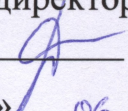


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
Институт машиностроения, материалов и транспорта  
Высшая школа автоматизации и робототехники

Работа допущена к защите  
И.о. директора ВШАиР

 О.Н. Мацко

« 11 » 06 2021 г.

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

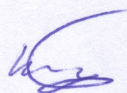
вид ВКР (работа бакалавра, дипломный проект, дипломная работа, магистерская диссертация)

**СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ СТЕНДА МНОГОКРАТНЫХ УДАРОВ**

по направлению подготовки 15.04.06 – Мехатроника и робототехника  
код и наименование направления подготовки (специальности)

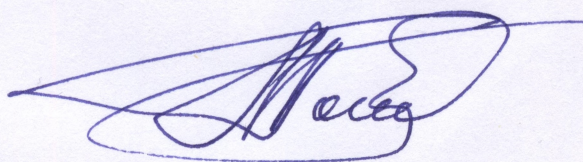
направленность (профиль) 15.04.06\_01 – Мехатронные интеллектуальные  
код и наименование направленности (профиля) образовательной программы  
системы автоматизации в машиностроении

Выполнил  
студент гр.3341506/90101



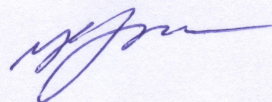
А.А. Брянский

Руководитель  
к.т.н., доцент



А.Н. Попов

Консультант  
по нормоконтролю



О.В. Кочнева

Санкт-Петербург

2021

## РЕФЕРАТ

90 с., 30 рисунков, 2 таблицы, 14 приложений

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** УДАРНОЕ ИСПЫТАНИЕ, СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ, ПЛИС, LABVIEW, ИЗМЕРЕНИЯ, ПЛК, TIA PORTAL, УДАРНЫЙ ИМПУЛЬС

*Предметом исследования* является разработка системы сборки данных стенда многократных ударных испытаний лаборатории мехатроники.

Основной *целью* магистерской диссертации является – анализ существующих решений в области сбора данных и разработка практической реализации системы сбора данных для лабораторного стенда многократных ударов.

В выпускной квалификационной работе магистра на тему «Система сбора данных стенда многократных ударов» изложен принцип разработки системы сбора данных стендах многократных ударов на основе промышленного контроллера Siemens S7, шасси NI CompactDAQ и графической среды разработки LabView. Описаны общие подходы к реализации систем сбора данных под разные задачи. Разработана специализированная система для исследования параметров пневматических испытательных машин многократных ударов. Проведена апробация разработанной реализации. На основе полученных данных выполнен анализ и сравнение с математической моделью.

*Практическая значимость.* Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего исследования параметров испытательных ударных стендов. Часть решений уже применяются на практике для улучшения работы ударных испытательных машин.

*Выводы.* Благодаря полученной системе сбора данных стенда многократных ударных испытаний появляется возможность полноценного анализа конструкции ударных стендов и верификации, уточнения математических моделей.

## ABSTRACT

90 pages, 30 figures, 2 tables, 14 appendices

KEY WORDS: DROP TEST, DAQ SYSTEM, FPGA, LABVIEW, MEASUREMENTS, PLC, TIA PORTAL, SHOCK IMPULSE

The subject of the research is the development of a data acquisition system for the multiple impacts test bench of the Mechatronics laboratory.

The main goal of the master's thesis is to analyze existing solutions in the field of data acquisition and to develop a specific practical implementation of the data acquisition system for the laboratory stand of multiple impacts.

In the final qualifying work on the topic "System of data acquisition for the multiple impacts test bench" describes the principle of developing a multiple impact stand data collection system based on the Siemens S7 industrial controller, NI CompactDAQ chassis, and the LabVIEW graphical development environment. General approaches to the implementation of data collection systems for different tasks are described. A specialized system has been developed for studying the parameters of pneumatic testing machines for multiple impacts. The developed implementation was tested. Based on the obtained data, the analysis and comparison with the mathematical model are performed. The solutions obtained as a result of the work are described. The results of which were put into operation on industrial testing equipment of this type.

Practical significance. The results obtained can be used for further investigation of the parameters of test shock stands. Some of the solutions are already being applied in practice to improve the performance of impact testing machines.

Conclusions. Thanks to the obtained data acquisition system of the multiple impact test bench, it becomes possible to fully analyze the design of the impact stands and check and refine the mathematical models.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 Обзор устройств сбора данных технологического оборудования.....	12
1.1 Устройства сбора данных технологического оборудования.....	12
1.2 Специальные программные средства .....	15
2 Разработка системы сбора данных стенда многократных ударов.....	17
2.1 Схема установки.....	17
2.2 Записываемые параметры .....	20
2.3 Система сбора данных.....	21
3 Программная реализация системы сбора данных стенда многократных ударов .....	26
3.1 Программа управления лабораторным ударным стендом.....	26
3.2 Программа сбора данных .....	34
4 Результаты опробования системы сбора данных .....	44
4.1 Описание испытаний .....	44
4.2 Анализ результатов испытаний .....	45
4.3 Обработка сигнала вибропреобразователя.....	51
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	56
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	58
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	61
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	62
ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	63
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	64
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	65
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	66

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж .....	67
ПРИЛОЖЕНИЕ И .....	68
ПРИЛОЖЕНИЕ К .....	69
ПРИЛОЖЕНИЕ Л .....	70
ПРИЛОЖЕНИЕ М .....	71
ПРИЛОЖЕНИЕ Н .....	72
ПРИЛОЖЕНИЕ П .....	73
ПРИЛОЖЕНИЕ Р .....	74

## ВВЕДЕНИЕ

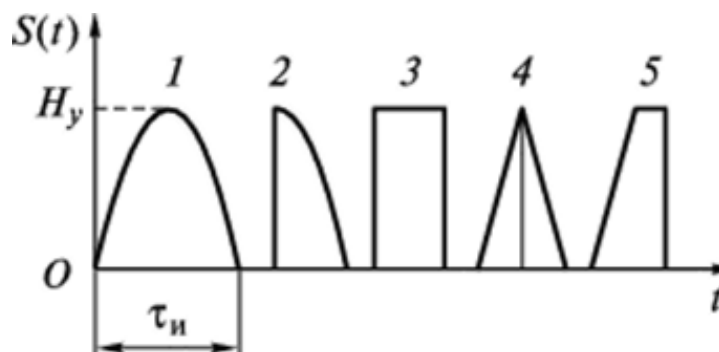
Изделия промышленного производства регулярно подвергаются тем или иным ударным воздействиям во время эксплуатации, хранения, транспортировки. Именно по этой причине во время проектирования какого-либо изделия следует учитывать ударные воздействия. В общем случае ударом считается механическое воздействие, длительность которого значительно меньше частот собственной системы [1]. Обычно ударное воздействие сопровождается большим, но коротким, импульсом ударного ускорения.

Ударные воздействия требуется учитывать, поскольку они наравне с вибрационными и климатическими воздействиями крайне негативно влияют на различные характеристики изделия: эстетические, эксплуатационные, функциональные. Причин возникновения ударов может быть множество. Наиболее распространенные из явлений: падение с высоты, неаккуратное использование, жесткие условия транспортировки, регулярные удары, связанные с особыми условиями эксплуатации изделия и так далее [2].

Последствия ударных воздействий могут быть совершенно различны. Наиболее частыми повреждениями и в то же время очевидными, легко выявляемыми, являются деформации конструкции изделия, такие как трещины, расколы, разрывы, прогибы и многие другие. Другим же видом неисправности может быть функциональный сбой. Функциональным сбоем является такое повреждение, в результате которого изделие частично или полностью теряет свои эксплуатационные характеристики. В зависимости от объема повреждения функциональный сбой может быть легко замечен сразу или же не обнаружен в течение длительного периода времени. Также могут возникать и побочные повреждения, в результате которых повреждаются объекты, связанные с тем, на который было оказано ударное воздействие [3].

Удары нельзя полностью исключить из жизненного цикла, однако можно предусмотреть их влияние на используемый продукт. Воспроизвести всё разнообразие вариаций ударных воздействий на все изделия невозможно, поэтому для

испытаний используют некоторые эталонные нагрузки. Для определения реакции, последствий при воздействии удара на объект используются испытательные машины – ударные стенды. Ударные стенды воспроизводят ударные импульсы различной формы и длительности (рис.1) [4], [5].



1 – полусинусоидальный; 2 – четверть-синусоидальный; 3 – прямоугольный; 4 – треугольный; 5 – трапецеидальный

Рисунок 1 – Формы ударных импульсов

Помимо самого ударного импульса также важно и то, как часто могут возникать те или иные воздействия. Для решения этой задачи существуют ударные стенды одиночных и многократных ударов. Наиболее яркими представителями в области производства ударных стендов являются зарубежные компании Avex, Dongling, Lansmont Corporation и отечественная компания Дельтамэк.

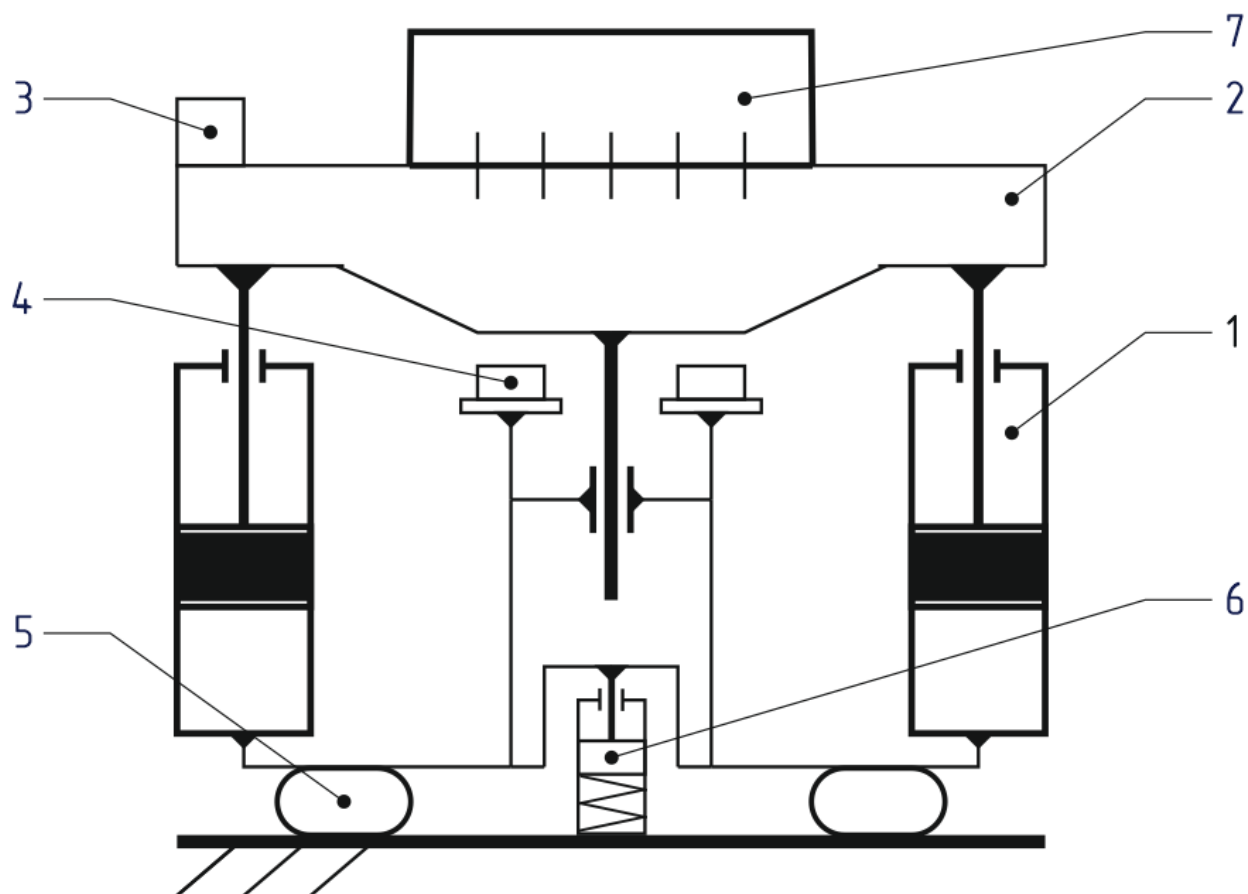
Существуют совершенно различные конструкции и способы генерации ударного воздействия. В данной работе уделяется внимание ударным стендам с пневматическим приводом. Большинство стендов, использующих пневматический привод, зачастую пневмоцилиндр, являются испытательными машинами для генерации многократных ударов.

На рисунке 2 представлена одна из наиболее распространенных схем ударной пневматической испытательной машины. Испытуемое изделие 7 закрепляется на ударном столе 2. В данном случае подвижным объектом является ударный стол, который может подниматься на необходимую высоту при помощи пневмоцилиндров 1. От высоты подъема зависит амплитуда ударного импульса.

После подъема ударного стола 2, он совершает свободное или ускоренное, при подаче давления в штоковую полость пневмоцилиндров 1, падение. В завершении своего падения стол соударяется с формирователем импульса 4. От формирователя импульса зависит форма ударного импульса, а также он оказывает существенное влияние на длительность и амплитуду удара. Основание стенда установлено на амортизатор 6 и пневматические подушки 5, чтобы минимизировать передачу ударного импульса на фундамент. Амортизаторы исключают раскачивания ударного стенда, в то время как большую часть ударного импульса берут на себя пневматические подушки за счет сжатия и расширения воздуха в них.

Еще одним важным и неотъемлемым элементом ударного стенда является акселерометр 3, также известный как вибропреобразователь. Данный датчик используется для записи и контроля генерируемых ударных воздействий. Обычно акселерометр закрепляется на ударный стол рядом с испытуемым изделием или на само изделие. Второй вариант закрепления акселерометра является предпочтительным, поскольку ударный импульс на изделии и ударном столе могут иметь различия в силу их механической связи. Могут быть использованы сразу несколько датчиков в разных местах.





1 – пневмоцилиндр; 2 – ударный стол; 3 – акселерометр; 4 – формирователь ударного импульса; 5 – пневматическая подушка; 6 – амортизатор; 7 – испытуемый объект

Рисунок 2 – Общая схема пневматического ударного стенда

Даже при использовании однотипной схемы не всегда имеются четкие представления о влиянии тех или иных параметров ударной машины на выходные характеристики генерируемых импульсов ударного воздействия. Однако, при разработке ударного стенда, требуется иметь некоторые методики, алгоритмы выбора параметров машины. Поскольку отсутствует статистика во взаимосвязи параметров ударной машины и выходных характеристиках, необходимо восполнить данный пробел.

Данная работа посвящена разработке системы сбора данных для стенда многократных ударов. Для решения проблемы нехватки статистических данных

предлагается использовать систему, которая способна записывать, обрабатывать и сохранять необходимые данные.

Благодаря использованию системы сбора данных ожидается восполнение недостатка данных. При использовании системы и проведении необходимого цикла испытаний при различных параметрах, появляется возможность определения зависимостей генерируемых импульсов от входных параметров установки. Возникает перспектива верификации и уточнения различных математических моделей ударных испытательных машин данного типа.

# **1 Обзор устройств сбора данных технологического оборудования**

## **1.1 Устройства сбора данных технологического оборудования**

Устройства сбора данных, также известные как система сбора данных (Data acquisition, DAS, DAQ) представляет из себя комплекс средств, предназначенный для работы совместно с персональным компьютером, либо специализированной ЭВМ и осуществляющий автоматизированный сбор информации о значениях физических параметров в заданных точках объекта исследования с аналоговых и/или цифровых источников сигнала, а также первичную обработку, накопление и передачу данных [6].

Большинство современных цифровых систем сбора данных включают в себя следующие компоненты (рис. 3) [7], [8], [9]:

- датчики – различные преобразователи физической величины в электрический сигнал [10];
- преобразователи сигналов – служат для различных преобразований электрических сигналов, их увеличения, сложения, вычитания. фильтрации;
- аналого-цифровые преобразователи (АЦП) – преобразуют аналоговые электрические сигналы в цифровые;
- программа сбора данных – программное обеспечение, которое может осуществлять сбор данных. Обладает всеми необходимыми интерфейсами для получения данных с устройств записи: датчиков, АЦП и так далее. Также возможно осуществление анализа, обработки и хранения данных.

Также стоит отметить, что конфигурация систем сбора данных может отличаться от вышеописанной и включать в себя и такие компоненты как:

- хранилище данных;
- устройство обработки данных;
- устройство отображения данных.



Рисунок 3 – Элементы современной системы сбора данных (DAQ)

Существуют две основные разновидности систем сбора данных:

- готовые системы или инструменты сбора данных;
- платформы разработки.

*Готовая или интегрированная система сбора данных* — инструментарий, благодаря которому при минимальных затратах на разработку могут быть возвращены системы сбора данных. Инструмент, благодаря которому возможен быстрый и простой сбор информации.

Готовые системы сбора данных не требуют специальных навыков от пользователя в области программирования, электромонтажа. Использование таких систем является максимально упрощенным и значительно экономит время. Однако в виду универсальности и законченности продукта данные системы обладают рядом недостатков. Прежде всего может возникнуть ситуация нехватки функциональных возможности устройства. В то же время система сбора данных может быть попросту избыточна для той или иной задачи, что ведет к неполному использованию ее функционала, а, следовательно, к неэффективной ее работе.

*Платформы разработки* способны обеспечить необходимый функционал в широком диапазоне. При этом та или иная система может быть сконструирована под конкретную задачу. В отличие от готовой системы, данная модель может быть просто переконфигурирована расширена или наоборот обрезана, в зависимости от измененных требований к системе. В то же время для разработки

систем данного типа требуются некоторые навыки и квалификация от специалистов.

На данный момент существует несколько компаний, производящих устройства для систем сбора данных или же даже целые системы, включающие программное обеспечение. Некоторые производили поставляют готовые сборки, а некоторые предоставляют подобие «конструктора», на основе которой возможно быстрое, а главное гибкое, конфигурирование системы сбора данных.

*Dewesoft* (Словения) занимаются разработкой и производством систем сбора данных. Представленные системы сбора данных могут быть использованы для измерения самых различных физических величин: от температуры до энкодеров, съемки высокоскоростных видео. Устройства могут иметь самые разные протоколы подключения и передачи данных: CAN, OBDII, Modbus, подключение к Siemens S7, EtherCAT и многое другое. Данные системы обладают большой гибкостью, способны записывать от 1 до 1000 каналов с полной межканальной синхронизацией и частотой опроса до 1 МГц/канал. Имеется своя среда разработки для написания программ обработки, отображения и хранения данных [11].

*Dewetron* (Австрия) производят готовые системы сбора данных. Данные системы способны записывать сигналы с различных датчиков по напряжению или току, с частотой до 250 кГц/канал. В основном данные системы обладают встроенным хранилищем, обработчиком данных, а также настраиваемым устройством отображения и мониторинга данных [12].

*Keysight Technologies* (США) производят различные готовые системы модульного типа. Данные устройства могут быть сконфигурированы таким образом, чтобы максимально эффективно решать поставленную задачу. Имеется различные варианты устройств с количеством каналов записи до 1000, частотой до 26.5 ГГц/канал. Удобное программное обеспечение для настройки системы сбора данных, конфигурации каналов записи, последующей обработки, отображения и хранения данных [13].

*National Instruments* (США) предлагает широкий ряд аппаратных интерфейсов, устройств для подключения различных датчиков. Возможности обработки сигналов, анализа, накоплению данных и многое другое.

При использовании устройств в системах сбора данных на базе персонального компьютера оборудование компании NI соединяется и взаимодействует с компьютером через Ethernet или USB. Существует множество конфигураций, на базе которых может быть создана измерительная система. Стоит выделить две основные конфигурации: прямое подключение многофункционального устройства ввода-вывода к персональному компьютеру или подключение к компьютеру шасси CompactDAQ. При использовании шасси оно может быть заполнено различными модулями ввода-вывода, преобразования сигналов и так далее. Стоит отметить, что чтение данных с модулей в рамках одного шасси является согласованным [14].

Также существуют «умные» шасси. К примеру, шасси из линейки CompactRIO. В системе CompactRIO контроллер с процессором и программируемой пользователем ПЛИС соединен с одним или несколькими модулями согласованного ввода/вывода, изготовленными NI или сторонними производителями. Эти модули обеспечивают прямое подключение датчиков и специальные функции. CompactRIO доступен как в прочном промышленном исполнении, так и в виде платы [15].

Все модули, системы и устройства, изготовленные компанией NI программируются при помощи объектно-ориентированной графической среды разработки LabView [16].

## **1.2 Специальные программные средства**

Ранее было отмечено, что у каждого производителя систем сбора данных имеются свои специализированные программные средства для настройки данных систем. Однако стоит особо отметить среду разработки от компании National Instruments – LabView [17], [18], о которой уже упоминалось ранее.

Данное ПО обладает большим рядом преимуществ по сравнению с классическими методами программирования.

Во-первых, низкий порог вхождения, благодаря графическому языку программирования. Простое конфигурирование рабочего интерфейса программы, отображения данных, кнопок управления и так далее.

Во-вторых, большая база драйверов для различных устройств не только компании NI, но и многих других, в том числе и вышеперечисленных систем сбора данных от других компаний. Большое количество протоколов обмена информацией между устройствами, доступ к сети интернет и множество других возможностей.

Благодаря своей большой гибкости, универсальности, простоте, а также функционалу данное программное средство обладает большой популярностью, в особенности при разработке систем сбора данных.

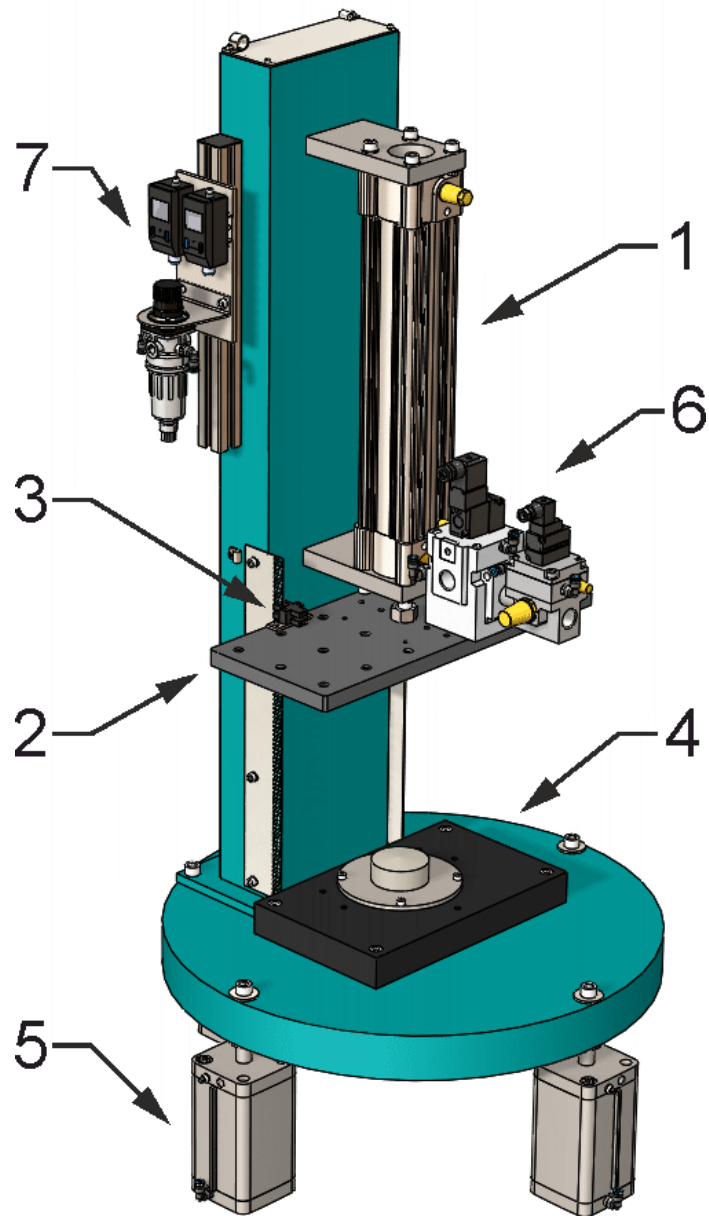
## **2 Разработка системы сбора данных стенда многократных ударов**

### **2.1 Схема установки**

На рисунке 4 представлена 3D модель лабораторного ударного стенда. Данный стенд имеет один пневмоцилиндр, который в то же время выступает в роли линейной направляющей. В отличие от типовой схемы пневматического ударного стенда, представленной выше, на данном стенде отсутствуют направляющие ударного стола, отсутствует инерционный блок, амортизаторы. Управление пневмоприводом осуществляется только за счет подачи давления в штоковую полость, то есть давления на подъем, поршневая полость же связана напрямую с атмосферой. В качестве опор на данном стенде выступают пневматические цилиндры малого хода, совмещенные с ресивером через регулятор давления.

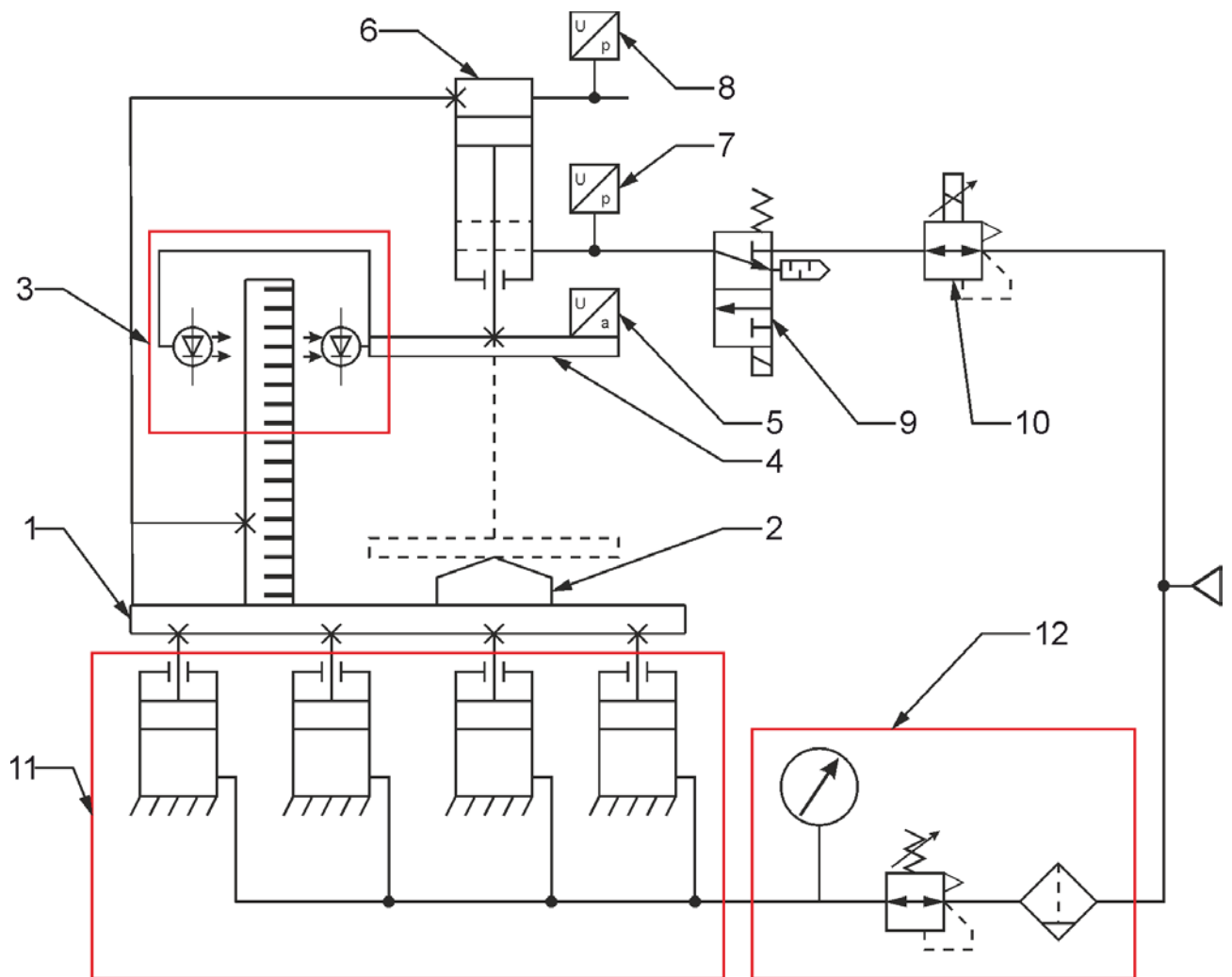
На рисунке 5 представлена пневмо-кинематическая схема установки. Основание ударной машины 1 установлено на пневмоопоры 11, давление в которых задается посредством блока регулятора давления 12. На основании 1 закреплен формирователь ударных импульсов 2 и пневмоцилиндр 6. Пневмоцилиндр 6 перемещает ударный стол 4 с закрепленным на нем акселерометром 5, для записи ударного импульса. Положение ударного стола определяется при помощи оптической линейки 3, фотодатчики закреплены на ударном столе 4, а сама линейка с прорезями закреплена на основании 1. Подача давления в штоковую полость пневмоцилиндра 6, для подъема ударного стола 4, осуществляется при помощи аналогового регулятора давления 10 и пневматического клапана 9. Также имеются датчики давления 7 и 8 для измерения давления в штоковой и поршневой полостях.





1 – пневмоцилиндр; 2 – ударный стол; 3 – оптическая линейка; 4 – наковальня с формирователем импульса; 5 – пневмоцилиндр основания; 6 – регулятор давления и пневмоклапан; 7 – датчики давления и регулятор давления в пневмоцилиндрах основания

Рисунок 4 – Лабораторный ударный стенд



1 – основание ударного стенда; 2 – формирователь ударного импульса; 3 – оптическая линейка; 4 – ударный стол; 5 – акселерометр; 6 – пневмоцилиндр; 7 – датчик давления в штоковой полости; 8 – датчик давления в поршневой полости; 9 – пневматический клапан; 10 – аналоговый пневматический регулятор давления; 11 – пневмоопора; 12 – блок регулятора давления для пневмоопор

Рисунок 5 – Пневмо-кинематическая схема ударного стенда

На рисунке 6 представлена фотография лабораторной ударной машины, на которой проводились испытания и отладка системы.



Рисунок 6 – Фотография лабораторной ударной машины

## 2.2 Записываемые параметры

Поскольку основной целью разработки данной системы сбора данных является экспериментальное подтверждение, уточнение математической модели ударных стендов данного типа, то и исследуемые параметры вытекают напрямую из математических изысканий [19], [20].

Для записи были выбраны следующие параметры:

- ускорение стола;
- ускорение инерционного блока;
- давление в поршневой полости пневмоцилиндра;
- давление в штоковой полости пневмоцилиндра;
- положение стола.

Таким образом, система должна обладать всем необходимым для записи вышеописанных сигналов. В то же время записи должны быть согласованы и синхронизированы по времени.

### 2.3 Система сбора данных

Система сбора данных (рис. 7) представляет из себя совокупность различных устройств: от датчиков до обрабатывающего и записывающего оборудования. Благодаря их взаимосвязи между собой система реализует запись необходимых параметров.

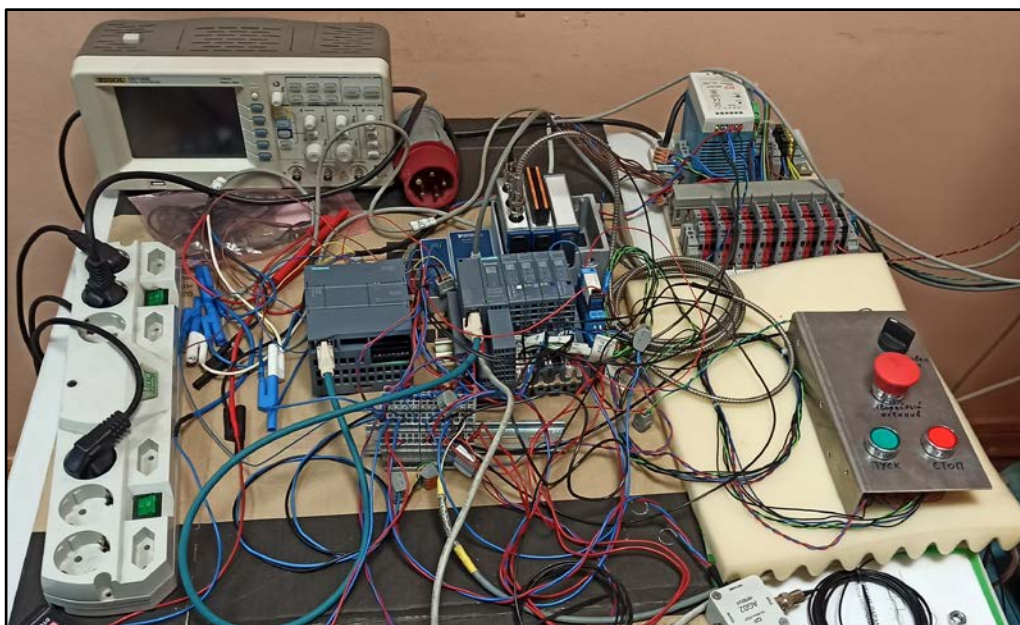


Рисунок 7 – Фотография системы сбора данных

Схема системы сбора данных представлена на рисунке 8.

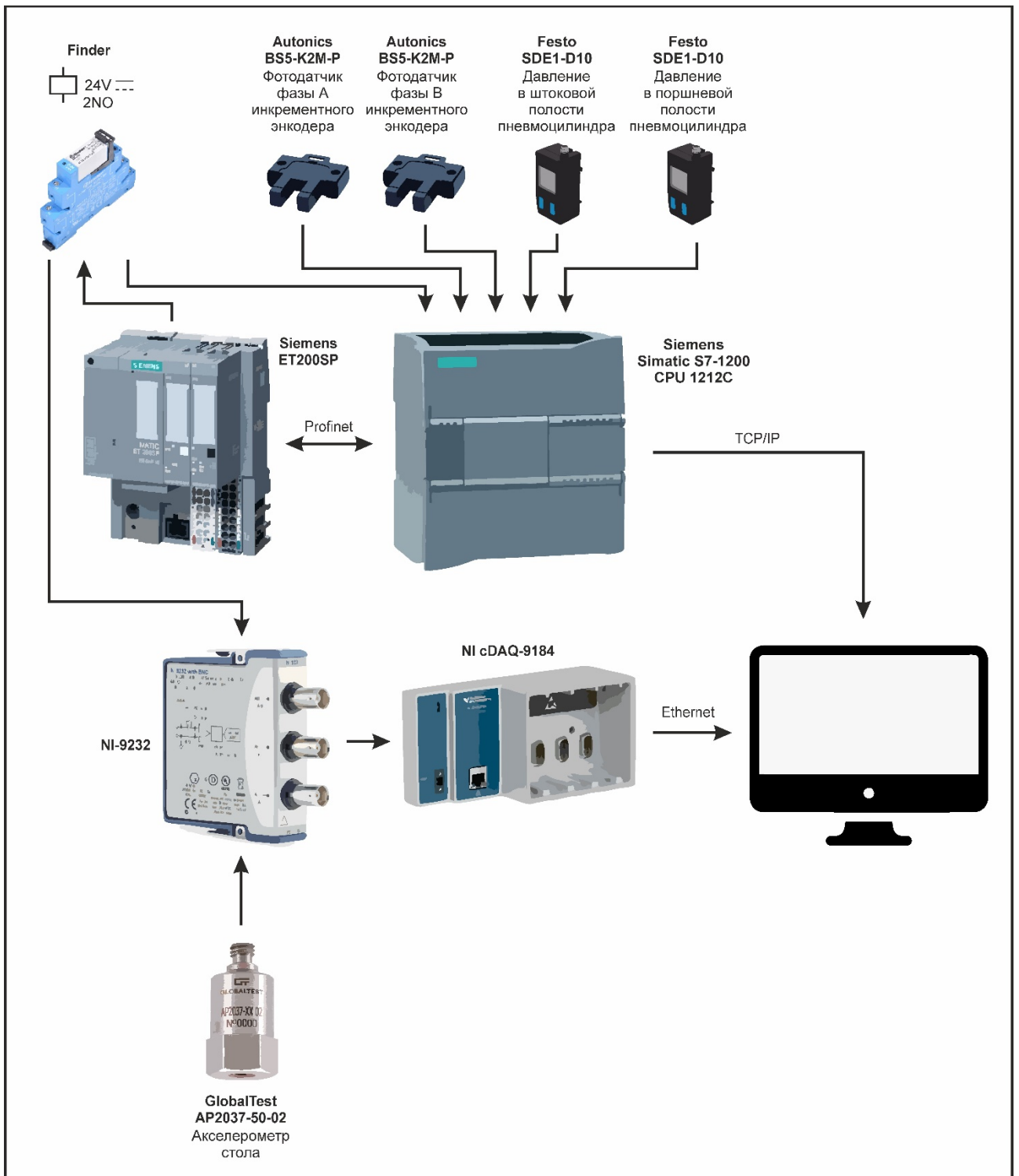


Рисунок 8 – Система сбора данных

Система состоит из трех основных групп устройств:

- датчики;
- устройство ввода/вывода;
- персональный компьютер.

Первая группа, датчики, предназначена для выработки электрического сигнала измерительной информации. При помощи устройств данной группы производится измерение и преобразование в электрический сигнал таких физических величин, как ускорение, давление, положение.

Вторая группа, устройства ввода/вывод, необходима для считывания сигналов с датчиков, возможно, дальнейшего преобразования, вычислений, накопления и отправления пакетов данных, персональному компьютеру (далее ПК).

Третья же группа, ПК, является конечным обработчиком данных. В персональный компьютер данные приходят пакетами, где затем обрабатываются и собираются воедино.

Электрическая схема системы сбора данных представлена в приложении А.

### 2.3.1 Программируемый логический контроллер Siemens Simatic S7-1200 CPU1212C

Рассмотрим систему подробнее. На программируемый логический контроллер Siemens Simatic S7-1200 CPU1212C приходят следующие сигналы:

1) дискретные высокоскоростные сигналы с двух фотодатчиков Autonics BS5-K2M-P. Данные датчики в совокупности с пластиной с прорезями, представляют из себя квадратурный энкодер. Благодаря использованию двух фотодатчиков, смещенных друг относительно друга, появляется возможность определения направления перемещения, а также увеличивается точность определения позиции;

2) дискретный сигнал записи. При высоком уровне данного сигнала необходимо осуществлять запись параметров. Также положительный фронт данного сигнала является триггером начала времени записи, то есть представляет собой синхронизирующий сигнал;

3) аналоговые сигналы с двух датчиков давления Festo SDE1-D10 0 – 10 бар, 0 – 10 вольт, соответствующих двум полостям пневмопривода: поршневой и штоковой.

Сигналы считываются с периодом 1 мс, частотой 1000 Гц. Контроллер собирает пакеты по 208 наборов данных, с метками времени для каждого набора и отправляет на персональный компьютер. Какие данные входят в отправляемый набор будет описано ниже в следующих разделах.

### 2.3.2 Шасси NI cDAQ-9184

Шасси удаленных входов/выходов NI cDAQ-9184 имеет в своем составе следующие модули:

- NI-9232 – 3 аналоговых входа  $\pm 30$  вольт, для подключения коаксиальных кабелей с разъемом BNC;
- NI-9375 – цифровой модуль на 16 каналов входа и 16 каналов выхода, 24 вольта.

В модуль NI-9232 приходят следующие сигналы:

1) аналоговый сигнал с акселерометра GlobalTest AP2037-50-02, с чувствительностью 5 мВ / м/с<sup>2</sup>. Данный акселерометр устанавливается на ударный стол лабораторной станда;

2) возможность подключения второго акселерометра, который может быть установлен дополнительно на лабораторный стенд. Аналоговый сигнал должен лежать в пределах  $\pm 30$  вольт;

3) дискретный сигнал записи. Также, как и на контроллере, при высоком уровне данного сигнала необходимо осуществлять запись параметров. Положительный фронт сигнала является моментом начала времени записи.

Частота записи данных составляет 5120 Гц. На персональный компьютер данные отправляются пакетами. Каждый пакет включает из себя набор из 1024 записей. Данные параметры могут быть изменены через интерфейс программы сбора данных.

### 2.3.3 Синхронизация

Поскольку данные записываются с двух разных устройств имеет место быть проблема синхронизации записи по времени. Безусловно, для записи различных данных с минимальной, практически нулевой, ошибкой по времени необходимо производить считывание при помощи одного устройства. Однако, исходя из условий имеющегося оборудования данную задачу не удалось решить с использованием одного общего устройства записи. Для решения данной задачи используется дополнительный дискретный сигнал, являющийся триггером, начала записи и ее продолжения при высоком уровне сигнала.

Контроллер CPU1212C, который управляет лабораторным ударным стендом, связан по profinet с системой удаленных входов/выходов ET200SP, в которой имеется модуль DQ16x24VDC/0.5A на 16 дискретных каналов выхода 24 вольт до 0,5 ампер. Контроллер в зависимости от состояния машины устанавливает один из выходных сигналов на модуле DQ16x24VDC/0.5A на низкий или высокий уровень. Когда осуществляется генерация ударного импульса, сигнал устанавливается на высокий уровень. Этот сигнал управляет реле с двумя нормально открытыми контактами, которые замыкают +24 вольт с дискретным входом на контроллере CPU1212C и аналоговым входом на модуле NI-9232, установленном на шасси NI cDAQ-9184.

Момент положительного фронта, когда текущее значение больше последнего считанного, если воспринимать сигнал как дискретный, принимается за начало отсчета. Поскольку максимальная частота, с которой может считывать контроллер данные составляет 1 мс, то и максимальная ошибка по синхронизации может составлять 1 мс, на практике данное значение не было превышено.



### 3 Программная реализация системы сбора данных стенда многократных ударов

#### 3.1 Программа управления лабораторным ударным стендом

##### 3.1.1 Состав системы

Управление лабораторным ударным стендом осуществляется при помощи программируемого логического контроллера (далее ПЛК) Siemens S7-1200.

Программирование контроллера производится в программном обеспечении TIA Portal V15.1. На рис. 9 представлена топология системы, устройства и их взаимосвязь. Как видно, в системе имеются три устройства:

- 1) CPU 1212C – ПЛК;
- 2) KTP900 Basic PN – операторская панель управления (HMI);
- 3) IM 155-6 PN ST – модуль децентрализованных входов/выходов ET200SP.

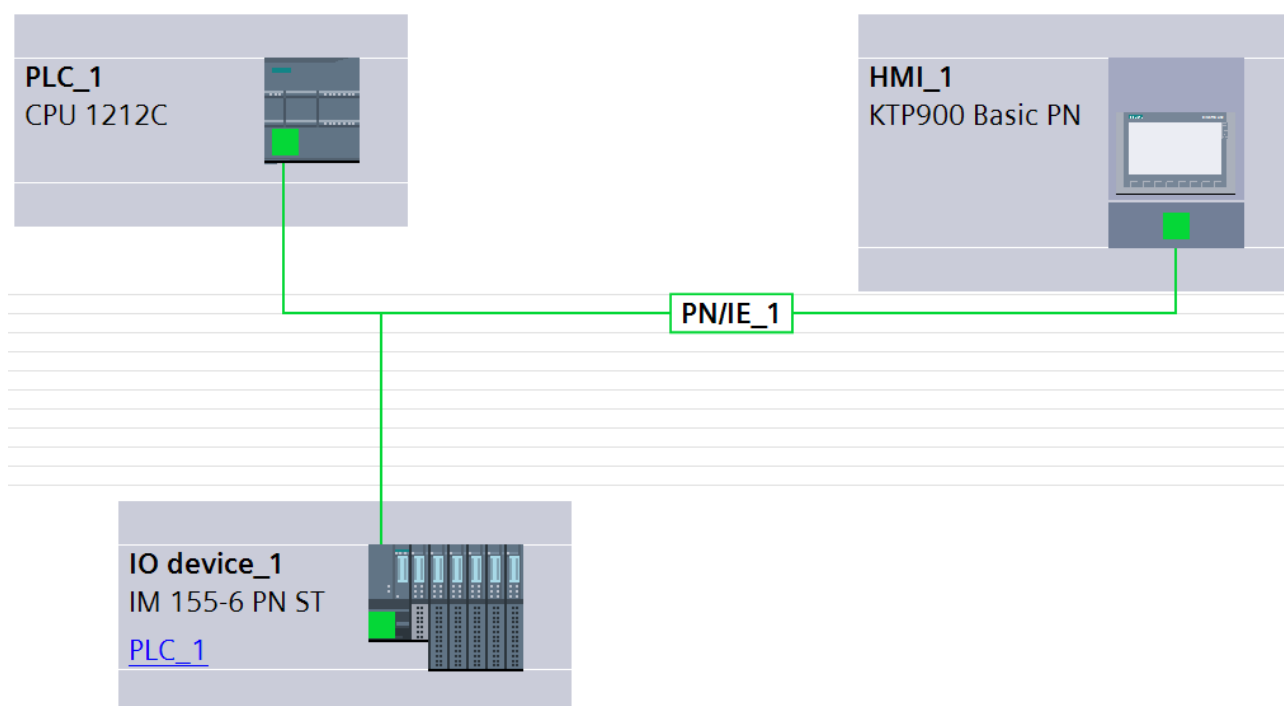


Рисунок 9 – Сеть и устройства

Устройства обмениваются данными по промышленному протоколу, разработанному компанией Siemens – Profinet.

ПЛК обладает следующими возможностями подключения:

- 1) 8 цифровых (дискретных) входа (DI);
- 2) 6 цифровых (дискретных) выхода (DQ);
- 3) 2 аналоговых входа 0-10 вольт (AI);
- 4) 6 скоростных счетчиков;
- 5) 4 импульсных генератора.

На модуле децентрализованных входов/выходов ET200SP установлены следующие компоненты (рис. 10):

- 1) 16 цифровых (дискретных) входа (DI);
- 2) 4 конфигурируемых аналоговых входа (AI U/I);
- 3) 4 конфигурируемых аналоговых выхода (AQ U/I);
- 4) 16 цифровых (дискретных) выхода (DQ).

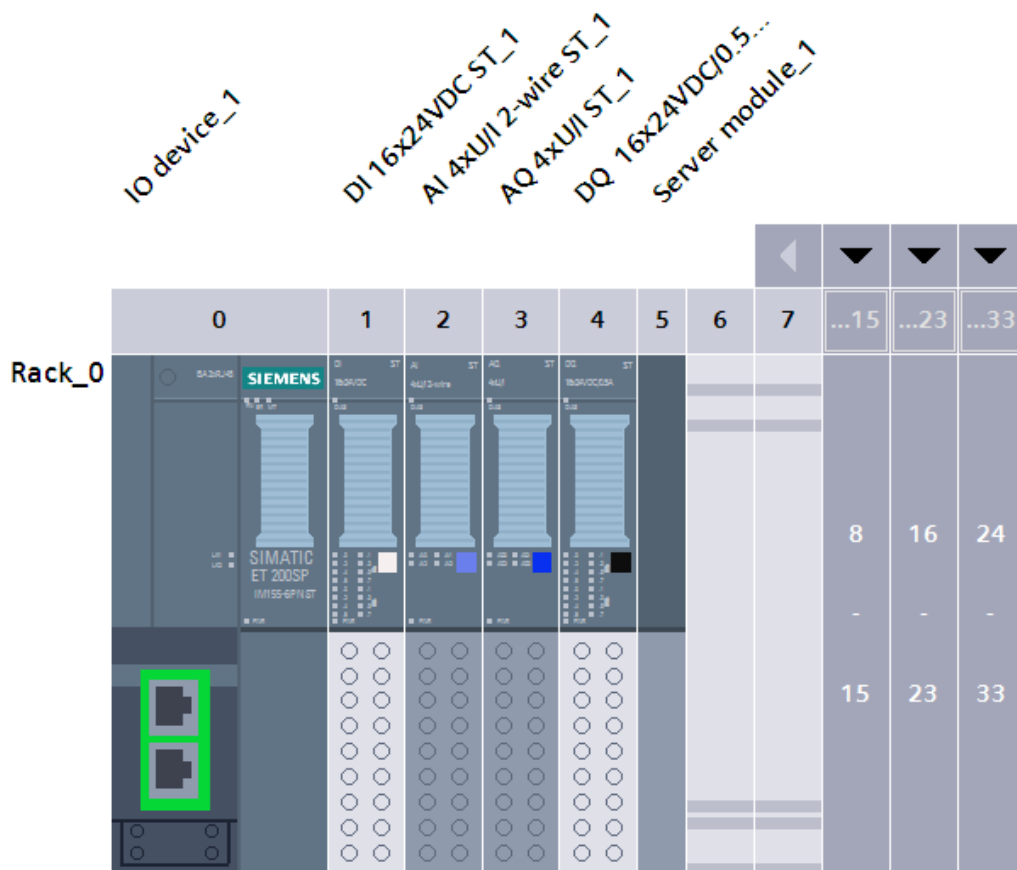


Рисунок 10 – ET200SP

### 3.1.2 Алгоритм управления

Полноценно описать алгоритм управляющей программы в рамках данной работы не удастся, поэтому сообщим лишь необходимую информацию. Программа ПЛК выполняется циклически, действия необходимые для выполнения за один цикл описаны в блоке Main (рис. 11). Цикл поделен на 12 этапов (network).

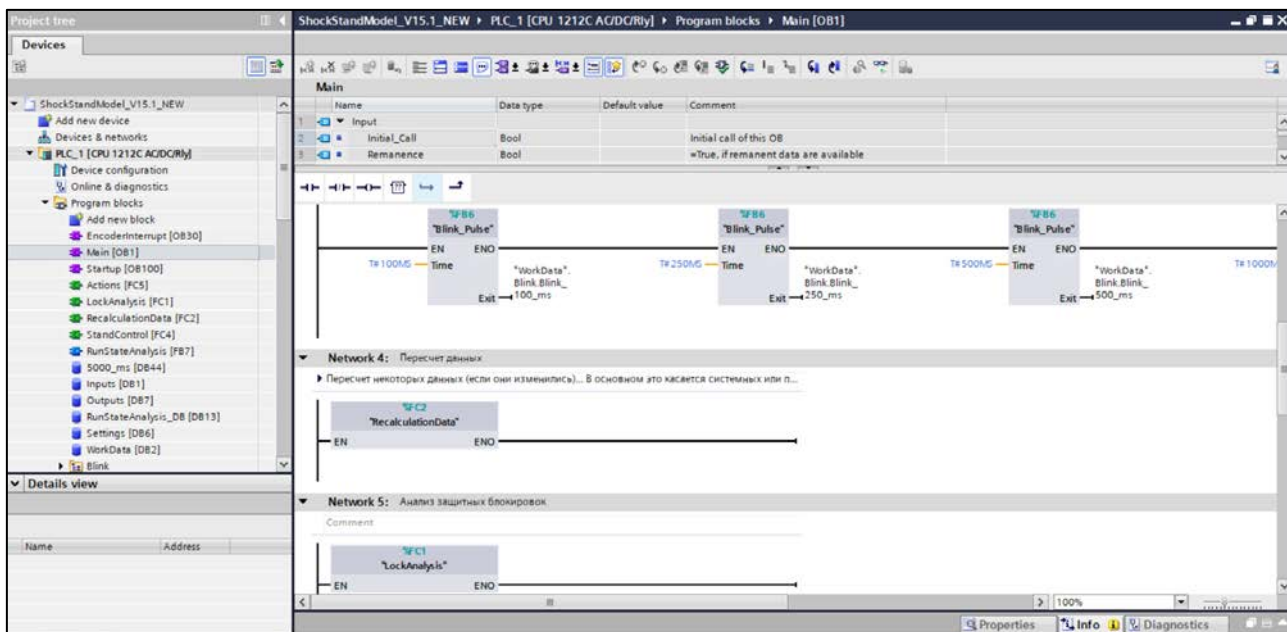


Рисунок 11 – Цикл Main

За один цикл контроллер считывает все входы, после чего запускаются различные сервисные функции: генератор мигания, пересчет данных, защитные блокировки. Далее идет анализ текущего состояния станда и необходимости его изменения, формируются команды по управлению стандом, запуск определенных алгоритмов работы по управлению внешним оборудованием и так далее. Затем данные команды выполняются, после чего устанавливаются необходимые значения на выходные модули. И в завершении контроллер запускает функцию отправки данных, данная функция будет подробнее рассмотрена далее.

Управление ударным стандом осуществляется посредством кратковременной подачи давления заданной величины в течении определенного промежутка времени в полость гидроцилиндра. В следствии чего образуется подъемная сила,

которая подбрасывает ударный стол на требуемую высоту. Управление является адаптивным. Во время работы производится корректировка параметров управления при использовании обратной связи по полученному пиковому ускорению или высоте сброса, в зависимости от того, какая величина была задана как требуемая. Более подробно данный алгоритм был описан в [21] и [22].

### 3.1.3 Управление по высоте

На лабораторном ударном стенде реализовано поддержание заданной высоты подъема. Схематично алгоритм управления изображен на рисунке 12.

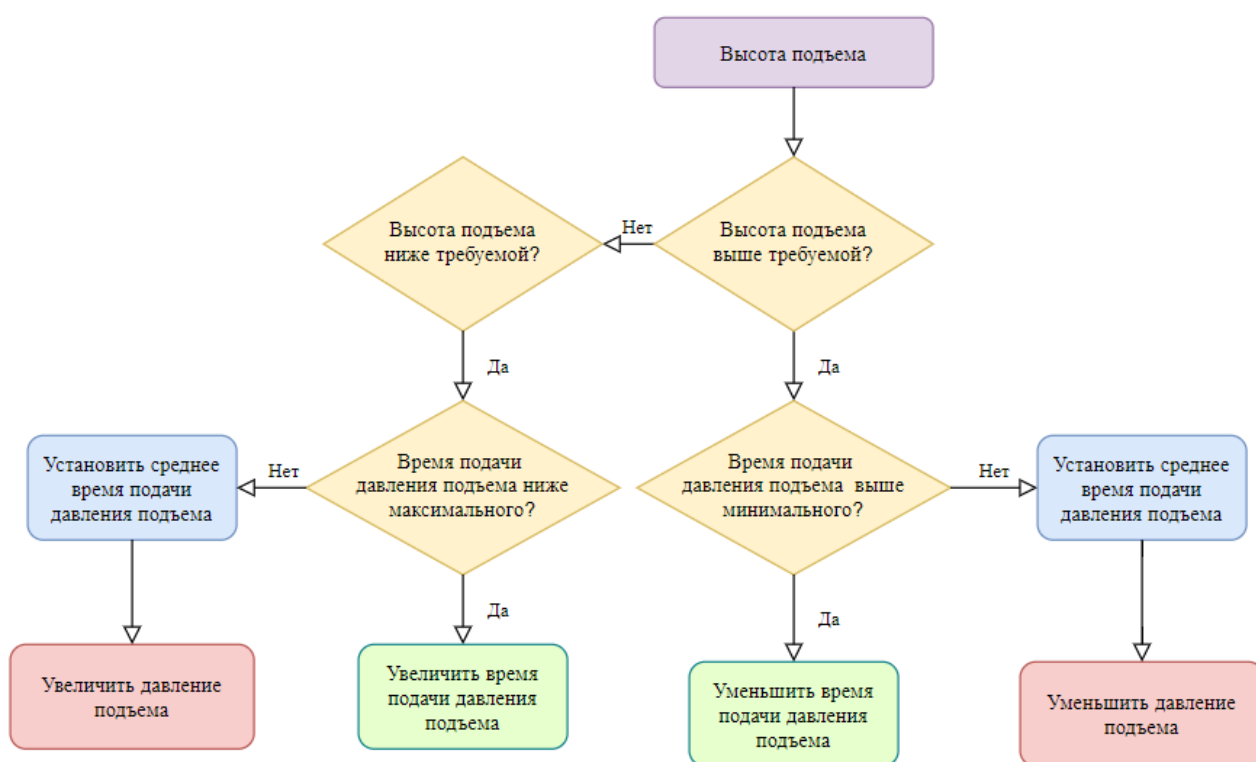


Рисунок 12 – Схема управления пневмоприводом

### 3.1.4 Управление по амплитуде ударного импульса

В программе управления также имеется возможность поддержания заданной амплитуды импульса ударного ускорения. Для обратной связи используется вибропреобразователь – акселерометр, данные с которого обрабатываются по алгоритму, описанному в следующем разделе. Также для увеличения ускорения при падении может подаваться давление ускорения в соответствующую полость, которая обозначена на ударном лабораторном стенде как поршневая. Ниже (рис. 13) представлен алгоритм поддержания требуемой амплитуды импульса с возможным дополнительным ускорением при падении.

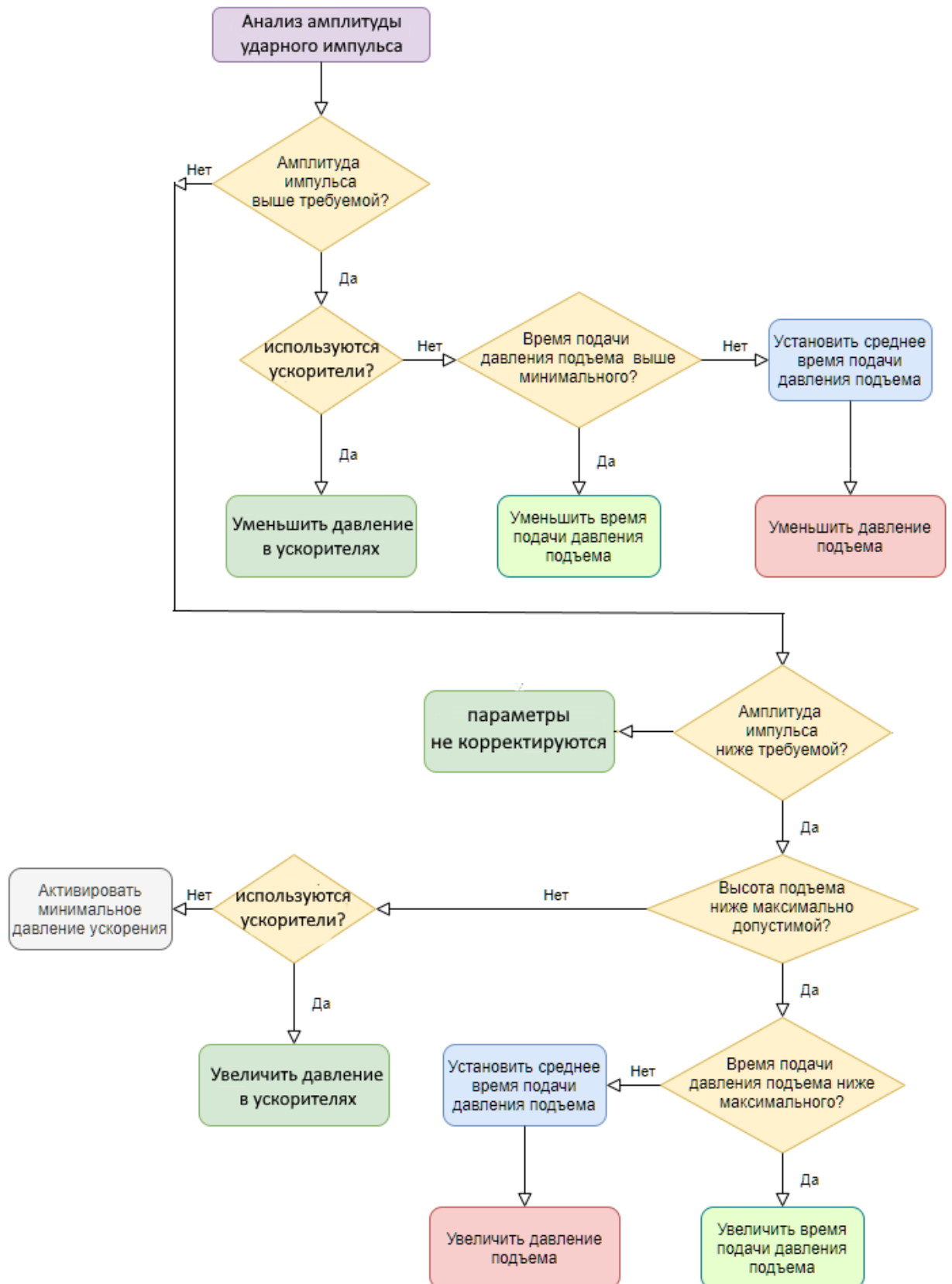


Рисунок 13 – Блок схема алгоритма корректировки параметров

### 3.1.5 Сбор и отправка данных

Как и упоминалось выше, отправка данных происходит в конце основного цикла контроллера (Main). Однако прежде, чем познакомиться с данным алгоритмом стоит описать каким образом данные собираются и формируется посылка.

Помимо основного цикла в алгоритме контроллера также заложено временное циклическое прерывание. Данный цикл выполняется каждую 1 миллисекунду. В данном цикле считываются данные с энкодера, а также происходит запись данных для отправки системе сбора данных. На рисунке 14 представлен скриншот программы с открытым циклом периодического прерывания. Цикл состоит из 14 этапов (network): network 1–6 предназначены для считывания данных с энкодера и обновления высоты ударного стола, а в последующих, network 7-13, происходит запись данных в буфер. В network 7 устанавливается выходной цифровой сигнал на выходном модуле ET200SP, который является сигналом (триггером) записи данных испытания. Данный сигнал устанавливается в зависимости от текущего состояния стенда, благодаря чему данные записываются только в момент выполнения генерации ударного импульса. В network 8 происходит чтение высокоскоростного цифрового входа ПЛК, сигнализирующем о необходимости вести запись. В последующих network 9–12 записываются данные в буфер. Стоит отметить, что буфера существует два, пока один заполняется данными, другой отправляется. После чего в network 13 при заполнении буфера до 208 значений текущий буфер перестает заполняться и отправляется системе сбора данных, а данные записываются в другой буфер, который к этому времени уже должен был освобожден, а заполнявшие его данные – отправлены.

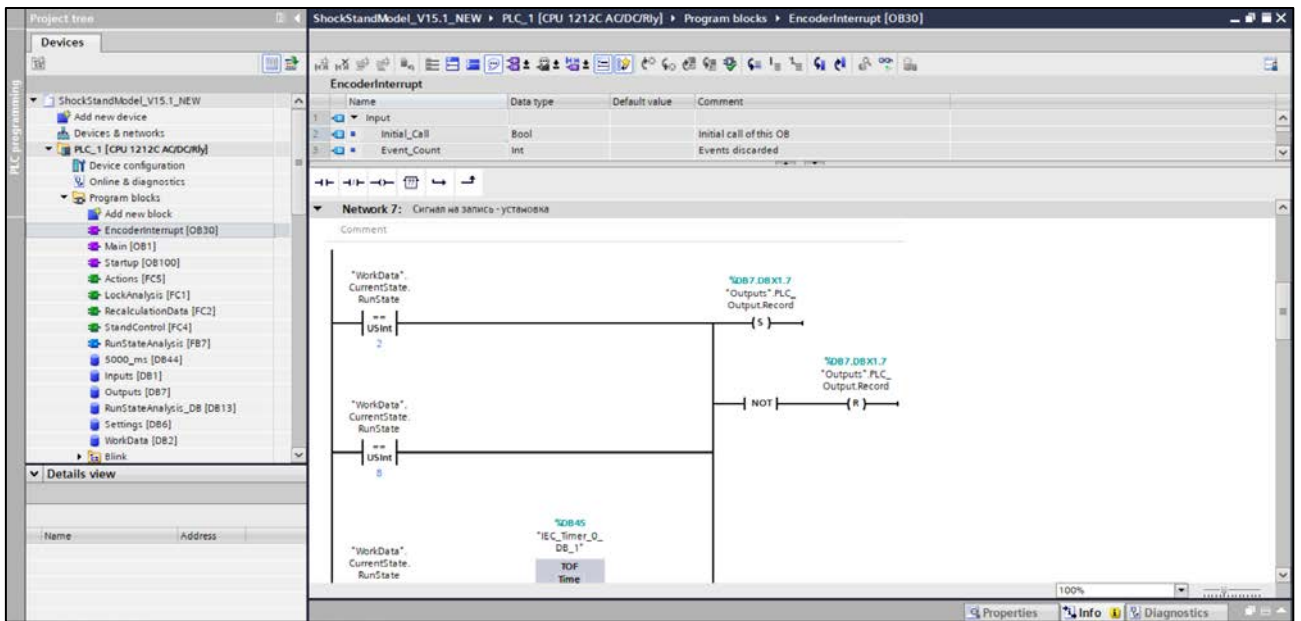


Рисунок 14 – Циклическое прерывание

Скриншот из программы с алгоритмом отправки заполненного буфера представлен на рисунке 15. Данные отправляются посредством протокола TCP/IP. Данные отправляются в два разных порта на сервер, где работает система сбора данных. На один порт отсылаются все данные по давлению: установки, текущие значение, а на другой прочая информация: положение ударного стола, время записи, бит сигнала записи.

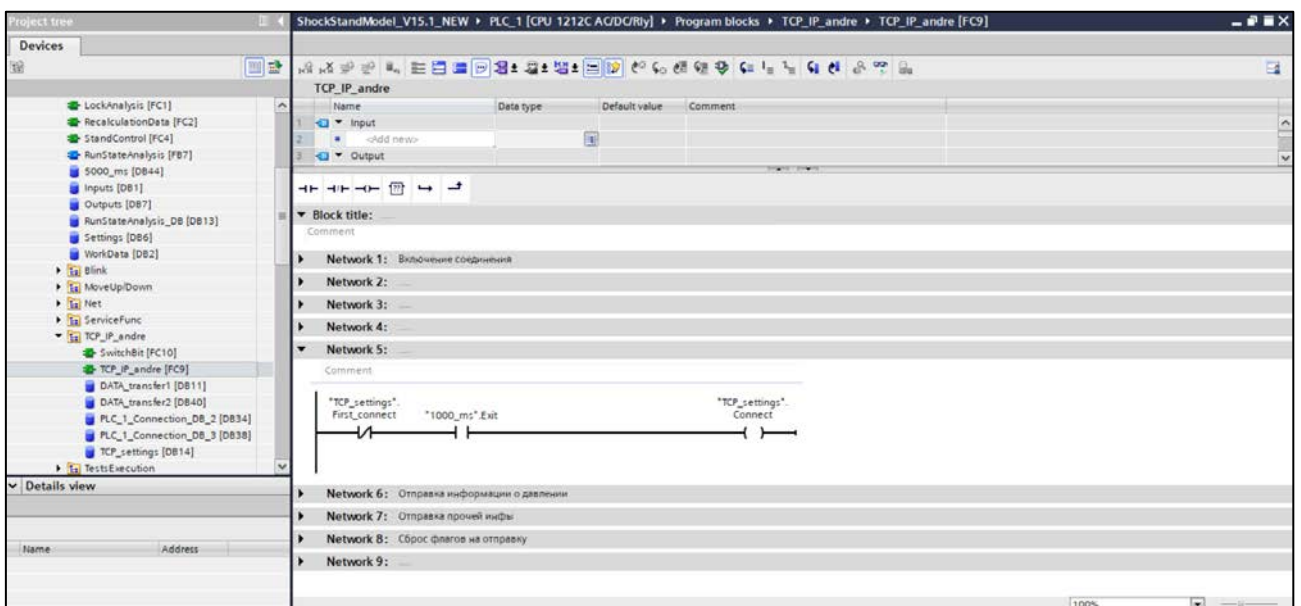


Рисунок 15 – Алгоритм отправки данных



## 3.2 Программа сбора данных

Программа сбора данных выполнена в среде разработки LabView2018 от National Instruments. Программа запускается на персональном компьютере под управлением операционной системой Windows 7/8/10.

Данная программа получает данные пакетами с записывающих устройств, обрабатывает их и сохраняет отчеты в виде файлов Excel формата \*.xlsx, а также график в формате \*.jpeg.

### 3.2.1 Описание интерфейса

При запуске программы открывается основная вкладка «График» (рис. 16), в основном пользователь взаимодействует только с элементами на данной вкладке. На данной вкладке большую часть панели занимает сам график. Справа от графика расположена легенда, на которой можно выбрать сигналы, отображаемые на графике. В зависимости от выбранных графиков изменяется и состав подписей вертикальных осей. К примеру, если не выбран ни один акселерометр, тогда подпись оси «Ускорение, g» не будет отображено, как и деления с подписями для данной оси.

На данной вкладке вводятся основная информация о проводимых испытаниях и директории сохранения отчета. Следующие параметры должны быть заполнены или проверены:

- *Оператор* – имя оператора, который производит испытания;
- *Report path* – директория сохранения отчетов. По умолчанию, директория *Report* на рабочем столе запущенной операционной системы;
- *Формирователь* – идентификационное название формирователя;
- *Mass, kg* – масса испытуемого объекта, задается в килограммах;
- *Высота сброса, мм* – высота сброса ударного стола, заданная на панели управления, вводится в миллиметрах;
- *Частота, уд/мин* – частота ударов в минуту при многократных испытаниях;
- *Количество испытаний* – число испытаний при многократных ударах.

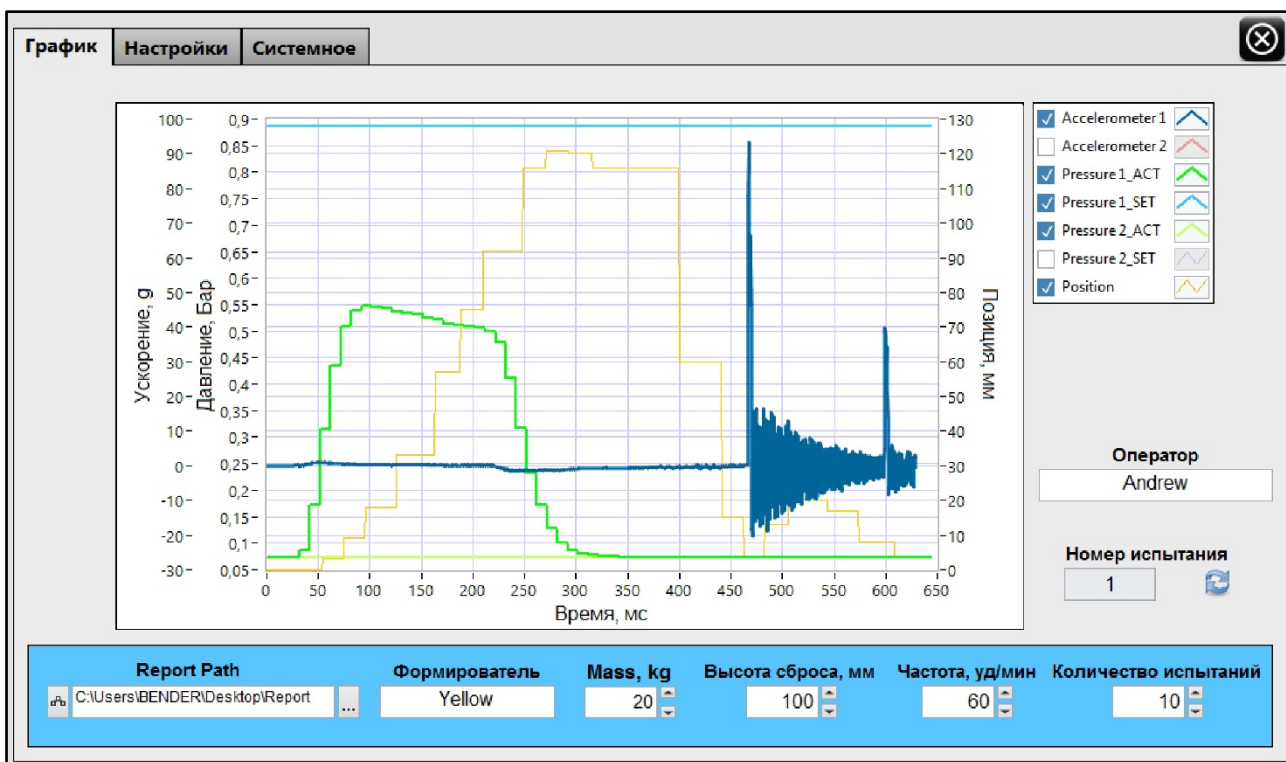


Рисунок 16 – Вкладка «График»

Программа автоматически определяет какие данные соответствуют временному отрезку генерации ударного импульса, строит график и затем сохраняет данные в отчет. При сохранении отчета в директории, указанной в *Report Path*, создается папка, соответствующая идентификационному названию формирователя, затем в ней создается папка, соответствующая массе объекта.

В последней директории создается \*.xlsx файл, название которого включает в себя высоту сброса, частоту ударов и количество ударов в испытании. На рисунке 17 представлен пример данного файла. В файле создаются страницы, соответствующие данным генерации отдельных ударов. В самом верху таблицы указаны дата и время сохранения отчета, а также основные параметры испытания и номер удара. Далее идет сам массив данных во времени.

Запись за 13.05.2021 19:30:54								
Формирователь	Wave_Gener_2							
Масса, кг	2kg							
Высота, мм	110							
Частота, уд/мин	20							
Номер испытания	4							
Всего испытаний	10							
Оператор	Daria							
Time NI	Accelerometer1	Accelerometer2	Time PLC	Pressure 1_ACT	Pressure 1_SET	Pressure 2_ACT	Pressure 2_SET	Position
0	-0,018054601	NaN	0	0,086082175	1,360315442	0,073784724	0	0
0,1953125	-0,019278685	NaN	1	0,086082175	1,360315442	0,073784724	0	0
0,390625	-0,020961797	NaN	2	0,086082175	1,360315442	0,073784724	0	0
0,5859375	-0,019431695	NaN	3	0,086082175	1,360315442	0,073784724	0	0
0,78125	-0,019049169	NaN	4	0,086082175	1,360315442	0,073784724	0	0
0,9765625	-0,0195082	NaN	5	0,086082175	1,360315442	0,073784724	0	0
1,171875	-0,023409965	NaN	6	0,086082175	1,360315442	0,073784724	0	0
1,3671875	-0,021650344	NaN	7	0,086082175	1,360315442	0,073784724	0	0
1,5625	-0,018896159	NaN	8	0,086082175	1,360315442	0,073784724	0	0
1,7578125	-0,020579273	NaN	9	0,086082175	1,360315442	0,073784724	0	0
1,953125	-0,020502767	NaN	10	0,086082175	1,360315442	0,073784724	0	0
2,1484375	-0,01920218	NaN	11	0,086082175	1,360315442	0,073784724	0	0
2,34375	-0,019049169	NaN	12	0,086082175	1,360315442	0,073784724	0	0
2,5390625	-0,020732284	NaN	13	0,086082175	1,360315442	0,073784724	0	0
2,734375	-0,020961797	NaN	14	0,086082175	1,360315442	0,073784724	0	0
2,9296875	-0,021191314	NaN	15	0,086082175	1,360315442	0,073784724	0	0
3,125	-0,019814221	NaN	16	0,086082175	1,360315442	0,073784724	0	0
3,3203125	-0,017672077	NaN	17	0,086082175	1,360315442	0,073784724	0	0
3,515625	-0,01713654	NaN	18	0,086082175	1,360315442	0,073784724	0	0
3,7109375	-0,022721417	NaN	19	0,086082175	1,360315442	0,073784724	0	0

Рисунок 17 – Пример EXCEL-файла отчета

Также в последней директории, название которой соответствует массе испытуемого объекта, создается папка *Pictures*, в которой сохраняются графики в формате \*.jpeg. Название файла картинки графика состоит из высоты сброса, частоты ударов в минуту, номера удара, количества ударов в испытании. Ниже (рис. 18) представлен пример файла *80mm\_80freq\_9of10.jpeg*.

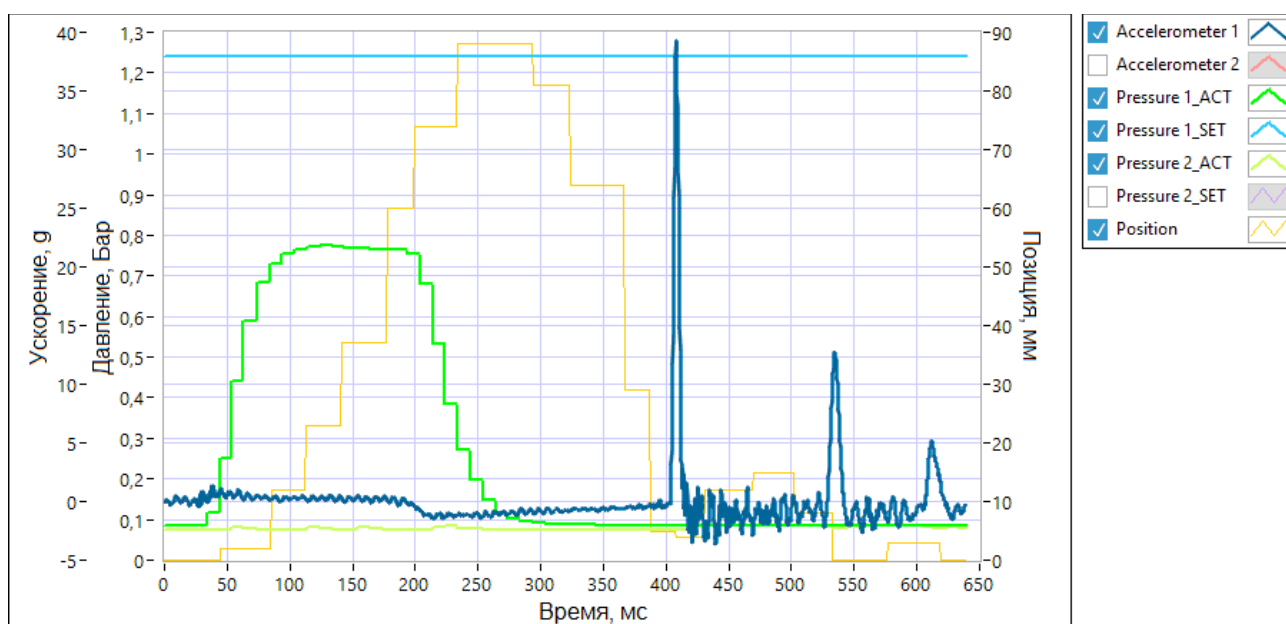


Рисунок 18 – График в формате \*.jpeg

На второй вкладке – «Настройки» (рис. 19), располагаются основные настройки системы, которые могут быть изменены пользователем.

В левой части расположены настройки, относящиеся к записывающему устройству cDAQ-9184. Прежде всего можно активировать/деактивировать запись данных с акселерометра при помощи параметра *Enable accelerometer*. Возможно подключение до двух акселерометров, при необходимости данное количество может быть увеличено через программу, при наличии нужного количества входов. Далее для активированных акселерометров задается чувствительность *Axial sense*, в мВ/g (g – ускорение свободного падения), а также канал записи *DAQ Channel*, к которому подключён акселерометр. Далее находятся общие настройки:

- *Min voltage* – минимально возможное напряжение на входе, вольты;
- *Max voltage* – максимально возможное напряжение на входе, вольты;
- *Sample rate* – частота считывания сигнала, герцы;
- *Actual rate* – установленная частота считывания, герцы;
- *Samples per loop* – количество данных (циклов записи) в пакете, который отправляется в программу от записывающего устройства cDAQ-9184;
- *DAQ Channel 3* – канал, к которому подключен сигнал на запись.

В правой части находятся настройки для обработки информации, получаемой с программируемого логического контроллера:

- *Минимум датчика давления, бар* – минимальное значение из диапазона измерения датчика давления;
- *Максимум датчика давления, бар* – максимальное значение из диапазона измерения датчика давления;
- *Минимум уставки давления, бар* – минимальное значение из диапазона регулятора давления;
- *Максимум уставки давления, бар* – максимальное значение из диапазона регулятора давления.

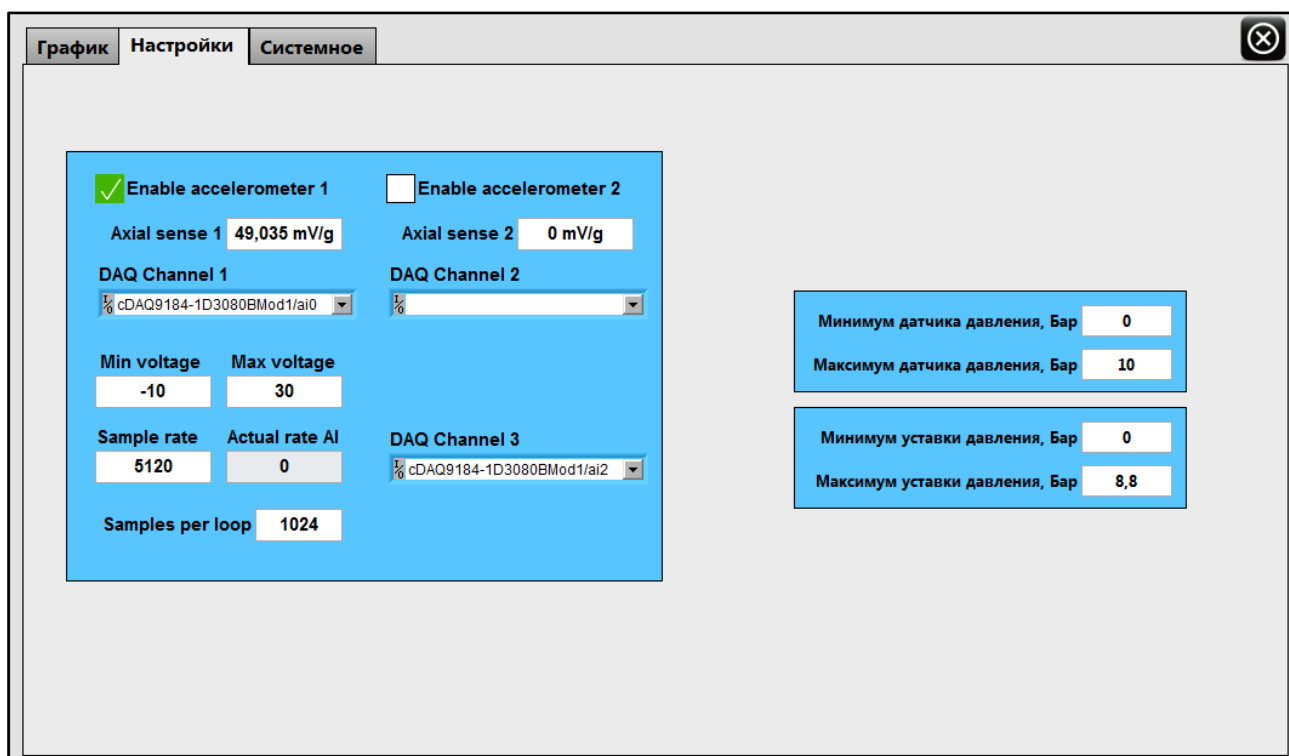


Рисунок 19 – Вкладка «Настройки»

На вкладке «Системное» (рис. 20) находятся различные индикаторы. Данная вкладка служит для проверки работоспособности программы, уведомления об ошибках и прочей диагностики.



Рисунок 20 – Вкладка «Системное»

После завершения работы, для выхода из программы необходимо нажать на черный крест в правом верхнем углу. Затем появляется сообщение, в котором необходимо подтвердить или опровергнуть утверждение о намерении завершить работу программы.

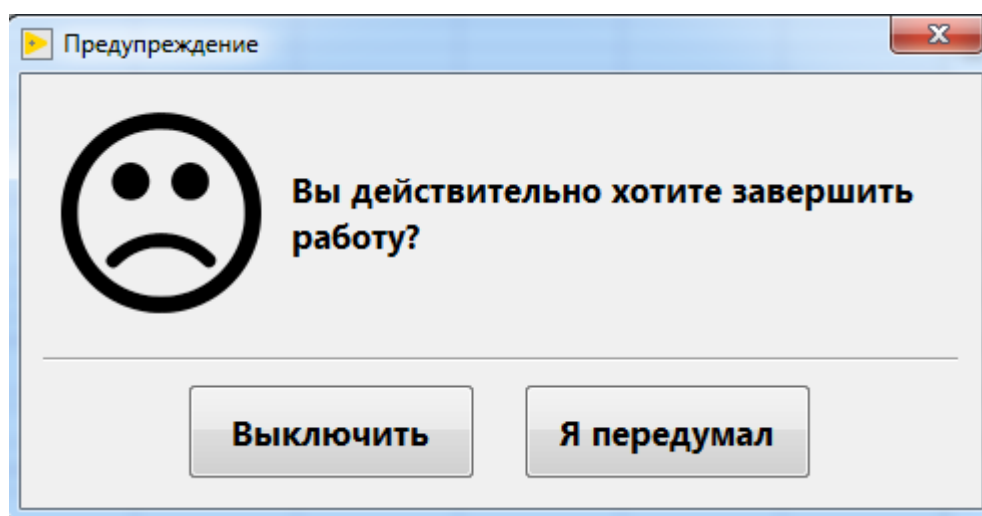


Рисунок 21 – Окно при завершении программы

### 3.2.2 Описание программы

Программа написана при помощи графического языка программирования LabView. Программа разделена на три основные фазы:

- 1) инициализация – действия при запуске программы;
- 2) циклы – основная часть, которая выполняется до тех пор, пока пользователь не захочет закрыть программу. Разбита на несколько параллельно выполняющихся цикла;
- 3) завершение – действия при завершении программы.

### 3.2.3 Инициализация

В фазе инициализации происходят начальные действия: позиционирование рабочего окна, задание значений переменным по умолчанию, создание рабочих директорий, создание очередей и задач. Важно знать, что именно в этой фазе создается задача чтения данных с устройства cDAQ (рис. 22). Поэтому в случае изменения каких-либо параметров, каналов чтения и тому подобное во время работы программы, для вступления изменений в силу необходимо перезапустить программу.

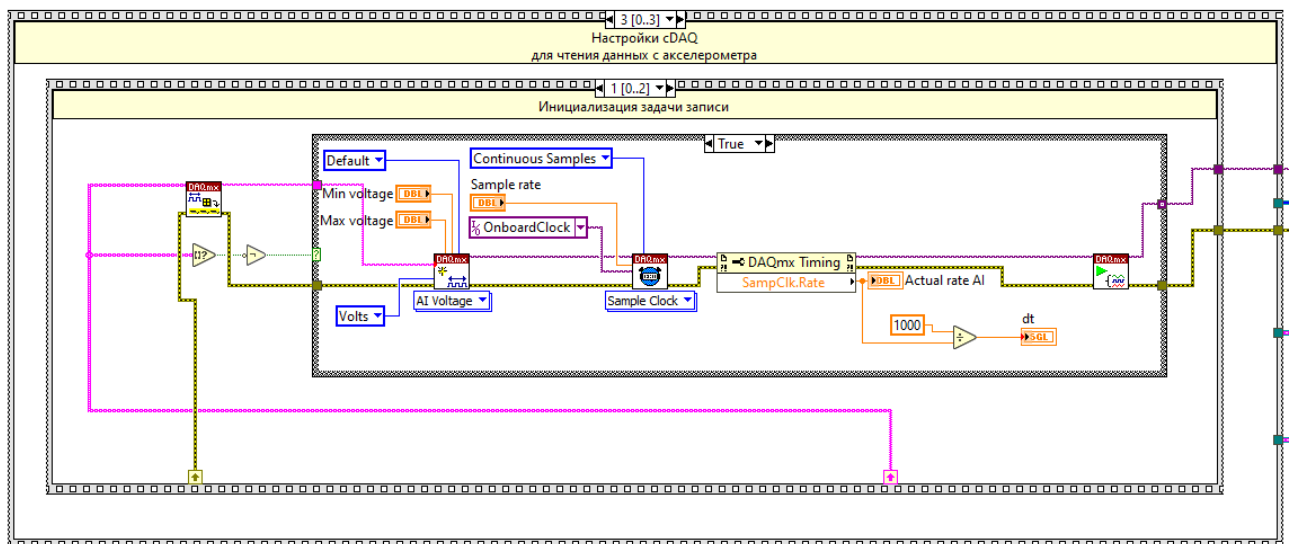


Рисунок 22 – Инициализация задач записи данных cDAQ

В фазе «Циклы» происходит параллельное выполнение рабочих циклов программы. Каждый цикл выполняется независимо от другого. Основная часть состоит из циклов, описанных ниже.

### 3.2.4 Цикл сбора данных сDAQ

В данном цикле (рис. 23) выполняется периодическое считывание данных каналов записи устройства сDAQ по протоколу Ethernet, при помощи созданной в фазе инициализации задачи (task). После считывания пакета данных, состоящего из нужного числа записей (samples), данные представленные в виду двухмерного массива преобразуются в кластер требуемого формата и добавляется в соответствующую очередь, которая выделена под запись данных полученных от сDAQ.

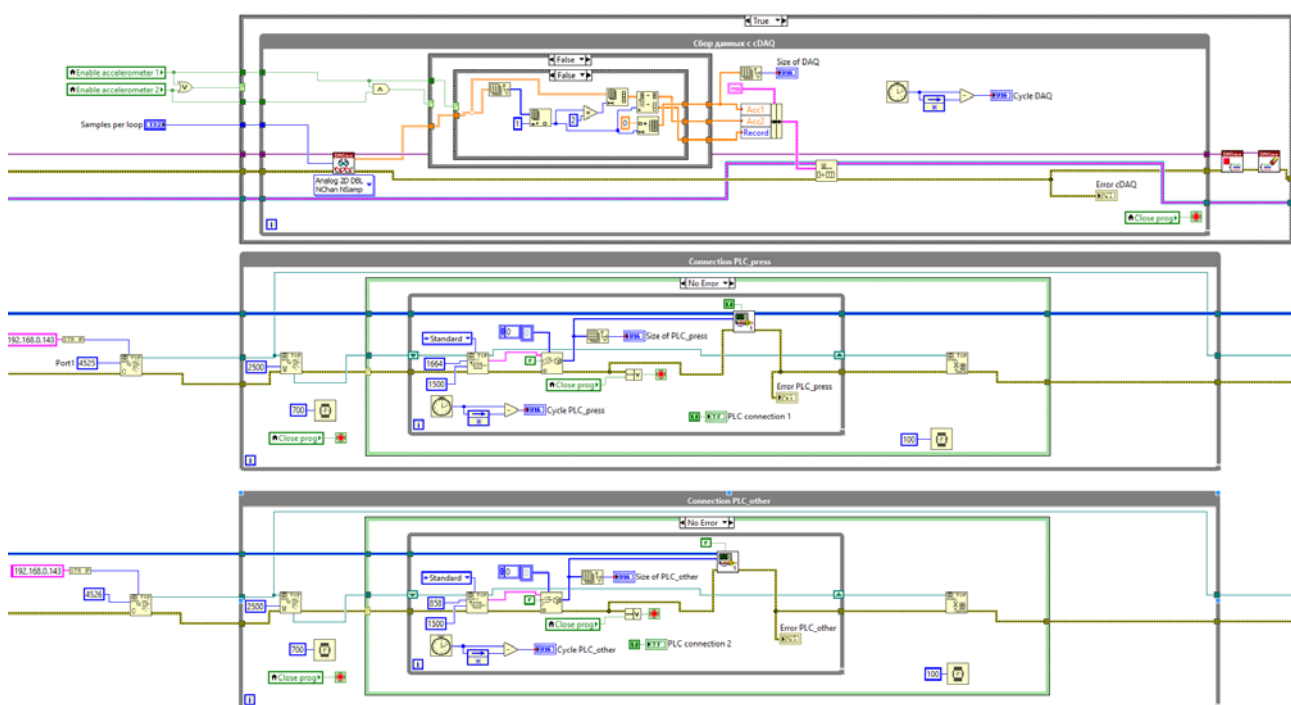


Рисунок 23 – Циклы сбора данных

### 3.2.5 Циклы связи с ПЛК

Коммуникация с ПЛК осуществляется при помощи протокола ТСР/IP, где персональный компьютер является сервером, а ПЛК – клиентом. Поскольку объем данных, передаваемых на один порт ограничен, объем данных разделен на



два пакета. В двух параллельно работающих циклах (рис. 23) происходит получение пакетов данных в два разных порта. На один порт отправляются все данные, имеющие отношение к давлению, а на другой все остальные: временная метка, сигнал записи, позиция. После считывания данные добавляются в очередь на обработку данных с ПЛК.

### 3.2.6 Цикл обработки событий

Данный цикл служит для выполнения необходимой реакции на заранее описанные события. В основном циклы данного типа необходимы для описания реакции на действия пользователя. В данном цикле описана реакция на нажатие различных кнопок: кнопка завершения программы, кнопка обновления счетчика испытаний и т.д., на изменение переменных, параметров, а также выбор записываемых сигналов.

### 3.2.7 Основной цикл

В основном цикле происходит обработка полученных данных (рис. 24). Прежде всего происходит перевод данных в измеряемую величину, то есть, к примеру данные о величине давления приходят в виде значения величины сигнала напряжения, данный параметр переводится в соответствующее ему значение давления в барах. То же самое выполняется и с другими параметрами. После этого данные собираются воедино. В том случае если данные относятся ко времени, когда на ударной лабораторной машине выполнялась генерация ударного импульса, данные переносятся на график и добавляются в очередь на сохранение в виде отчета.

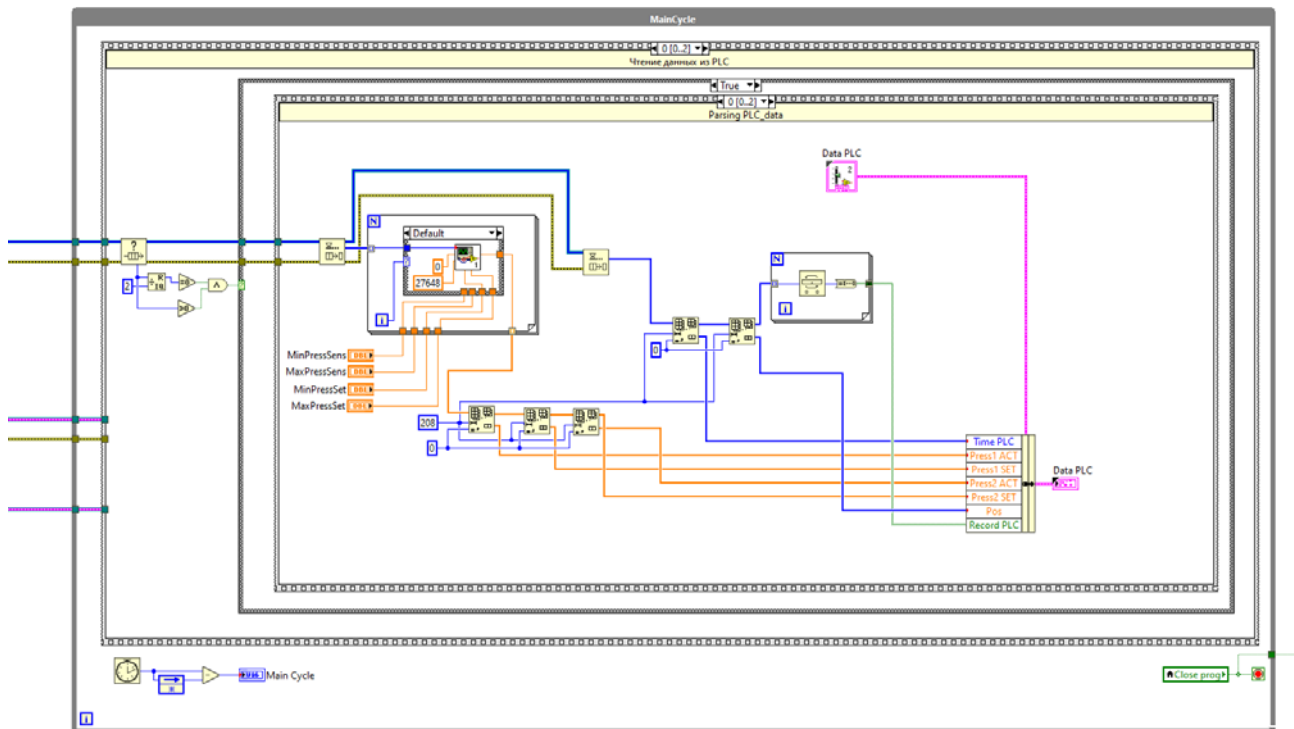


Рисунок 24 – Основной цикл

### 3.2.8 Цикл сохранения отчетов

В данном цикле происходит изъятие данных об испытаниях из соответствующей очереди на сохранение. После чего из описания испытания, к которому эти данные относятся, происходит создание отчета в виде EXCEL таблицы со всеми значениями параметров во время испытания и временными метками, а также графика в виде изображения в формате \*.jpeg.

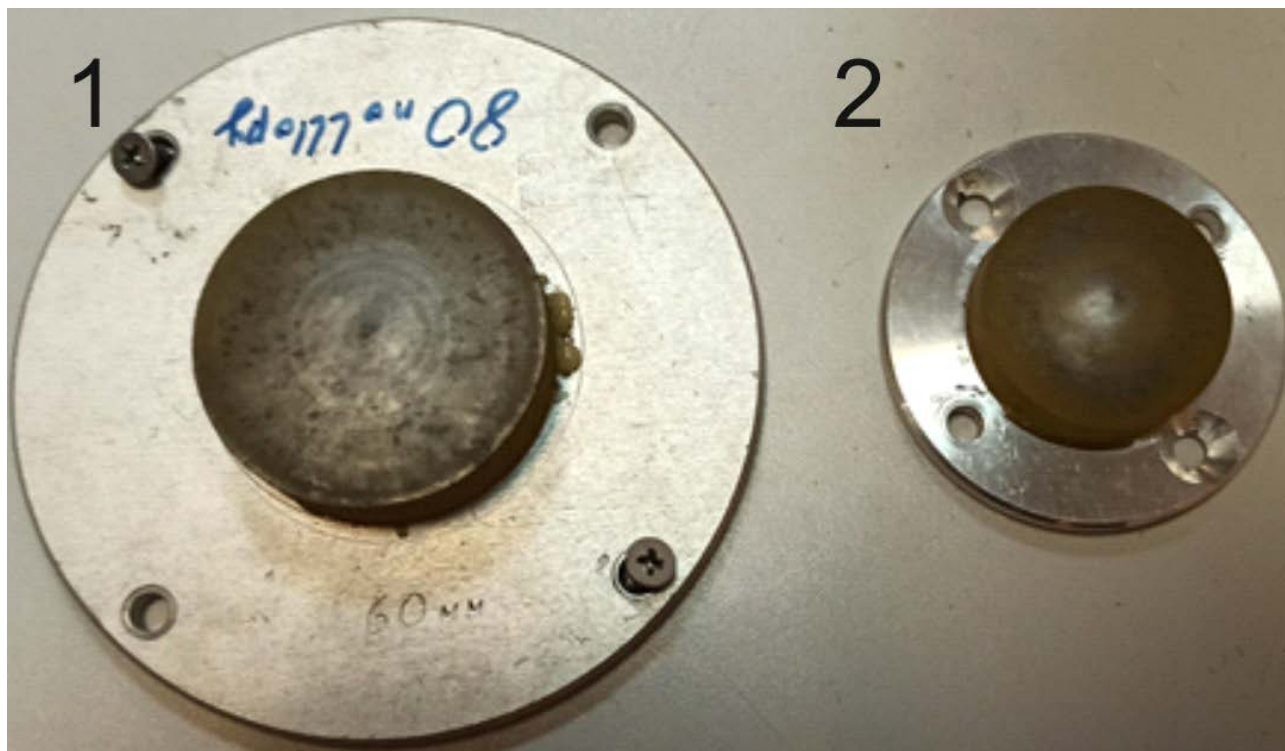
### 3.2.9 Завершение

Фаза завершения программы наступает в том случае, когда все циклы основной части программы, фазы Циклы, завершили свою работу. Завершение программы инициализируется пользователем при нажатии на кнопку завершения программы и последующем подтверждении. В процессе выполнения данной фазы удаляются все временно созданные переменные, очереди, очищается журнал ошибок и завершается выполнение самой программы.

## 4 Результаты опробования системы сбора данных

### 4.1 Описание испытаний

На ударном лабораторном стенде была произведена серия испытаний. Испытания производились для двух разных формирователей (рис. 25).



1 – формирователь первый; 2 – формирователь второй

Рисунок 25 – Формирователи

Параметры испытаний представлены в таблице 1. Испытания производятся в следующем порядке:

- 1) выбирается один из формирователей и устанавливается;
- 2) устанавливается объект требуемой массы на ударный стол (для изменения подвижной массы);
- 3) задается требуемая высота;
- 4) задается частота ударов.

Испытания проводятся для всех комбинаций параметров. Для каждой комбинации проводится серия из 10-ти ударов.

Таблица 1 – Параметры испытаний

Формирователь	Общая масса, кг	Высота, мм	Частота, уд/мин
Первый	7,8	50	20
Второй	11,5	80	80
		110	120
		150	
		200	
		250	

Результаты проведенных испытаний были сохранены в виде графиков в формате \*.jpeg и таблиц \*.xlsx.

## 4.2 Анализ результатов испытаний

### 4.2.1 Описание графиков

График данных, записанных при испытании на первом формирователе, при общей массе 11,5 кг, высоте подъема 50 мм и частоте 120 ударов/мин представлен на рисунке 26. Прежде всего стоит отметить, что действительное давление заметно ниже установки на регуляторе давления. Однако для сравнения с теорией, требуется подсчитать равнодействующее давление. Для этого находится время действия давления и площадь (интеграл) давления. Площадь под графиком давления делится на время действия давления, так и находится равнодействующее давление. Также стоит обратить внимание на дискретность графика позиции. Это связано с низкой точностью и скоростью измерения позиции имеющейся системы, установленной на лабораторном ударном стенде. В то же время можно заметить, что после основного ударного импульса, были еще как минимум два побочных с меньшими амплитудами.

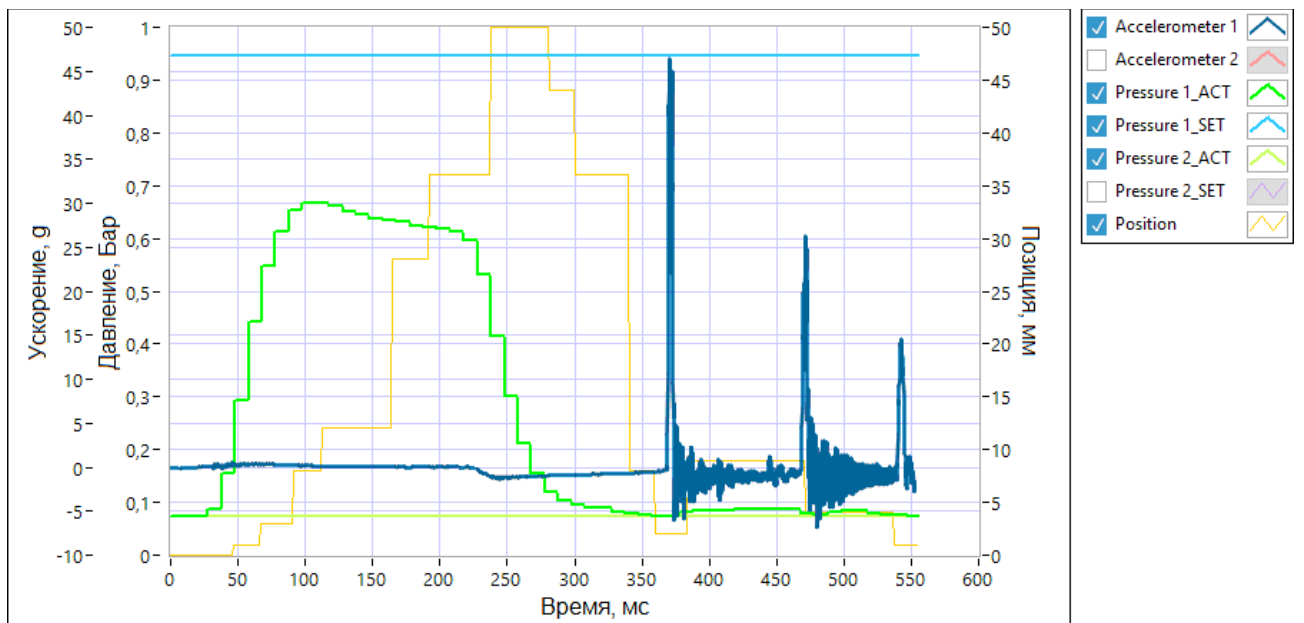


Рисунок 26 – График данных

Графики, подобные представленному на рисунке 26, были получены для всех проведенных испытаний, в общей сложности это 108 испытаний по 10 ударов в каждом, то есть 1080 графиков.

#### 4.2.2 Зависимость высоты подъема стола

Эксперименты проводились на ударном лабораторном стенде. На данном стенде реализован метод подъема ударного стола описанный в [19] и [20]. По упрощенной формуле (1) высота подъема стола при кратковременной подаче давления зависит следующим образом:

$$h = \frac{pS - mg - Fs}{2m} (\Delta t)^2, \quad (1)$$

где  $p$  – равновесное давление в цилиндре,

$S$  – площадь сечения поршня пневмоцилиндра (в данном случае в штоковой полости),

$m = m_0 + m_1$  – поднимаемая масса ударного стола с установленным объектом,

$g$  – ускорение свободного падения,

$F_s$  – сила сопротивления в направляющих (при движении вверх), обусловленная в основном трением,

$\Delta t$  – время действия давления.

Общие параметры установки:

- $S = 2803 \text{ мм}^2$ ;
- $m_0 = 7,8 \text{ кг}$  – масса ударного стола;
- $g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ ;
- $F_s = 5 \text{ Н}$ .

В качестве устанавливаемой массы использовались блины, весом 1,85 кг каждый. Блины устанавливаются кратно двум, симметрично относительно центра стола.

На рисунке 27 представлен график зависимости высоты подъема ударного стола при общей подвижной массе 11,5 кг (7,8 кг ударный стол и поршень + 2 диска по 1,85 кг) и времени действия давления 210 мс. На графике показаны точками данные полученные экспериментально, штриховой линией показана аппроксимирующая прямая построенная по этим данным. Сплошной линией отображена теоретическая прямая, посчитанная по формуле (1).

В приложениях Б-Г представлены графики зависимости высоты подъема от давления при фиксированной массе, для различного времени действия давления. На графиках отображены аппроксимирующее прямые экспериментальных данных, как на рисунке 27, и теоретические прямые, построенные по формуле 1.

Как можно заметить из графиков, экспериментальная прямая довольно близко располагается с теоретической. Максимальное отклонение не превышает 15 мм. Это связано во многом с самой конструкцией стенда, которая не позволяет добиться хорошего уровня повторяемости. Также стоит отметить метод измерения высоты подъема, поскольку данный метод имеет низкую точность и скорость. Однако, не смотря на вышеописанные недостатки лабораторного стенда, результаты, полученные во время испытаний, весьма близки к теоретическим.

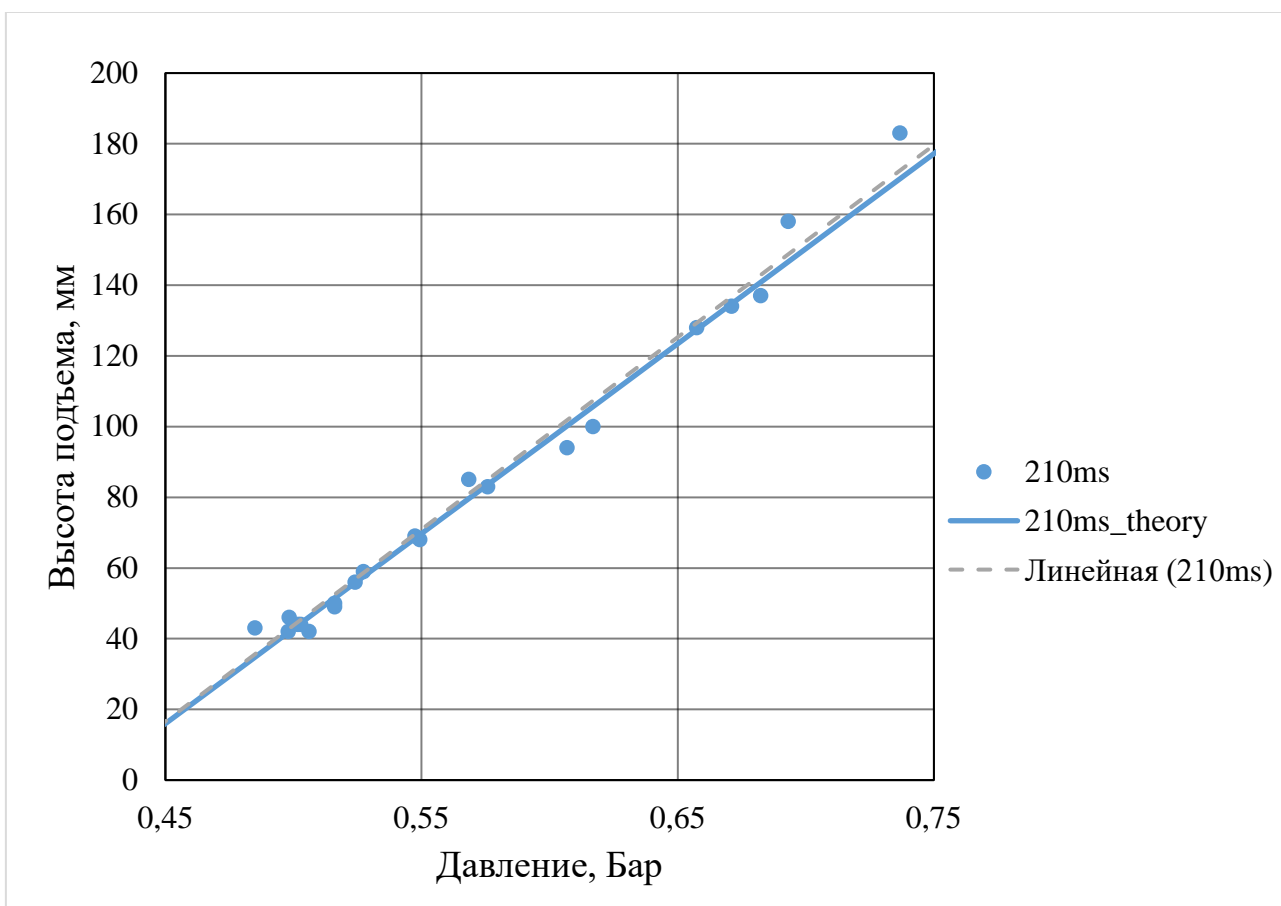


Рисунок 27 – График зависимости высоты подъема от давления при массе 11,5 кг

В приложения Д и Е представлены графики зависимости высоты подъема от давления при фиксированном времени действия давления и разных массах. На данных графиках можно видеть, как влияет масса на зависимость высоты подъема от давления.

По результатам испытаний и анализу зависимости высоты подъема от давления, массы, длительности можно сделать определенные выводы о соответствии математической модели. Прежде всего стоит отметить, что отклонение от теоретических прямых по большей части крайне незначительны. В данном случае большинство расхождений с теорией объясняются недостатками конструкции самой лабораторной ударной машины. По этой самой причине, благодаря проведенным многочисленным испытаниям, можно судить о соответствии представленному теоретическому описанию действительности. Данный факт позволяет как минимум в дальнейшем воспользоваться формулой (1) для определения

параметров при выполнении самого первого подброса на требуемую высоту. А также стоит заметить, что даже несмотря на низкую скорость и довольно значительную ступенчатость графика позиции, это не имело значительного влияния на определение максимальной высоты подъема, времени подъема.

#### 4.2.3 Зависимость амплитуды импульса

По полученным данным также можно отследить зависимость амплитуды импульса от высоты падения ударного стола.

При исследовании зависимости амплитуды импульса от высоты падения, сравнивались данные, полученные экспериментально на втором формирователе с кривой, построенной по формуле (2):

$$A = \frac{\pi}{\tau} \sqrt{2h \left| \frac{Fs - mg}{m} \right|}, \quad (2)$$

где  $\tau$  – длительность ударного импульса.

Стоит также отметить, что между длительностью ударного импульса и массой имеется следующая зависимость (3):

$$\tau \sim \sqrt{m}. \quad (3)$$

В таблице 2 представлены соответствия масс и времени ударного импульса для первого и второго формирователя.

Таблица 2 – Длительность ударного импульса

Формирователь 1		Формирователь 2	
m, кг	$\tau$ , мс	m, кг	$\tau$ , мс
7,8	4,2	7,8	7,4
11,5	5,0	11,5	8,8
15,2	5,7	15,2	10,3



График зависимости амплитуды от высоты падения представлен в приложении Ж (для формирователя 1) и в приложении И (для формирователя 2). Точки соответствуют полученным результатам, а кривые, изображенные сплошной линией, представляют теоретическую зависимость.

По графику для первого формирователя видно значительное отклонение от теоретической кривой. Также при массах 11,5 кг и 15,2 кг заметен большой разброс точек. Причин такого отклонения может быть множество. Наиболее вероятные из причин: дефект самого формирователя, критический износ формирователя, отсутствие плоскостности на сопрягаемой поверхности.

В случае со вторым формирователем отклонение от теоретической кривой не столь значительное. При этом отсутствует значительный разброс точек, что может служить доказательством стабильности параметров жесткости формирователя, а также в целом о его качестве. При этом стоит отметить, что имеют место быть отклонения экспериментальных точек для массы 15,2 кг на высотах более 200 мм. В остальной же рабочей области данный формирователь показывает стабильные и ожидаемые результаты.

#### 4.2.4 Зависимость формы и длительности импульса

Помимо амплитуд интересно рассмотреть форму ударного импульса на разных формирователях и при разных массах, высотах падения.

В приложении К имеется график ударного импульса для первого формирователя при массе 11,5 кг. В приложении Л – график ударного импульса для первого формирователя при массе 15,2 кг. По форме ударного импульса можно утверждать о том, что данный формирователь не является генератором полусинусоидального импульса. Также заметны большие разбросы пиковых ускорений, что было ранее замечено при изучении зависимости амплитуды от высоты падения. В то же время по графикам можно оценить длительность импульса, для массы 11,5 кг – около 5 мс, для 15,2 кг – 5,6 мс. Длительности, определенные по графикам, соответствуют соотношению (3).

В приложении М представлен график ударного импульса для второго формирователя при массе 11,5 кг, а в приложении Н – при массе 15,2 кг. В отличии

от первого формирователя, в данном случае наблюдается сигнал, по форме напоминающий полусинусоидальный сигнал. Лишь для массы 15,2 кг и высотах более 200 мм заметно отклонение формы, что совпадает с высказанным ранее утверждением при изучении зависимости амплитуды импульса от высоты. При рассмотрении длительности импульса, действительная длительность оказалась на 1 мс ниже ожидаемой, однако соотношение с массой сохранилось: для массы 11,5 кг – около 8 мс, для 15,2 кг – 9 мс. Стоит отметить, что длительность импульса величина не совсем постоянная при изменении высоты падения, и может колебаться в районе диапазоне до 1 мс.

Если сравнивать первый и второй формирователи импульсов между собой, то можно выявить следующие различия:

- длительность импульса у второго формирователя больше (на 3 мс при массе 11,5 кг);
- амплитуда импульса выше у первого формирователя (при схожих параметрах испытаний соотношение амплитуд лежит в пределах 1,4 - 2 раза);
- второй формирователь выдает стабильную форму импульса практически на всем диапазоне, а также стабильность зависимости амплитуды от высоты.

Благодаря проведенным испытаниям и сравнению полученных импульсов на разных формирователях удастся наглядно продемонстрировать важность характеристик и параметров используемого формирователя при генерации ударных импульсов. При анализе формы импульсов при различных массах и высотах падения можно определить рабочий диапазон того или иного формирователя.

### **4.3 Обработка сигнала вибропреобразователя**

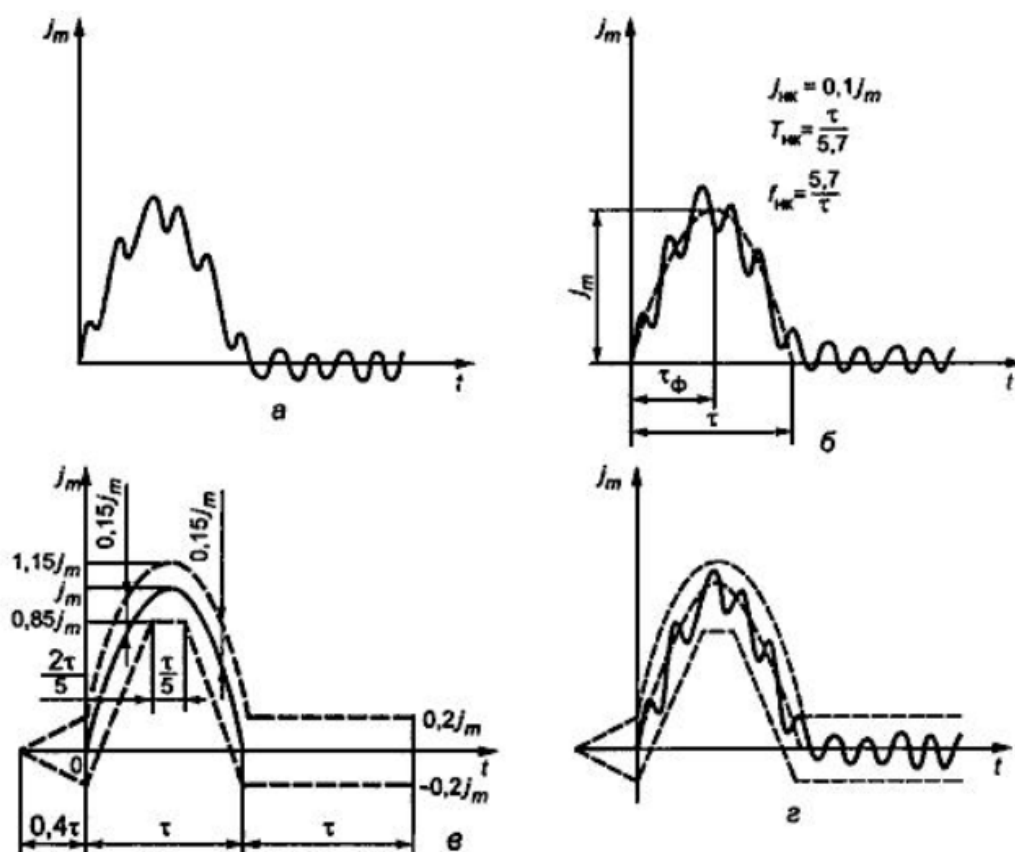
По вышеописанным результатам испытаний, можно заметить, что может иметь место быть значительное отклонение формы импульса от требуемого (полусинусоидального). В особенности данное явление заметно при использовании изношенного формирователя, к примеру, формирователь 1. Но даже на новом формирователе могут быть заметны те или иные отклонения от идеальной

формы полусинуса. Особенно данный эффект заметен при генерации импульсов с большой амплитудой – более 70g.

Несмотря на нестабильность формы ударного импульса, в системах с обратной связью по амплитуде ударного импульса, необходимо каждый раз явно определять параметры ударного импульса. Именно для решения данной задачи используется обработка сигнала акселерометра в зоне ударного импульса. Обработка сигнала с акселерометра осуществляется по программе, написанной в среде LabView 2018.

Первоочередной задачей является нахождение области ударного импульса. Основной сложностью является тот факт, что запись данных ведется на протяжении всего процесса генерации ударного импульса и длится обычно около 500 мс, в то время как сам ударный импульс длится порядка 3-20 мс. В связи с этим поиск области ударного импульса сводится к нахождению максимумов (пиков) и проверке на соответствие ударному импульсу по ожидаемой длительности. Как было продемонстрировано выше, длительность по большей части задается формирователем. В стендах многократных ударов длительность импульса не превышает 40 мс.

После определения области ударного импульса проводится анализ. Анализ и отображение ударного импульса происходит в соответствии со стандартом (рис. 28) [5].



а – осциллограмма исходного импульса; б – выявление усредненного профиля импульсов; в – нормированная форма импульса; г – оценка формы импульса

Рисунок 28 – Порядок анализа ударного импульса по ГОСТ 51371-99

По анализу и цифровой обработке имеется немало количество трудов [23], [24]. Для решения подобной задачи в имеющихся условиях используется следующий алгоритм (рис. 29):

- 1) сглаживание сигнала ускорения, используется инверсный фильтр Чебышева;
- 2) нахождение пикового ускорения;
- 3) при помощи производной происходит нахождение точки начала импульса;
- 4) определение точки окончания импульса, также при помощи производной, справа от пика импульса. Проверка на симметричность с точкой начала импульса относительно точки пика импульса;

- 5) после построения импульса полусинусоидальной формы находится длительность на заданном уровне и сравнивается с исходной, найденной по оригинальному сигналу;
- 6) вывод результирующего сигнала ударного импульса на панель;
- 7) дополнительная проверка импульса на соответствие заданному.

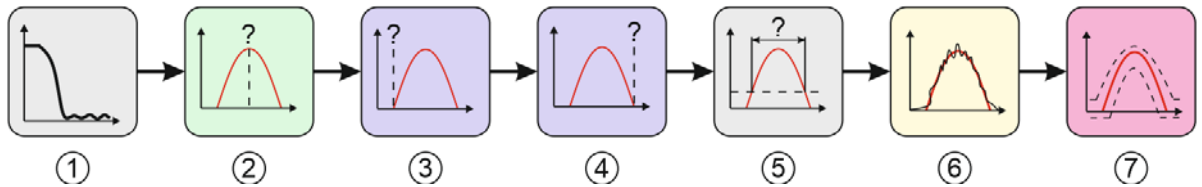


Рисунок 29 – Анализ сигнала акселерометра

В приложении II представлены графики ударных импульсов. На данном графике приведен пример работы алгоритма обработки сигнала вибропреобразователя (акселерометра). Как можно заметить, что даже при значительных шумах, как в случае с ударным импульсом амплитудой 75g, алгоритм определяет основные параметры импульса.

Данный алгоритм был использован при обработке сигнала ударного импульса на стенде многократных ударов СМУ-1200 компании Дельтамэк (рис. 30).

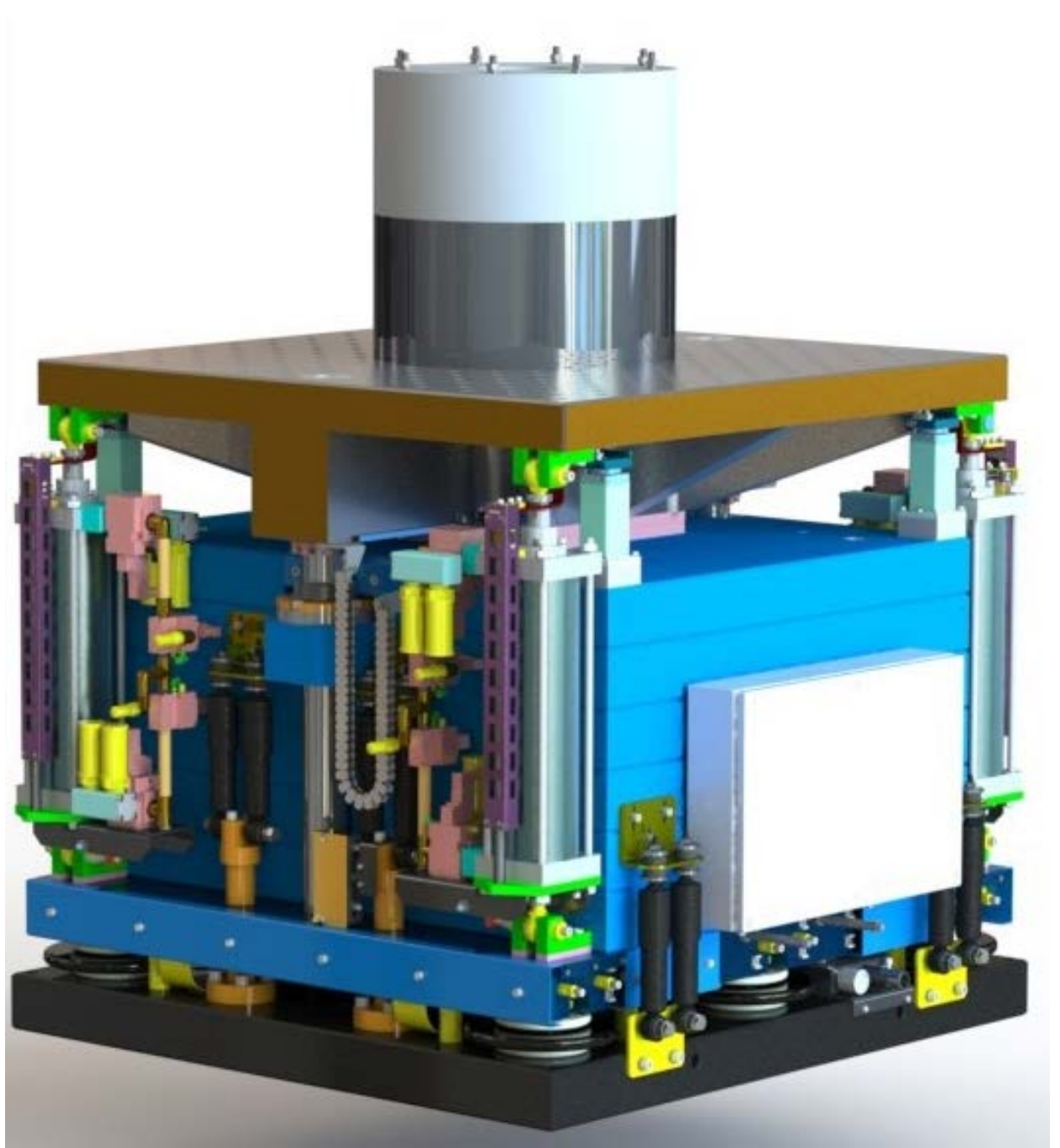


Рисунок 30 – 3D модель стенда СМУ1200

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения магистерской диссертации были решены следующие задачи:

- 1) монтаж и пуско-наладка системы управления лабораторным ударным стендом;
- 2) разработка схемы системы сбора данных, монтаж;
- 3) написание программы системы сбора данных и ее отладка;
- 4) апробация работы системы сбора данных на лабораторном ударном стенде;
- 5) анализ результатов опробования системы сбора данных.

В результате выполнения работы система сбора данных и лабораторный ударный стенд могут работать в следующем диапазоне параметров:

- высота подъема ударного стола: 30 – 270 мм;
- масса устанавливаемого объекта испытаний: 0 – 7,5 кг;
- частота ударов: до 120 ударов в минуту.

Работоспособность системы сбора данных была подтверждена во время проведения значительного числа испытаний на лабораторной ударной машине. Однако система может быть в дальнейшем модифицирована, расширена. Так, при добавлении необходимых модулей к шасси cDAQ, возможна запись всех сигналов с использованием лишь одного устройства, что значительно упрощает и при этом улучшает работу системы и согласованность данных.

В то же время часть имеющихся решений и разработок описанных в данной работе были на практике не только проверены, но и введены в эксплуатацию на промышленном испытательном оборудовании на удар.

Благодаря разработке и исследованию, описанному в данной работе, появляется возможность дальнейшего развития проектирования и производства стендов многократных ударов. В данном труде наглядно показана возможная польза при использовании подобных методов анализа конструкции, параметров испытаний. Благодаря проведенному исследованию уже на данном этапе можно су-

дить о состоятельности основных теоретических гипотез относительно процессов протекающих при генерации ударных импульсов на пневматических стендах многократных ударов.

Для защиты выпускной квалификационной работы – магистерской диссертации, была оформлена презентация. Слайды презентации представлены в приложение Р.

Во время обучения и проведения исследования, разработки системы автор данной работы принимал активное участие в написании следующих статей: [20], [21], [22], [25], [26], [27].



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Rayleigh, J. W. S., The Theory of Sound, Volume One / J. W. S. Rayleigh. L.: Macmillan, 1877. 544 p.
- 2 Попов, А. Н. Испытательные машины [Текст]: монография / А. Н. Попов, М. Н. Полищук. Екатеринбург: "Уральский рабочий", 2017. – 217 с.
- 3 Vit Babuška, The Science and Engineering of Mechanical Shock / Babuška Vit, Sisemore Carl. Switzerland: Springer Nature Switzerland AG, 2020. 380 p.
- 4 Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов. Часть 2. Испытания и руководство: Многократные удары [Текст]: ГОСТ 28215-89. Введ. 1990-03-01. - М.: Стандартинформ, 2008. – 11 с.
- 5 Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий [Текст]: ГОСТ Р 51371-99. Введ. 1999-11-29. - М: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 28 с.
- 6 Крюков, В. В. Информационно-измерительные системы – учебное пособие [Текст] / В. В. Крюков. Владивосток: ВГУЭС, 2000. – 93 с.
- 7 Test automation of a measurement system using a domain-specific modelling language / Marjan Mernik, Tomaž Kosar // Journal of systems and software, vol. 111, January 2016. – 74–88 p.
- 8 Development of data acquisition systems by using a domain-specific modeling language / Marjan Mernik, Tomaž Kosar // Computers in Industry, vol. 63, issue 3, April 2012. – 181–192 p.
- 9 Debugging measurement systems using a domain-specific modeling language / Tomaž Kosar, Marjan Mernik, Jeff Gray // Computers in Industry, vol. 65, issue 4, May 2014. – 622–635 p.
- 10 Датчики: Справочное пособие [Текст] / В.М. Шарапов,. Е.С. Полищук. М.: Техносфера, 2012. - 624 с.
- 11 Dewesoft. Решения для сбора данных, испытаний и измерений // URL: <https://dewesoft.com/ru> (дата обращения: 28.04.2021).

12 Data Acquisition Systems by DEWETRON for Most Precise Measurements // URL: <https://www.dewetron.com/> (дата обращения: 28.04.2021).

13 САПР, средства автоматизации тестирования и контрольно-измерительные приборы // Keysight. URL: <https://www.keysight.com/ru/ru/home.html> (дата обращения: 28.04.2021).

14 Шасси CompactDAQ // National Instruments. URL: <https://www.ni.com/ru-ru/shop/hardware/products/compactdaq-chassis.html> (дата обращения: 28.04.2021).

15 Системы CompactRIO // National Instruments. URL: <https://www.ni.com/ru-ru/shop/compactrio.html> (дата обращения: 28.04.2021).

16 What is LabVIEW? // National Instruments. URL: <https://www.ni.com/ru-ru/shop/labview.html> (дата обращения: 28.04.2021).

17 LabVIEW в примерах и задачах [Текст]: учебно-методические материалы / С. Ю. Лупов, С. И. Муякшин, В. В. Шарков. Нижний Новгород, 2007. – 101 с.

18 Основы программирования в среде LabView [Текст]: учебное пособие / А. С. Васильев, О. Ю. Лашманов. СПб: Университет ИТМО, 2015. – 82 с.

19 Новый способ получения ударного ускорения при механических испытаниях [Текст] / Попов А. Н., Полищук М. Н., Пуленец Н. Е., // Современное машиностроение. Наука и образование. / 2018. Вып. 7. С. 783-796.

20 Определение давления для подъема стола ударного стенда на требуемую высоту [Текст] / А. А. Брянский, Н. Е. Пуленец // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием, / 19-24 ноября 2018 г. Институт металлургии, машиностроения и транспорта. Ч. 2 / СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2018 – С. 19-22.

21 Адаптивный метод управления пневмоприводом стенда многократных ударов [Текст] / Попов А.Н., Полищук М.Н., Васильев А.К., Брянский А.А., // Современное машиностроение. Наука и образование. 2020. Вып. 9. С. 333-346.

22 Управление пневмоприводом ударного стенда [Текст] / Брянский А. А., Васильев А. К., Попов А. Н. // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием, лучшие доклады / 2019. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019 – С. 124-129.

23 Digital Signal Processing. Fundamentals and Applications. 3rd Edition / Lizhe Tan, Jean Jiang. New Mexico: Academic Press, 2019. - 920 p.

24 Principles and Techniques of Shock Data Analysis / Scavuzzo, R. J., H. C. Pusey // SVM-16, 2d ed., Shock and Vibration Information Analysis Center, Arlington, Va., 1996. – 276 p.

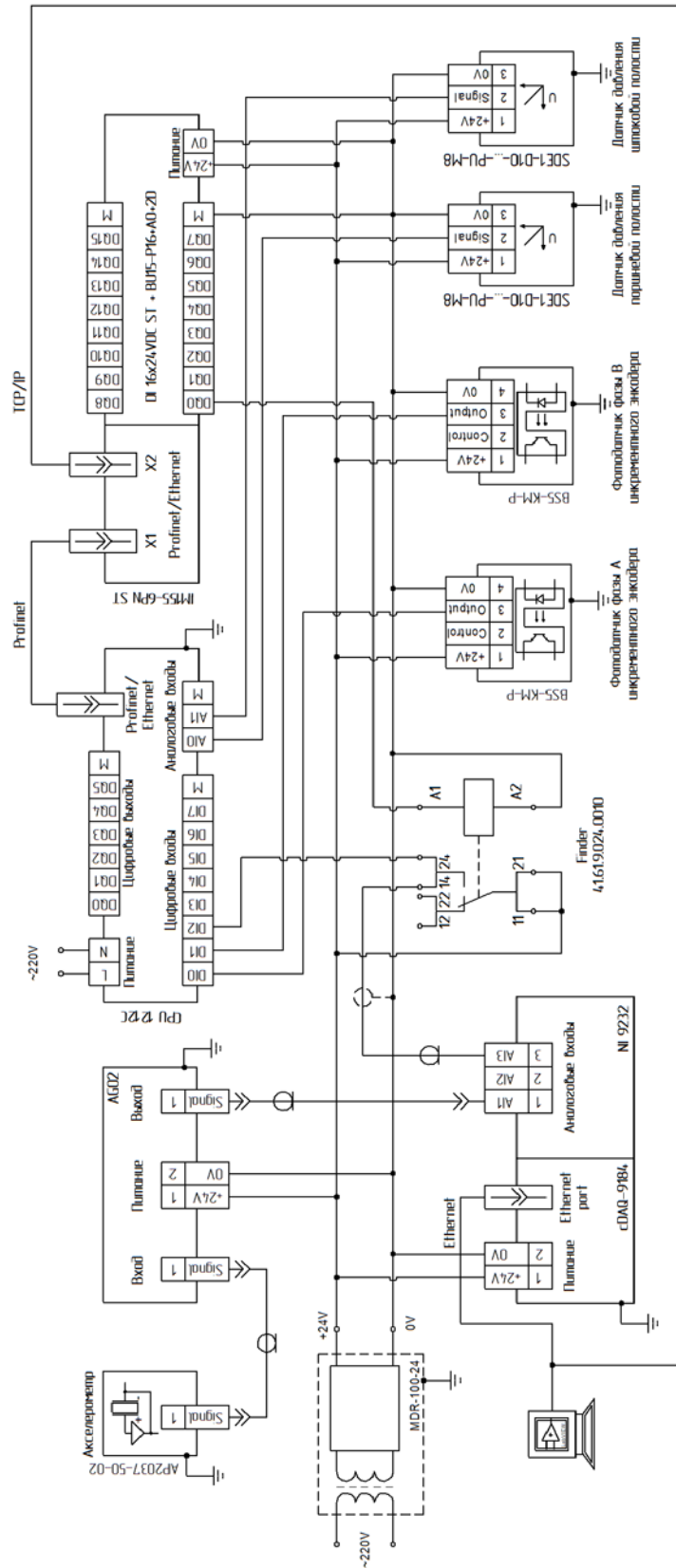
25 Shock machines for testing arctic robotics / A.N. Popov, A.K. Vasiliev, D.S. Shtreker, D.V. Reshetov, A.A. Bryanskiy // 5th International conference on arctic: History and Modernity / Vol. 539. Saint-Petersburg, 18-19 march 2020. - 012124.

26 Анализ сигнала ударного акселерометра [Текст] / А.А. Брянский, А.К. Васильев, А.Н. Попов // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием. В 2-х частях / 18-23 ноября 2019 г. Институт машиностроения, материалов и транспорта. Ч. 2 / СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020 – С. 3-5.

27 Компьютерное моделирование удара в стендах многократных ударов [Текст] / А. Н. Попов, А. К. Васильев, Д. В. Решетов, А. А. Брянский // Современное машиностроение. Наука и образование. 2020. №9. – 347-358 с.

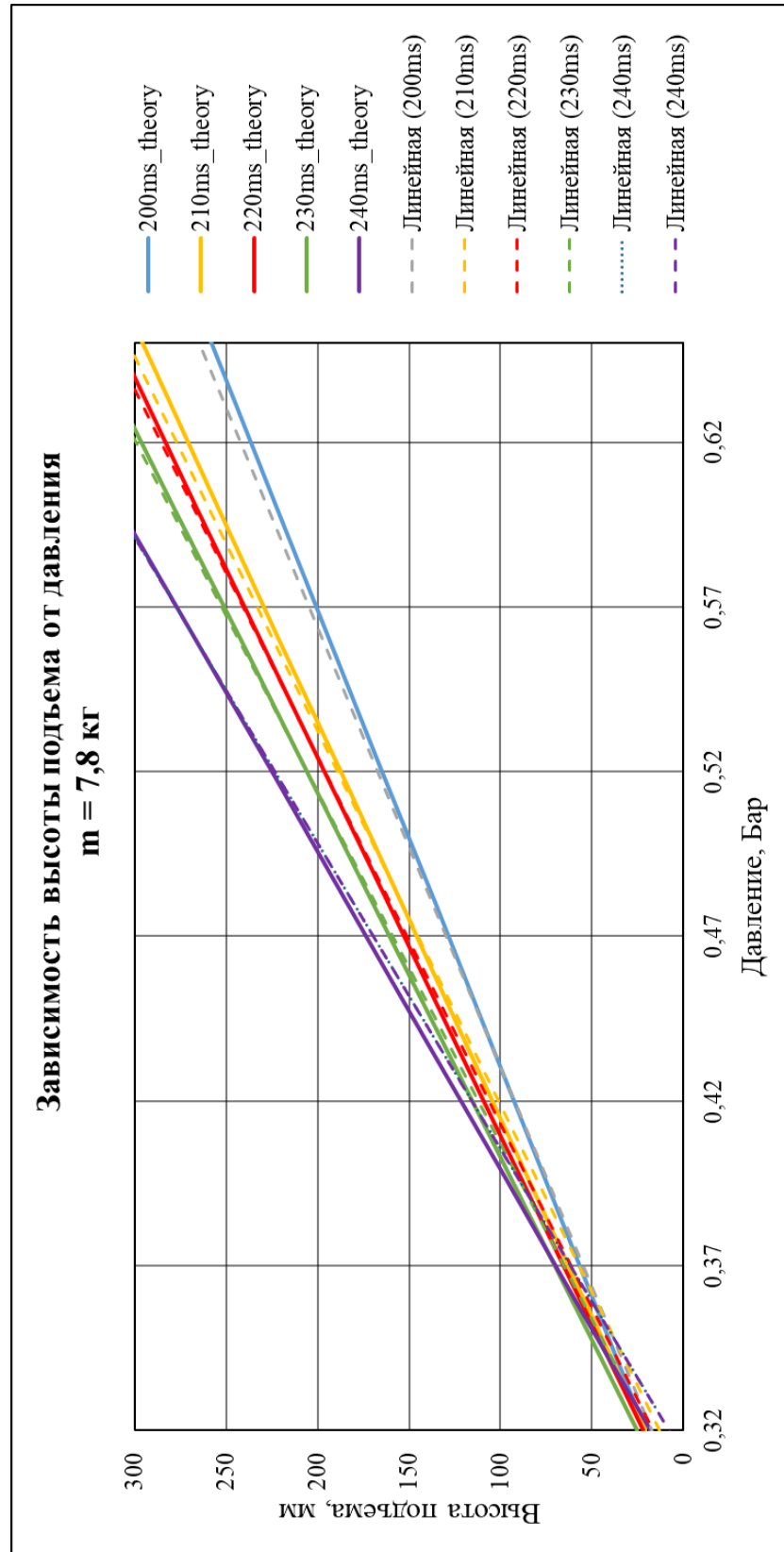
# ПРИЛОЖЕНИЕ А

## Электрическая схема



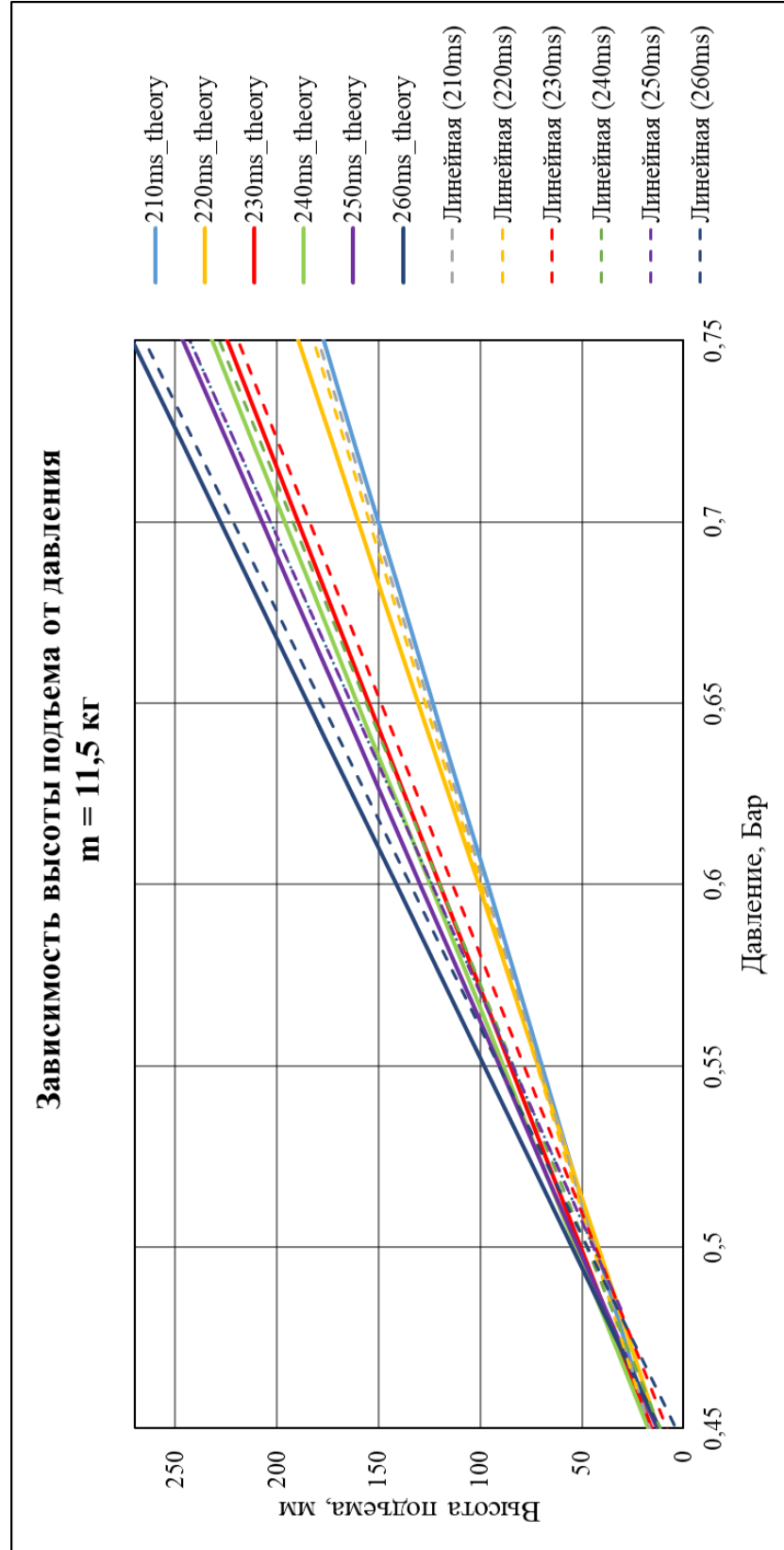
## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

График зависимости высоты подъема от давления при 7,8 кг и различном времени действия давления



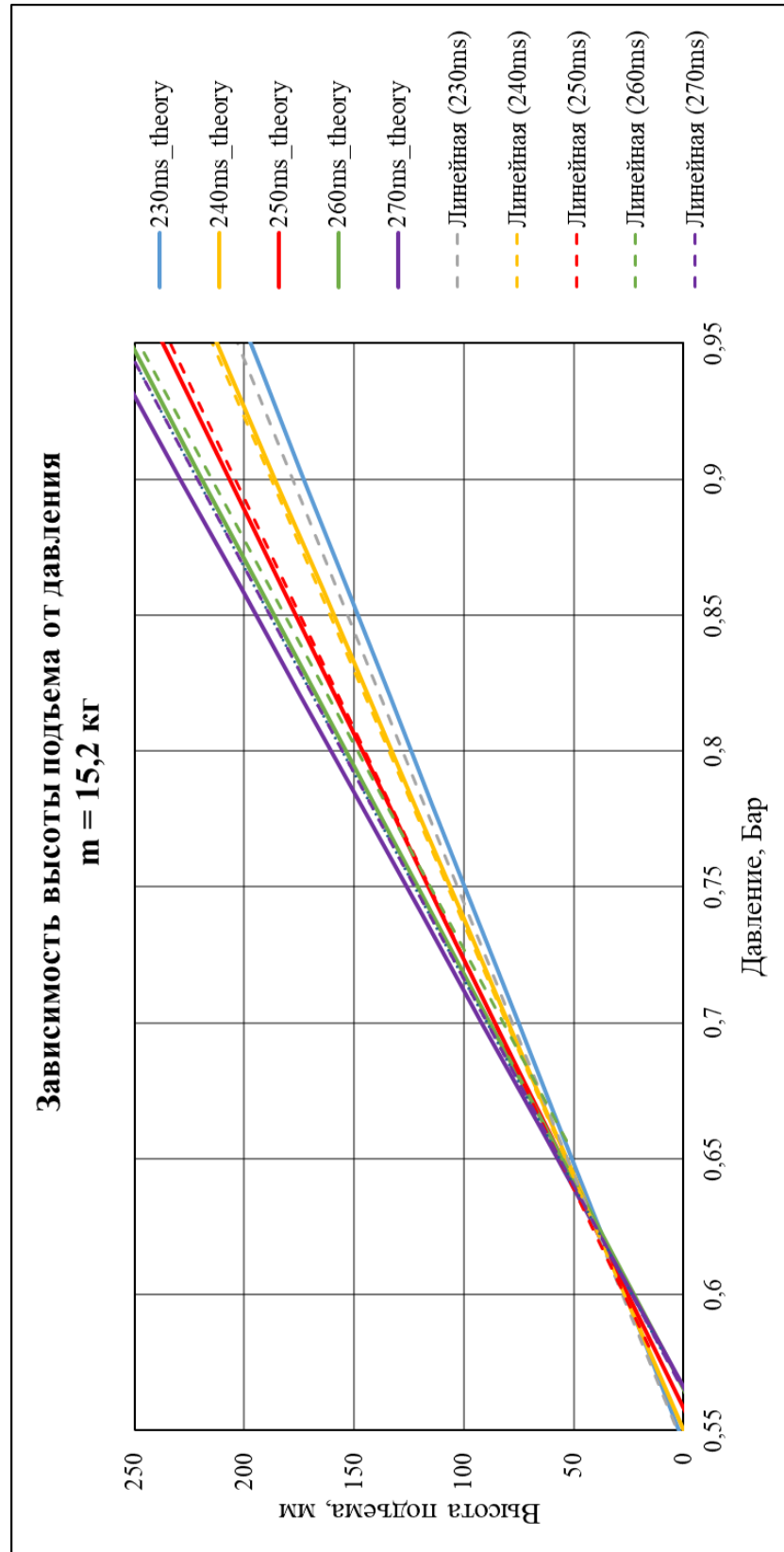
## ПРИЛОЖЕНИЕ В

График зависимости высоты подъема от давления при 11,5 кг и различном времени действия давления



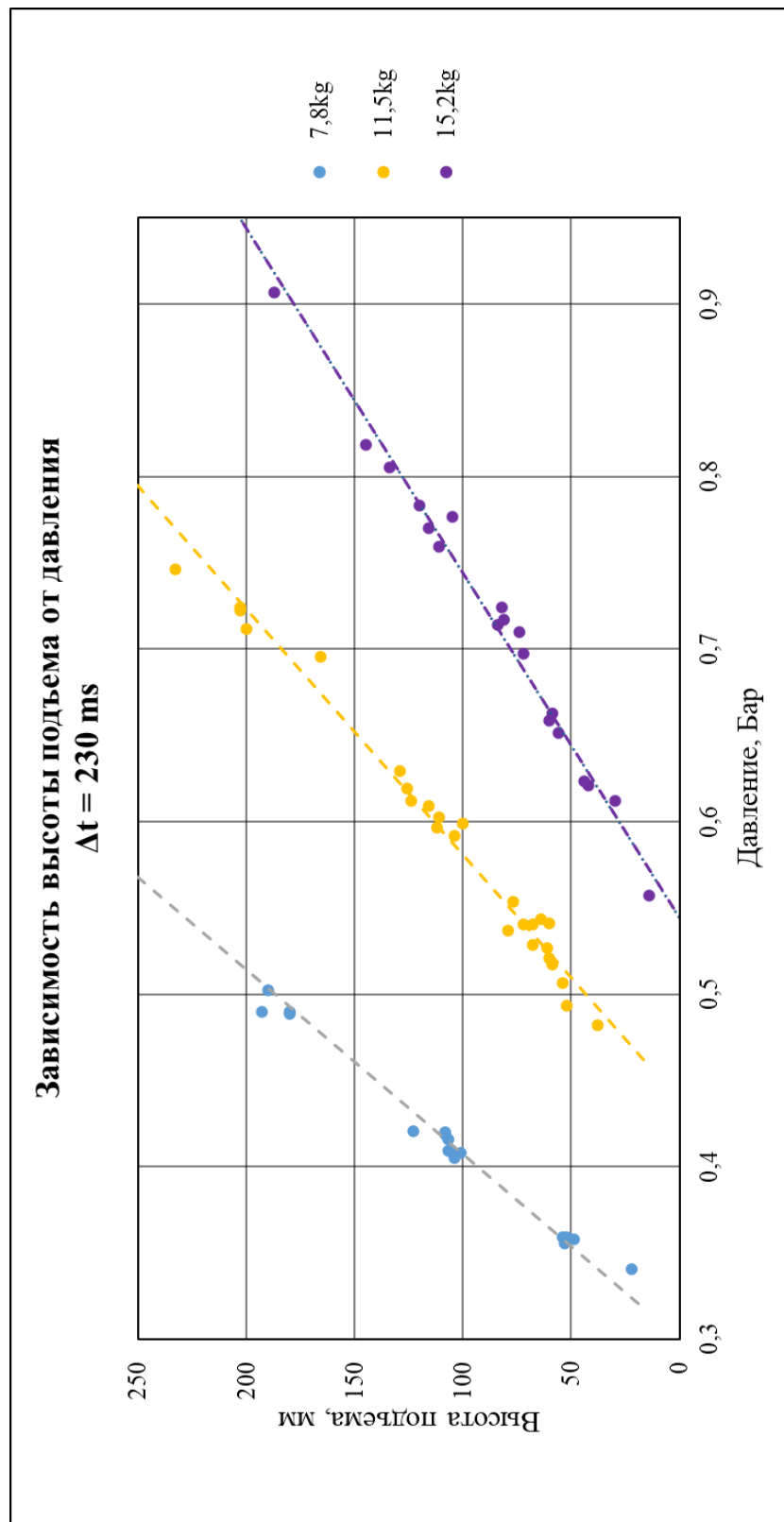
# ПРИЛОЖЕНИЕ Г

График зависимости высоты подъема от давления при 15,2 кг и различном времени действия давления



## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

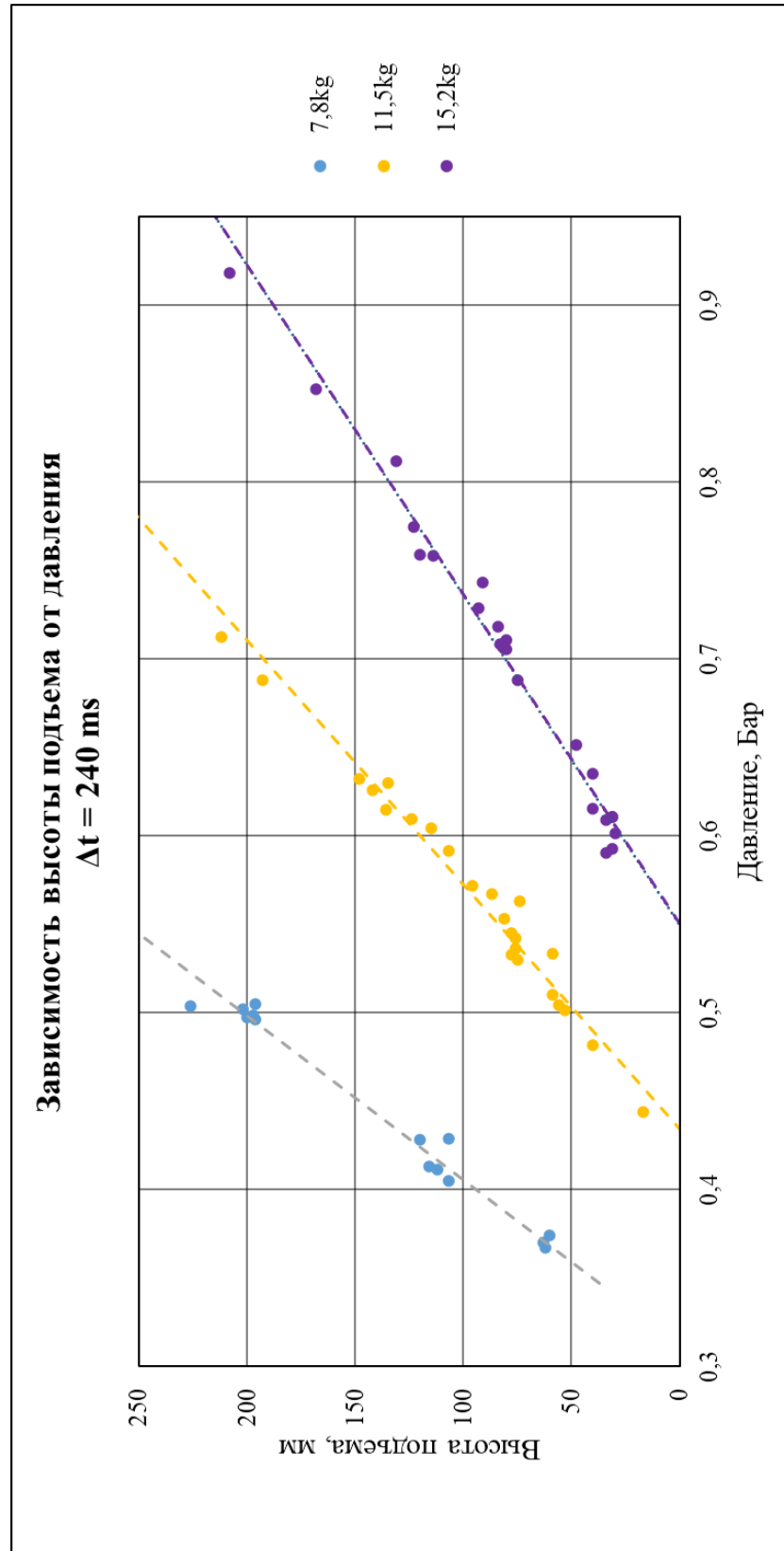
График зависимости высоты подъема от давления при времени действия  
230 мс и различных массах





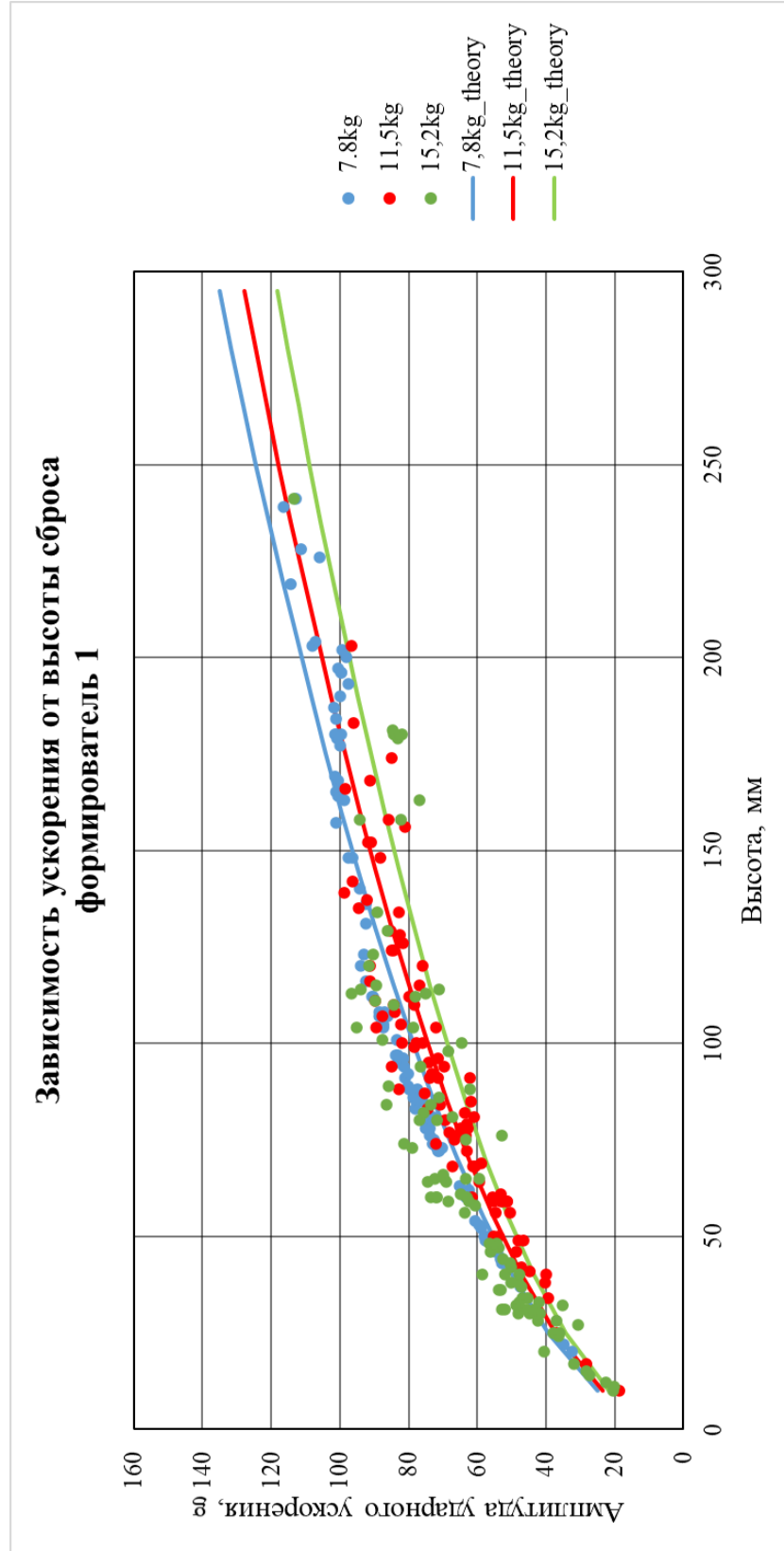
## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

График зависимости высоты подъема от давления при времени действия  
240 мс и различных массах



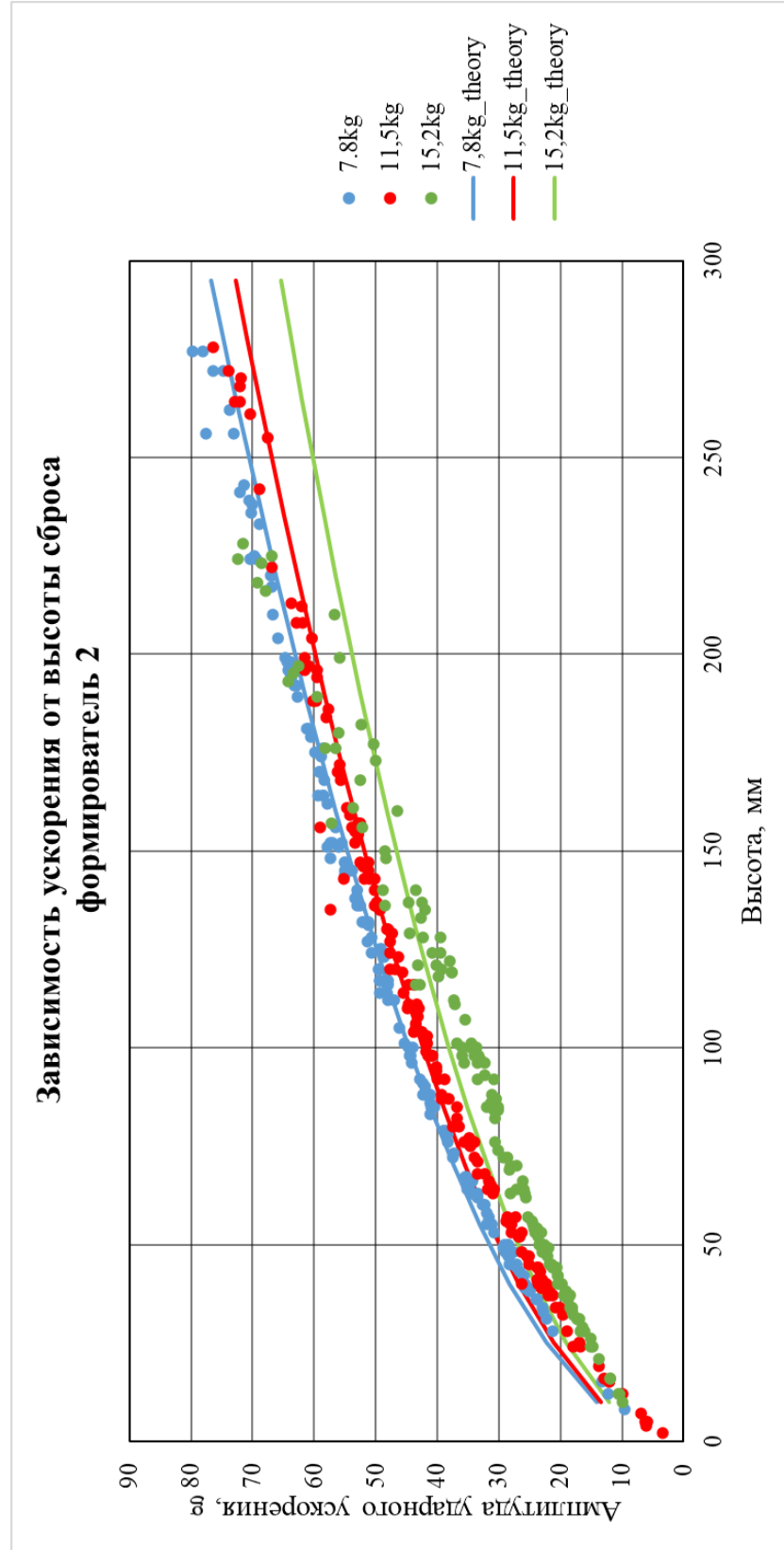
## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

### График зависимости амплитуды импульса от высоты падения первого формирователя



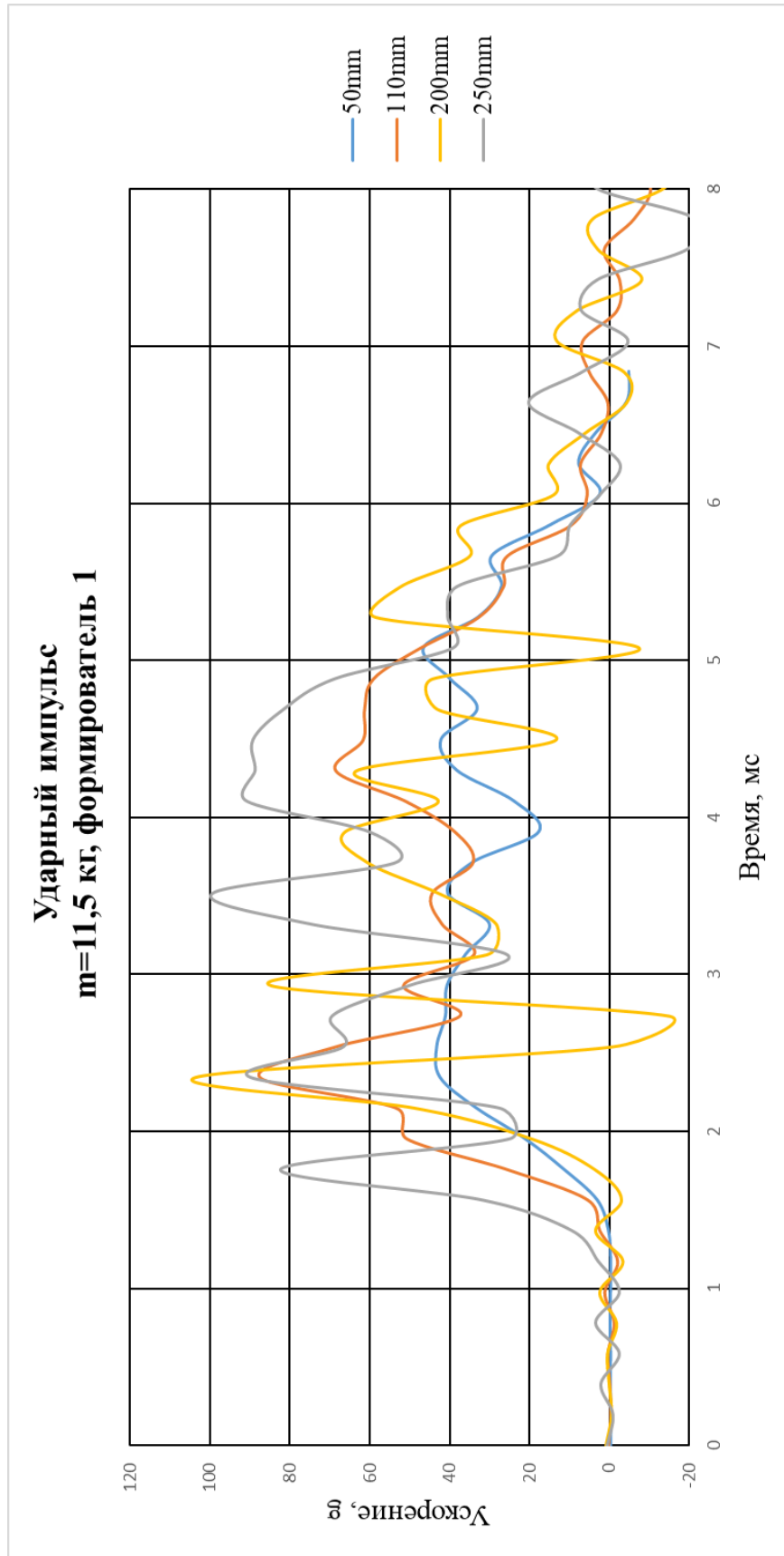
## ПРИЛОЖЕНИЕ И

### График зависимости амплитуды импульса от высоты падения второго формирователя



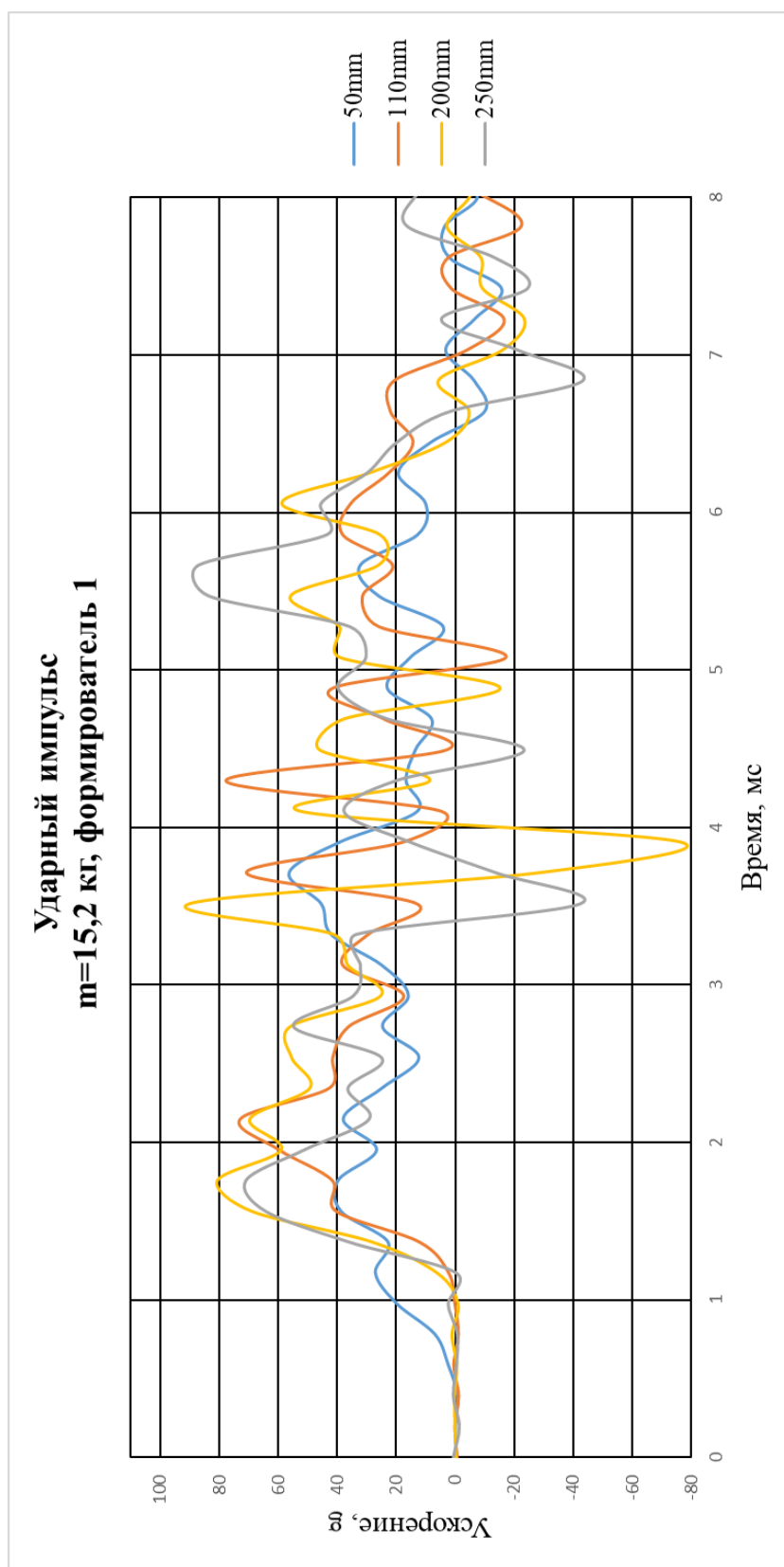
ПРИЛОЖЕНИЕ К

График ударного импульса для первого формователя при 11,5кг



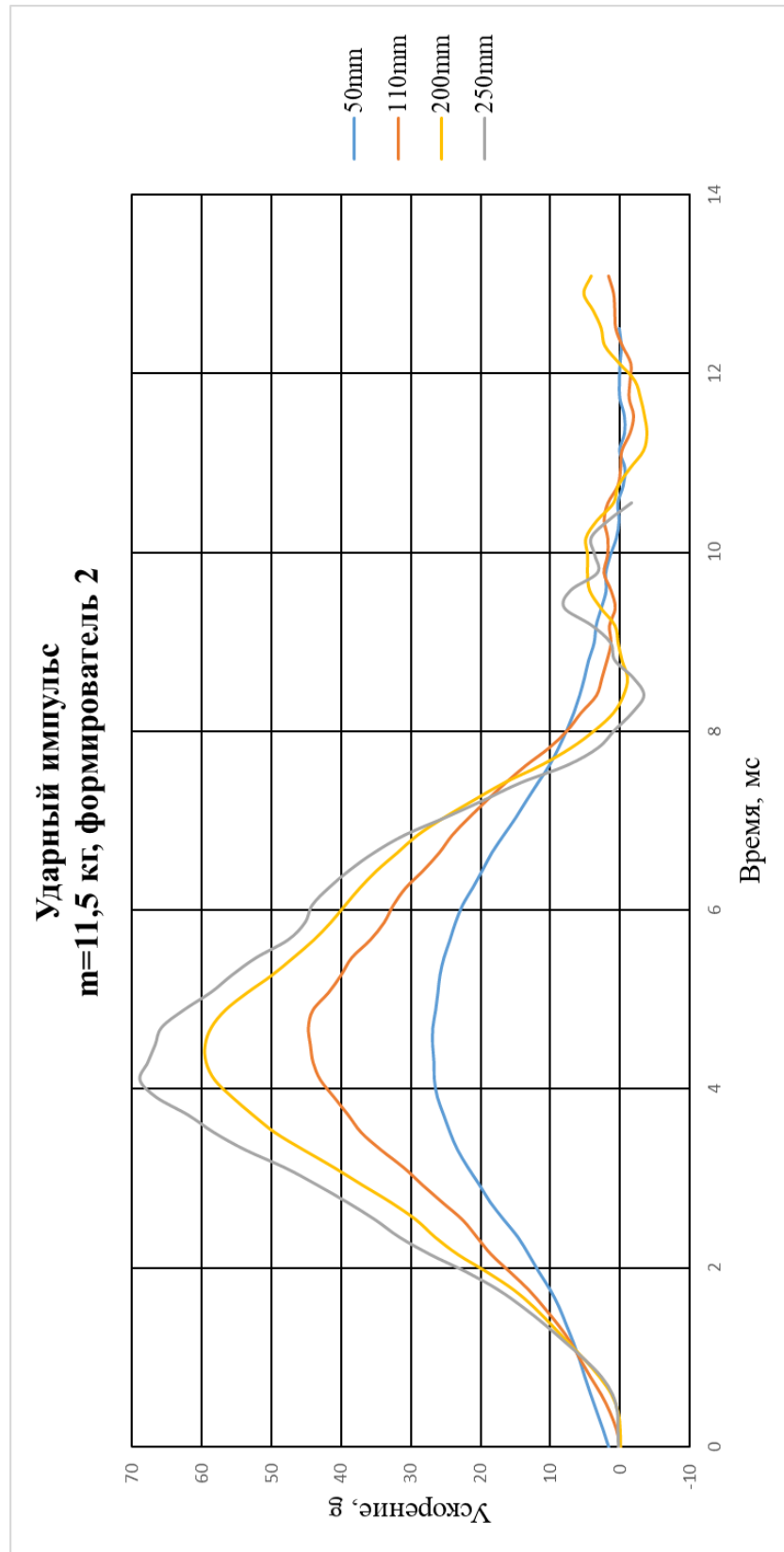
# ПРИЛОЖЕНИЕ Л

## График ударного импульса для первого формирателя при 15,2кг



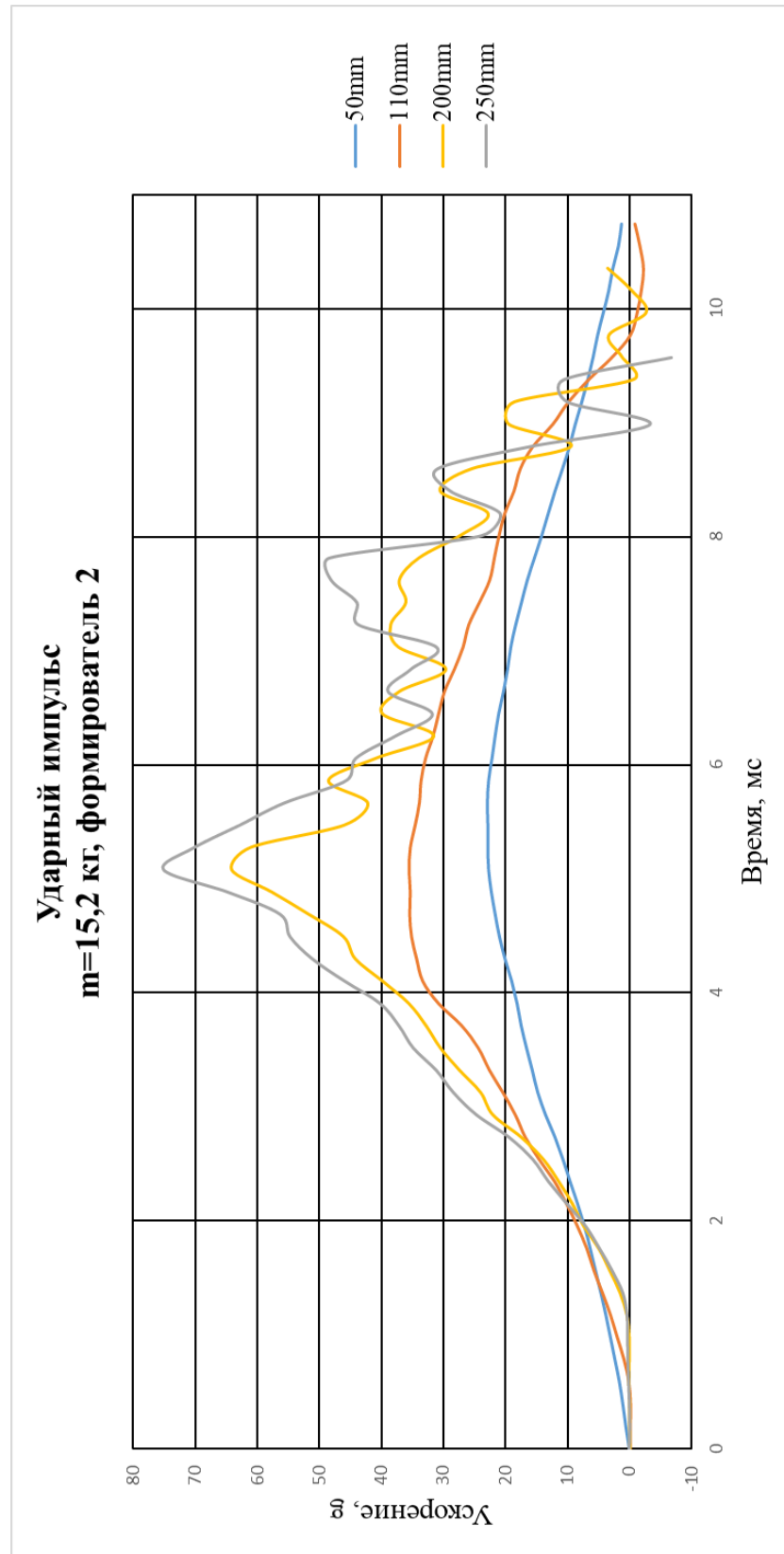
ПРИЛОЖЕНИЕ М

График ударного импульса для второго формователя при 11,5кг



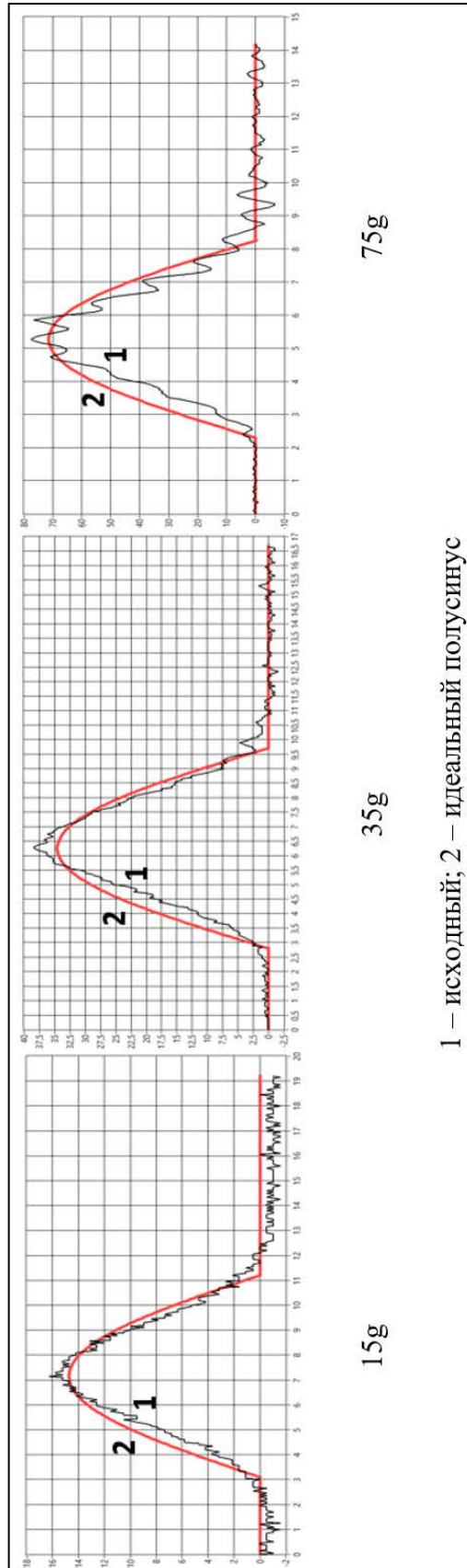
## ПРИЛОЖЕНИЕ Н

График ударного импульса для второго формователя при 15,2кг



## ПРИЛОЖЕНИЕ П

### Примеры обработки сигнала вибропреобразователя





Презентация

Министерство науки и образования  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
Институт машиностроения, материалов и транспорта  
Высшая школа автоматизации и робототехники  
Направление подготовки: 15.04.06

СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ СТЕНДА  
МНОГОКРАТНЫХ УДАРОВ

СТУДЕНТ:

БРЯНСКИЙ А.А., гр. 3341506/90101

РУКОВОДИТЕЛЬ:

К.Т.Н., ДОЦ. ПОПОВ А.Н.



Санкт-Петербургский  
Политехнический университет  
Петра Великого



Институт машиностроения,  
материалов и транспорта

## АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМАТИКИ

Актуальность разработки обусловлена:

- Отсутствием методики выбора конструктивных параметров пневматических стендов многократных ударов;
- Спросом предприятий оборонной промышленности на испытательные машины с предельными техническими характеристиками;
- Необходимостью экспериментальной верификации теоретических моделей стендов;
- Отсутствием имитационной модели – «виртуального двойника стенда»;



Брянский А.А., гр. 3341506/90101

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ



### Цель

Разработать систему записи параметров стендов многократных ударов и дать рекомендации по синтезу устройств записи параметров стендов.



### Задачи:

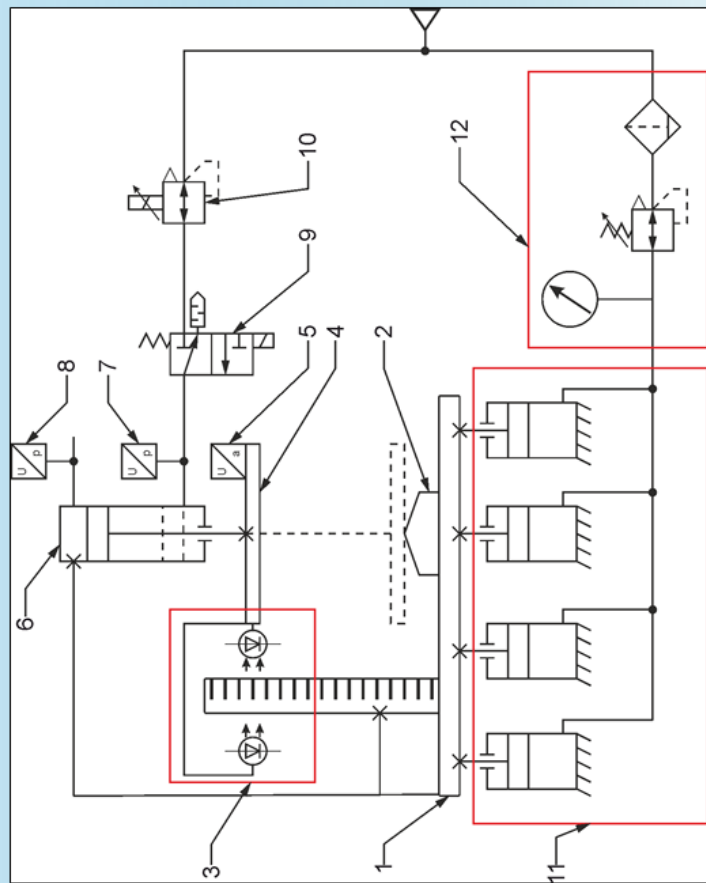
- определить перечень параметров для записи;
- разработать схемы системы сбора данных;
- разработать программы сбора данных и внести изменения в программу управления стендом;
- подобрать оборудование для экспериментальной части работы;
- опробовать систему сбора данных на лабораторном стенде.



Брянский А.А., гр.3341506/90101

3

## СХЕМА ЛАБОРАТОРНОГО УДАРНОГО СТЕНДА

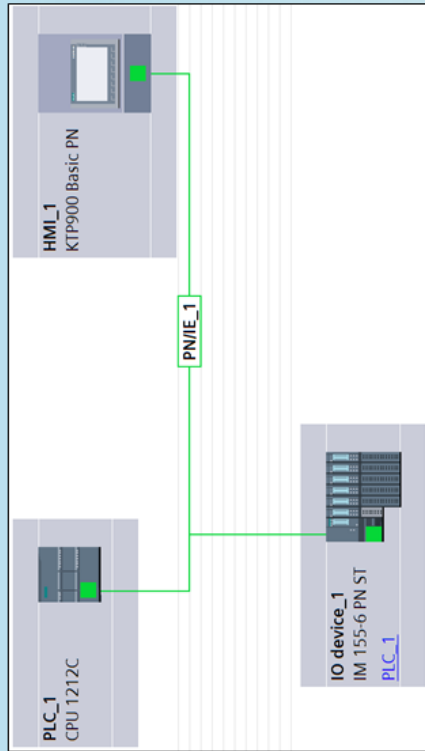


- 1 – основание ударного стенда;
- 2 – формирователь ударного импульса;
- 3 – оптическая линейка;
- 4 – ударный стол;
- 5 – акселерометр;
- 6 – пневмоцилиндр;
- 7 – датчик давления в штоковой полости;
- 8 – датчик давления в поршневой полости;
- 9 – пневматический клапан;
- 10 – аналоговый пневматический регулятор давления;
- 11 – пневмоопора;
- 12 – блок регулятора давления для пневмоопор.

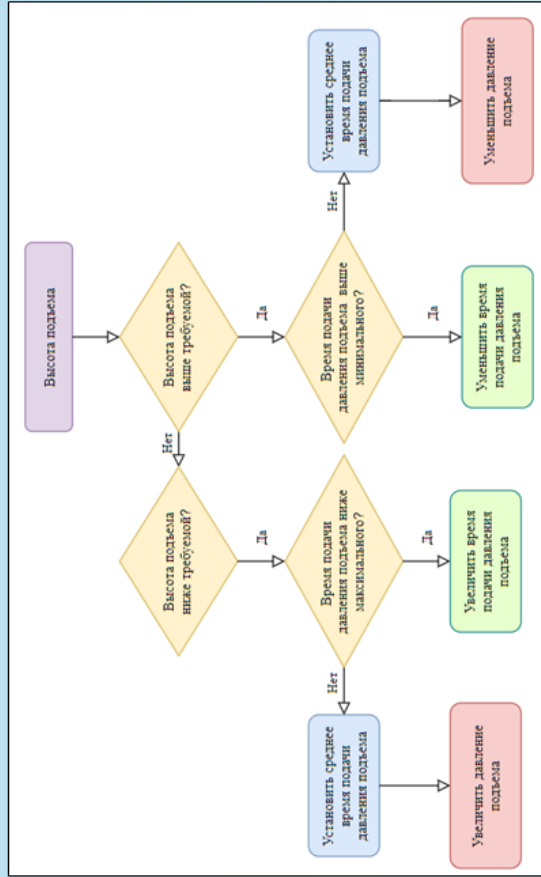


Брянский А.А., гр.3341506/90101

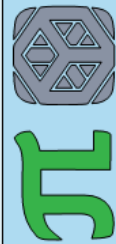
# АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ СТЕНДОМ



Топология системы

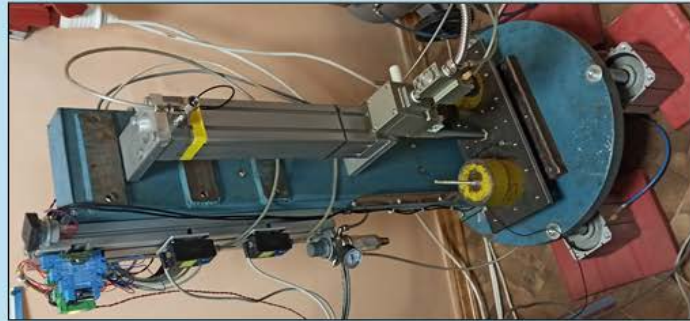


Алгоритм управления по пневмоприводом

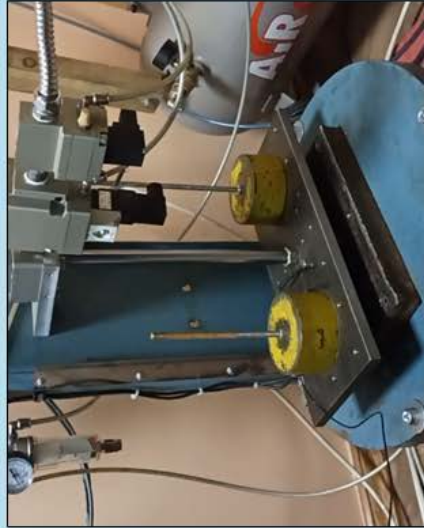


Брянский А.А., гр. 3341506/90101

## ЛАБОРАТОРНЫЙ УДАРНЫЙ СТЕНД



Ударная машина



Ударный стол



Устройство управления



Брянский А.А., гр. 3341506/90101

6



# ПРОГРАММА СИСТЕМЫ СБОР ДАННЫХ

**Основное окно программы**

График | Настройки | Системное

Ускорение, g | Давление, Bar | Положение, мм

Время, мс

Оператор: АП/СВ

Номер испытания: 1

Report Path: C:\Users\BENDER\Desktop\Report... | Формирователь: Yellow | Mass, kg: 20 | Высота сброса, мм: 100 | Частота, уд/мин: 60 | Количество испытаний: 10

**Окно настроек**

График | Настройка | Системное

Системное

Включить акселерометр 1 | Включить акселерометр 2

DAQ Channel 1 | DAQ Channel 2

Min voltage | Max voltage

Sample rate | Actual rate AI

Samples per loop

Мониторинг данных, Bar | Мониторинг данных, Bar | Мониторинг данных, Bar | Мониторинг данных, Bar

**Окно состояния**

График | Настройка | Системное

Системное

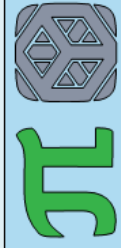
PLC connection 2 | PLC connection 1 | Data ring

PLC done | DAQ done

Size of PLC error | Cycle PLC error | Error counter

Main Cycle | Last time DAQ

Size of DAQ | Cycle DAQ | Error DAQ



Брянский А.А., гр. 3341506/90101

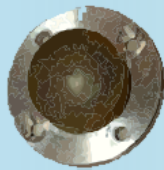


# АПРОБАЦИЯ СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ

Формирователи импульсов



Первый



Второй

Запись за 13.05.2021 19:30:54

Time NI	Accelerometer1	Accelerometer2	Time PLS	Pressure 1_ACT	Pressure 1_SET	Pressure 2_ACT	Pressure 2_SET	Position
0	-0,018074601	NaN	0	0,066682175	1,360115442	0,073784724	0	0
1	0,1953125	-0,019278685	1	0,066682175	1,360115442	0,073784724	0	0
2	0,390625	-0,020961797	2	0,066682175	1,360115442	0,073784724	0	0
3	0,5859375	-0,019411695	3	0,066682175	1,360115442	0,073784724	0	0
4	0,78125	-0,019049169	4	0,066682175	1,360115442	0,073784724	0	0
5	0,9765625	-0,01959082	5	0,066682175	1,360115442	0,073784724	0	0
6	1,171875	-0,024409985	6	0,066682175	1,360115442	0,073784724	0	0
7	1,3671875	-0,021650144	7	0,066682175	1,360115442	0,073784724	0	0
8	1,5625	-0,018896159	8	0,066682175	1,360115442	0,073784724	0	0
9	1,7578125	-0,020579273	9	0,066682175	1,360115442	0,073784724	0	0
10	1,953125	-0,020502767	10	0,066682175	1,360115442	0,073784724	0	0
11	2,1484375	-0,019202118	11	0,066682175	1,360115442	0,073784724	0	0
12	2,34375	-0,019049169	12	0,066682175	1,360115442	0,073784724	0	0
13	2,5390625	-0,020772284	13	0,066682175	1,360115442	0,073784724	0	0
14	2,734375	-0,020961797	14	0,066682175	1,360115442	0,073784724	0	0
15	2,9296875	-0,021193114	15	0,066682175	1,360115442	0,073784724	0	0
16	3,125	-0,019814421	16	0,066682175	1,360115442	0,073784724	0	0
17	3,3208125	-0,017672077	17	0,066682175	1,360115442	0,073784724	0	0
18	3,516125	-0,017136574	18	0,066682175	1,360115442	0,073784724	0	0
19	3,7114375	-0,016444177	19	0,066682175	1,360115442	0,073784724	0	0
20	3,90675	-0,01575177	20	0,066682175	1,360115442	0,073784724	0	0

Таблица параметров

Формирователь	Общая масса, кг		Высота, мм		Частота, УД/МИН	
	Первый	Второй	50	80	20	80
Первый	7,8	11,5	50	80	20	80
Второй	15,2	15,2	110	110	120	120
			150	200		
			200	250		

Экспериментальные данные в форме отчета

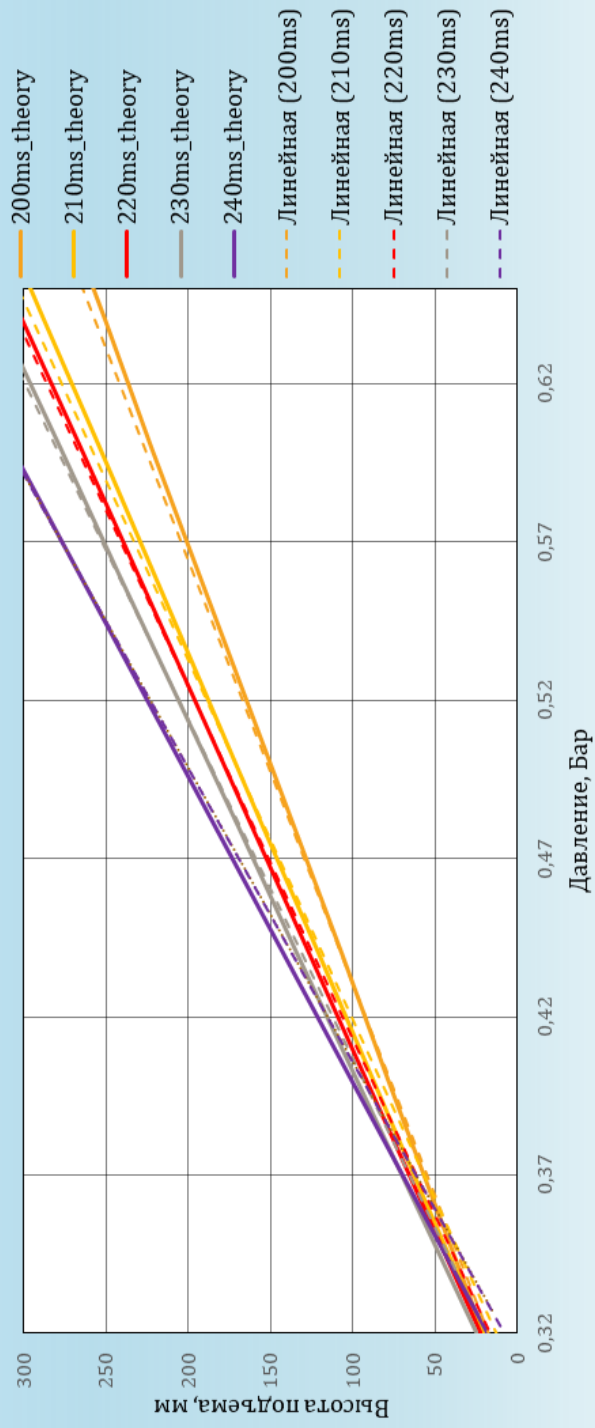


Брянский А.А., гр. 3341506/90101

# РЕЗУЛЬТАТ АПРОБАЦИИ СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ

Зависимость высоты подъема от давления

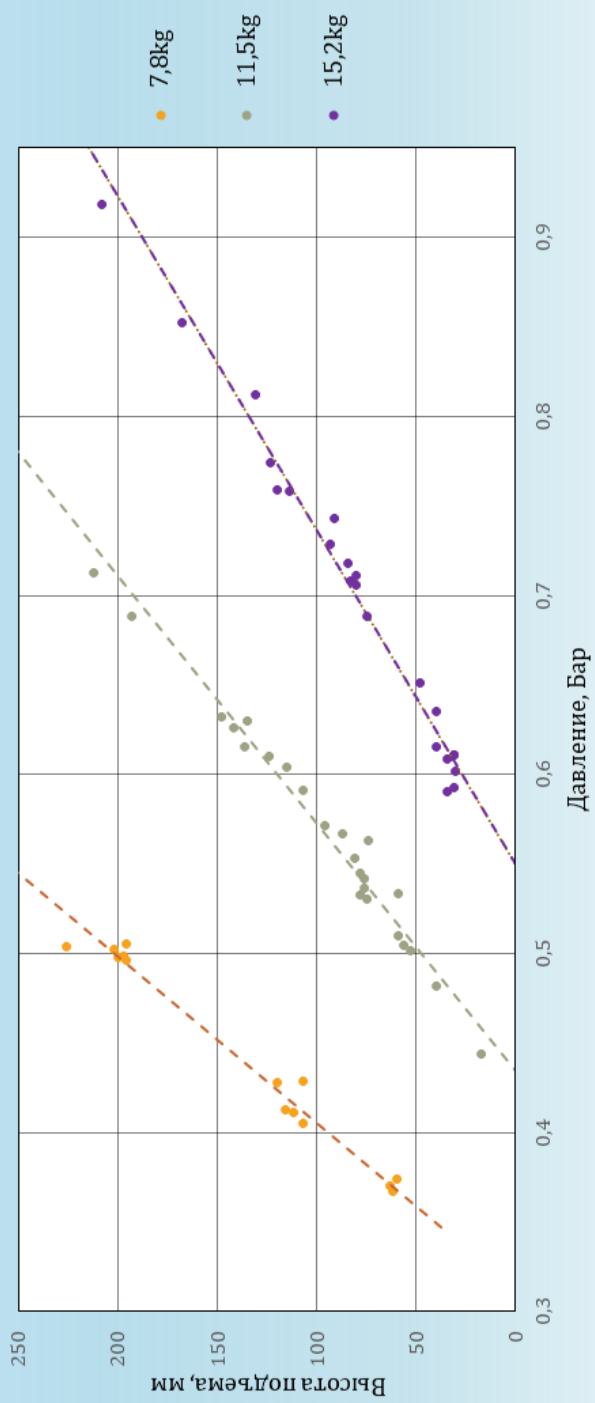
$m = 7,8 \text{ кг}$



Брянский А.А., гр. 3341506/90101

## РЕЗУЛЬТАТ АПРОБАЦИИ СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ

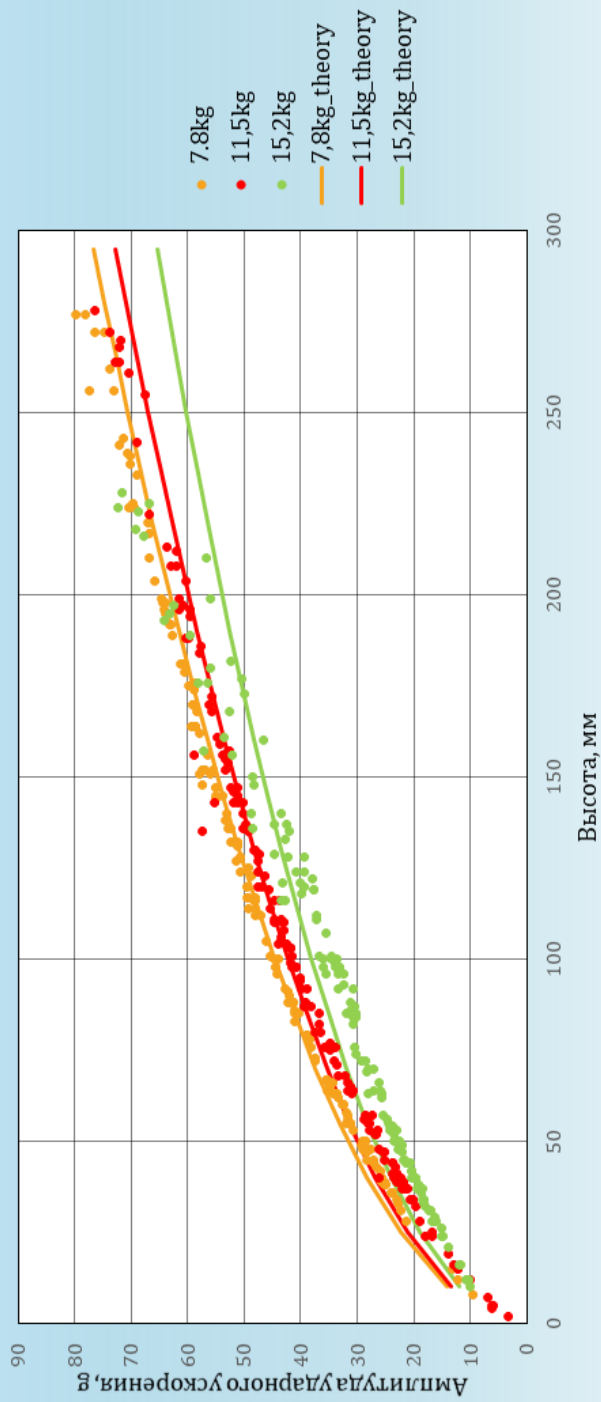
Зависимость высоты подъема от давления  
 $\Delta t = 240$  мс



Брянский А.А. 3341506/90101

## РЕЗУЛЬТАТ АПРОБАЦИИ СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ

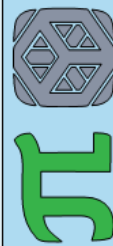
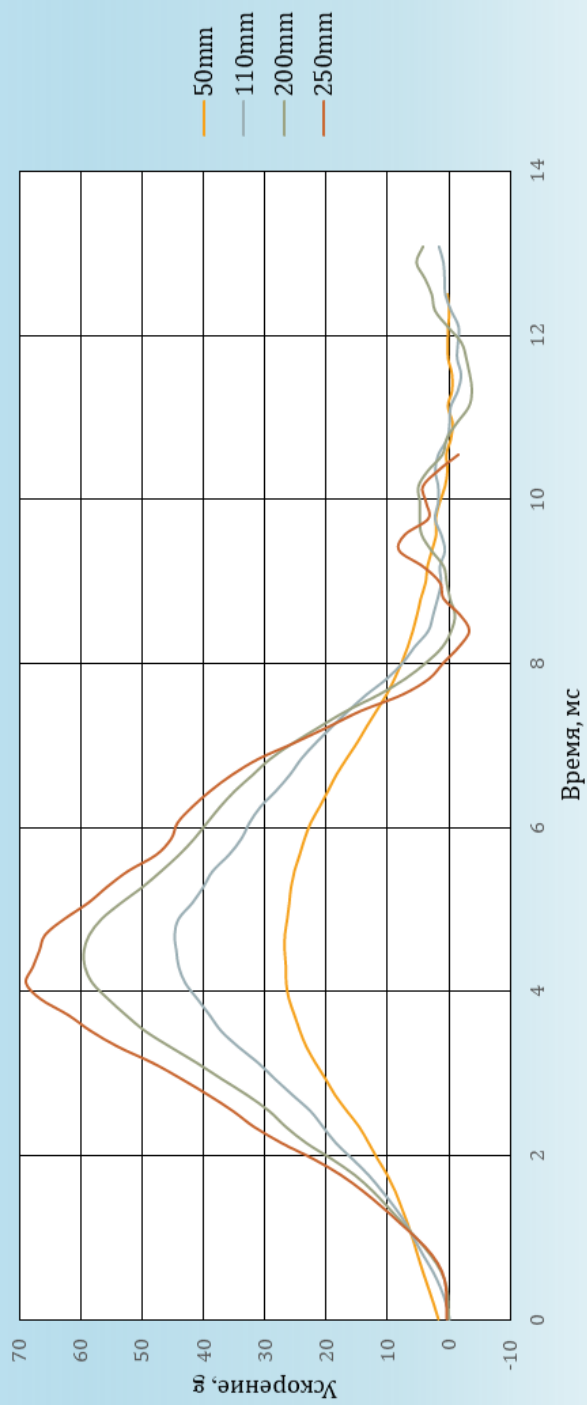
Зависимость пикового ударного ускорения от высоты сброса



Брянский А.А., гр. 3341506/90101

## РЕЗУЛЬТАТ АПРОБАЦИИ СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ

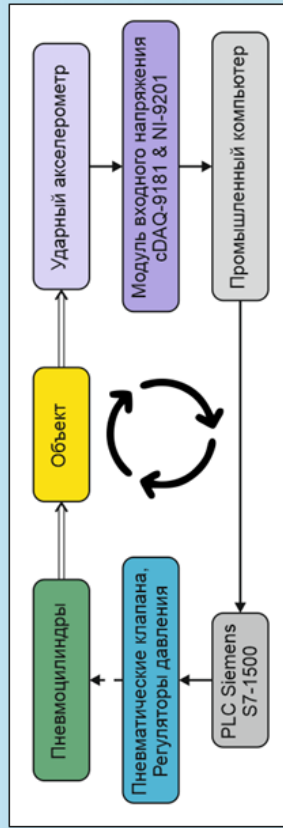
Ударный импульс  
при  $m = 11,5$  кг



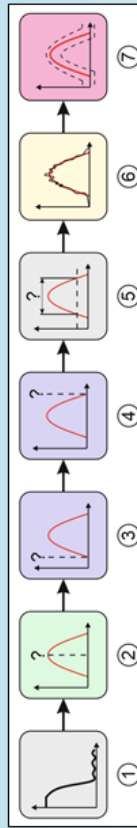
Брянский А.А., гр. 3341506/90101

# ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛА АКСЕЛЕРОМЕТРА

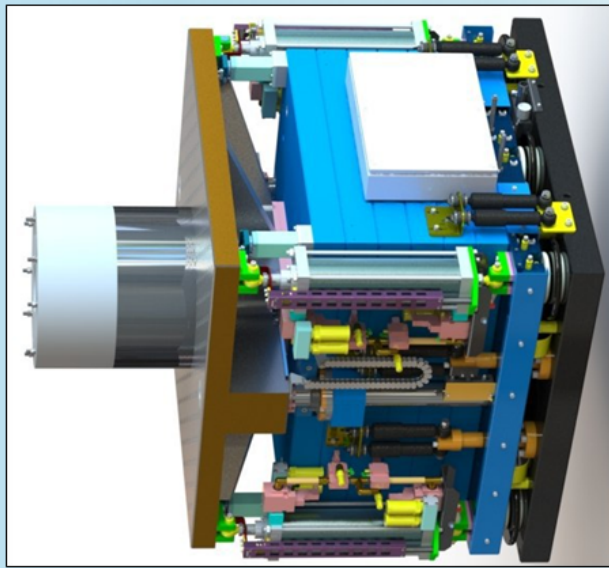
Цикл управления стандом СМУ-1200



Алгоритм обработки сигнала акселерометра станда СМУ1200



Стенд СМУ-1200

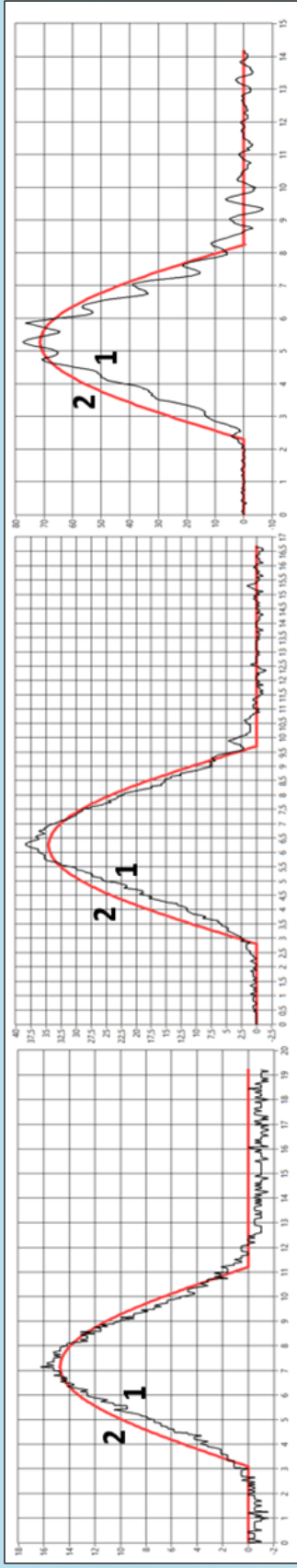


Программа установлена на стенде СМУ1200, введенном на АО «Электромашина» (г. Челябинск)



Брянский А.А., гр. 3341506/90101

## РЕЗУЛЬТАТЫ АПРОБАЦИИ ПРОГРАММЫ ОБРАБОТКИ



15g

35g

75g

1 – исходный; 2 – идеальный полусинус



Брянский А.А. 3341506/90101

15

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Результаты

- Определен перечень параметров для записи;
- Разработана система записи параметров стендов многократных ударов;
- Проведена экспериментальная апробация системы сбора данных на лабораторной ударной машине;
- Даны рекомендации по синтезу устройств записи параметров стендов.

По тематике работы опубликовано 6 статей, в том числе в журналах реферируемых Scopus - 1, опубликовано статей всего 8 шт. Получено 5 дипломов за участие во всероссийской олимпиаде студентов «Я-профессионал», за время обучения в магистратуре, из них 3 диплома медалиста: золото, серебро и бронза.



Брянский А.А., гр. 3341506/90101

16



e-mail: [andrebriyanskiy@gmail.com](mailto:andrebriyanskiy@gmail.com)  
Телефон: +79111500313

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**



Брянский А.А. 3341506/90101