЭПК»);
- на базе роторного вентиля (канал «Вентиль»);
- на базе компрессорной головки (канал «Компрессор»).

Измерительный комплекс стенда состоит из контрольного датчика давления и осциллографа, предназначенного для измерения параметров выходных сигналов контрольного и исследуемых датчиков. Выходной сигнал контрольного датчика используется так же для управления формированием давления. Очевидно, что

контрольный датчик должен вносить минимальные искажения в характеристики испытательных входных сигналов в рабочей полосе частот.

Для управления стендом разрабатывается программное обеспечение, обобщенный алгоритм которого представлен на рисунке 3.4. В качестве аппаратного обеспечения управления стендом выбран микроконтроллер STM32303C-EVAL.

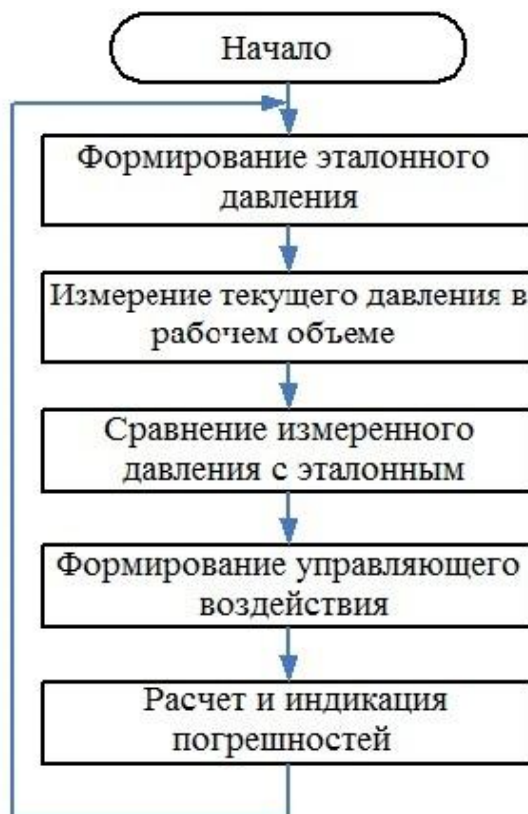


Рисунок 3.4 – Алгоритм программного обеспечения

3.1.2 Генератор опорного сигнала

Генератор опорного сигнала отдельно показан на рисунке 3.5. Включает в себя источник верхнего давления и источник нижнего давления.

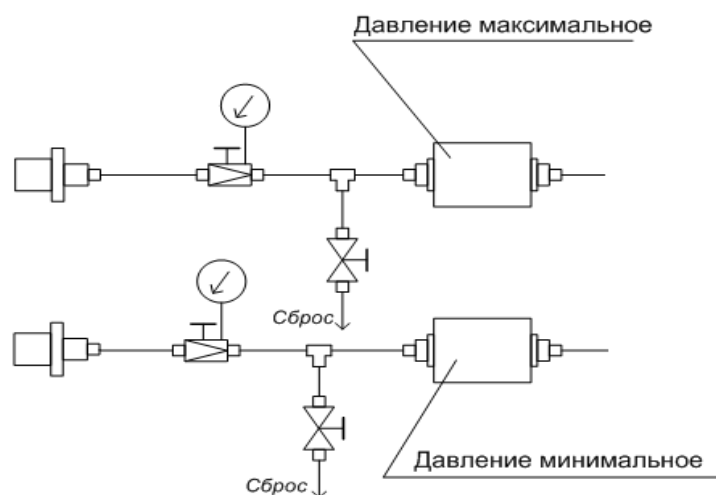


Рисунок 3.5 – Генератор опорного сигнала

Источник верхнего давления через редуктор, работающий от сети, заполняет ресивер воздухом и устанавливает в нем определенное давление. Перед редукторами стоят два клапана, для сброса избыточного давления.

Второй ресивер устанавливает нижнее давление. В частности может быть просто атмосферным давлением, в зависимости от того какую форму выходного сигнала нам необходимо получить.

Вместе они формируют давление синусоидальной формы.

Далее стоят два регулируемые вентиля (рисунок 3.6), у которых очень плавно можно менять расход вручную, за счет игольчатого клапана.

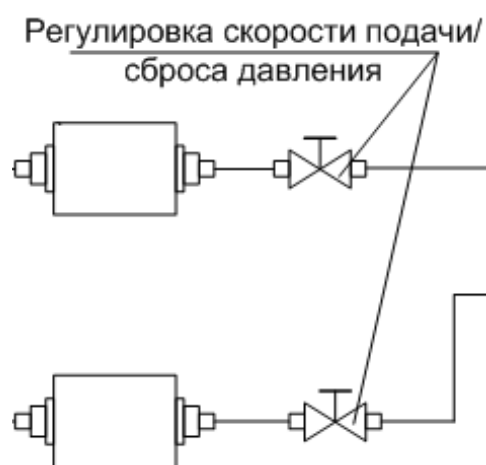


Рисунок 3.6 – Регулируемые вентили

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

3.1.3 Блок клапанов и блок управления клапанами

Блок клапанов изображен на рисунке 3.7.

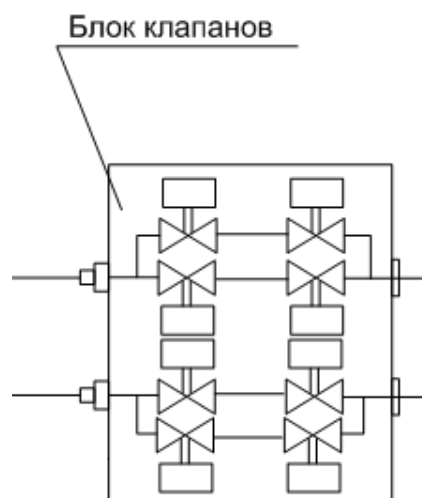


Рисунок 3.7 – Блок клапанов

В блоке используются высокочастотные клапана SMC-SX10 (рисунок 3.8). Эти клапана могут открываться на время не менее порядка 0,45 мс и частотой до 1200 Гц.



Рисунок 3.8 – Высокочастотный клапан SMC-SX10

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Для удаления паузы между открытием клапанов поставлена вторая цепочка клапанов (рисунок 3.9).

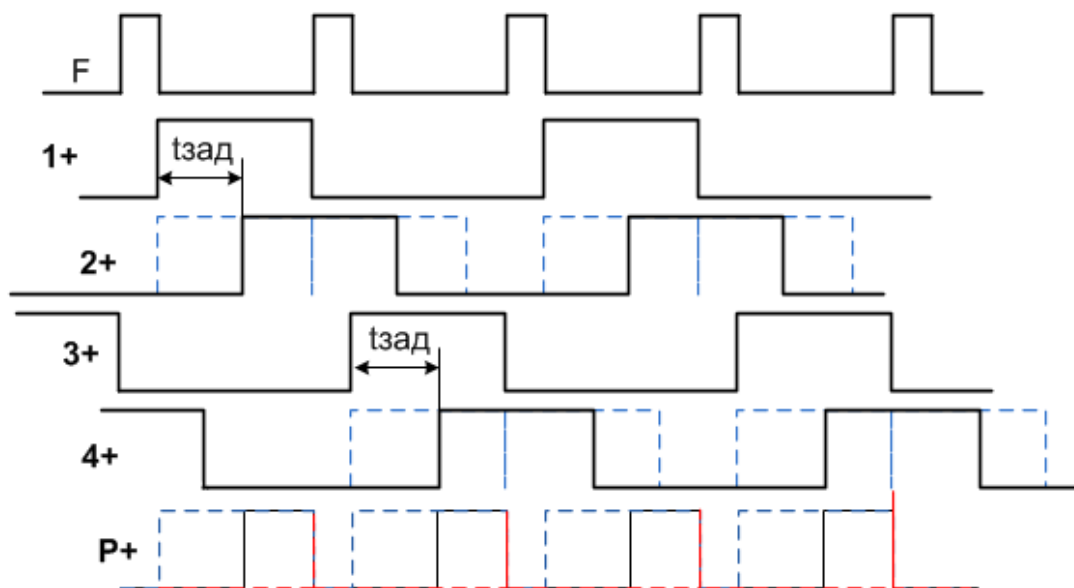


Рисунок 3.9 – Время открытия клапанов

В данном случае за счет такой конструкции блока клапанов, тракт подачи давления практически все время, с небольшими за счет задержек промежутками, открыт.

Аналогичным образом работает тракт на сброс давления.

Для управления клапанами стоит блок, изображенный на рисунке 3.10.

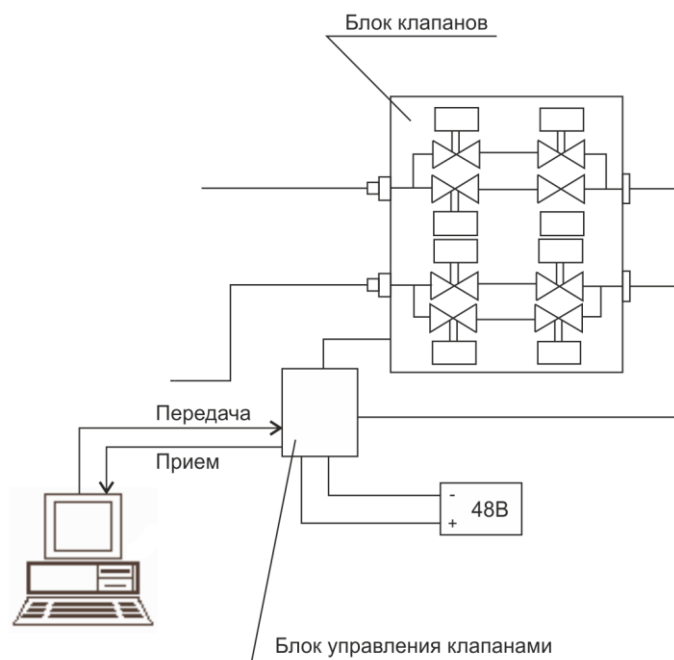


Рисунок 3.10– Блок управления клапанами

Структурная схема блока управления клапанами и блока клапанов изображена на рисунке 3.11.

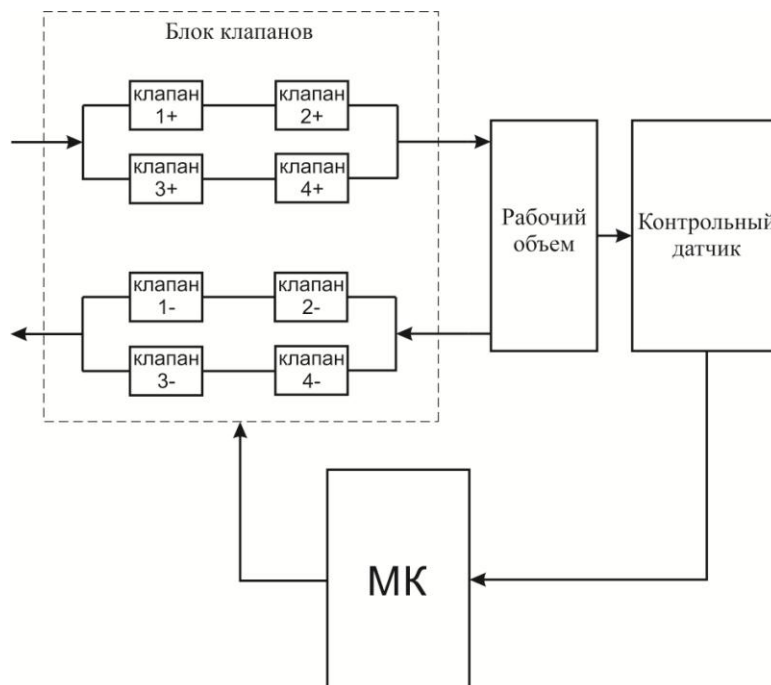


Рисунок 3.11 – Структурная схема блока управления клапанами и блока клапанов

Микроконтроллер считывает данные с измерительных датчиков и опрашивает их на персональный компьютер через последовательный порт, затем сравнивает полученные данные с входным сигналом и подает команду на открытие или закрытие клапанов. Так же рассчитывается время, на которое открываются клапана, и задержка между открытием клапанов. Тем самым производится регулировка уровня давления в ресивере.

3.1.4 Рабочий объем и испытываемые датчики

Рабочий объем представляет собой ресивер с подключенным к нему дополнительным ресивером, испытываемыми и контрольным датчиками. К объему так же подключен осциллограф для контроля выходного сигнала давления (рисунок 3.12).

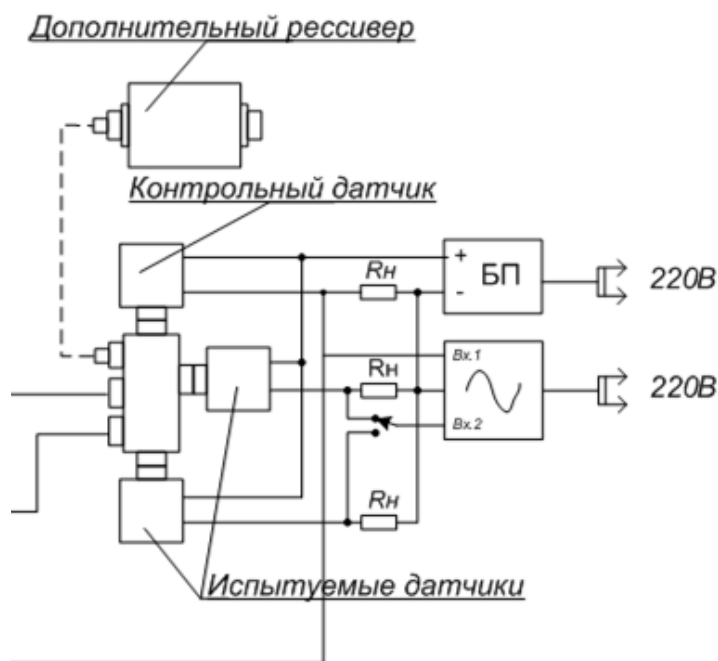


Рисунок 3.12 – Рабочий объем и испытываемые датчики

3.2 Цифровой запоминающий осциллограф АСК-3117.

Цифровой запоминающий осциллограф АСК-3117 — приставка к компьютеру, предназначен для широкого диапазона осциллографических измерений, встречающихся в электронике, разработке и научно-исследовательских лабораториях и используется совместно с персональным компьютером, снабженным параллельным портом LPT или USB - портом.

Прибор изображен на рисунке 3.13.



Рисунок 3.13 – АСК-3117 Осциллограф цифровой запоминающий

Функции осциллографа:

- Режим (безбумажного) самописца, аварийная сигнализация;
- Цифровое послесвечение;
- 4 независимых канала с полосой до 100 МГц на канал;
- Произвольно настраиваемый режим предзаписи/послезаписи;
- Высокая чувствительность (от 2 мВ/дел);
- Кнопка автоматической настройки развертки/синхронизации;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

- Интерфейс — USB 1.1;
- Высокоомный (1 МОм) и низкоомный (50 Ом) вход, программно коммутируемые входы;
- Программная эмуляция входного сигнала;
- Автоматические измерения, в т. ч. определение фазового сдвига;
- Статистические измерения и построение гистограмм;
- Спектроанализатор (БПФ);
- Трансляция данных в MS Excel с сохранением масштабов по осям осциллограммы;
- Дискретизация до 100 МГц в режиме реального времени;
- Цифровая фильтрация;
- Русскоязычный или англоязычный (по выбору пользователя) интуитивно-понятный интерфейс с изменяемым оформлением;
- Сохранение данных и конфигурации прибора;
- Большая, определяемая пользователем длина записи — до 132 кБ на канал.

Виртуальный осциллограф АСК-3117 позволяет пользователю наблюдать форму сигнала, используя четыре независимых канала с разрешением 8 бит и чувствительностью от 2 мВ/дел до 10 В/дел в полосе частот от 0 до 100 МГц с аппаратным буфером на 131071 выборки для каждого канала. Входное сопротивление выбирается программно — 1 МОм или 50 Ом.

Прибор имеет стандартную систему синхронизации, работающую в режимах «ждущий», «одинокный» и «авто» с регулируемым уровнем запуска. Дополнительно запуск может осуществляться по входу внешней синхронизации (порог срабатывания TTL-уровня).

Горизонтальная развертка варьируется в широких пределах и соответствует 3-м основным режимам осциллографа:

- осциллограф в режиме реального времени (диапазоны развертки — от 500 нс/дел до 50 мс/дел; частота дискретизации — до 100 МГц)

- стробоскопический осциллограф (диапазоны от 25 нс/дел до 200 нс/дел; эквивалентная частота дискретизации — до 2 ГГц)

- самописец (безбумажный, диапазоны развертки — от 500 мкс/дел до 50 ч/дел, частота дискретизации — до 50 кГц — зависит от используемого ПК)

Программным обеспечением поддерживаются пробники 1:1, 1:10 и 1:100. Режим открытого и закрытого входа (DC или AC) может быть выбран независимо для каждого канала. В режиме AC подавляются частоты ниже 1 Гц. Любой из входов может быть заземлен без отсоединения пробников от измеряемой системы. Измерение может синхронизироваться по каналу А, В или по сигналу на внешнем входе синхронизации. Порог синхронизации может быть установлен независимо для каждого канала в диапазоне целого экрана осциллографа. Порог внешнего входа синхронизации — ТТЛ совместимый (1,2 В). Прибор имеет стандартную систему синхронизации, работающую в режимах «ждущий», «одиночный» и «автоматический».

Для связи с компьютером в приборе АСК-3117 используется USB 1.1 порт.

АСК-3117 имеет гальваническую развязку по USB, а также выносной блок питания на 6,5 В, который существенно расширяет возможности применения прибора в полевых условиях, придавая необходимую гибкость и мобильность в решении конкретных задач.

ПО дает возможность полного управления прибором, а также предоставляет ряд сервисных возможностей (экспорт/импорт данных, математическая обработка сигналов, расширенные измерения, цифровая фильтрация, аварийная сигнализация в режиме самописца и т. д.)

Каждый канал осциллографа АСК-3117 имеет собственный АЦП. Это означает, что прибор является «истинным четырехканальным осциллографом», где отсутствуют побочные эффекты, свойственные приборам с мультиплексированием каналов.

3.3 Описание отладочной платы стенда

STM32303C-EVAL – оценочная плата, разработанная компанией STMicroelectronics как законченная демонстрационная и отладочная платформа для ARM Cortex-M4 микроконтроллера STM32F303VCT6. Микроконтроллер включает в себя два интерфейса I2C, три интерфейса SPI, пять USART, один CAN, четыре 12-битных АЦП, два 12-битных ЦАП, 40 КБ внутренней памяти данных (DataSRAM), 8 КБ памяти программ (ProgramSRAM), 256 КБ Flash памяти, интерфейс тачскрина, USB FS, интерфейс JTAG для отладки приложений. Оценочная плата STM32303C-EVAL может быть использована как референс-дизайн для разработки собственных решений пользователя.

Широкий диапазон аппаратных особенностей поможет разработчику оценить возможности всех периферийных интерфейсов: USBFS, USART, аудио ЦАП и АЦП, цветной TFTLCD дисплей, IrDA, фоторезистор (LDR), слот для MicroSDкарты памяти, разъем для управления мотором, датчик влажности, яркий светодиод, CAN, приемник ИК, память EEPROM, сенсорные кнопки, датчик температуры и др. Имеющиеся на плате разъемы расширения позволяют с легкостью подключить дочернюю плату или плату специализации для создания уникальных решений.

На плату интегрирован внутрисхемный программатор отладчик ST-LINK/V2.

В состав аппаратного обеспечения платы входят:

- 1) Микроконтроллер STM32F303VCT6;
- 2) Напряжение питания 5 В;
- 3) 4 способа подключения питания к плате: разъем питания, USB разъем ST-LINK/V2, пользовательский USB разъем, дочерняя плата;
- 4) I2S аудио ЦАП, стерео аудио джек, поддерживающий наушники с микрофоном;
- 5) Поддержка 2 ГБ MicroSDкарт через интерфейс SPI;
- 6) Интерфейс RS-232;

- 7) IrDA передатчик;
- 8) Интерфейсы JTAG/SWD и ETM для отладки и трассировки;
- 9) 1 Мбит SPI Flash память;
- 10) Цветной TFT LCD дисплей с разрешением 240x320, подключенный через интерфейс SPI;
- 11) Четырехпозиционный джойстик с селектором;
- 12) 4 цветных пользовательских светодиода, один яркий светодиод;
- 13) Датчик влажности;
- 14) Разъемы расширения для подключения дочерней платы;
- 15) Разъем USB FS;
- 16) Сенсорные кнопки;
- 17) Часы реального времени с резервной батареей;
- 18) CAN 2.0 A/B совместимый разъем;
- 19) Фоторезистор;
- 20) Потенциометр;
- 21) 2 разъема для управления мотором.

На рисунке 3.14 приведена плата.



Рисунок 3.14 – Внешний вид платы STM32303C-EVAL

3.4 Описание программы блока управления клапанами по ГОСТ 19.402-78

Описание программы выполнено в соответствии с требованиями ГОСТ 19.402-78.

3.4.1 Общие сведения

Программное обеспечение имеет название «MTRN».

Для функционирования программного обеспечения необходима программа IAR workbench for ARM 8.20.2. Программное обеспечение написано на языке программирования C++.

3.4.2 Функциональное назначение

Программное обеспечение «MTRN», предназначено для управления отладочной платой имеющей в своем составе следующие функции:

- 1) Формирование эталонного давления;
- 2) Измерение текущего давления в рабочем объеме;
- 3) Сравнение измеренного давления с эталонным;
- 4) Формирование управляющего воздействия;
- 5) Расчет и индикация погрешностей.

3.4.3 Используемые технические средства.

При разработке ПО обеспечения использовались следующие технические средства:

- 1) Персональный компьютер ASUS P48S.

Таблица 3.1 – Основные характеристики

Классификация	
Тип устройства	Персональный компьютер
Модель	ASUS P48S
Установленная операционная система	Windows XP
Процессор	
Производитель процессора	Intel
Линейка процессора	Intel Core 2 Duo
Модель процессора	Core 2 Duo E4600
Количество ядер процессора	2
Частота	2,4 ГГц
Кэш L2	512 Кб
Кэш L3	3 Мб

- 2) Отладочная плата STM32303C-EVAL.

STM32303C-EVAL – отладочная плата, разработанная компанией STMicroelectronics как законченная демонстрационная и отладочная платформа для ARM Cortex-M4 микроконтроллера STM32F303VCT6. Микроконтроллер включает в себя два интерфейса I2C, три интерфейса SPI, пять USART, один CAN, четыре 12-битных АЦП, два 12-битных ЦАП, 40 КБ внутренней памяти данных (DataSRAM), 8 КБ памяти программ (ProgramSRAM), 256 КБ Flash памяти, интерфейс тачскрина, USB FS, интерфейс JTAG для отладки приложений. Оценочная плата STM32303C-EVAL может быть использована как референс-дизайн для разработки собственных решений пользователя.

3.4.4 Вызов и загрузка

Вызов и загрузка организуется в программе IAR embedded workbench ide. Для этого необходимо запустить программу IAR embedded workbench ide.

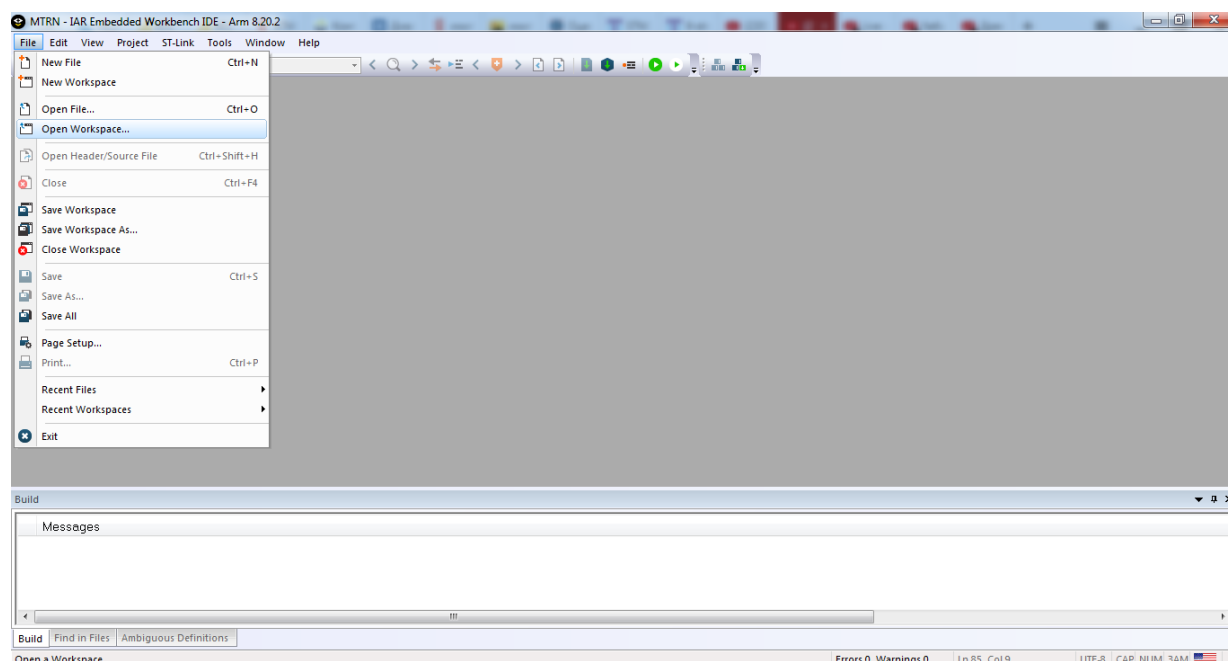


Рисунок 3.15 – Программа IAR

Затем нажать вкладку «File» в раскрывающемся меню выбрать «Open», далее нажать «Workspase», пользователю будет предложено выбрать файл, необходимо

будет открыта папка с расположением программы и выбран файл «MTRN», нажать кнопку открыть. Открытая программа представлена на рисунке 3.16.

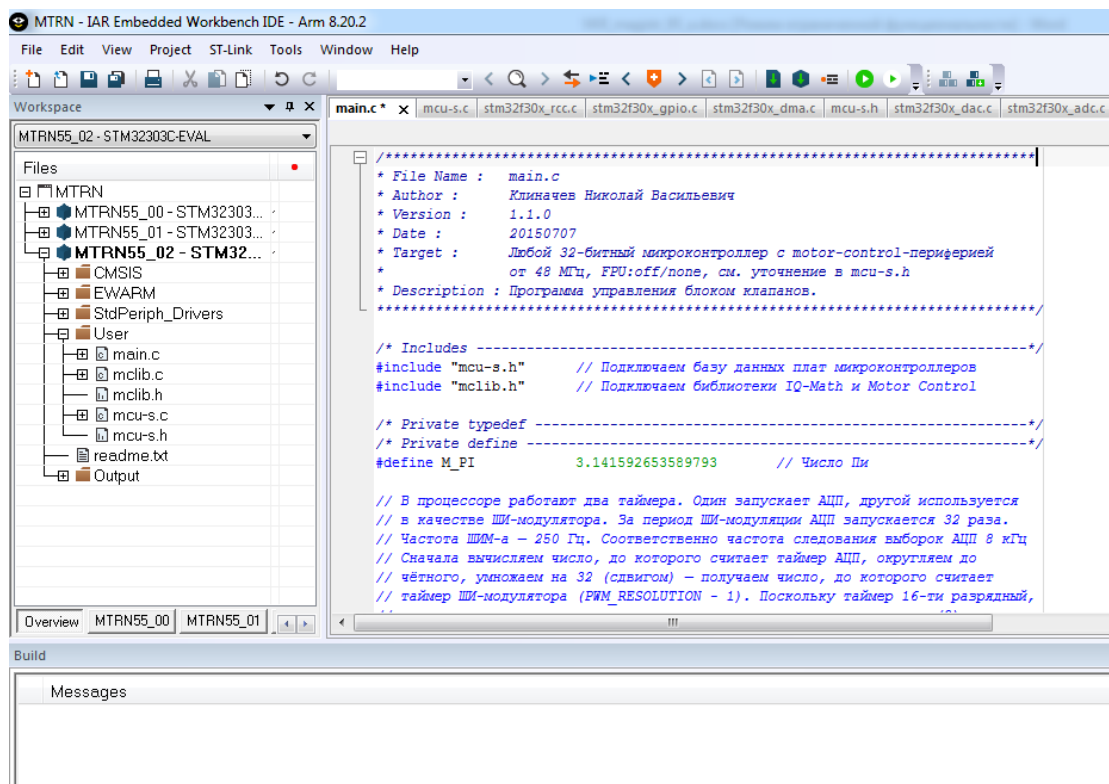


Рисунок 3.16 – Открытая программа MTRN

Для того чтобы начать работать с программным обеспечением необходимо собрать схему на рисунке 3.17.



Рисунок 3.17 – Схема подключения стенда

Следующим действием необходимо в программе IAR, нажать кнопку “Download and Debug”, при запуске будет выдано следующее сообщение представленное на рисунке 3.18.

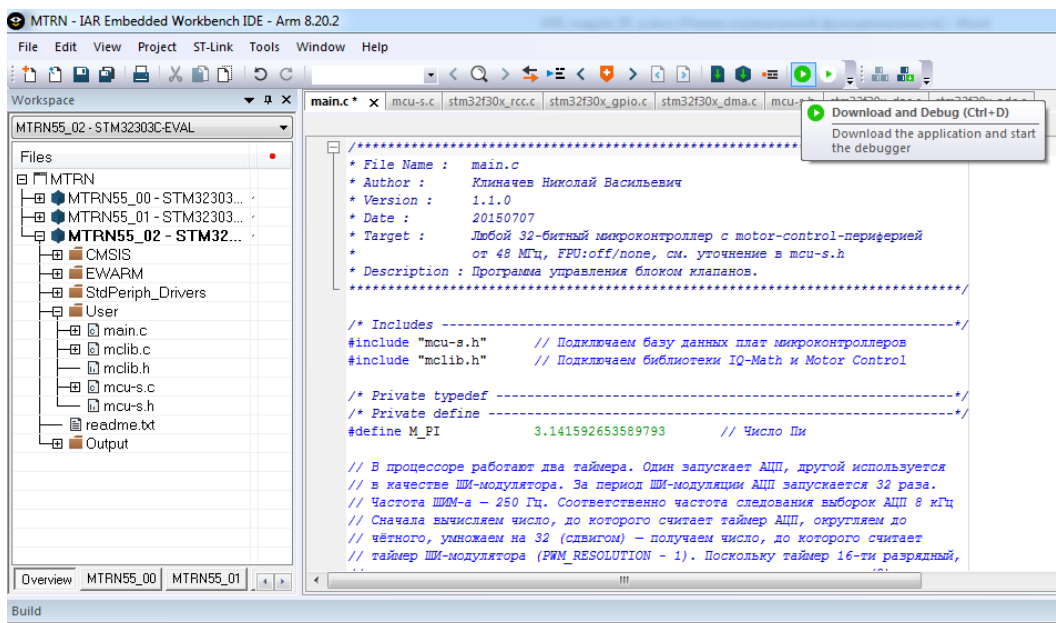


Рисунок 3.18 – Сообщение при запуске программы

Необходимо нажать кнопку “Skip” в результате будет открыто следующее окно, представленное на рисунке 3.19.

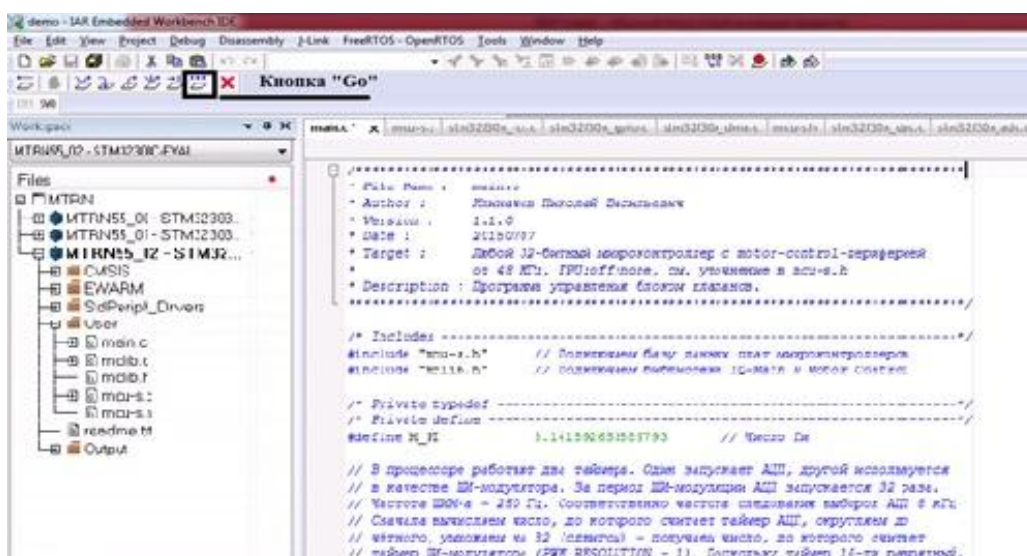


Рисунок 3.19 – Работа программы

Для запуска работы программного обеспечения необходимо нажать кнопку “Go”, выделенную на рисунке 3.19, будет запущена программа управления диодами, а также измерения напряжения.

3.4.5 Входные данные

Входными данными являются:

Действительная переменная X – частота входного сигнала;

Действительная переменная B – размах входного сигнала;

Действительная переменная A – смещение входного сигнала;

Действительная переменная R – фаза входного сигнала;

Действительная переменная Z – форма входного сигнала.

3.4.6 Выходные данные

Выходными данными являются:

Массив вещественных значений Y , принятый сигнал от генератора АКТАКОМ АНР-3122. Массив вещественных эталонных значений.

Массив вещественных значений G , принятый сигнал от блока управления клапанов. Массив вещественных измеренных значений.

3.5 Руководство оператора по ГОСТ 19.505-79

3.5.1 Назначение программы

Программа предназначена для управления отладочной платой с целью управления работы клапанов.

3.5.2 Условия выполнения программы

Для выполнения данного раздела необходим следующий состав аппаратурных и программных средств:

					ЮУрГУ – 12.03.01.2018.308-119.ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

- 1) Персональный компьютер либо ноутбук. В данной ВКР использовался персональный компьютер (ПК) фирмы ASUS, модель ПК P48S;
- 2) Программа IAR embedded workbench ide;
- 3) Отладочная плата STM32303C-EVAL;
- 4) Два USB – кабеля USB 2.0.

3.5.3 Выполнение программы

В данном разделе необходимо описать последовательность действий оператора обеспечивающих загрузку, запуск, выполнение, завершение программы.

1. Загрузка программы.

Для выполнения данного действия оператору необходимо:

- 1) Собрать схему, приведенную на рисунке 3.17;
- 2) Запустить на ПК (ноутбуке), программу IAR embedded workbench ide;
- 3) В программе IAR embedded workbench ide нажать вкладку “File” в раскрывающемся меню выбрать “Open”, далее нажать “Workspace”, оператору будет предложено выбрать файл, необходимо будет открыть папку с расположением программы и выбрать файл ”MTRN”, нажать кнопку открыть. Открытая программа представлена на рисунке 3.20.

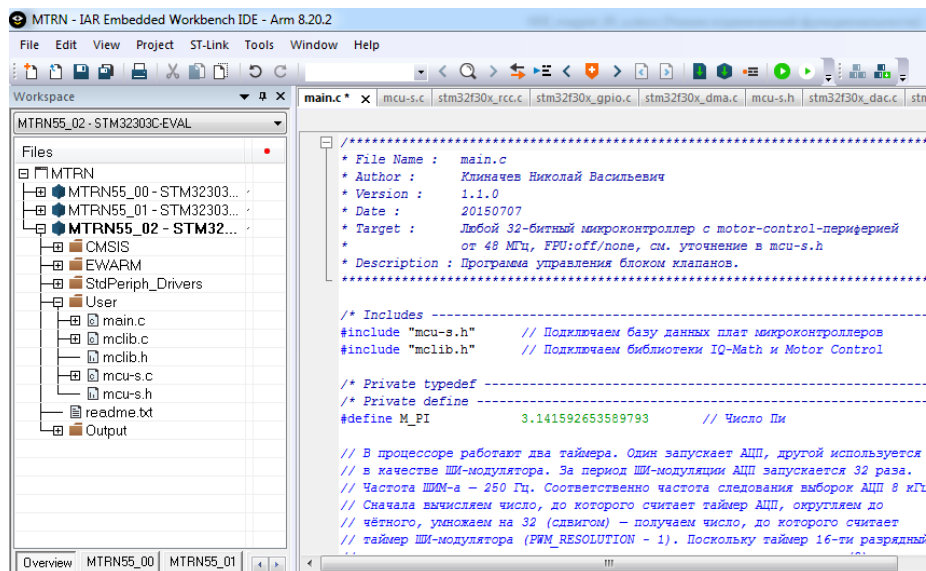


Рисунок 3.20 – Открытая программа MTRN

2. Запуск и выполнение программы

- 1) В программе IAR, нажать кнопку “Download and Debug”, при запуске будет выдано следующее сообщение представленное на рисунке 3.21.

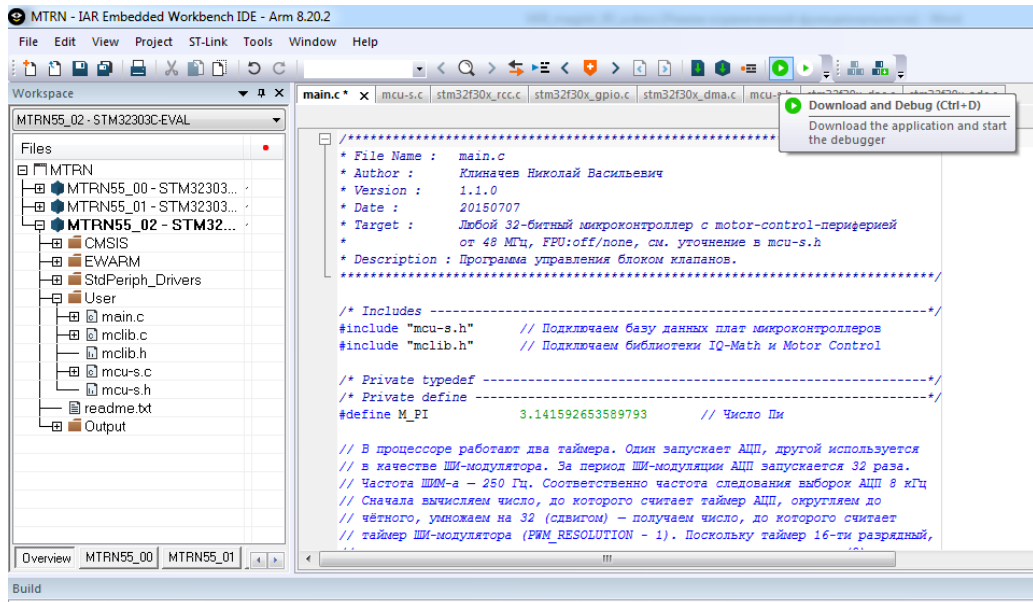


Рисунок 3.21 – Сообщения при запуске программы

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

- 2) Для выполнения работы программы необходимо нажать кнопку “Go”, выделенную на рисунке 3.22, будет запущена программа управления диодами, а также измерения напряжения.

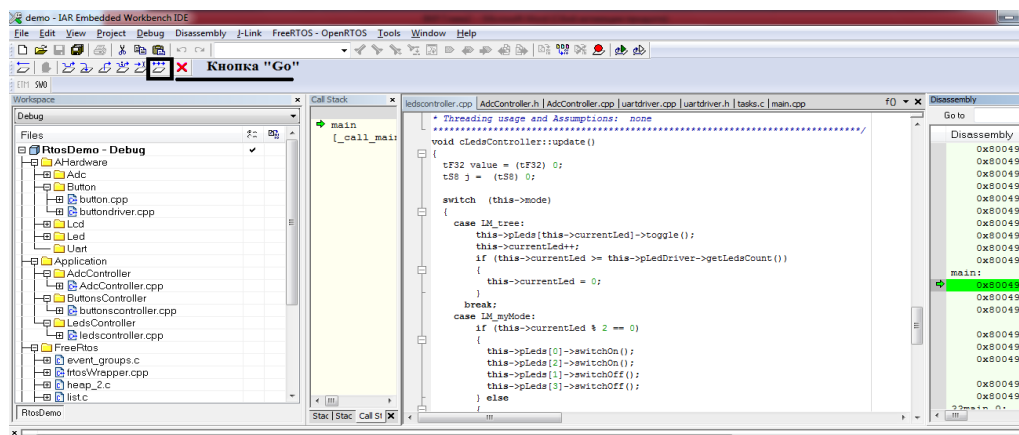


Рисунок 3.22– Работа программы

3. Завершение работы

- 1) Для завершения работы программы необходимо нажать кнопку “” выделенную на рисунке 3.23;

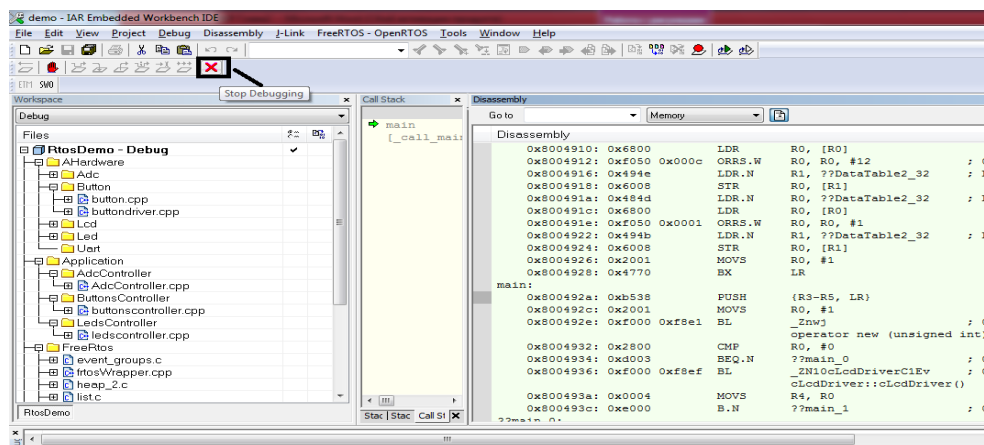


Рисунок 3.23 – Завершение работы программы.

- 2) Закрывать программу IAR embedded workbench ide;
3) Разобрать схему, представленную на рисунке 3.17.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

3.6 Руководство программиста по ГОСТ 19.503-79

3.6.1 Общие сведения о программе

Программа предназначена для управления отладочной платой с целью управления работы клапанов.

Для выполнения данного раздела необходим следующий состав аппаратурных и программных средств:

- 1) Персональный компьютер либо ноутбук. В данной ВКР использовался персональный компьютер (ПК) фирмы ASUS, модель ПК P48S;
- 2) Программа IAR embedded workbench ide;
- 3) Отладочная плата STM32303C-EVAL;
- 4) Два USB – кабеля USB 2.0.

3.6.2 Проверка программы и системные сообщения программисту

Для проверки работы программы необходимо запустить файл "MTRN" в программе IAR embedded workbench ide. После запуска нажать кнопку "Start" будет выполнен запуск программы, после запуска программы в зависимости от выполняемой функции на экране отладочной платы будет выводиться напряжение потенциометра, а также при определенном напряжении будут последовательно загораться светодиоды. При наличии ошибок в коде программы, в поле "Messages" будут отражаться ошибки, которые не позволяют программе выполнить запуск пример приведен на рисунке 3.24.

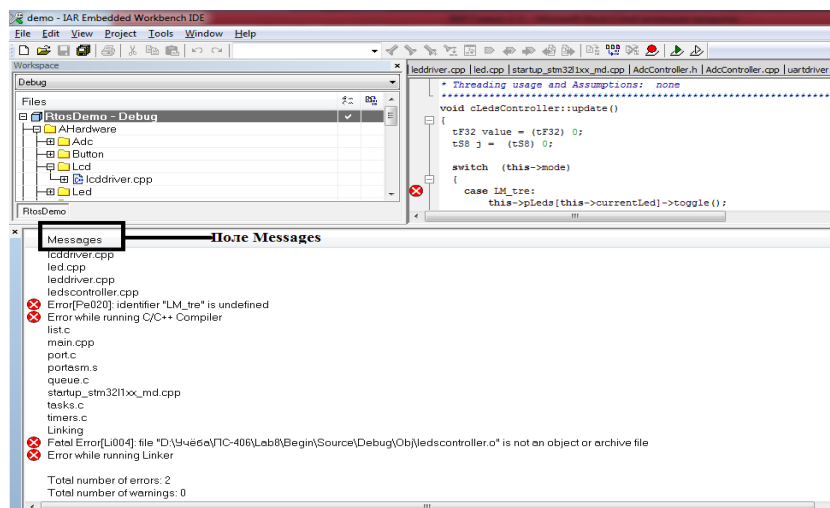


Рисунок 3.24 – Вывод ошибок в поле ”Messages”

3.7 Методика выполнения измерений

3.7.1 Область применения

Настоящий документ устанавливает методику выполнения измерений (МВИ) давления с помощью стенда динамической характеристики датчиков давления, состоящего в общем случае из основных узлов:

- Отладочной платы STM32303C-EVAL;
- Генератора АКТАКОМ АНР-3122;
- Осциллографа АКТАКОМ АСК-3117;
- Персональный компьютер с программой IAR workbench;
- Соединительных линий и вспомогательных устройств.

Положения документа распространяются на измерение давления методом метрологической аттестации программного обеспечения с использованием эталонного программного обеспечения, изготовленными с требованиями настоящего документа.

Настоящий документ дополняет ГОСТ 8.563-2009 тем, что рассматривает практическое применение метода метрологической аттестации ПО с использованием эталонного ПО.

3.7.2 Нормативные документы

В настоящем документе использованы ссылки на следующие стандарты:

РМГ 29–2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения

ГОСТ 8.207–76 ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями.

Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения[47]

ГОСТ Р 8.736–2011 ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения[48]

МИ 2091–1990 ГСИ. Измерения физических величин. Общие требования[49]

МИ 2955–2010 ГСИ. Типовая методика аттестации программного обеспечения средств измерений.

ГОСТ 8.395–80 ГСИ. Нормальные условия измерений при поверке. Общие требования[50]

3.7.3 Термины и определения

Методика измерений: Совокупность конкретно описанных операций, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с установленными показателями точности.

Средство измерений: Техническое средство, предназначенное для измерений и имеющее нормированные (установленные) метрологические характеристики.

Электрическое напряжение: Физическая величина, значение которой равно работе эффективного электрического поля (включающего сторонние поля), совершаемой при переносе единичного пробного электрического заряда из точки А в точку В.

Эталонное ПО: Программное обеспечение, отвечающее наивысшим требованиям к его точностным и функциональным характеристикам, подтвержденным (в ряде случаев независимыми методами) при его неоднократном тестировании и использовании.

Результат измерения: множество значений величины, приписываемых измеряемой величине вместе с любой другой доступной информацией с указанием соответствующего показателя точности.

Точность результата измерения: Близость измеренного значения к истинному значению измеряемой величины.

Показатель точности измерения: Установленная характеристика точности любого результата измерений, полученного при соблюдении требований и правил данной методики измерений.

Погрешность результата измерения: Разность между измеренным значением величины и опорным значением величины.

Условия проведения измерений: Совокупность влияющих величин, описывающих состояние окружающей среды и средства измерений.

3.7.4 Обозначения и сокращения

Основные условные обозначения параметров приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.2 – Условные обозначения параметров

Условное обозначение	Наименование параметра	Единица физической величины
U_o	Электрическое напряжение с генератора АКТАКОМ АНР-3122	В
U_a	Электрическое напряжение принятое осциллографом АКТАКОМ АСК-3107	В
ST	Отладочная плата STM32303C-EVAL	–
PC	Персональный компьютер	–

Индексы, входящие в условные обозначения параметров, относят к величинам, характеризующим эти параметры.

Следующие индексы относятся к обозначениям:

n – нормированный;

ср – среднее значение контролируемого параметра;

min – минимальное значение контролируемого параметра;

max – максимальное значение контролируемого параметра.

3.7.5 Условия проведения измерений

Условия проведения измерений должны соответствовать основным положениям разделов 1,5,6 и 7 ГОСТ 8.563-2009.

Климатические условия эксплуатации средств измерений должны соответствовать условиям их применения, установленными изготовителями этих средств.

Диапазоны измерений применяемых средств измерений должны соответствовать диапазонам измерений контролируемых параметров.

Погрешность средств измерений контролируемых параметров выбирают с учетом обеспечения необходимой точности измерительного комплекта.

Характеристики энергоснабжения средств измерений в условиях эксплуатации должны соответствовать характеристикам, установленным изготовителями этих средств.

Средства измерения применяют только при положительных результатах поверки, которые оформляют свидетельством о поверке и (или) клеймением.

Средства измерений следует также применять в соответствии с требованиями технической документации по эксплуатации и безопасности их применения.

3.7.6 Метод измерения

Метод измерения – прямые однократные измерения в соответствии с требованиями Р 50.2.038 – 2004 «Однократные прямые измерения».

3.7.7 Применяемые средства измерения

В состав измерительного комплекта входят основные узлы, перечисленные в разделе 3.7.1.

Перечень узлов определяют исходя из условий эксплуатации измерительного комплекта и технико-экономической целесообразности.

В состав комплекта входят:

- Отладочная плата STM32303C-EVAL;
- Генератор АКТАКОМ АНР-3122;
- Осциллограф АКТАКОМ АСК-3117;
- Персональный компьютер с программой IAR workbench;
- Соединительные провода.

Все элементы входящие в состав комплекта описаны в предыдущих разделах.

3.7.8 Подготовка к измерениям и их проведение

Перед измерениями проверяют:

- соответствие оборудования для проведения измерений в соответствии с техническим заданием;
- техническую исправность оборудования измерительного комплекта;
- правильность монтажа оборудования электрического комплекта;
- соответствие условиям проведения измерений требованиям в разделе 5.

По результатам проверки и в соответствии с требованиями к обеспечению необходимой точности измерений определяют условно-постоянные параметры, а по ним и различные постоянные коэффициенты.

После проверки все средства измерений приводят в рабочее состояние и измеряют действительные значения параметров, определяют количество измерений.

При обнаружении несоответствия измерений с требованиями принимают меры, направленные на исправление этого несоответствия.

3.7.9 Обработка результатов измерений

Обработка результатов измерений происходит несколькими этапами:

- Рассчитываем полученные значения с учетом смещения;
- В соответствии с Р 50.2.038 – 2004 «Однократные прямые измерения» найдем погрешности измерения давления для всех значений частот;
- Находим максимальные значения погрешностей измерений давления для всех значений частот;
- Найдем значения среднеквадратичного отклонения (СКО) для всех значений частот;
- Находим среднее арифметическое для модуля разности эталонного и измеренного значений;
- Находим СКО среднего арифметического;
- Находим доверительные границы случайной погрешности результата измерения.

3.8 Разработка программы метрологической аттестации

Метрологическая аттестация необходима для средств измерений имеющих в своем составе встроенное программное обеспечение. Во-первых, метрологическая аттестация относится к средствам измерений, которые имеют особое значение для защиты жизни и здоровья граждан, охраны окружающей среды, обеспечения обороны, порядка и безопасности государства и общества.

При метрологической аттестации ПО средств измерений выдвигаются следующие требования:

- 1) к документации,
- 2) к структуре ПО СИ,
- 3) к влиянию ПО СИ на метрологические характеристики СИ,
- 4) к разделению ПО и его идентификации,
- 5) к защите ПО и данных,
- 6) специальные.

3.8.1 Проверка документации

Согласно требованиям ГОСТ Р 8.654 – 2015 «Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Требования к программному обеспечению средств измерений. Основные положения», а также стандартам Единой системы программной документации (ЕСПД) и другим документам проверяется наличие, достаточность и правильность представленной документации к программному обеспечению.

Состав документов, сопровождающих ПО СИ при его аттестации:

- 1) Техническое задание по ГОСТ 19.201-78 «Единая система программной документации (ЕСПД). Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению»;
- 2) Спецификация по ГОСТ 19.202-78 «Единая система программной документации (ЕСПД). Спецификация. Требования к содержанию и оформлению»;
- 3) Описание применения по ГОСТ 19.502-78 «Единая система программной документации (ЕСПД). Описание применения. Требования к содержанию и оформлению»;
- 4) Схемы алгоритмов, программ, данных и систем по ГОСТ 19.701-90 «Единая система программной документации (ЕСПД). Схемы алгоритмов,

программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения»;

5) Руководство пользователя.

Список представленных документов, сопровождающих ПО, методы проверки документации могут изменяться.

3.8.2 Проверка разделения программного обеспечения

Для выделения метрологически значимой части в составе программного обеспечения средств измерений, производится разделение программного обеспечения средств измерений.

В состав метрологически значимой части в программном обеспечении СИ входят программы и программные модули, выполняющие функции сбора, передачи, обработки, хранения и представления измерительной информации. После того как был утвержден тип средства измерения, метрологически значимая часть в программном обеспечении не может быть изменена. Реорганизация метрологически значимой части в программном обеспечении приводит к изменению его идентификационных данных, а также к необходимости дополнительной аттестации программного обеспечения.

Разделение программного обеспечения на метрологически значимые и не значимые части проводится как на «низком», так и на «высоком» уровнях.

Основываясь на анализе документации и проведении функциональных проверок, определяется точность разделения программного обеспечения средств измерений или устанавливается отсутствие разделения. Таким образом, проверяется, что к метрологически значимой части программного обеспечения относятся:

Программы и программные модули, принимающие участие в обработке (расчетах) результатов измерений или влияющие на них;

Программы и программные модули, осуществляющие представление измерительной информации, ее хранение и передачу, идентификацию и обновление (загрузку) ПО, защиту ПО и данных;

Параметры в программном обеспечении СИ, участвующие в вычислениях и влияющие на результат измерений, компоненты защищенного интерфейса для обмена данными между метрологически значимыми и незначимыми частями ПО СИ.

3.8.3 Установление идентификационных данных и проверка методов идентификации программного обеспечения.

Доступ к исполняемому коду может быть организован с помощью стандартных интерфейсов связи (RS 232, USB) или с помощью других, которые описаны в документации.

Исходя из анализа документации определяют, каким из следующих способов будет осуществляться идентификация ПО СИ:

- 1) С помощью интерфейса пользователя;
- 2) С помощью интерфейса связи.

К распознающим данным относятся:

- 1) Наименование ПО СИ;
- 2) Номер версии метрологически значимой части ПО СИ;
- 3) Контрольная сумма метрологически значимой части ПО СИ.

3.8.4 Проверка структуры программного обеспечения

Через интерфейс пользователя производится проверка отсутствия грубого влияния на метрологически значимые части ПО и данные.

Затем проводится проверка правильности связи между метрологически значимой и незначимой частями программного обеспечения.

Исходя из анализа документации на ПО убеждаются в том, что в его состав входит:

- 1) полный перечень всех команд интерфейса пользователя;
- 2) описание их назначения и воздействия на функции СИ и/или данные.

Производя функциональные проверки удостоверяются, что команды и данные, которые вводятся через интерфейс пользователя ПО СИ, не оказывают влияния на достоверность результатов измерений.

3.8.5 Оценка влияния программного обеспечения на метрологические характеристики средств измерений

Оценка влияния ПО на МХ СИ определяется методикой аттестации и включает в себя:

- 1) Анализ программного обеспечения и его алгоритмов;
- 2) Определение критерия оценки влияния программного обеспечения на метрологические характеристики СИ;
- 3) Выбор опорного программного обеспечения;
- 4) Получение оценки влияния ПО на метрологические характеристики СИ средством обработки результатов тестирования.

Метод метрологической аттестации с использованием опорных «эталонных» данных, получаемых с выхода генератора АКТАКОМ АНР-3122;

При отсутствии опорного ПО, реализованного в генераторе АКТАКОМ АНР-3122, используется метод метрологической аттестации с применением генерации «эталонных» данных. Если имеется несколько ПО одного уровня вычислительных возможностей и при отсутствии опорного ПО, то используется метод сличения программного обеспечения.

Метод метрологической аттестации с применением эталонного программного обеспечения. Используется при наличии опорного ПО, с помощью которого могут быть идентично воспроизведены функции аттестуемого ПО. В качестве эталонного ПО может быть применено: аттестованное ПО СИ, функциональное назначение которого аналогично тестируемому ПО.

Представление результатов оценки влияния ПО на МХ СИ.

На основе используемых методов оценки влияния ПО на МХ СИ, перечисленных в предыдущих пунктах настоящей Рекомендации, рассчитывают характеристики точности тестируемых алгоритмов, например его исполнительную характеристику, относительное отличие тестовых результатов вычислений от опорных.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВСТРОЕННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТЕНДА ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ЕГО МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ АТТЕСТАЦИИ.

4.1 Исследование встроенного программного обеспечения стенда динамических испытаний датчиков давления

Проанализировав методы метрологической аттестации программного обеспечения, был выполнен эксперимент заключающийся в сравнении сигнала клапанов с эталонным сигналом.

В качестве эталонного сигнала мы используем сигнал заданный от имеющегося на стенде генератора АКТАКОМ АНР-3122.

При проведении данного опыта были произведены десять серий измерений полученных данных сигналов осциллографа при разных значениях частот (2,5 Гц; 5 Гц; 7,5 Гц; 10 Гц; 12,5 Гц; 15 Гц; 17,5 Гц; 20 Гц; 22,5 Гц; 25 Гц). Эталонный сигнал был задан с помощью генератора АКТАКОМ АНР-3122. Проведенные эксперименты и расчеты описаны далее.

4.2 Эксперимент «Сравнение сигнала с эталонным»

Был проведен эксперимент, который заключался в сравнении 2 сигналов. Первый сигнал являлся эталонным и был задан с генератора АКТАКОМ АНР-3122. Второй сигнал был измеренным. Оба этих сигнала выводились на электронный осциллограф АКТАКОМ АСК-3117. Эксперимент проводился в соответствии с данной последовательностью:

- 1) Собираем схему (рисунок 3.17);
- 2) Включаем персональный компьютер;
- 3) Подключаем генератор к блоку управления клапанов и персональному компьютеру;

- 4) Включаем генератор;
- 5) Подключаем осциллограф к блоку управления клапанов и персональному компьютеру;
- 6) Включаем осциллограф;
- 7) Подключаем стенд динамических испытаний датчиков давления к персональному компьютеру;
- 8) На персональном компьютере запускаем IAR embedded workbench ide и загружаем программу «MTRN»;
- 9) На персональном компьютере запускаем ПО генератора «АКТАКОМ Arbitrary Generator» и выставляем эталонные значения (2,5 Гц; 5 Гц; 7,5 Гц; 10 Гц; 12,5 Гц; 15 Гц; 17,5 Гц; 20 Гц; 22,5 Гц; 25 Гц);
- 10) На персональном компьютере запускаем ПО осциллографа «АКТАКОМ Oscilloscope Pro (multichannel)» (заранее на осциллографе подготавливаем все настройки);
- 11) На осциллографе получаем значения двух сигналов (эталонного и измеренного);
- 12) При помощи стандартных инструментов ПО осциллографа выводим полученные значения сигналов в таблицу и осциллограммы.

На рисунке 4.1 представлен вид ПО генератора «АКТАКОМ Arbitrary Generator» с заданной частотой 17,5 Гц.

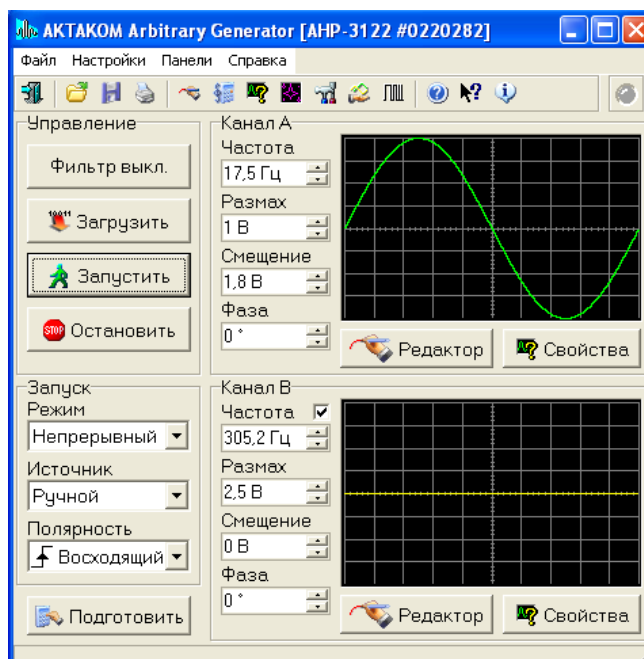


Рисунок 4.1– Установка эталонного сигнала для 17,5 Гц

При проведении данного эксперимента было произведено десять серий измерений полученных данных сигналов осциллографа при разных значениях частот (2.5 Гц, 5 Гц, 7.5 Гц, 10 Гц, 12.5 Гц, 15 Гц, 17.5 Гц, 20 Гц, 22.5 Гц, 25 Гц). Полученные экспериментальные значения приведены в таблицах 4.1-4.10, в сокращенном виде. На рисунках 4.2-4.11 представлены графики полученных экспериментальных данных при помощи стандартных инструментов ПО осциллографа.

Таблица 4.1 – Экспериментальные данные для 2,5 Гц

Время, С	Канал 1, В	Канал 2, В
0	-0,168377486	-0,065389916
0,001	-0,1610705	-0,024795554
0,002	-0,153365231	0,027777976
0,003	-0,145522094	0,077486922
0,004	-0,137541089	0,112045745
0,005	-0,129177118	0,127318417
0,006	-0,120322951	0,124055549
0,007	-0,11163729	0,102073319
0,008	-0,104299667	0,063026138
0,009	-0,098478589	0,017499177
...
0,986	0,364496289	0,591518785
0,987	0,359042857	0,555443417
0,988	0,35354347	0,511570868
0,989	0,34841173	0,472630917
0,99	0,342743838	0,451154201
0,991	0,335436853	0,454432388
0,992	0,326904377	0,483767559
0,993	0,318770186	0,532970991
0,994	0,312550823	0,585942804
0,995	0,309196044	0,62059354

АКТАКОМ Oscilloscope Pro (multichannel) [Подключено устройств: 2]

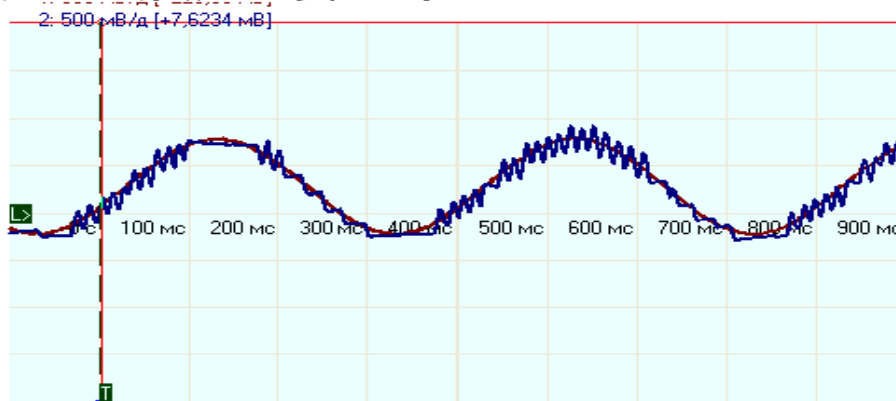
10 мая 2018 г. 14:00:58

Масштаб

Шкала: 100 мс/д
Частота: 1 кГц
Период: 1 мс
YCh: 500 мВ/д

Относительные измерения

Время
В-А: 770,42 мкс
А-Т: 154,08 мкс
В-Т: 924,5 мкс
От: Метка 1 До: Метка 2: NAN
Значения
dU: 4,0471 В
dU(Метка 1): NAN



Абсолютные измерения

Вертикальное положение курсоров

Осн.	S
K	-2,2514 В
L	1,7956 В

Горизонтальное положение курсоров и меток

Время	Значения	Обозначения S
T	0 с	NAN
A	154,08 мкс	NAN
B	924,5 мкс	NAN

Рисунок 4.2– График для 2,5 Гц

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Таблица 4.2 – Экспериментальные данные для 5 Гц

Время, С	Канал 1, В	Канал 2, В
-0,284	0,131423372	0,324668295
-0,283	0,125740161	0,313286554
-0,282	0,109333911	0,285590476
-0,281	0,085482808	0,254830672
-0,28	0,060375578	0,230719152
-0,279	0,039067367	0,215921358
-0,278	0,022017735	0,208936064
-0,277	0,006852294	0,207235696
-0,276	-0,007807633	0,208476505
-0,275	-0,020996971	0,210529201
...
0,986	-0,38797001	-0,215543103
0,987	-0,378993295	-0,21479249
0,988	-0,369756162	-0,213536362
0,989	-0,361101138	-0,212923617
0,99	-0,352997584	-0,213505725
0,991	-0,343408123	-0,21445548
0,992	-0,329115844	-0,213858054
0,993	-0,30872675	-0,210258176
0,994	-0,286147094	-0,204574965
0,995	-0,270644643	-0,200163201

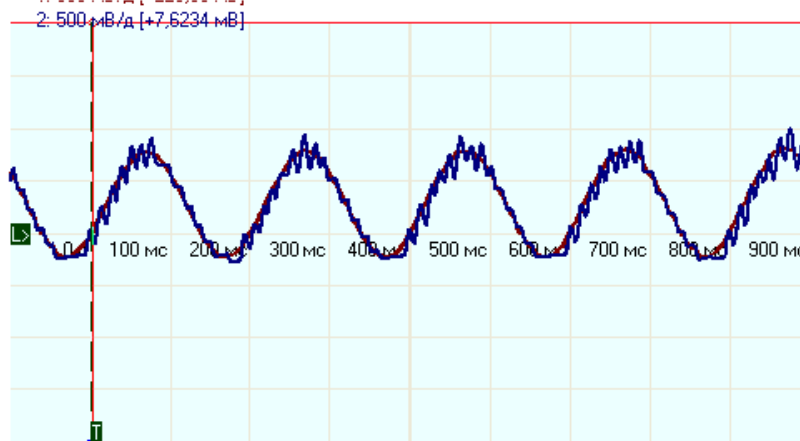
АКТАКОМ Oscilloscope Pro (multichannel) [Подключено устройств: 2]
10 мая 2018 г. 14:09:10

Масштаб

Шкала: 100 мс/д
Частота: 1 кГц
Период: 1 мс
YCh: 500 мВ/д

Относительные измерения

Время
В-А: 1,3966 мс
А-Т: -139,66 мкс
В-Т: 1,257 мс
От: Метка 1 До: Метка 2: NAN
Значения
dU: 4,0471 В
dU(Метка 1): NAN



Абсолютные измерения

Вертикальное положение курсоров
Осн. S
K -2,2514 В 0 В
L 1,7956 В 255 В
Горизонтальное положение курсоров и меток
Время Значения Означения S
T 0 с NAN NAN
A -139,66 мкс NAN NAN
B 1,257 мс NAN NAN

Рисунок 4.3– График для 5 Гц

Таблица 4. 3 – Экспериментальные данные для 7,5 Гц

Время, С	Канал 1, В	Канал 2, В
-0,284	-0,424673442	-0,198309647
-0,283	-0,421992682	-0,196946289
-0,282	-0,414900157	-0,193913201
-0,281	-0,405295378	-0,191400946
-0,28	-0,394357878	-0,190864794
-0,279	-0,382210206	-0,192090284
-0,278	-0,369066824	-0,193729377
-0,277	-0,355892804	-0,194449353
-0,276	-0,34343876	-0,19369874
-0,275	-0,331030672	-0,191768593
...
0,986	0,532219941	0,722784103
0,987	0,51805021	0,780474054
0,988	0,500326558	0,828727731
0,989	0,484778152	0,85898202
0,99	0,474254255	0,86846425
0,991	0,466640897	0,855274912
0,992	0,458292245	0,81791278
0,993	0,448733421	0,761463638
0,994	0,440645186	0,702594152
0,995	0,436340652	0,664649912

АКТАКОМ Oscilloscope Pro (multichannel) [Подключено устройств: 2]

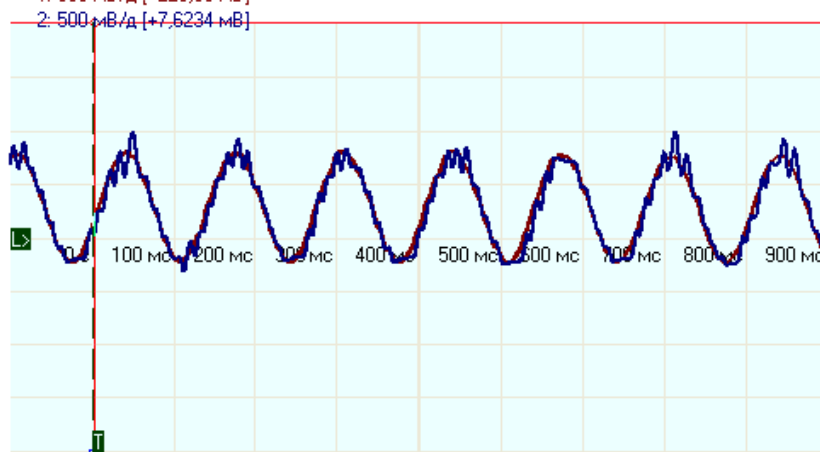
10 мая 2018 г. 14:11:00

Масштаб

Шкала: 100 мс/д
Частота: 1 кГц
Период: 1 мс
YCh: 500 мВ/д

Относительные измерения

Время
В-А: 1,3966 мс
А-Т: -139,66 мкс
В-Т: 1,257 мс
От: Метка 1 До: Метка 2: NAN
Значения
dU: 4,0471 В
dU(Метка 1): NAN



Абсолютные измерения

Вертикальное положение курсоров

Осн.	S
K -2,2514 В	0 В
L 1,7956 В	255 В

Горизонтальное положение курсоров и меток

Время	Значения	Означения S
T 0 с	NAN	NAN
A -139,66 мкс	NAN	NAN
B 1,257 мс	NAN	NAN

Рисунок 4.4– График для 7,5 Гц

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Таблица 4.4 – Экспериментальные данные для 10 Гц

Время, С	Канал 1, В	Канал 2, В
-0,284	-0,443944275	-0,249565774
-0,283	-0,444985942	-0,248064549
-0,282	-0,447498196	-0,245184647
-0,281	-0,450010451	-0,243499598
-0,28	-0,451021481	-0,243162588
-0,279	-0,449673442	-0,242320063
-0,278	-0,44578251	-0,239976313
-0,277	-0,439547829	-0,236759402
-0,276	-0,43161278	-0,233389304
-0,275	-0,422835206	-0,23018771
...
0,986	0,301628642	0,626812902
0,987	0,27531124	0,628007755
0,988	0,245531828	0,604692804
0,989	0,215216264	0,561616824
0,99	0,18680021	0,507235696
0,991	0,159977294	0,448121113
0,992	0,1326795	0,389879692
0,993	0,104140897	0,338960574
0,994	0,077946044	0,30127675
0,995	0,061631705	0,281132755

АКТАКОМ Oscilloscope Pro (multichannel) [Подключено устройств: 2]

10 мая 2018 г. 14:12:37

Масштаб

Шкала: 100 мс/д

Частота: 1 кГц

Период: 1 мс

YCh: 500 мВ/д

Относительные измерения

Время

В-А: 1,3966 мс

А-Т: -139,66 мкс

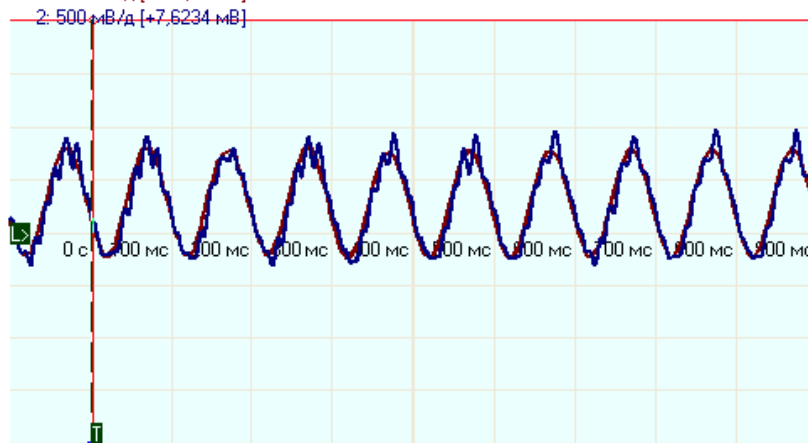
В-Т: 1,257 мс

От: Метка 1 До: Метка 2: NAN

Значения

dU: 4,0471 В

dU(Метка 1): NAN



Абсолютные измерения

Вертикальное положение курсоров

Осн. S

K -2,2514 В 0 В

L 1,7956 В 255 В

Горизонтальное положение курсоров и меток

Время Значения Обзначения S

T 0 с NAN NAN

A -139,66 мкс NAN NAN

B 1,257 мс NAN NAN

Рисунок 4.5– График для 10 Гц

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Таблица 4.5 – Экспериментальные данные для 12,5 Гц

Время, С	Канал 1, В	Канал 2, В
-0,284	0,090951558	0,081959961
-0,283	0,100586975	0,10005126
-0,282	0,126169083	0,148167069
-0,281	0,160375578	0,212964863
-0,28	0,196665406	0,283246726
-0,279	0,231729745	0,353559226
-0,278	0,265323495	0,420746726
-0,277	0,298779377	0,480106407
-0,276	0,332863323	0,526001015
-0,275	0,366686853	0,555474054
...
0,986	-0,279881775	-0,215389916
0,987	-0,247911799	-0,192228152
0,988	-0,216784348	-0,149090897
0,989	-0,185166701	-0,086407073
0,99	-0,152185696	-0,013628274
0,991	-0,118408123	0,057005917
0,992	-0,084278221	0,1161205
0,993	-0,050163638	0,158139495
0,994	-0,019633613	0,181898687
0,995	-0,00069979	0,191289005

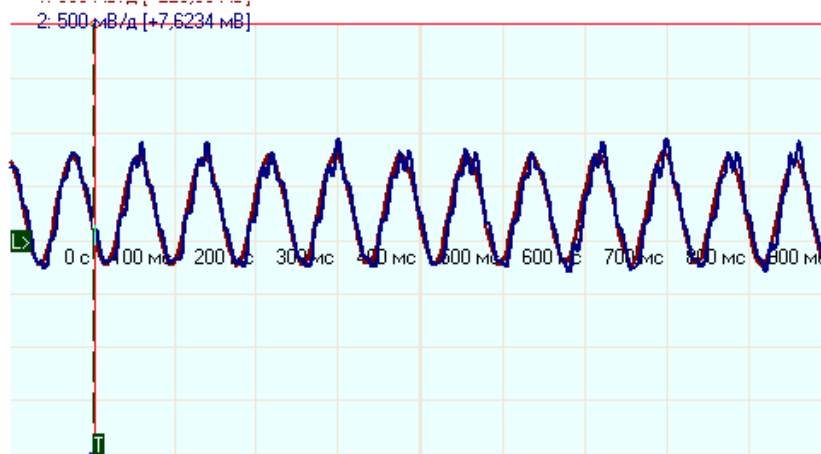
АКТАКОМ Oscilloscope Pro (multichannel) [Подключено устройств: 2]
10 мая 2018 г. 14:15:41

Масштаб

Шкала: 100 мс/д
Частота: 1 кГц
Период: 1 мс
УСН: 500 мВ/д

Относительные измерения

Время
В-А: 1,3966 мс
А-Т: -139,66 мкс
В-Т: 1,257 мс
От: Метка 1 До: Метка 2: NAN
Значения
dU: 4,0471 В
dU(Метка 1): NAN



Абсолютные измерения

Вертикальное положение курсоров

Осн.	S
K	-2,2514 В
L	1,7956 В

Горизонтальное положение курсоров и меток

Время	Значения	Означения S
T	0 с	NAN
A	-139,66 мкс	NAN
B	1,257 мс	NAN

Рисунок 4.6– График для 12,5 Гц

Таблица 4.6 – Экспериментальные данные для 15 Гц

Время, С	Канал 1, В	Канал 2, В
-0,284	-0,394036187	-0,112525333
-0,283	-0,399550893	-0,119449353
-0,282	-0,413567437	-0,138735505
-0,281	-0,43038729	-0,167733666
-0,28	-0,444832755	-0,203303519
-0,279	-0,454299667	-0,238980603
-0,278	-0,458098687	-0,266063936
-0,277	-0,456000035	-0,280172392
-0,276	-0,44812626	-0,283940774
-0,275	-0,435610942	-0,282362955
...
0,986	-0,427645255	-0,15518771
0,987	-0,436024545	-0,168438323
0,988	-0,441156285	-0,189746534
0,989	-0,442948564	-0,215635014
0,99	-0,441477976	-0,239623985
0,991	-0,436208368	-0,257102539
0,992	-0,426036799	-0,266921779
0,993	-0,411116456	-0,270399107
0,994	-0,394909348	-0,270169328
0,995	-0,383971848	-0,269112343

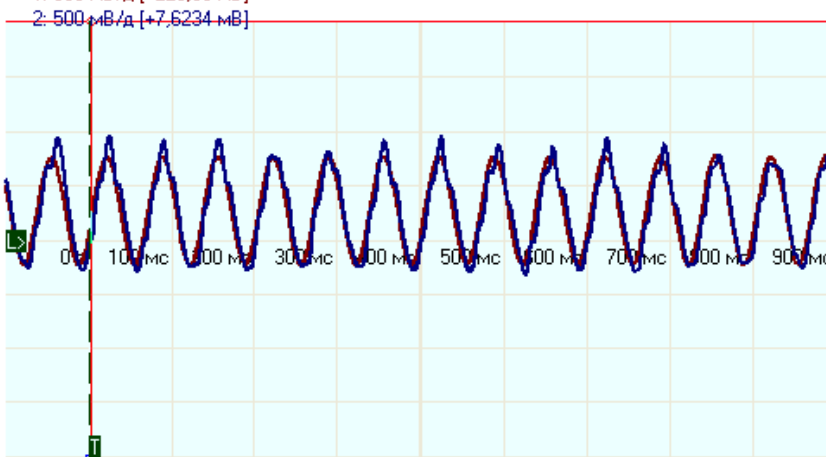
АКТАКОМ Oscilloscope Pro (multichannel) [Подключено устройств: 2]
10 мая 2018 г. 14:17:29

Масштаб

Шкала: 100 мс/д
Частота: 1 кГц
Период: 1 мс
YCh: 500 мВ/д

Относительные измерения

Время
В-А: 1,3966 мс
А-Т: -139,66 мкс
В-Т: 1,257 мс
От: Метка 1 До: Метка 2: NAN
Значения
dU: 4,0471 В
dU(Метка 1): NAN



Абсолютные измерения

Вертикальное положение курсоров

Осн. S
К -2,2514 В 0 В
L 1,7956 В 255 В

Горизонтальное положение курсоров и меток

Время	Значения	Обозначения S
T	0 с	NAN
A	-139,66 мкс	NAN
B	1,257 мс	NAN

Рисунок 4.7 – График для 15 Гц

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Таблица 4.7 – Экспериментальные данные для 17,5 Гц

Время, С	Канал 1, В	Канал 2, В
-0,284	-0,030923442	-0,034247147
-0,283	-0,017397094	-0,017519205
-0,282	0,018754867	0,028298809
-0,281	0,068034892	0,092928098
-0,28	0,122201558	0,165722216
-0,279	0,176368225	0,239435451
-0,278	0,227777539	0,311050035
-0,277	0,274928274	0,380443417
-0,276	0,317115774	0,447462412
-0,275	0,354094941	0,508844152
...
0,986	0,516778764	0,617499177
0,987	0,539419696	0,682725893
0,988	0,551352906	0,743479569
0,989	0,555136607	0,792162167
0,99	0,557235259	0,821282878
0,991	0,56169298	0,826751628
0,992	0,565522637	0,808323319
0,993	0,562780603	0,770578221
0,994	0,553037955	0,726246113
0,995	0,543938691	0,695639495

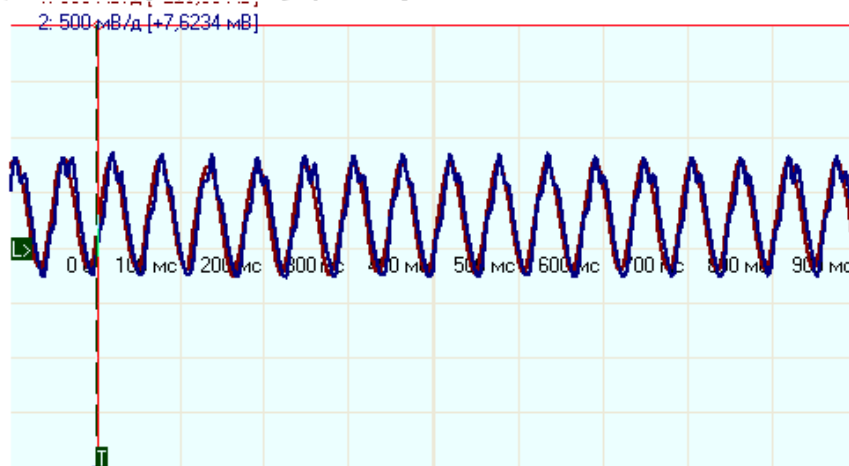
АКТАКОМ Oscilloscope Pro (multichannel) [Подключено устройств: 2]
10 мая 2018 г. 14:19:48

Масштаб

Шкала: 100 мВ/д
Частота: 1 кГц
Период: 1 мс
YCh: 500 мВ/д

Относительные измерения

Время
В-А: 1,3966 мс
А-Т: -139,66 мкс
В-Т: 1,257 мс
От: Метка 1 До: Метка 2: NAN
Значения
dU: 4,0471 В
dU(Метка 1): NAN



Абсолютные измерения

Вертикальное положение курсоров
Осн. S
K -2,2514 В 0 В
L 1,7956 В 255 В
Горизонтальное положение курсоров и меток
Время Значения Обозначения S
T 0 с NAN NAN
A -139,66 мкс NAN NAN
B 1,257 мс NAN NAN

Рисунок 4.8 – График для 17,5 Гц

Таблица 4.8 – Экспериментальные данные для 20 Гц

Время, С	Канал 1, В	Канал 2, В
-0,284	0,554830235	0,767376628
-0,283	0,550112098	0,773810451
-0,282	0,538623127	0,785345378
-0,281	0,52408575	0,784686677
-0,28	0,50555021	0,758721603
-0,279	0,478374965	0,709150525
-0,278	0,439021411	0,650801873
-0,277	0,388316755	0,600020623
-0,276	0,331545921	0,564818417
-0,275	0,275265284	0,54335702
...
0,986	-0,296732265	0,052670745
0,987	-0,330571113	0,012581897
0,988	-0,357455304	-0,026786975
0,989	-0,376955917	-0,065818838
0,99	-0,389057633	-0,103058421
0,991	-0,394786799	-0,137969573
0,992	-0,39645653	-0,171517367
0,993	-0,396701628	-0,203303519
0,994	-0,396962045	-0,229513691
0,995	-0,397268417	-0,244571902

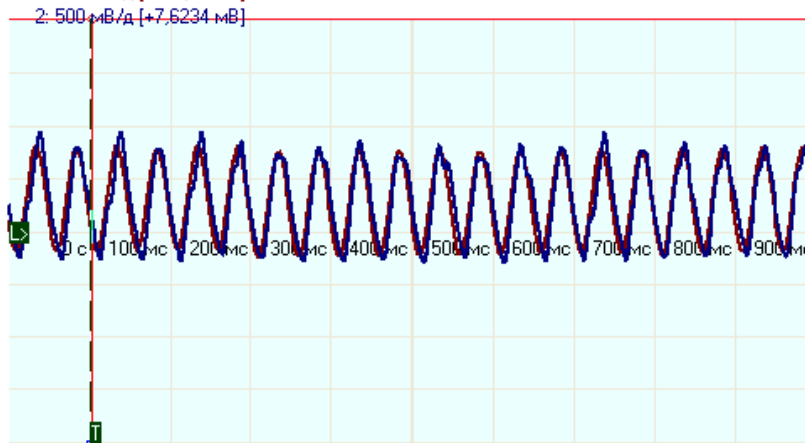
АКТАКОМ Oscilloscope Pro (multichannel) [Подключено устройств: 2]
10 мая 2018 г. 14:21:23

Масштаб

Шкала: 100 мс/д
Частота: 1 кГц
Период: 1 мс
YCh: 500 мВ/д

Относительные измерения

Время
В-А: 1,3966 мс
А-Т: -139,66 мкс
В-Т: 1,257 мс
От: Метка 1 До: Метка 2: NAN
Значения
dU: 4,0471 В
dU(Метка 1): NAN



Абсолютные измерения

Вертикальное положение курсоров
Осн. S
K -2,2514 В 0 В
L 1,7956 В 255 В
Горизонтальное положение курсоров и меток
Время Значения Обозначения S
T 0 с NAN NAN
A -139,66 мкс NAN NAN
B 1,257 мс NAN NAN

Рисунок 4.9– График для 20 Гц

Таблица 4.9 – Экспериментальные данные для 22,5 Гц

Время, С	Канал 1, В	Канал 2, В
-0,284	-0,10895653	0,34770751
-0,283	-0,124106652	0,33286376
-0,282	-0,163705304	0,295011432
-0,281	-0,214731652	0,246910942
-0,28	-0,265420991	0,196451383
-0,279	-0,309553956	0,145991824
-0,278	-0,345368907	0,097584961
-0,277	-0,372804569	0,053375402
-0,276	-0,391723074	0,012735084
-0,275	-0,40148104	-0,026771656
...
0,986	0,415017122	0,328911554
0,987	0,462535505	0,404493662
0,988	0,504048985	0,479815353
0,989	0,538561853	0,552456285
0,99	0,563837588	0,621849667
0,991	0,577272024	0,688975893
0,992	0,577011607	0,752517559
0,993	0,563806951	0,807113147
0,994	0,543908054	0,846405427
0,995	0,528941755	0,866595378

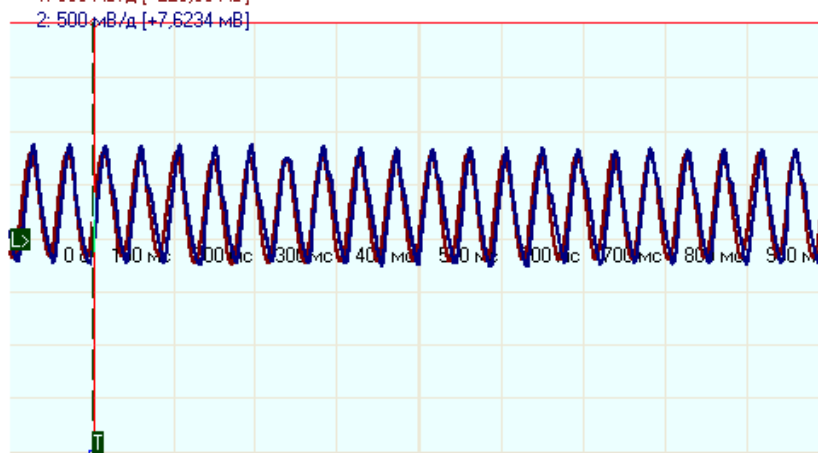
АКТАКОМ Oscilloscope Pro (multichannel) [Подключено устройств: 2]
10 мая 2018 г. 14:23:23

Масштаб

Шкала: 100 мс/д
Частота: 1 кГц
Период: 1 мс
YCh: 500 мВ/д

Относительные измерения

Время
В-А: 1,3966 мс
А-Т: -139,66 мкс
В-Т: 1,257 мс
От: Метка 1 До: Метка 2: NAN
Значения
dU: 4,0471 В
dU(Метка 1): NAN



Абсолютные измерения

Вертикальное положение курсоров

Осн.	S
K -2,2514 В	0 В
L 1,7956 В	255 В

Горизонтальное положение курсоров и меток

Время	Значения	Означения S
T 0 с	NAN	NAN
A -139,66 мкс	NAN	NAN
B 1,257 мс	NAN	NAN

Рисунок 4.10– График для 22,5 Гц

Таблица 4.10 – Экспериментальные данные для 25 Гц

Время, С	Канал 1, В	Канал 2, В
-0,284	-0,345506775	0,359594765
-0,283	-0,332930182	0,345654814
-0,282	-0,297620745	0,310391334
-0,281	-0,2454455	0,266289005
-0,28	-0,182547216	0,220470991
-0,279	-0,112648319	0,174009594
-0,278	-0,037250035	0,129493662
-0,277	0,041288568	0,094322094
-0,276	0,118371902	0,077103956
-0,275	0,190338813	0,084196481
...
0,986	-0,206398319	0,723458123
0,987	-0,268944275	0,667039618
0,988	-0,32390751	0,604845991
0,989	-0,370123809	0,540860084
0,99	-0,406520868	0,479723442
0,991	-0,432409348	0,421711799
0,992	-0,44734501	0,365048196
0,993	-0,451909961	0,31322528
0,994	-0,449367069	0,274744888
0,995	-0,445598687	0,255259594

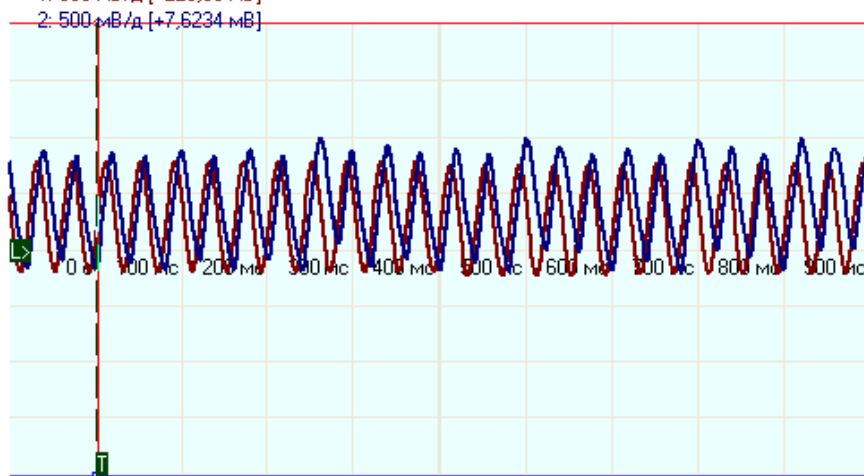
АКТАКОМ Oscilloscope Pro (multichannel) [Подключено устройств: 2]
10 мая 2018 г. 14:25:33

Масштаб

Шкала: 100 мс/д
Частота: 1 кГц
Период: 1 мс
YCh: 500 мВ/д

Относительные измерения

Время
В-А: 1,3966 мс
А-Т: -139,66 мкс
В-Т: 1,257 мс
От: Метка 1 До: Метка 2: NAN
Значения
dU: 4,0471 В
dU(Метка 1): NAN



Абсолютные измерения

Вертикальное положение курсоров
Осн. S
K -2,2514 В 0 В
L 1,7956 В 255 В
Горизонтальное положение курсоров и меток
Время Значения Означения S
T 0 с NAN NAN
A -139,66 мкс NAN NAN
B 1,257 мс NAN NAN

Рисунок 4.11– График для 25 Гц

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Необходимо провести обработку экспериментально полученных значений.

4.3 Обработка результатов измерения

В соответствии с Р 50.2.038 – 2004 «Однократные прямые измерения» проводим обработку результатов измерений.

Анализ таблиц 4.1-4.10 показывает, что в полученных экспериментальных данных присутствует постоянное систематическое смещение. Используя пакет прикладных программ Microsoft Excel и рекомендации [47,57], обрабатываем экспериментальные данные с учетом смещения.

Экспериментально полученные значения смещения представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Экспериментально полученные значения смещения для каналов 1 и 2.

Смещение Канала 1, В	Смещение Канала 2, В
0,22005	0,0076234

Внесем поправку на найденное значение смещения в экспериментальные данные. Полученные экспериментальные данные с учетом смещения для 2,5 Гц, приведены в таблице 4.12, в сокращенном виде.

Таблица 4.12 – Экспериментально полученные данные с учетом смещения для 2,5 Гц.

Время, С	Канал 1, В	Канал 2, В
-0,284	-0,125456775	0,367218165
-0,283	-0,112880182	0,353278214
-0,282	-0,077570745	0,318014734
-0,281	-0,0253955	0,273912405
-0,280	0,037502784	0,228094391
-0,279	0,107401681	0,181632994
-0,278	0,182799965	0,137117062
-0,277	0,261338568	0,101945494
-0,276	0,338421902	0,084727356
-0,275	0,410388813	0,091819881
...
0,986	0,013651681	0,731081523
0,987	-0,048894275	0,674663018
0,988	-0,10385751	0,612469391
0,989	-0,150073809	0,548483484
0,99	-0,186470868	0,487346842
0,991	-0,212359348	0,429335199
0,992	-0,22729501	0,372671596
0,993	-0,231859961	0,32084868
0,994	-0,229317069	0,282368288
0,995	-0,225548687	0,262882994

На рисунках 4.12 – 4.21 представлены графики полученных экспериментальных данных с учетом смещения.

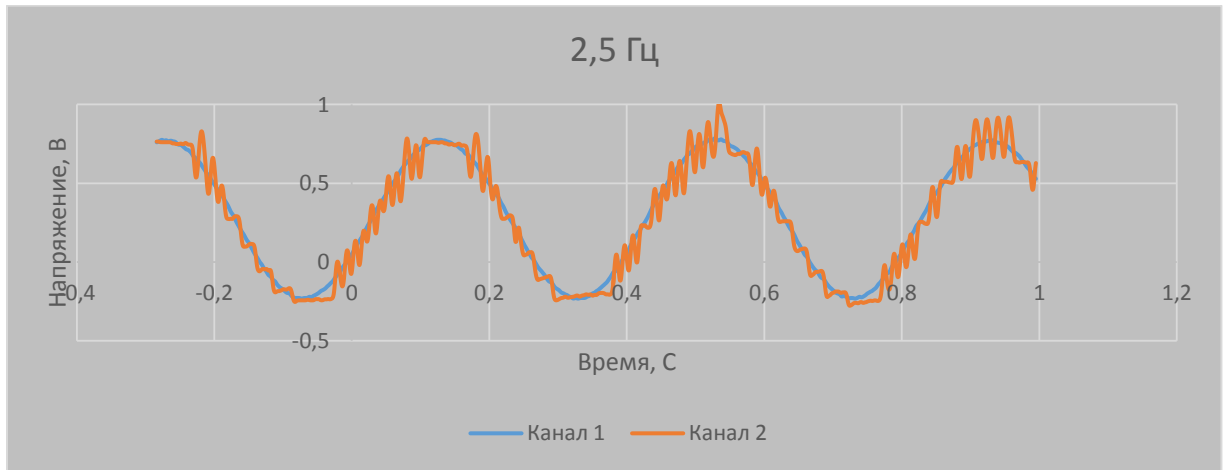


Рисунок 4.12 – График для 2.5 Гц

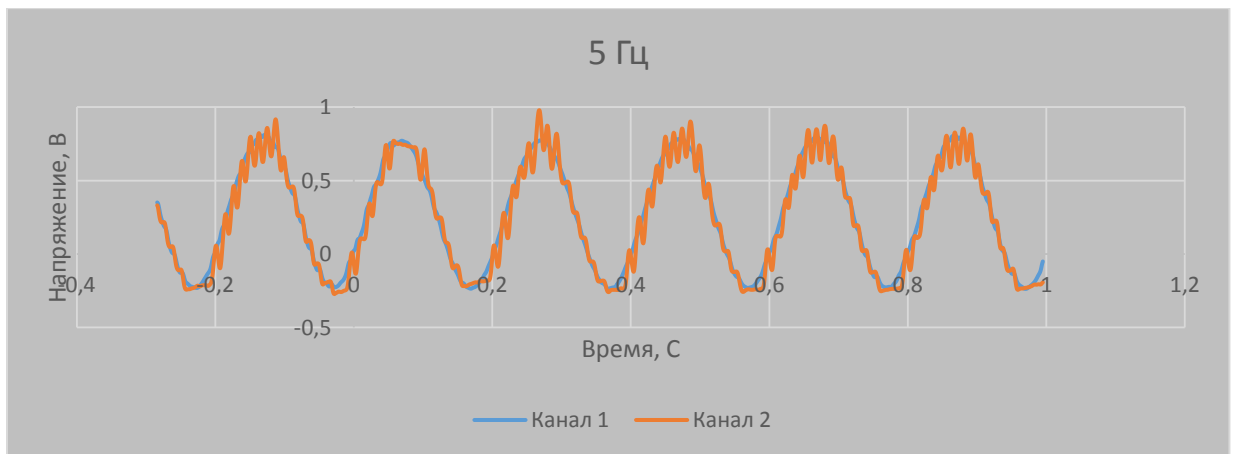


Рисунок 4.13 – График для 5 Гц

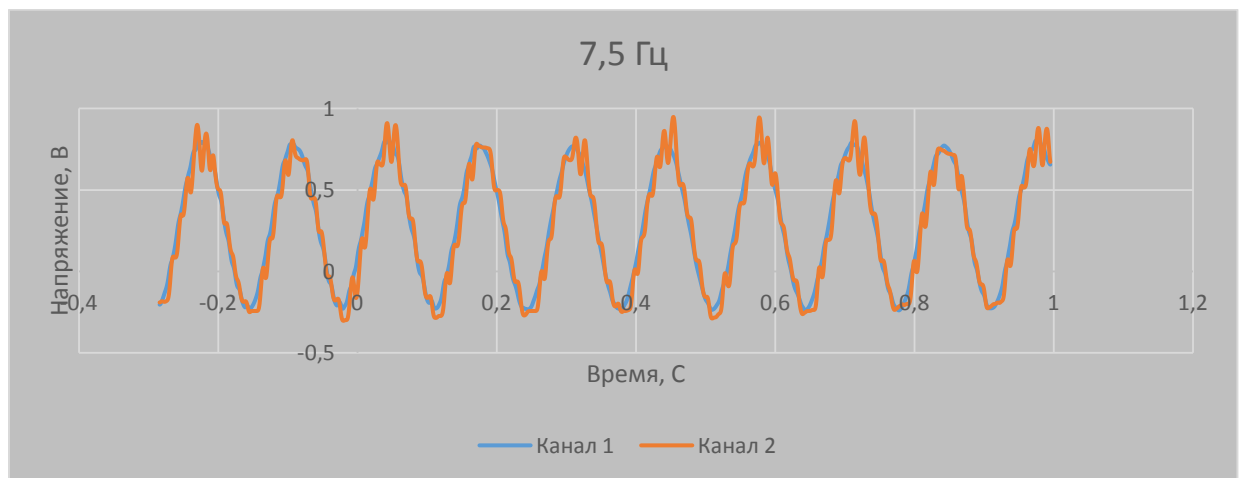


Рисунок 4.14 – График для 7.5 Гц

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

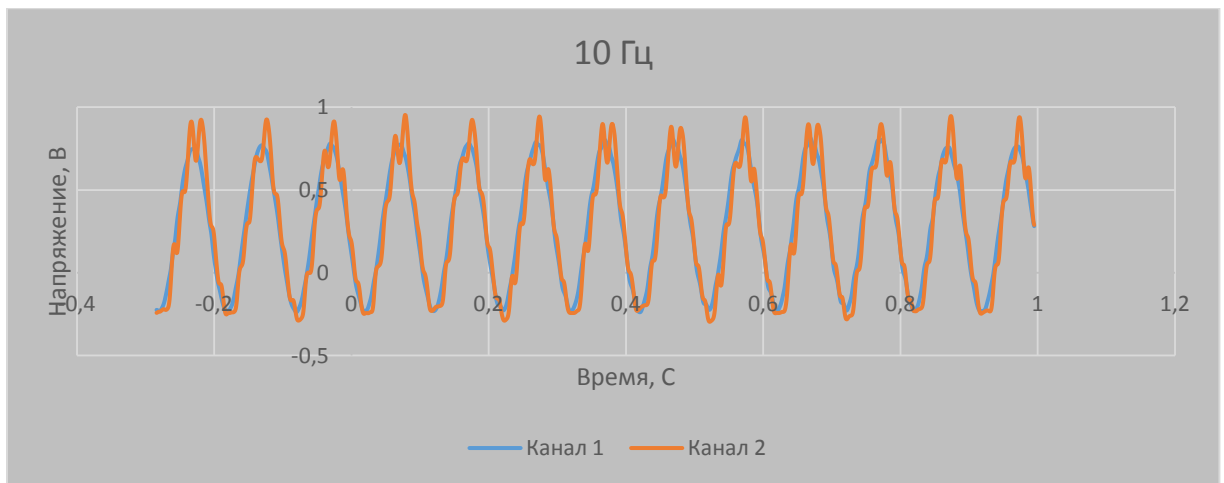


Рисунок 4.15 – График для 10 Гц

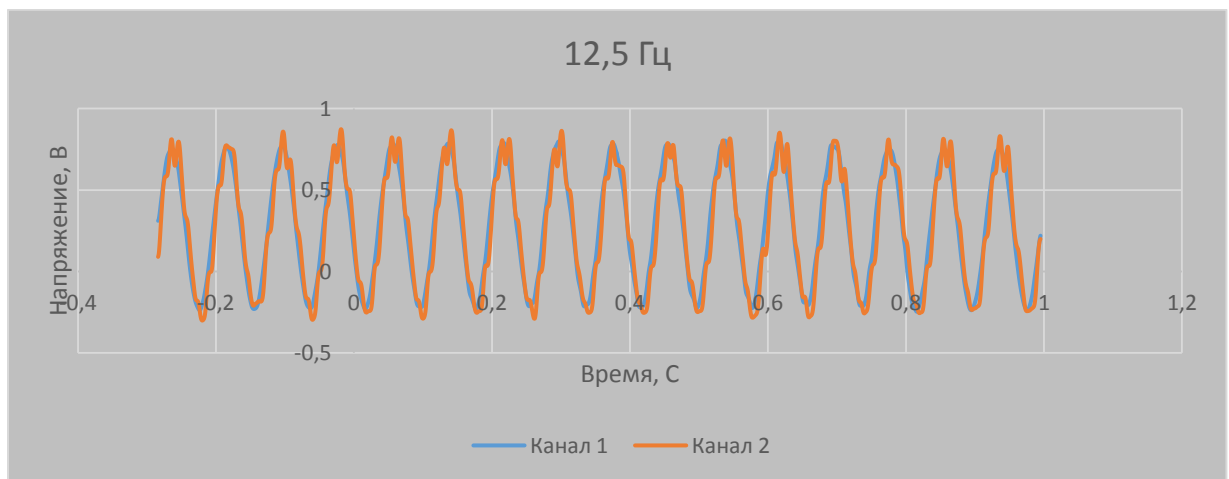


Рисунок 4.16 – График для 12,5 Гц

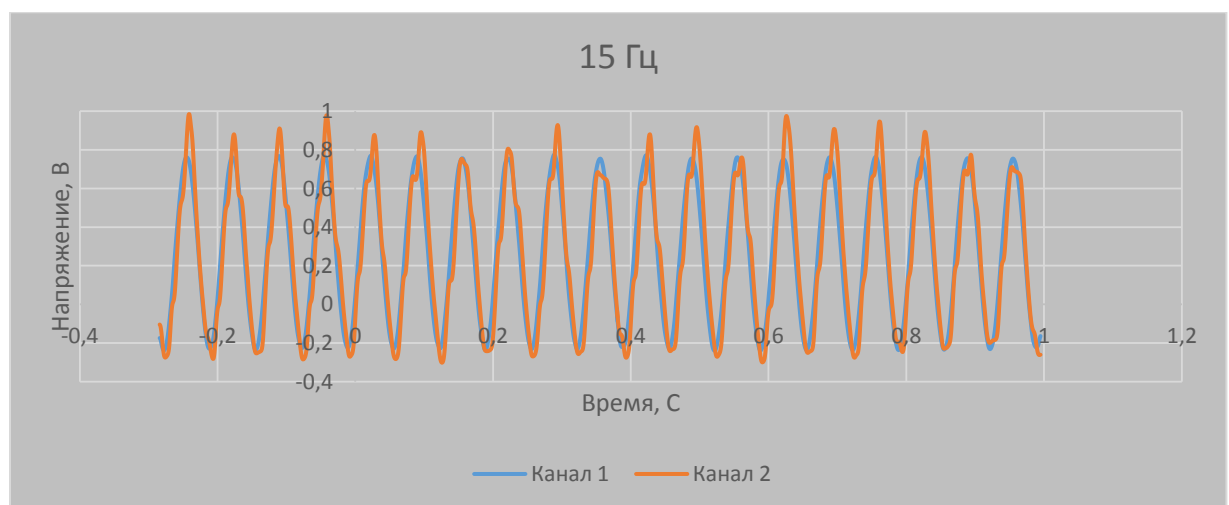


Рисунок 4.17 – График для 15 Гц

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

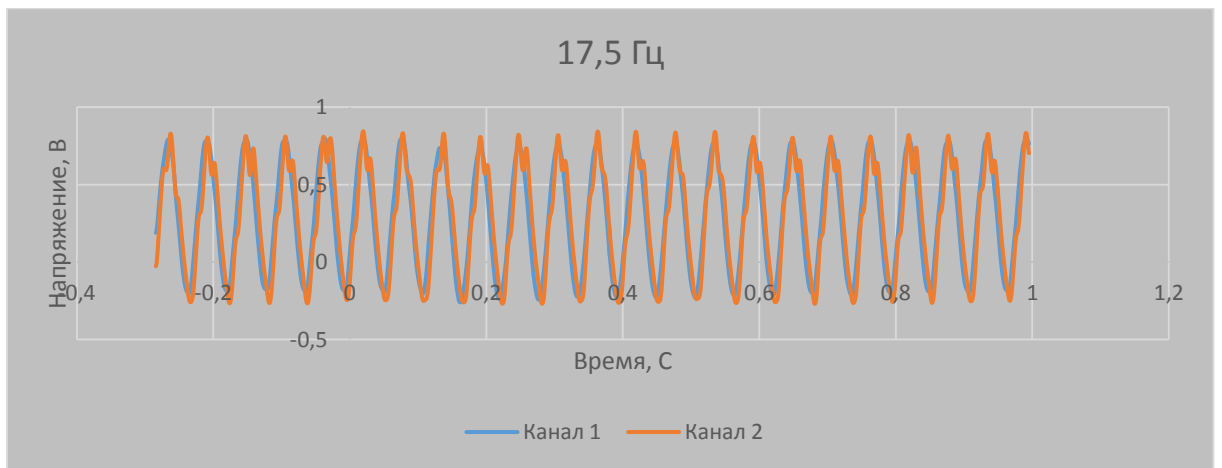


Рисунок 4.18 – График для 17.5 Гц

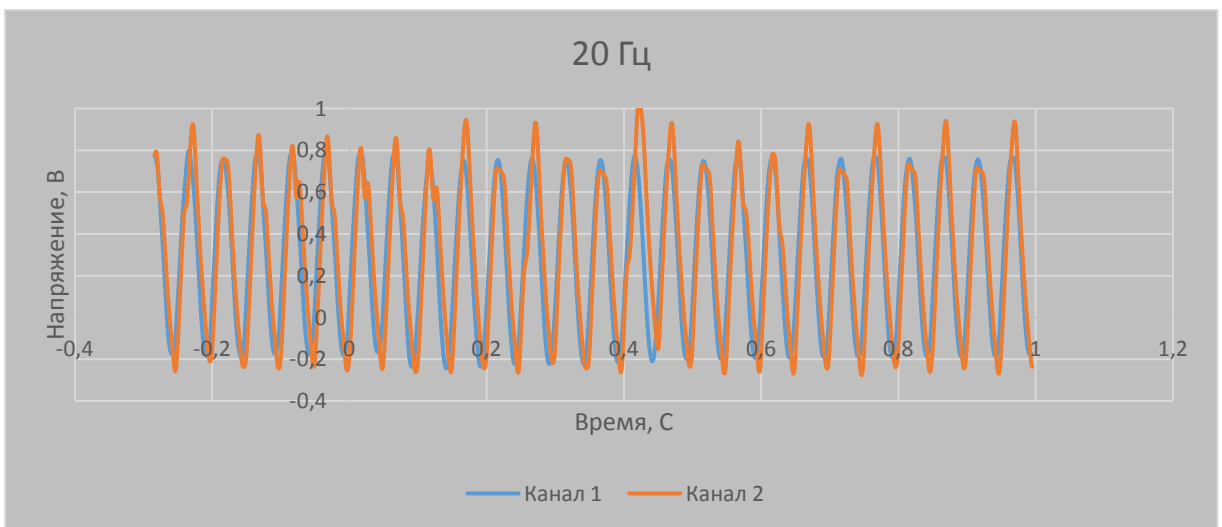


Рисунок 4.19 – График для 20 Гц

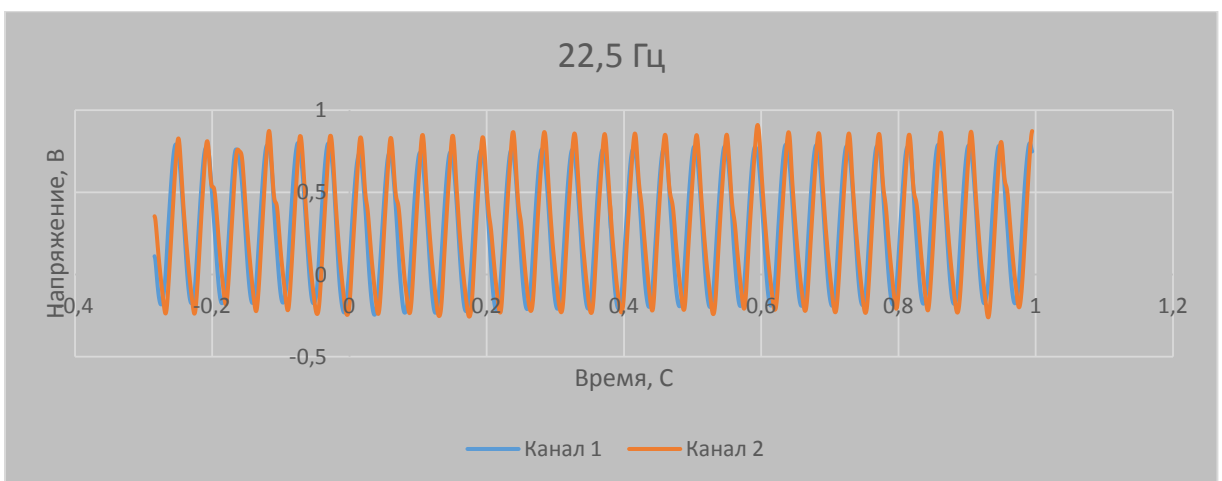


Рисунок 4.20 – График для 22.5 Гц

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

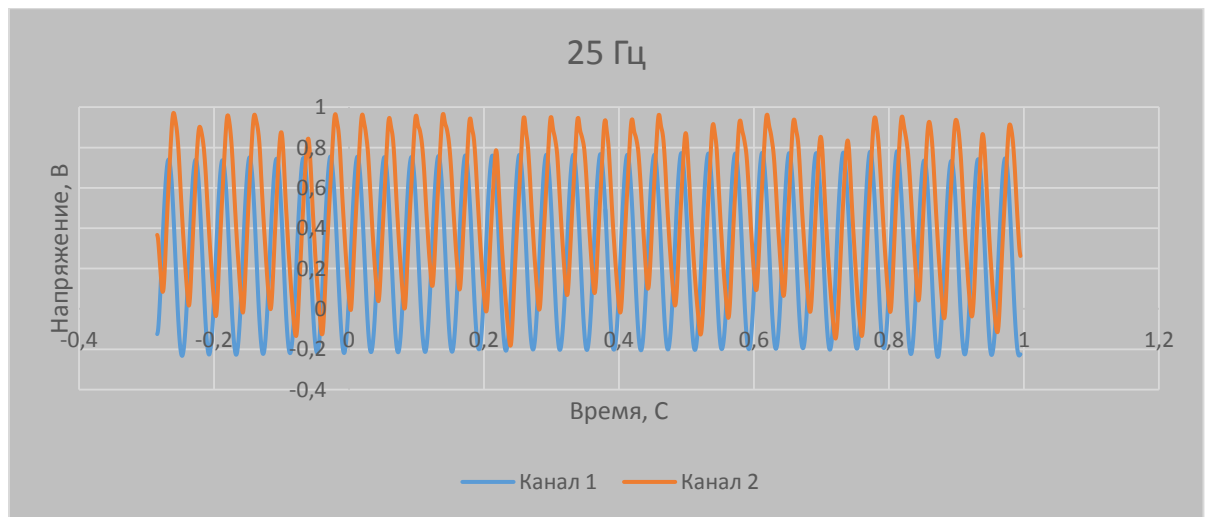


Рисунок 4.21 – График для 25 Гц

В соответствии с Р 50.2.038 – 2004 «Однократные прямые измерения» найдем значения погрешностей измерения давления для всех значений частот по формуле (4.1).

$$\Delta = |X_{\text{ист}} - X_{\text{изм}}| \quad (4.1)$$

Сведем полученные результаты обработки в таблицы 4.13 и 4.14.

Таблица 4.13 – Погрешность измерения давления для 2,5 Гц; 5 Гц; 7,5 Гц; 10 Гц; 12,5 Гц

2,5 Гц	5 Гц	7,5 Гц	10 Гц	12,5 Гц
Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
0,003336705	0,019181677	0,013937195	0,018048099	0,221418197
0,003045651	0,024880207	0,012619793	0,015505207	0,212962315
0,001467832	0,036170035	0,008560356	0,010113051	0,190428614
0,002009496	0,043078736	0,001467832	0,005915747	0,159837315
0,006252756	0,042083026	0,008933516	0,004567707	0,12584528
0,009760722	0,035572609	0,022306678	0,005073221	0,090597119
0,012487437	0,025508271	0,037089153	0,006620403	0,057003369
0,014662683	0,012043198	0,050983149	0,009638173	0,03109957
0,015168197	0,003857538	0,06268658	0,014203124	0,019288908
0,013161457	0,019099572	0,073164521	0,019779104	0,023639399
...

0,014595896	0,039999693	0,021862438	0,11275766	0,147934741
0,01602604	0,048225795	0,049997244	0,140269915	0,156742953
0,054399202	0,0562068	0,115974573	0,146734376	0,144733149
0,088207413	0,064249079	0,161777268	0,13397396	0,113666972
0,104016237	0,072934741	0,181783395	0,108008886	0,073869178
0,093431065	0,083473957	0,176207415	0,075717219	0,03701256
0,055563418	0,09716881	0,147193935	0,044773592	0,012027879
0,001774205	0,113958026	0,100303617	0,022393077	0,004123467
0,060965381	0,130854471	0,049522366	0,010904106	0,0108943
0,098970896	0,141945158	0,01588266	0,00707445	0,020437805

Таблица 4.14 – Погрешностей измерения давления для 15 Гц; 17,5 Гц; 20 Гц; 22,5 Гц; 25 Гц

15 Гц	17,5 Гц	20 Гц	22,5 Гц	25 Гц
Δ	$\Delta $	Δ	Δ	Δ
0,069084254	0,215750305	0,000119793	0,24423744	0,49267494
0,06767494	0,212548711	0,011271753	0,244543812	0,466158396
0,062405332	0,202882658	0,034295651	0,246290136	0,395585479
0,050227024	0,187533394	0,048174327	0,249215994	0,299307905
0,029102636	0,168905942	0,040744793	0,249445774	0,190591607
0,002892464	0,149359374	0,01834896	0,24311918	0,074231313
0,020391849	0,129154104	0,000646138	0,230527268	0,045682903
0,036598957	0,106911457	0,000722732	0,213753371	0,159393074
0,048241114	0,082079962	0,020845896	0,192031558	0,253694546
0,059178613	0,057677389	0,055665136	0,162282784	0,318568932
...
0,060030945	0,111706187	0,13697641	0,298532168	0,717429842
0,055159622	0,069120403	0,13072641	0,270468443	0,723557293
0,038983151	0,020299937	0,118241729	0,236660232	0,716326901
0,01488695	0,02459896	0,098710479	0,198532168	0,698557293
0,010572609	0,051621019	0,073572612	0,154414521	0,67381771
0,033320771	0,052632048	0,044390626	0,100722731	0,641694547
0,05331158	0,030374082	0,012512563	0,036920648	0,599966606
0,071709251	0,004628982	0,019028491	0,030879596	0,552708641
0,08768658	0,039218442	0,044978246	0,090070773	0,511685357
0,097567095	0,060725796	0,059730085	0,125227023	0,488431681

Найдем максимальные значения погрешностей измерений давления для всех значений частот.

Сведем полученные результаты в таблицу 4.15 и 4.16.

Таблица 4.15 – Максимальные значения погрешностей измерений давления для 2,5 Гц; 5 Гц; 7,5 Гц; 10 Гц; 12,5 Гц

MAX				
2,5 Гц	5 Гц	7,5 Гц	10 Гц	12,5 Гц
0,237466607	0,223118565	0,23475521	0,309219058	0,270790133

Таблица 4.16 – Максимальные значения погрешностей измерений давления для 15 Гц; 17,5 Гц; 20 Гц; 22,5 Гц; 25 Гц

MAX				
15 Гц	17,5 Гц	20 Гц	22,5 Гц	25 Гц
0,307748469	0,315469058	0,570891852	0,368568932	0,927846509

Для наглядности построим графики для полученных результатов. График приведен на рисунке 4.22.

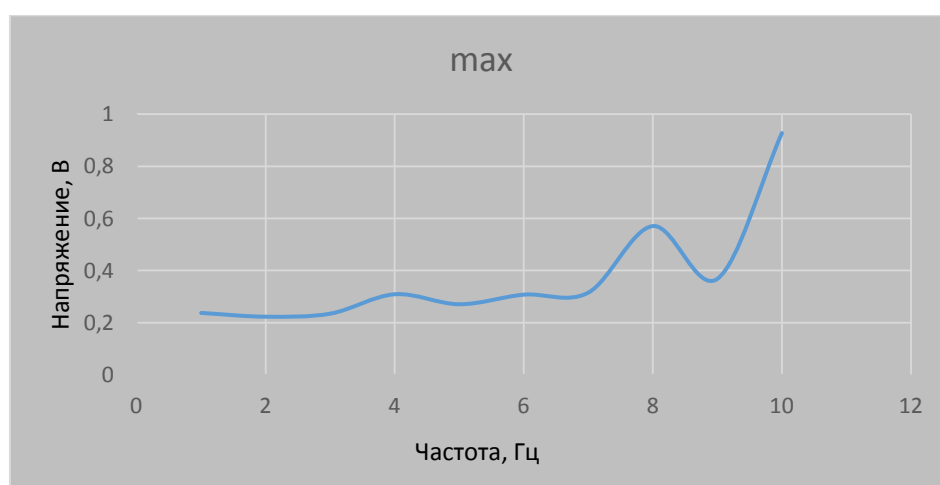


Рисунок 4.22– График максимумов погрешностей измерений давления

Найдем значения среднеквадратичного отклонения (СКО) для всех значений частот по формуле (4.2).

$$S_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (4.2)$$

Результаты расчетов по формуле 4.2 сведем в таблицы 4.17 и 4.18.

Таблица 4.17 – Значения СКО для 2,5 Гц; 5 Гц; 7,5 Гц; 10 Гц; 12,5 Гц

СКО				
2,5 Гц	5 Гц	7,5 Гц	10 Гц	12,5 Гц
0,044916173	0,046852553	0,044270921	0,055721646	0,051568177

Таблица 4.18 – Значения СКО для 15 Гц; 17,5 Гц; 20 Гц; 22,5 Гц; 25 Гц

СКО				
15 Гц	17,5 Гц	20 Гц	22,5 Гц	25 Гц
0,064256429	0,069257322	0,089698285	0,082963512	0,232245021

По полученным значениям СКО построим график. График приведен на рисунке 4.23.

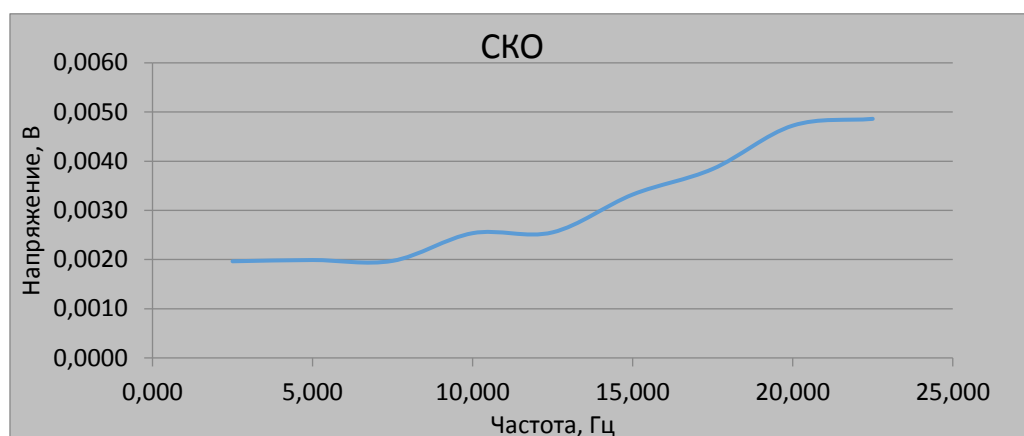


Рисунок 4.23– График СКО

Найдем среднее арифметическое для модуля разности эталонного и измеренного значений по формуле (4.3).

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.3)$$

Приведем пример расчета для 2 Гц.

Количество измерений равно $n=1280$.

Сумма всех значений равна $X_i = 68,74386$.

Затем сумму всех значений делим на количество измерений.

Получаем $\bar{X} = 0,05409$.

Затем находим среднеквадратическое отклонение по формуле (2).

Получаем $S=0,07034$.

Далее используя формулу (4.4) находим СКО среднего арифметического.

$$S_{\bar{X}} = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (4.4)$$

Получаем $S_{\bar{X}}=0,001965$.

Далее находим доверительные границы случайной погрешности результата измерения используя формулу (4.5).

$$\varepsilon(P) = Z_{P/2} \cdot S(\bar{X}) \quad (4.5)$$

При уровне доверительной вероятности $P=0,95$, принимаем $Z_{P/2} = 2$.

$$\varepsilon(P) = 2 \cdot 0,001965 = 0,003930$$

Остальные данные сведем в таблицы 4.19 - 4.24.

Таблица 4.19 – Средние арифметические для 2,5 Гц; 5 Гц; 7,5 Гц; 10 Гц; 12,5 Гц.

Средние арифметические				
2,5 Гц	5 Гц	7,5 Гц	10 Гц	12,5 Гц
0,05409	0,05366	0,055032	0,07164	0,07541

Таблица 4.20 – Средние арифметические для 15 Гц; 17,5 Гц; 20 Гц; 22,5 Гц; 25 Гц.

Средние арифметические				
15 Гц	17,5 Гц	20 Гц	22,5 Гц	25 Гц
0,09998	0,11874	0,14323	0,15283	0,39207

Таблица 4.21 – Значения СКО средних арифметических для 2,5 Гц; 5 Гц; 7,5 Гц; 10 Гц; 12,5 Гц.

СКО				
2,5 Гц	5 Гц	7,5 Гц	10 Гц	12,5 Гц
0,001965	0,001991	0,001974	0,002537	0,002554

Таблица 4.22 – Значения СКО средних арифметических для 15 Гц; 17,5 Гц; 20 Гц; 22,5 Гц; 25 Гц.

СКО				
15 Гц	17,5 Гц	20 Гц	22,5 Гц	25 Гц
0,003323	0,03843	0,004724	0,004862	0,01274

Таблица 4.23 – Значения доверительных границ для 2,5 Гц; 5 Гц; 7,5 Гц; 10 Гц; 12,5 Гц.

Доверительные границы				
2,5 Гц	5 Гц	7,5 Гц	10 Гц	12,5 Гц
0,003930	0,003983	0,003949	0,005074	0,005108

Таблица 4.24 – Значения доверительных границ для 15 Гц; 17,5 Гц; 20 Гц; 22,5 Гц; 25 Гц.

Доверительные границы				
15 Гц	17,5 Гц	20 Гц	22,5 Гц	25 Гц
0,006645	0,007686	0,009449	0,009723	0,025479

По полученным значениям доверительных границ построим график в увеличенном интервале. График приведен на рисунке 4.24.

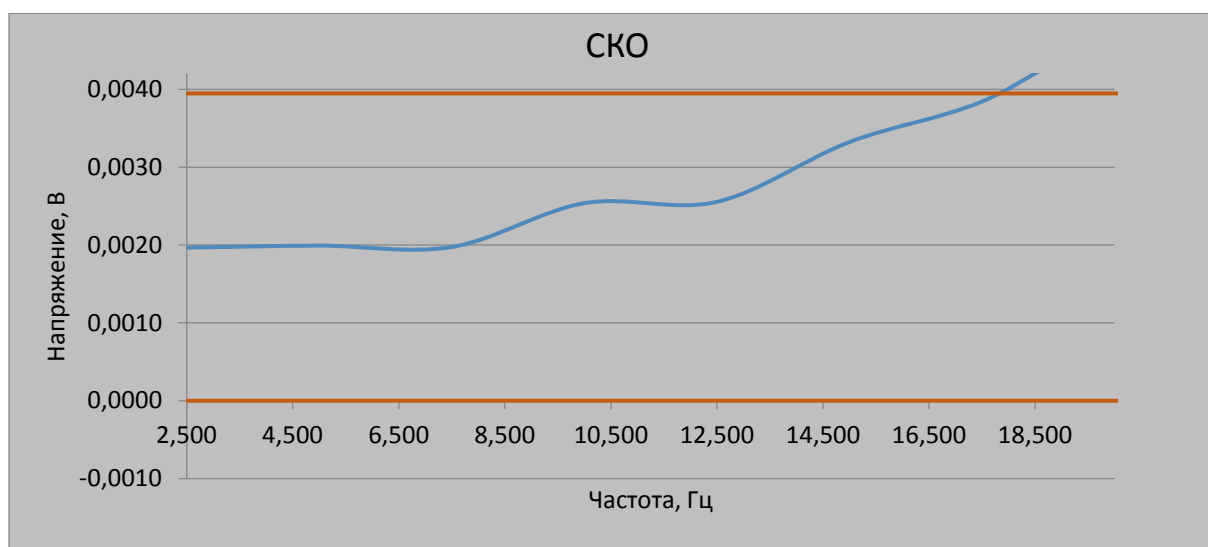


Рисунок 4.24– График доверительных границ в увеличенном интервале.

Запишем результаты измерения.

Для 2,5 Гц: $(54,09 \pm 3,93) \cdot 10^{-3}$ мВ.

Для 5 Гц: $(53,66 \pm 3,98) \cdot 10^{-3}$ мВ.

Для 7,5 Гц: $(55,03 \pm 3,94) \cdot 10^{-3}$ мВ.

Для 10 Гц: $(71,64 \pm 5,074) \cdot 10^{-3}$ мВ.

Для 12,5 Гц: $(75,41 \pm 5,108) \cdot 10^{-3}$ мВ.

Минимальное значение СКО получено при частоте 7,5 Гц, максимальное при частоте 17 Гц. Соответственно программное обеспечение «MTRN» может работать только от частоты 7,5 Гц, до частоты 17 Гц на дальнейших частотах погрешность возрастает.

Вывод по главе 4

В четвертой главе была выполнено исследование программного обеспечения стенда динамических испытаний датчиков давления в соответствии с разработанной программой метрологической аттестации, произведена обработка результатов измерения, используя методы статистики. Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что программное обеспечение «MTRN» ведет

себя, нестабильно начиная с частоты в 17 Гц, соответственно данное программное обеспечение вносит дополнительную погрешность в результат измерения и не прошло метрологическую аттестацию.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2018.308-119.ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		106

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была решена задача метрологической аттестации встроенного программного обеспечения средств измерений.

На первом этапе был проведен аналитический обзор источников в области законодательной метрологии, связанных с метрологической аттестацией встроенного ПО СИ. Определены источники погрешности встроенного ПО.

На втором этапе был проведен анализ методов метрологической аттестации программного обеспечения. Выбор метода тестирования также зависит от жесткости, требований которые предъявляются к программному обеспечению средств измерений.

На третьем этапе была разработана техническая документация программного обеспечения стенда динамических испытаний датчиков давления в соответствии с требованиями ЕСПД.

На четвертом этапах работы производилась непосредственно экспериментальное исследование встроенного ПО СИ в ходе его метрологической аттестации.

Исследование показало, что встроенное программное обеспечение «MTRN» не вносит дополнительной систематической погрешности до частоты входного сигнала 7,5 Гц; при увеличении частоты свыше 7,5 Гц программное обеспечение «MTRN» вносит дополнительную погрешность в результат измерения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агамиров, Л.В. Методы статистического анализа результатов научных исследований: учебно-методическое пособие для научных работников, инженеров и студентов технических вузов / Л.В. Агамиров. – Пенза:ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», 2012 –82 с.
2. ГОСТ 8.596-2002 ГСИ. Метрологическое обеспечение измерительных систем. – М.: ВНИИМС, 2002. – 10 с.
3. ГОСТ 8.736-2011 ГСИ. Измерения прямые многократные. – М.: Стандартиформ, 2011. – 18 с.
4. ГОСТ Р 50.2.038-2004 ГСИ. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей и неопределенности результата измерений. – М.: Стандартиформ, 2004. –11 с.
5. ГОСТ Р 8.654-2015 ГСИ. Требования к программному обеспечению средств измерений. Основные положения. – М.: Стандартиформ, 2015. – 12 с.
6. ГОСТ Р 8.839-2013 / OIML D 31:2008 ГСИ. Общие требования к измерительным приборам с программным управлением. – М.: Стандартиформ, 2014. – 46 с.
7. ГОСТ Р ИСО / МЭК 9126–93 Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению. М.: Госстандарт, 1994. – 13 с.
8. ГОСТ Р ИСО / МЭК 9126-93 Оценка программной продукции. – М.: ВНИИСтандарт, 1994. – 13 с.
9. Гривастов, Д.А. Практические процедуры проверки программного обеспечения СИ при испытаниях в целях утверждения типа / Д.А. Гривастов // Мир измерений. – 2012. № 11. С. 22 – 33

10. Гусятников, В.Н. Стандартизация и разработка программных систем: учебное пособие / В.Н. Гусятников, А.И. Безруков. – М.: Финансы и статистика, 2010. – 228 с.

11. Дудькин, А.А. Проблемы аттестации встроенного программного обеспечения средств измерений / А.А. Дудькин, Ю.А. Кудеяров, А.Н.Паньков // Законодательная и прикладная метрология. – 2007. № 1. – 60 с.

12. Кудеяров, Ю.А. Метрологическая аттестация программного обеспечения средств измерений (состояние и перспективы) / Ю.А. Кудеяров, Ю.Е. Лукашов, А.А. Сатановский // Законодательная и прикладная метрология – 2003. № 4. – 44 с.

13. Кудеяров, Ю.А. Метрологическая экспертиза технической документации / Ю.А. Кудеяров, Н.Я. Медовикова. – М.: АСМС, 2008. – 123 с.

14. Кудеяров, Ю.А. Требования к программному обеспечению средств измерений на основе зарубежных и отечественных стандартов и рекомендаций / Ю.А. Кудеяров, Ю.Е. Лукашов, А.А. Сатановский // Законодательная и прикладная метрология. – 2003. № 4. – 13 с.

15. Левин, С.Ф. Статистические методы и метрологическая аттестация программного обеспечения измерительных систем / С.Ф. Левин // Измерительная техника – 2008. №7. – 68 с.

16. Лукашев, Ю.Е. Классификация программного обеспечения средств измерений / Ю.Е. Лукашев, А.А. Сатановский // Законодательная и прикладная метрология – 2006. №2. – 70 с.

17. МИ 2091-1990 ГСИ. Измерение физических величин. Общие требования. – М.: ВНИИМС, 1992. – 19 с.

18. МИ 2891-2004. ГСИ. Общие требования к программному обеспечению средств измерений. – М.: ВНИИМС, 2004. – 13 с.

19. МИ 2955-2010. ГСИ. Типовая методика аттестации программного обеспечения средств измерений – М.: ВНИИМС, 2010. – 22 с.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2018.308-119.ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		109

20. Паньков, А.Н. Разработка, исследование и совершенствование методов испытаний программного обеспечения средств измерений: диссертация. – М.: ВНИИМС, 2016 – 157 с.

21. РМГ 29-2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения. – М.: Стандартиформ, 2014. – 60с.

22. Сатановский, А.А. Разработка научно-методических основ метрологической аттестации программного обеспечения средств измерений: Диссертация. – М.: ВНИИМС, 2007. – 120 с.

23. Самошина, М.А. Методика аттестации программного обеспечения средств измерений: справочная книга / М.А. Самошина, В.А. Баранов. – Пенза: ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», 2014. –20 с.

24. Слаев, В.А. Аттестация программного обеспечения, используемого в метрологии: Справочная книга / В.А. Слаев, А.Г. Чуновкина. – Спб.: «Профессионал», 2009. – 320 с.

25. Чухланцева, М.М. Аттестация программного обеспечения систем учета нефти / М.М. Чухланцева, Г.В. Злыгостева, Л.В. Артюхина // Законодательная и прикладная метрология. – 2009. № 4. – 45 с.

26. Evaluation of measurement data. supplement 1 to the «Guide to the expression of uncertainty in measurement». Propagation of distributions using a Monte Carlo method. – France: BIMP, JCFM 101, 2008. – 90 с.

27. IEC 61508 Functional of electrical / electronic / programmable electronic safety-related systems. – IEC, 2006. – 29 p.

28. WELMEC 7.1. Руководство по программному обеспечению. – М.:ВНИИМС, 2009. – 130 с.

29. WELMEC 7.2 Руководство по программному обеспечению (основано на Директиве по измерительным приборам 2004/22/ЕС). – М.АНО «РСК-Консалтинг», 2009. – 184 с.

30. МОЗМ R 76. Неавтоматические взвешивающие приборы. – Минск: ЕАСС, 2011. – 269 с.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2018.308-119.ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		111

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(Текст программы)

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ «MTRN»

Текст программы

ИНИТ.00001

4 листов

2018

					ЮУрГУ – 12.03.01.2018.308-119.ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		112


```

pwm1.PeriodMax = PWM_RESOLUTION - 1;
// Определим полу-период ШИМ-а в циклах CPU, (Q0)
pwm1.HalfPerMax = (PWM_RESOLUTION >> 1) - 1;
// Определим величину бестоковой паузы в циклах CPU, (Q0)
pwm1.Deadband = 50; // == PWM_DEADBAND / CPU_SYSCLK, uS
pwm1.CnfgReg.all = 0;

MCU_Init(&pwm1);

GPIO_SetBits(GPIOA, GPIO_Pin_1); // для резистора +3.3 В

// Глобальные уставки Цифровой системы управления *****
SetPnt.GND = _IQ(0.00); // GND *
SetPnt.gF = _IQ(5.00); // .. 50.0 Hz *
SetPnt.mode = 1; // 0, 1, 2, 3 *
// PI-Регулятор давления (с ограничителем) *****
pid_p.Kp = _IQ(4.0); // мастер *
pid_p.Ki = _IQ(0.0); // мастер *
pid_p.Ki = _IQ(4.0 / 0.02 * TIMESTEP); // мастер *
// Измеряемые величины на силовом модуле *****
// *****

// ПИ-регулятор контура напряжения (PH) (с Ограничителем на выходе) *****
SetPnt.yR = &ObjState.yR; // Подключили аналоговый вход (Ur) к Уставке
pid_p.gP = &SetPnt.gP; // Подключили Уставку давления (gP) к регулятору
pid_p.yP = &ObjState.yP; // Подключили датчик давления (yP) к регулятору
pwm.uP = &pid_p.uP; // Подключили регулятор давления к ШИ-модулятору
// *****

pid_p.uP = _IQ(0.00);

MCU_Start();

unsigned long zVirtualTimer = 0; // Регистр задержки для тика таймера
unsigned int ISR_TicCounter = 0; // Счетчик тиков таймера
Alpha_FSM_Task = &State_RUN_EXT; // Предустановили задачу для FSM

// Машина состояний для низкоприоритетных операций:
// опрос копек, индикация, сетевая коммуникация и тп.
while (1) {
    zVirtualTimer = VirtualTimer; // запомнили тик таймера
    while (VirtualTimer == zVirtualTimer) {} // ждем новый тик таймера
    // Через каждые 20 mS (FSM_TIMESTEP) обслуживаем Машину Состояний
    if (++ISR_TicCounter >= (unsigned int)(FSM_TIMESTEP / TIMESTEP * 32)) {
        ISR_TicCounter = 0; (*Alpha_FSM_Task)();
    }
}

static void State_RUN_EXT(void) {
    // Опросим состояние тумблеров GPIO_ReadInputDataBit
    uint16_t sw = (GPIOB->IDR & (GPIO_Pin_4 | GPIO_Pin_5)) >> 4;
    if (sw == z_sw) { return; }
    // Декрементируем счетчик времени блокировки опроса тумблеров
    if (FSM_TicCounter) { FSM_TicCounter -= 1; return; }
    z_sw = sw;
    // Планируем блокировку опроса тумблеров на 1 сек
    FSM_TicCounter = (unsigned int) (1.0 /* сек */ / FSM_TIMESTEP);
}

```



```

ADCRESULT_TypeDef   adc12;      // Массив оцифрованных значений Ur Udc
#pragma optimize=none      // 4 IAR
void TIM6_DAC_IRQHandler(void) {
    VirtualTimer++;        // VirtualTimer &= 0x00007FFF;
    unsigned int tic_Counter = VirtualTimer & 0xf; // 16 тиков

    //pid_p.uP = (!GPIO_ReadInputDataBit(GPIOA, GPIO_Pin_5)) ? +1 : -1;
    pid_p.uP = z_sw == 0 ? 0 : z_sw == 1 ? +1 : z_sw == 2 ? -1 : pid_p.uP;
    if (pid_p.uP == 0) {
        GPIO_ResetBits(GPIOB, GPIO_Pin_14);
        GPIO_ResetBits(GPIOB, GPIO_Pin_15);
        GPIO_ResetBits(GPIOA, GPIO_Pin_8);
        GPIO_ResetBits(GPIOA, GPIO_Pin_9);
    } else if (pid_p.uP > 0) {
        GPIO_ResetBits(GPIOB, GPIO_Pin_14);
        GPIO_ResetBits(GPIOB, GPIO_Pin_15);
        if (VirtualTimer & 0x10) {
            if (tic_Counter < 12) { GPIO_SetBits (GPIOA, GPIO_Pin_9); }
            else { GPIO_ResetBits(GPIOA, GPIO_Pin_9); }
        } else {
            if (tic_Counter < 12) { GPIO_SetBits (GPIOA, GPIO_Pin_8); }
            else { GPIO_ResetBits(GPIOA, GPIO_Pin_8); }
        }
    } else if (pid_p.uP < 0) {
        GPIO_ResetBits(GPIOA, GPIO_Pin_8);
        GPIO_ResetBits(GPIOA, GPIO_Pin_9);
        if (VirtualTimer & 0x10) {
            if (tic_Counter < 12) { GPIO_SetBits (GPIOB, GPIO_Pin_15); }
            else { GPIO_ResetBits(GPIOB, GPIO_Pin_15); }
        } else {
            if (tic_Counter < 12) { GPIO_SetBits (GPIOB, GPIO_Pin_14); }
            else { GPIO_ResetBits(GPIOB, GPIO_Pin_14); }
        }
    }
}

if ((VirtualTimer & 0x0f) == 0) {
    // -----
    // Обрабатываем сигналы ОС САР давления
    // -----
    ADC_MEAS_16_MACRO(ObjState); // yP = [0.0, +1.0], yR = [-1.0, +1.0]
    // -----
    // Вычисляем задание для САР давления
    // -----
    SETPOINT_MACRO(SetPnt); // gP = [0.0, +1.0]
    // -----
    // Вычисляем управляюще воздействие на объект
    // -----
    HYST_P_MACRO(pid_p); // uP = [-1.0, +1.0]
    // -----
    // Зададим частоту с резистора от 0.2 до 5.2 Гц
    // -----
    // SetPnt.gF = _IQ(0.2) + _IQmpy(_IQ(5.0 / 2.0), (_IQ(1.0) + ObjState.yR));
    // -----
    // Выводим координаты ЦСУ в ЦАП (для контроля осциллографом)
    // -----
    _iq signal1, signal2;
    signal1 = _IQ(1.0) + SetPnt.sin; // pid_p.uP; //
    signal2 = _IQ(1.0) + ObjState.yR; // SetPnt.sin; //
    signal1 = _IQmpy2(SetPnt.gP);
}

```

```

    signal2 = _IQmpy2(ObjState.yP);
    DAC_MACRO(_IQtoIQ15(VirtualTimer & 0x10 ? signal1 : signal2));
}

if ((VirtualTimer & 0x1f) == 0) { GPIO_SetBits (GPIOB, GPIO_Pin_13); }
else { GPIO_ResetBits(GPIOB, GPIO_Pin_13); }

CLEAR_IT_PENDING_BIT();
VirtualTimer++;
ADC_MEAS_MACRO(ObjState);
SETPOINT_MACRO(SetPnt);
PID_P_MACRO(pid_p);
PWM_CALC_MACRO(pwm);
PWM_UPDATE_MACRO(pwm);
_iq signal1, signal2;
signal1 = _IQ(1.0) + pid_p.uP; // SetPnt.sin; //
signal1 = _IQmpy2(SetPnt.gP);
signal1 = _IQ(1.0) + ObjState.yR; // SetPnt.sin; //
signal2 = _IQmpy2(ObjState.yP);
DAC_MACRO(_IQtoIQ15(VirtualTimer & 1 ? signal1 : signal2));

CLEAR_IT_PENDING_BIT(); // Сброс бита обслуживания прерывания
}

/***** END OF FILE *****/

```