


Министерство высшего образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет математики и информатики  
Кафедра информационных и управляющих систем  
Направление подготовки 09.04.04 – Программная инженерия  
Направленность (профиль) образовательной программы Управление разработкой программного обеспечения

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

  
А.В. Бушманов  
« 15 » 07 2020 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**


на тему: Разработка распределенной автоматизированной системы управления молокоприемным модулем для молокоперерабатывающих предприятий

Исполнитель  
студент группы 8570м

  
29.06.2020.  
(подпись, дата)

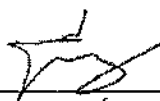
А.С.Черкасов

Руководитель  
доцент, канд.техн.наук

  
29.06.2020.  
(подпись, дата)

Н.П.Семичевская

Руководитель научного  
содержания программы  
магистратуры

  
03.07.2020.  
(подпись, дата)

И.Е. Еремин

Нормоконтроль

  
14.07.2020.  
(подпись, дата)

В.В. Еремина

Рецензент

  
14.07.2020.  
(подпись, дата)

И.С. Вирта

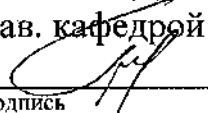
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет математики и информатики

Кафедра информационных и управляющих систем

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

  
подпись

А.В. Бушманов

И.О. Фамилия

« 02 » 09 2019 г.

**ЗАДАНИЕ**


К выпускной квалификационной работе студента Черкасова Александра Сергеевича

1. Тема выпускной квалификационной работы: Разработка распределенной автоматизированной системы управления молокоприемным модулем для молокоперерабатывающих предприятий (утверждена приказом от 30.04.2020 № 810-уч)
2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) 20.06.2020 г
3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: формулировка темы работы, литературные источники, сведения из нормативных документов и актов, проектирование, разработка программного обеспечения.
4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): анализ и формализация исходных данных; разработка технического задания; написание кода программного обеспечения; тестирование программного обеспечения; отладка (при необходимости).
5. Перечень материалов приложения: техническое задание, спецификация.
6. Дата выдачи задания 02.09.2019 г.

Руководитель выпускной квалификационной работы:

Семичевская Наталья Петровна, канд. техн. наук, доцент

Задание принял к исполнению (дата): «02» сентября 2019 г.

  
(подпись студента)

## РЕФЕРАТ

Дипломная работа содержит 74 страницы, 46 рисунков, 3 таблицы, 41 источников

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, АЛГОРИТМ, КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОЕ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС, ПЛК, КОНТРОЛЬ КОЛИЧЕСТВА.

Объектом разработки выбрано создание распределенной автоматизированной системы для управления технологической установкой для приема молока, отображения количества принятого сырья, ведения архива полученных данных и составление отчета.

Целью данной работы является разработка структурной схемы, алгоритма, математической модели, а также построение имитационной модели.

Выполнение задачи происходит в несколько этапов:

- 1) обследование области применения;
- 2) построение проекта (модели) будущего программного обеспечения;
- 3) разработка;
- 4) тестирование.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение                                                                                                                                                  | 9  |
| 1 Обзор аппаратных и программных средств промышленной автоматизации на молокоперерабатывающих предприятиях                                                | 13 |
| 2 Выбор модели жизненного цикла                                                                                                                           | 19 |
| 2.1 Описание процессов жизненного цикла                                                                                                                   | 19 |
| 2.2 Выбор и обоснование модели жизненного цикла для разрабатываемого программного средства                                                                | 20 |
| 3 Разработка программного обеспечения для автоматизированной системы управления модулем для приемки и учета молока для молокоперерабатывающих предприятий | 21 |
| 3.1 Построение функциональной модели блока поддержания уровня молока в емкости                                                                            | 21 |
| 3.2 Разработка технологической схемы блока поддержания уровня молока в емкости                                                                            | 24 |
| 3.3 Разработка структурной схемы системы регулирования                                                                                                    | 25 |
| 3.3.1 Выбор элементов системы регулирования                                                                                                               | 25 |
| 3.4 Функциональная схема системы регулирования                                                                                                            | 29 |
| 3.5 Построение модели взаимодействия программного комплекса                                                                                               | 29 |
| 3.6 Диаграмма вариантов использования системы управления молокоприемным модулем                                                                           | 32 |
| 3.7 Диаграмма деятельности программного комплекса                                                                                                         | 33 |
| 3.8 Диаграмма состояний молокоприемной установки                                                                                                          | 34 |
| 3.9 Диаграмма компонентов программного комплекса                                                                                                          | 35 |
| 4 Математическое обеспечение блока поддержания уровня молока в промежуточной емкости молокоприемной установки                                             | 36 |
| 4.1 Математическая модель первичного преобразователя                                                                                                      | 39 |
| 4.2 Математическая модель регулятора                                                                                                                      | 40 |
| 4.3 Математическая модель исполнительного устройства                                                                                                      | 40 |
| 4.4 Математическая модель блока регулирования уровня                                                                                                      | 41 |

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.5 Построение имитационной модели регулирования уровня молока                                    | 42 |
| 4.5.1 Создание модели объекта регулирования                                                       | 42 |
| 4.5.2 Создание модели первичного преобразователя                                                  | 44 |
| 4.5.3 Создание модели регулятора                                                                  | 45 |
| 4.5.4 Создание модели исполнительного устройства                                                  | 47 |
| 4.6 Создание модели системы автоматического регулирования                                         | 52 |
| 5 Проектирование клиент-серверной архитектуры программного комплекса для молокоприемной установки | 54 |
| 5.1 Проектирование сетевых компонентов для молокоприемной установки                               | 54 |
| 5.2 Проектирование базы данных для хранения информации о принятом молоке                          | 55 |
| 5.3 Проектирование экранных форм приложения-клиента                                               | 55 |
| 5.3.1 Проектирование отчетных форм                                                                | 58 |
| Заключение                                                                                        | 59 |
| Библиографический список                                                                          | 60 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А Документ «Техническое задание на проектирование»                                     | 67 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Б Документ «Спецификация»                                                              | 71 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ В Окно справки                                                                         | 74 |

## НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей магистерской диссертации использованы ссылки на следующие стандарты и нормативные документы:

1. ГОСТ 2.103-68 ЕСКД. Стадии разработки
2. ГОСТ 2.104-68 ЕСКД Основные надписи
3. ГОСТ 2.109-73 ЕСКД. Основные требования к чертежам
4. ГОСТ 19.201-78 Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению
5. ГОСТ 19.202-78 Спецификация. Требования к содержанию и оформлению
6. ГОСТ 3.1103-83 ЕСКД Основные надписи
7. ГОСТ 3.1105-84 ЕСКД Правила оформления документов общего назначения
8. ГОСТ 2.105-95 ЕСКД Общие требования к текстовым документам
9. ГОСТ 2.106-96 ЕСКД Текстовые документы
10. ГОСТ 3.1130-93 ЕСКД Основные требования к формам и бланкам документов
11. ГОСТ 7.0-99 Межгосударственный стандарт. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Информационно-библиографическая деятельность. Библиография;
12. ГОСТ 7.80-2000 Библиографическая запись. Заголовок. ГОСТ 7.32-2001 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления;
13. ГОСТ 7.82–2001 Межгосударственный стандарт. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов. Общие требования и правила составления.

14. ГОСТ 8.417-2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин;

15. ГОСТ Р 1.5-2002 Государственная система стандартизации Российской Федерации. Стандарты. Общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению;

16. ГОСТ 7.1-2003 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления

17. ГОСТ Р 7.0.11–2011 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления.

18. ГОСТ 2.111–2013 ЕСКД. Нормоконтроль

19. ГОСТ Р МЭК 61131-3-2016 Контроллеры программируемые. Часть 3. Языки программирования

20. СТО СМК 4.2.3.15-2016 Стандарт организации. Требования к структуре и оформлению локальных нормативных документов университета

21. СТО СМК 4.2.3.21-2018 Оформление выпускных квалификационных и курсовых работ (проектов)

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

АРМ – автоматизированное рабочее место;

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом;

ЖЦ – жизненный цикл

ОС – операционная система

ПО – программное обеспечение;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

САР – система автоматического регулирования.

SCADA-система – это особая диспетчерская система, которая занимается сбором информационных данных о текущей деятельности предприятия, а также их управлением

ПК – персональный компьютер

HMI – (англ. Human Machine Interface) человеко-машинный интерфейс

ИМ – исполнительный механизм

РО – регулирующий орган

ИУ – исполнительное устройство

OPC - это набор повсеместно принятых спецификаций, предоставляющих универсальный механизм обмена данными в системах контроля и управления



## ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация производства – это процесс, при котором функции управления и контроля переходят от человека к приборам и автоматическим установкам. Для увеличения эффективности выпуска продукции предприятиями по переработке сельскохозяйственной продукции требуется современное техническое оснащение технологических процессов системами контроля и оперативного управления для получения продукции необходимого качества, снижения затрат на производство, соответствия экологическим и санитарным нормам, обеспечения комфорта и безопасности работников. Одним из способов достижения данных целей может служить автоматизация производства, которая позволит передать работу по управлению и контролю приборам и автоматическим устройствам.

Большая доля современных производств оснащены автоматизированными системами управления, в которые входят машины и установки, системы автоматического регулирования, управления и контроля, а так же системы защиты обслуживающего персонала.

В целом управление производством сводится к решению задачи оптимизации процессов по достижению некоторых показателей (затрат, прибыли и др.) с учетом соответствия параметров технологических процессов нормативно-технической документации. Эта задача осложняется тем, что на процессы влияют множество факторов. Но для решения ее разбивают на несколько связанных друг с другом подзадач управления отдельными технологическим аппаратами или этапами, позволяющими определить задачи по регулированию технологических параметров в отдельных установках.

В настоящее время программируемые логические контроллеры стали достаточно развитыми «интеллектуальными» устройствами, аппаратная составляющая которых имеет достаточное количество встроенной и оперативной памяти, мощное вычислительное ядро с поддержкой команд, необходимых для

регулирования и контроля в режиме реального времени.

Программируемые логические контроллеры являются неотъемлемой частью автоматизации технологических процессов предприятия. Автоматизация процессов с использованием ПЛК позволяет значительно улучшить реализацию проектов и оптимизировать процессы регулирования и контроля с помощью базовых элементов и технологий, основанных на международном стандарте МЭК 61131. Внедрение программируемых логических контроллеров позволяет создавать проекты автоматизации открытого типа, в которых имеется возможность интеграции различных дополнительных аппаратных и программных элементов на основе единого международного стандарта. Программное обеспечение является наиболее гибким элементом автоматизации производства, так как его изменение позволяет поменять алгоритм работы без изменения технического устройства всей системы.

К техническим особенностям ПЛК можно отнести возможность дополнительного периферийного оборудования, аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи, усилители, модули ввода-вывода, блоки интерфейсов и другие.

Многофункциональность и универсальность программируемых логических контроллеров имеет особое значение при работе в промышленных сетях предприятия с рабочими станциями, на которых реализованы автоматизированные рабочие места операторов технологических установок.

Для функционирования требуемого алгоритма, высокой надежности и производительности, простоты монтажа и сопровождения на предприятиях организуются специализированные промышленные локальные сети, в которые могут входить десятки или даже сотни узлов.

Автоматизация производственных процессов молочного предприятия является важнейшим показателем уровня его технического развития. Углубление уровня автоматизации в молочной промышленности имеет огромное значение для эффективного функционирования предприятия. Внедрение автоматизированных систем на предприятиях молочной промышленности позволяет суц

ственно повысить качество выпускаемой продукции, эффективнее использовать энергоресурсы, уменьшая общие энергозатраты предприятия. При комплексной автоматизации предприятия, общее управление производственными процессами выполняется с АРМ технолога или панели оператора. Комплексная автоматизация дает возможность решить все основные технологические задачи предприятий молочной промышленности. В системах комплексной автоматизации применяются стандартные алгоритмы на языках высокого уровня.

На каждом предприятии молокоперерабатывающей промышленности для приемки молока используются молокоприемные модули или узлы, для обеспечения предприятия сырьем. Молокоприемные модули должны обеспечивать необходимую производительность, надежность, рентабельность, производить объективный подсчет принятого сырья, должны быть просты в эксплуатации и обслуживании. Для этого необходимо спроектировать не только конструкцию и аппаратную оставляющую данного оборудования, но и программный комплекс для работы узлов и подсистем.

Проектируемое программное обеспечение должно обладать такими функциями, как:

- осуществление подсчета пройденного молока через счетчик,
- вывод уведомлений и архивирование информации об аварийных ситуациях,
- отображение информации о дате, времени, количестве, наименовании хозяйства, с которого было принято молоко,
- формирование архива, сменного отчета с возможностью вывода их на бумажный носитель.

Для обеспечения управления и объективного контроля работы установки и персонала необходимо использовать клиент-серверную архитектуру для занесения и вывода архивных данных. Также необходимо предусмотреть возможность подключения к базе нескольких пользователей с разным уровнем доступа.

Для вывода отчетной документации должна быть реализована возможность сортировки данных по наименованию предприятия, форме его организации, вывод данных за определенную дату и время или диапазон, по количеству принятого молока.

В данный момент, чаще всего, данные о количестве, наименовании вносятся вручную, что может привести к искажению и снижению объективности полученных данных, что может привести к финансовым потерям со стороны предприятия.

Поэтому существует необходимость разработки автоматизированной системы учета принятого молока.

# 1 ОБЗОР АППАРАТНЫХ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ НА МОЛОКОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

На большинстве молокоперерабатывающих предприятий на технологическом и упаковочном оборудовании в качестве аппаратной составляющей системы управления технологическими процессами используются программируемые логические контроллеры (ПЛК), аналоговые и дискретные блоки ввода и вывода, в качестве программно-аппаратных средств, обеспечивающих взаимодействие человека с компьютером, используются автоматизированное рабочее место или панель оператора.

Задачи по автоматизации и управлению, подобно тому как это реализовано в ПЛК, ранее приходилось разрабатывать в виде релейной или контакторной схем управления. Для организации такого рода управления необходимо было разрабатывать принципиальные схемы, определять и устанавливать электрические устройства, формировать схемы монтажа. Затем электрикам необходимо было протянуть провода, соединить нужное для выполнения задачи оборудование, и в случае ошибки требовалось новое подключение для исправления. Также для расширения или модернизации требовалась замена большого количества элементов и последующее подключение новых компонентов.

В отличие от проводного монтажа, внести изменение в программу ПЛК гораздо проще и менее трудоемко. Использование проводных соединений все еще необходимо, но для соединения с периферийными устройствами. Изменение функций и ошибок в программе ПЛК гораздо проще и быстрее, чем изменять структуру схемы подключения и электромонтажа.

ПЛК, или программируемый логический контроллер, это особая разновидность электронной вычислительной машины, которую обычно используют для построения автоматизированной системы управления технологическими процессами. ПЛК должен обладать длительной автономностью, не требовать

специального обслуживания и постоянного вынимания человека, быть стойким к неблагоприятным условиям окружающей среды.

ПЛК предназначены для работы в системах реального времени. Это самостоятельные устройства, выполненные отдельно от оборудования, с которым они работают, а не отдельные микросхемы, как микроконтроллеры. Они связаны с рабочей машиной при помощи ввода сигналов от датчиков и вывода на исполнительные устройства.

В виду того, что в автоматизированных системах управления технологическими процессам логические операторы более распространены, чем арифметические операции над числами с плавающей точкой, архитектура ПЛК позволяет при относительной простоте микроконтроллера (ширина шины 8 или 16 разрядов) построить на его основе довольно мощные системы в режиме реального времени.

В современных ПЛК числовые операции на языках их написания реализуются наравне с логическими. Все языки программирования ПЛК имеют легкий доступ к работе с битами на языке машинных кодов, в отличие от большинства высокоуровневых языков программирования современных компьютеров.

В состав ПЛК обычно входит центральная микросхема с обвязкой, подсистема часов реального времени, энергонезависимая память, интерфейсы последовательного ввода-вывода, схемы защиты и преобразования напряжений на входах и выходах ПЛК.

Для написания программ для ПЛК наиболее часто используют языки, регламентируемые международным стандартом МЭК 61131-3. К графическим языкам программирования на ПЛК относятся:

LD – язык релейных-контактных схем, или лестничная логика, один из распространенных языков написания программ для ПЛК,

FBD – язык функциональных блоков, второй по популярности язык программирования на ПЛК,

SFC – язык написания программ при помощи диаграмм состояний,

CFC – язык последовательных функциональных схем, более развитая форма языка SFC, не сертифицирован стандартом МЭК 61131-3.

К текстовым же языкам следует отнести такие языки, как:

IL – список инструкций, этот язык схож с ассемблером,

ST – структурированный текст, по синтаксису ближе всего Pascal,

C-YART – C-подобный синтаксис, поддерживается очень малым количеством устройств.

Среда исполнения, согласно стандарту МЭК 61131-3, представляет собой набор ресурсов (наиболее часто в роли него выступает сам ПЛК, но так же может быть реализован на некоторых мощных компьютерах под управлением многозадачных ОС, путем запуска нескольких программ вроде softPLC и имитировать на одном ЦП нескольких ресурсов). Ресурсы дают возможность выполнять задачи, представленные в виде наборов программ, и могут быть вызваны по событию, циклически, с максимальной частотой.

Для написания программ для ПЛК используются специальные структуры – программные модули. Они могут быть выполнены в виде таких модулей, как программа, функциональный блок или функция. Но для некоторых ПЛК используются нестандартные индивидуальные языки программирования, например: HiGraph 7 – язык управления на основе графа состояний системы.

В качестве инструментов для создания программ на ПЛК могут быть использованы различные среды разработки, которые предназначены для определенного семейства контроллеров или же могут использоваться универсальные, которые имеют возможность работы со многими (но не всеми) типами контроллеров. К первому типу можно отнести такие инструменты как RSlogix и TIA Portal. Ко второму же можно отнести CODESYS и KLogic.

К преимуществам применения ПЛК можно отнести:

- уменьшение размеров, по сравнению с использованием проводного монтажа,
- простота и скорость изменения программы,
- для диагностики и блокировки в ПЛК имеются встроенные функции,

- возможность немедленного документирования решений,
- быстрое и простое дублирование решений.

Для организации автоматизированного рабочего места для управления и контроля технологических процессов используются SCADA-системы.

Автоматизированное рабочее место представляет собой комплекс программно-аппаратных средств для организации взаимодействия человека и компьютера, предоставляет возможность ввода информации через клавиатуру, мышь, сканер, микрофон и другие устройства, а также вывод ее на экран, графопостроитель, динамики и другие устройства вывода.

#### Панель оператора

В автоматизированных системах управления технологическим процессом также широко применяются панели оператора. Это программируемые графические терминалы, предназначенные для визуализации информации, поступающей от микропроцессорных устройств, таких как программируемые логические контроллеры, преобразователи частоты, регуляторы температуры и т.д., и управления технологическими процессами.

Панели оператора, в отличие от обычного монитора, являются отдельными самостоятельными устройствами, которые напрямую связываются с компонентами АСУ ТП, визуализируют полученные данные и посылают контроллерам команды оператора. Работа панелей оператора с управляемыми контроллерами и системами сбора данных организуется при помощи Ethernet, RS-232/485 или CAN-интерфейса. Интеллектуальные панели имеют возможность протоколировать данные процессов, формировать отчеты и самостоятельно отдавать контроллерам команды на базе введенных оператором скриптов.

Современные АСУ ТП имеют трехуровневую архитектуру, что определило использование комбинированного подхода в организации человеко-машинного интерфейса: на верхнем уровне диспетчеризации используется SCADA-система, на среднем же, на котором организованы контроль и управление, размещены НМІ-панели или панельные компьютеры. Использование панелей оператора на среднем уровне позволяет повысить надежность работы те



нологического оборудования. Как правило, панели оператора устанавливаются непосредственно на оборудовании или щите управления отдельной технологической операцией или целым технологическим процессом. При выходе из строя АРМ в составе SCADA-системы на верхнем уровне, при помощи HMI-панелей обслуживающий персонал может производить настройку и контроль ключевых параметров процесса. Панели оператора также позволяют существенно ускорить процесс пуско-наладочных работ. Если необходимо организовать управление небольшой установкой или процессом, то панели оператора вполне могут заменить полноценные SCADA-системы и панельные промышленные компьютеры, что позволит снизить затраты на оборудование и уменьшить время настройки и наладки при выходе из строя. Внутреннее устройство панели оператора схоже с устройством промышленных компьютеров, но с поправкой на условия монтажа и эксплуатации в технологических процессах.

Стандартная панель оператора имеет в своем составе:

- устройство отображения информации, в виде сенсорного или текстового дисплея,
- устройства выбора и ввода данных, а так же навигации между экранами, выполнены в виде кнопок, клавиатуры, сенсорного экрана, джойстика или манипулятора,
- интерфейсы связи для организации обмена данными с другим оборудованием и системами, к ним относятся RS232/422/485, Ethernet.

Для более наглядного отображения информация по средам разработки и языкам программирования составлена таблица 1.

Таким образом, при изучении сред разработки для промышленной автоматизации, был сделан вывод, что почти все они имеют поддержку языков программирования для промышленных контроллеров, регламентируемых международным стандартом МЭК 61131-3, но наиболее универсальной и распространенной является среда CODESYS, кроме того она является свободно распространяемой средой, имеет широкий функционал и поддержку большого количества программируемых контроллеров.

Таблица 1 – Языки программирования и среды разработки

| Производитель       | Среда разработки                                                 | Языки программирования                                                                                                                                                                                        |
|---------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| OWEN                | Owen logic,<br>CODESYS                                           | Owen logic (FBD),<br>CODESYS(IL (Instruction List),<br>ST (Structured Text),<br>LD (Ladder Diagram),<br>FBD (Function Block Diagram),<br>SFC (Sequential Function Chart),<br>CFC (Continuous Function Chart)) |
| Rockwell Automation | RSlogix                                                          | IL (Instruction List),<br>ST (Structured Text),<br>LD (Ladder Diagram),<br>FBD (Function Block Diagram),<br>SFC (Sequential Function Chart)                                                                   |
| Siemens             | Simatic                                                          | FBD, LD,<br>STL(Statement List), ST, GRAPH 7,<br>HiGraph 7, SFC                                                                                                                                               |
| GE Fanuc            | Proficy Machine Edition<br>(ME)<br>SIMPLICITY Machine<br>Edition | FBD, IL, LD                                                                                                                                                                                                   |

Наиболее целесообразным при выполнении данной магистерской диссертации является использование среды разработки для промышленных контроллеров CODESYS.

## 2 ВЫБОР МОДЕЛИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

### 2.1 Описание процессов жизненного цикла

Модель ЖЦ любого конкретного ПО определяет характер процесса его создания, который представляет собой совокупность упорядоченных во времени, взаимосвязанных и объединенных в стадии (фазы) работ, выполнение которых необходимо и достаточно для создания ПО, соответствующего заданным требованиям.

Разработка данной системы начинается с определения требований к разрабатываемому программному продукту. Для снижения стоимости разработки программного обеспечения требования должны быть сформулированы наиболее четко и точно, полностью отражать ожидаемую функциональность разрабатываемого продукта.

Следующим этапом идет анализ требований и оценка рисков, определение возможности осуществления заданной функциональности программного продукта.

Далее наступает этап проектирования информационной системы, на котором изучается предметная область, формируется структура и составные компоненты разрабатываемого продукта, определяются алгоритмы, функциональные схемы.

Затем происходит переход к этапу реализации, в котором происходит кодирование, создание необходимых подсистем и компонентов программного продукта. После чего происходит внедрение программного продукта, настройка, запуск его в эксплуатацию.

В дальнейшем наступает этап сопровождения. При этом определяется его отказоустойчивость, функциональность, анализ аварийных ситуаций. При необходимости система дорабатывается с возможностью возврата на любой из предыдущих этапов.

## 2.2 Выбор и обоснование модели жизненного цикла для разрабатываемого программного средства

Наиболее подходящей моделью жизненного цикла для разрабатываемого программного продукта является итерационная модель. Это модель с промежуточным контролем и наличием обратных связей между этапами. Цель каждой итерации – получение работающей версии программной системы, включающей функциональность, определённую интегрированным содержанием всех предыдущих и текущей итерации.

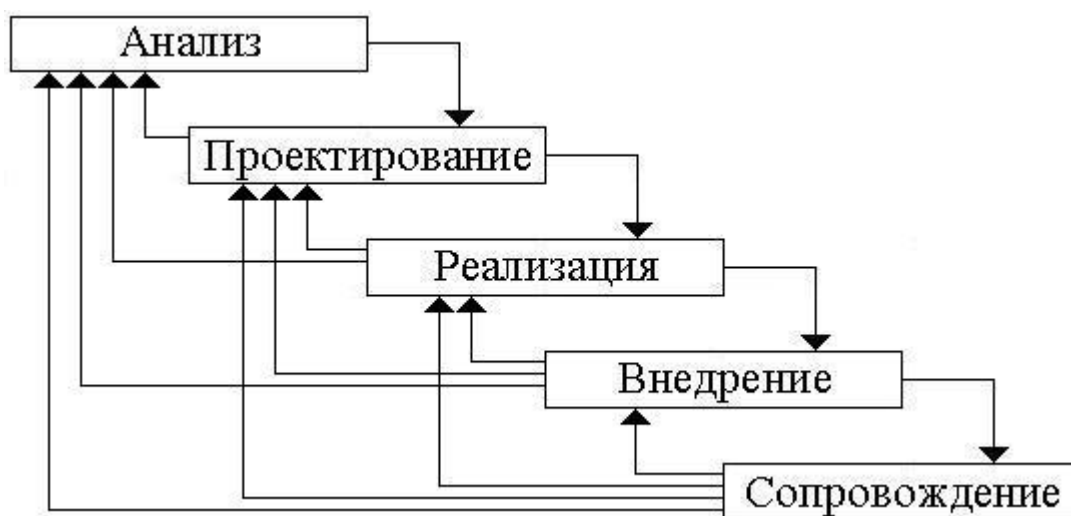


Рисунок 1 – Итерационная модель жизненного цикла

Недостатком такой модели является увеличение стоимости и времени разработки программного продукта из-за возврата на один из предыдущих этапов и прохождения всех последующих. Результат финальной итерации содержит всю требуемую функциональность продукта.

### 3 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОДУЛЕМ ДЛЯ ПРИЕМКИ И УЧЕТА МОЛОКА ДЛЯ МОЛОКОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

На каждом предприятии молокоперерабатывающей промышленности для приемки молока используются молокоприемные модули или узлы, для обеспечения предприятия сырьем. Молокоприемные модули должны обеспечивать необходимую производительность, надежность, рентабельность, производить объективный подсчет принятого сырья, должны быть просты в эксплуатации и обслуживании. Для этого необходимо спроектировать не только конструкцию и аппаратную оставляющую данного оборудования, но и программный комплекс для работы узлов и подсистем.

#### **3.1 Построение функциональной модели блока поддержания уровня молока в емкости**

Целью является автоматическое поддержание уровня молока в емкости на определенном значении. Для получения информации, необходимой для разработки системы регулирования, произведем разбор процесса как объекта регулирования.

Проектируемый программный комплекс должен обладать такими функциями, как:

- управление запуском и остановом исполнительной программы,
- автоматическое регулирование уровня молока в емкости,
- осуществление подсчета пройденного молока через счетчик,
- вывод уведомлений и архивирование информации об аварийных ситуациях,
- отображение и архивирование информации на панели оператора о дате, времени, количестве, наименовании хозяйства, с которого было принято молоко,
- передача показаний счетчика и архивных данных на ПК,

- формирование архива, сменного отчета на ПК с возможностью вывода их на бумажный носитель.

Для решения поставленной задачи по разработке программного комплекса требуется разделить его на несколько модулей:

- 1) подсистема поддержания уровня жидкости в ёмкости;
- 2) подсистема подсчета;
- 3) человеко-машинный интерфейс;
- 4) подсистема архивирования и составления отчета.

Для проектирования модуля регулирования уровня молока в промежуточной емкости используется структурная схема установки, представленная на рисунке 2 и описан алгоритм работы установки.

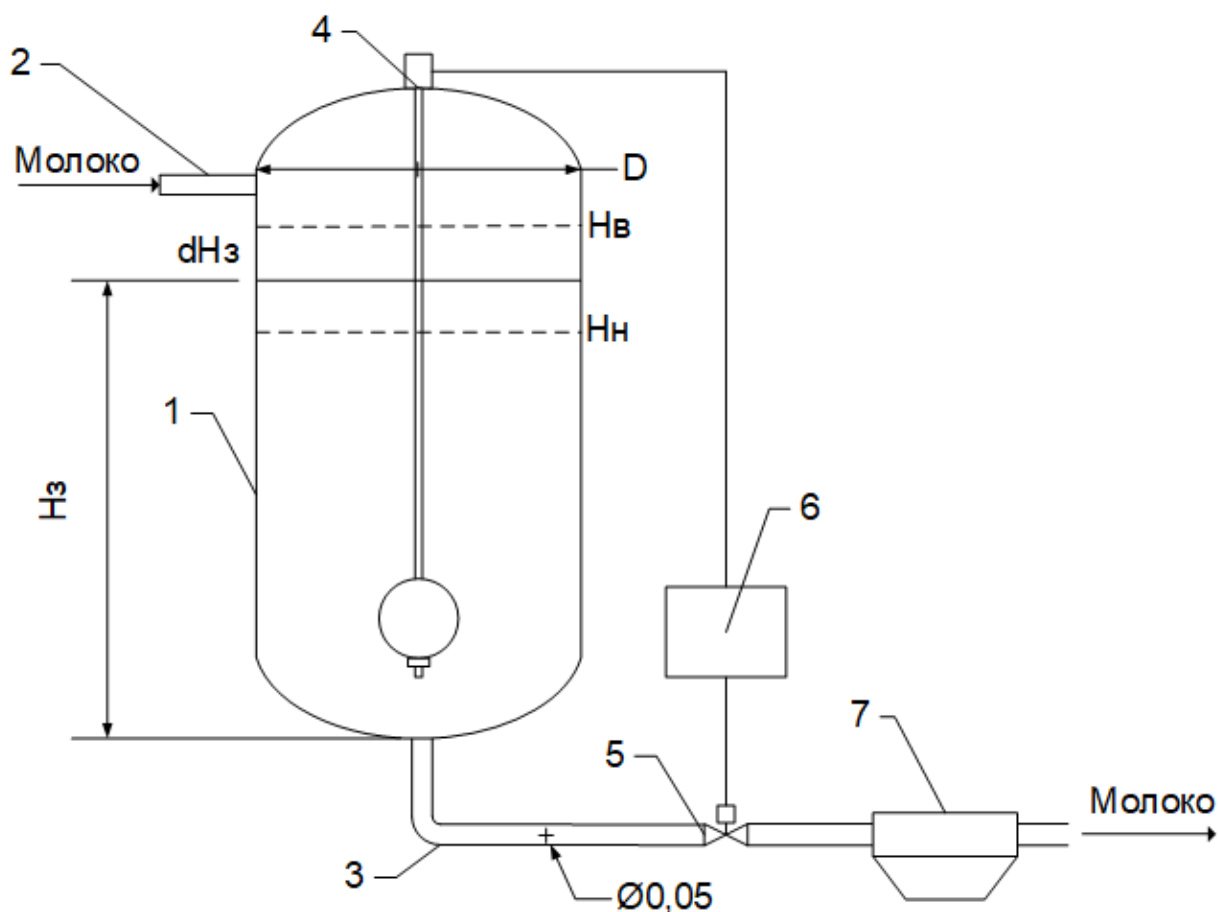


Рисунок 2 - Схема промежуточной емкости

Установка содержит промежуточную емкость 1 с подводящим патрубком 2. В нижней части промежуточной емкости 1 расположен отводящий трубопровод 3. В промежуточной емкости 1 установлен датчик уровня жидкости 4. На

отводящем трубопроводе 3 установлена управляемая заслонка 5, управляемая регулятором 6 и регулирующая расход молока, отводимого из промежуточной емкости 1 на жидкостной счетчик-расходомер 7.

Работа установки происходит следующим образом. Первоначально устанавливается средний уровень жидкости в промежуточной емкости  $H_3$  и диапазон допустимых отклонений уровня жидкости от заданного значения  $dH_3$ . Установлено, что при нахождении уровня жидкости в диапазоне  $H_3 \pm dH_3$  регулятор 6 управляет заслонкой 5. При превышении значения верхнего уровня жидкости  $H_в$  заслонка 5 открывается, а при снижении ниже уровня  $H_н$  – закрывается. Величина диапазона  $dH_3$  позволяет регулировать частоту воздействий регулятора на заслонку, т. е. с увеличением диапазона  $dH_3$  снижается частота воздействий регулятора на заслонку, увеличивая ее срок службы.

Определение величины  $dH_3$  является одной из задач моделирования. В процессе работы установки молоко поступает по трубопроводу 2 в промежуточную емкость 1. Уровень молока контролируется датчиком 4. При нахождении уровня жидкости ниже  $H_3 - dH_3$  регулятор с определенной скоростью  $w$  закрывает заслонку 5. Уровень молока начинает увеличиваться и при достижении его значения  $H_3 - dH_3$  происходит отключение привода заслонки, которая останавливается в определенном положении, обеспечивая определенный расход молока  $Q_ж$ , отводимого из емкости по трубопроводу 3 на измеритель расхода 7. Вследствие запаздывания системы уровень молока продолжает увеличиваться, и при достижении значения  $H_3 + dH_3$  регулятор начинает открывать заслонку. При этом первоначально уровень молока продолжает увеличиваться, но после этого при определенном положении заслонки начинает падать и при достижении значения  $H_3 + dH_3$  происходит отключение привода заслонки. В дальнейшем цикл повторяется.

Алгоритм подразумевает последовательность действий и вычислений во времени через интервалы  $\Delta t$ :

– первоначально производится установка постоянных и переменных параметров системы, представленных в первом блоке;

---

- затем задается величина расхода молока на входе  $Q_{жс}$ , которая может изменяться в любой момент времени;
- устанавливается величина отклонения уровня от заданного  $\Delta H$ ;
- сравнивается отклонение  $\Delta H$  с заданным  $dH_z$ , и формируется воздействие на привод заслонки  $R$ ;
- определяется приращение угла поворота заслонки за время  $\Delta t$  и определяется его текущее значение  $F_i$ ;
- с использованием функции площади проходного сечения заслонки от угла поворота заслонки  $F_i$  производится вычисление ее площади  $F_3$ ;
- затем определяется расход через заслонку  $Q_b$ , изменение уровня  $\Delta H$  и его текущая величина  $H$ ;
- полученные параметры записываются в массив и выводятся на регистрацию;
- затем производится приращение времени и цикл повторяется.

### **3.2 Разработка технологической схемы блока поддержания уровня молока в емкости**

Ручное управление технологическим процессом требует постоянного внимания со стороны обслуживающего персонала, что уменьшает эффективность обслуживания и отнимает достаточно много времени.

Из этого следует, что необходима автоматизированная система управления, поддерживающая уровень в заданных пределах при наличии возмущающих воздействий.

Технологическая схема объекта регулирования представлена на рисунке 3.



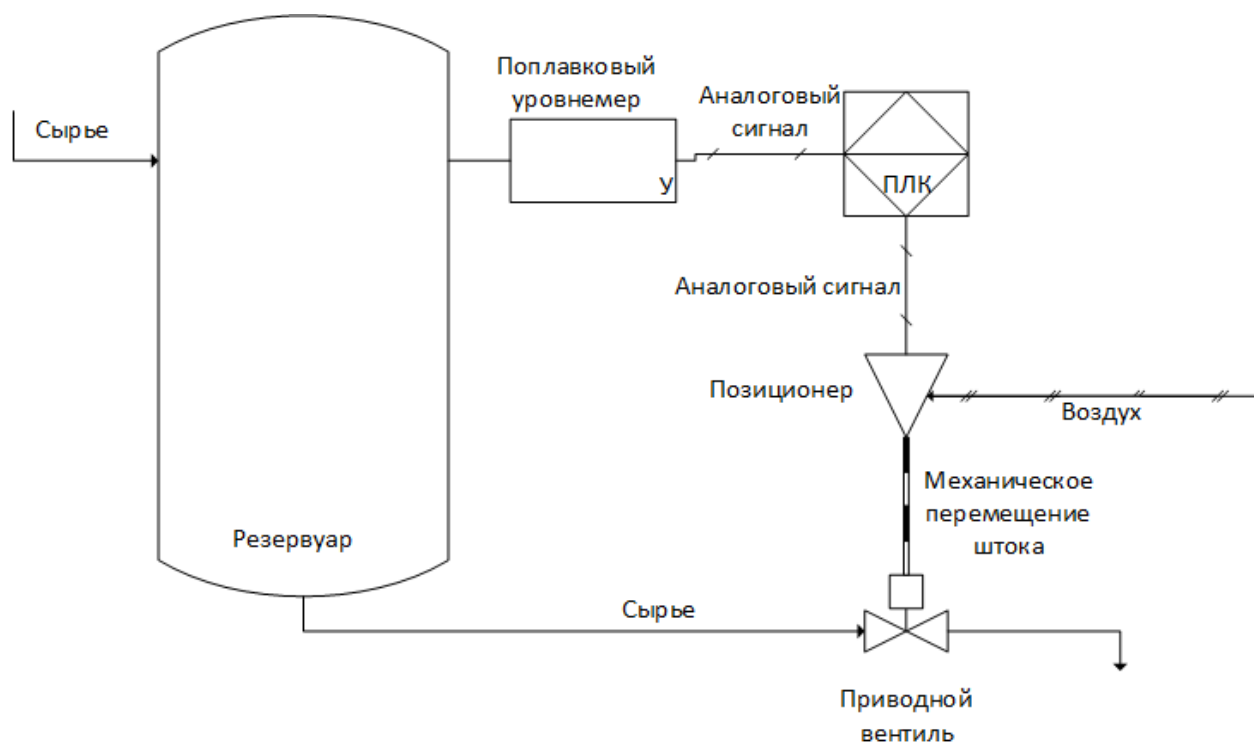


Рисунок 3 - Технологическая схема объекта регулирования

Автоматизированная система регулирования уровня молока в емкости включает в себя объект регулирования - резервуар, поплавковый уровнемер, программируемый логический контроллер, позиционер, приводной вентиль (исполнительный механизм). Технологические параметры объекта управления представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Технологические параметры объекта управления

|                        |         |
|------------------------|---------|
| Мах. уровень в емкости | 0,465м. |
| Диаметр емкости        | 0,4м.   |
| Время регулирования    | 5с      |
| Перерегулирование      | 10%     |

Выходным параметром объекта управления является уровень молока в промежуточной емкости. Управляющим воздействием является количество молока, проходящего через исполнительный механизм.

### 3.3 Разработка структурной схемы системы регулирования

#### 3.3.1 Выбор элементов системы регулирования

Используем систему управления с обратной связью, для которой необходимо измерять контролируемый параметр, сравнивать его с уставкой, опреде-

лять величину отклонения и его знак; рассчитать по определенному алгоритму управляющее воздействие, которое следует подать через исполнительный механизм на объект управления.

Для разрабатываемой системы необходимы следующие элементы:

- датчик уровня;
- регулятор с элементом сравнения и алгоритмом управления(ПЛК);
- усилитель мощности для согласования с исполнительным механизмом.

Выбор датчика уровня

Датчик – средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем. Основными характеристиками датчиков являются чувствительность и инерционность. Чувствительность датчика - это именованная величина, показывающая, насколько изменится выходная величина при изменении входной величины на одну единицу, инерционность определяется постоянной времени и запаздыванием, т.е. динамическими свойствами.

В автоматизированных системах стараются сделать так, чтобы постоянная времени регулирования была намного больше постоянной времени датчика, т.е. чтобы характеристики датчика не могли ощутимо влиять на качественные показатели системы регулирования и устойчивость, другими словами датчики должны быть малоинерционными. В нашей системе в качестве устройства, измеряющего уровень в емкости, выбран поплавковый датчик ОВЕН ПДУ-И.500.5. Поплавок с постоянным магнитом перемещается вместе с уровнем жидкости по штоку, в котором находится матрица герконов и сопротивлений. Под воздействием магнитного поля происходит срабатывание герконов, цепь работает по схеме трёхпроводного потенциометра. При изменении уровня жидкости изменяется выходное сопротивление датчика, преобразуемое в выходной сигнал 4...20 мА, что прямо пропорционально уровню жидкости. Электрический сигнал от поплавка передается в ПЛК.

## Выбор контроллера

Для нашей системы регулирования выберем программируемый логический контроллер OWEN ПЛК160

Контроллер содержит 8 аналоговых входов. Обработка значений с входов осуществляется пользовательской программой. Каждый из входов может быть настроен независимо от других входов на работу в одном из следующих режимов: измерение тока от 4 до 20 мА; измерение тока от 0 до 20 мА; измерение тока от 0 до 5 мА; измерение напряжения от 0 до 10 В. Период обновления результатов измерения по каждому входу равен 10 мс. Результаты измерения каждого канала могут быть независимо отфильтрованы с помощью цифровых фильтров. Контроллер содержит 4 аналоговых выхода. Тип аналоговых выходов зависит от исполнения прибора. Контроллер содержит 12 цифровых (дискретных) выходов. Управление выходами осуществляется пользовательской программой ПЛК.

Данный контроллер позволит не только контролировать и изменять уровень жидкости в емкости, но и построить на его основе более сложную систему, включающую подсчет количества перекачанного молока, управление с панели оператора, занесение данных в архив, передачу данных в архив и т.д.

## Выбор исполнительного механизма

Исполнительный механизм предназначен для непосредственного воздействия на объект регулирования. Он должен обеспечить передачу управляющего воздействия на объект управления с возможно меньшими искажениями.

В качестве исполнительного механизма выберем: механизм электропневматический SAMSON 3372(рисунок 4).



Рисунок 4 – Электропневматический сервопривод SAMSON 3372

#### Выбор позиционера

Для обеспечения возможности связи ПЛК и электропневматического сервопривода и контроля открытия клапана используется электропневматический позиционер SAMSON 3725. Данный элемент предназначен для управления электропневматическим исполнительным механизмом.



Рисунок 5 - Электропневматический позиционер SAMSON 3725

(внешний вид)

Параметры питания: однофазная сеть переменного тока 220В., частотой 50Гц.

Максимальный коммутируемый ток – 115мА.

Полная потребляемая мощность не более 1Вт.

Входное напряжение 24В.

### 3.4 Функциональная схема системы регулирования

Функциональная схема автоматического поддержания уровня в емкости, включающей выбранные элементы, представлена на рисунке 6. Все элементы согласованы по типу сигналов, единицам изменения и мощности.

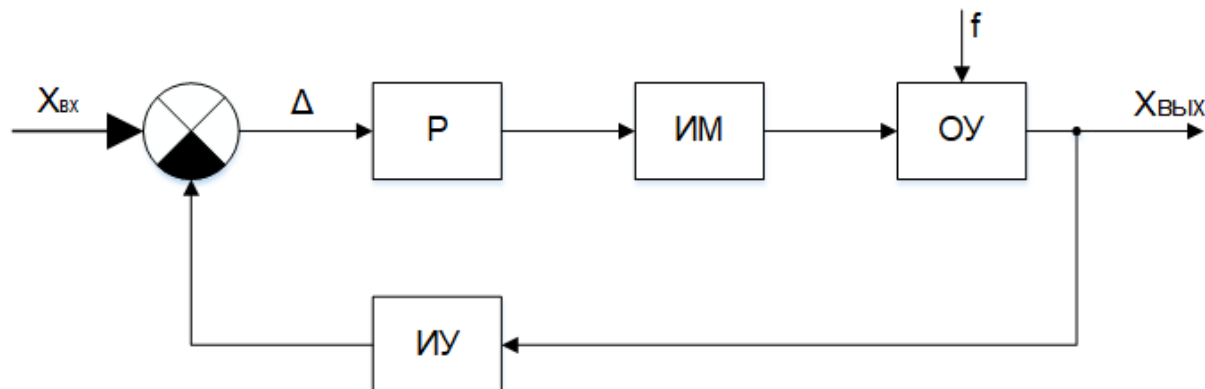


Рисунок 6 – Функциональная схема системы регулирования

где: P – регулятор (ПЛК160),

ИМ – исполнительный механизм (электропневматический клапан с позиционером),

ОУ – объект управления (уровень жидкости в емкости),

ИУ – измерительное устройство.

Закон изменения регулируемой величины и требуемое значение уровня задаются в регуляторе. При изменении уровня в емкости изменяется выходной сигнал датчика. В регуляторе происходит сравнение поступившего сигнала с заданным и появляется сигнал рассогласования. В зависимости от величины, направления и скорости изменения рассогласования в регуляторе рассчитывается значение управляющего воздействия, которое поступает на исполнительный механизм, который изменяет положение клапана, тем самым изменяя расход и регулируя уровень.

### 3.5 Построение модели взаимодействия программного комплекса

При запуске данного комплекса с панели оператора происходит считывание данных с датчиков, сравнение с уставкой согласно алгоритму и управление подсистемой поддержания уровня молока в накопительной емкости. Параллельно производится счет пройденного молока через установку, при этом на

панели оператора отображается уровень в баке, показания счетчика.

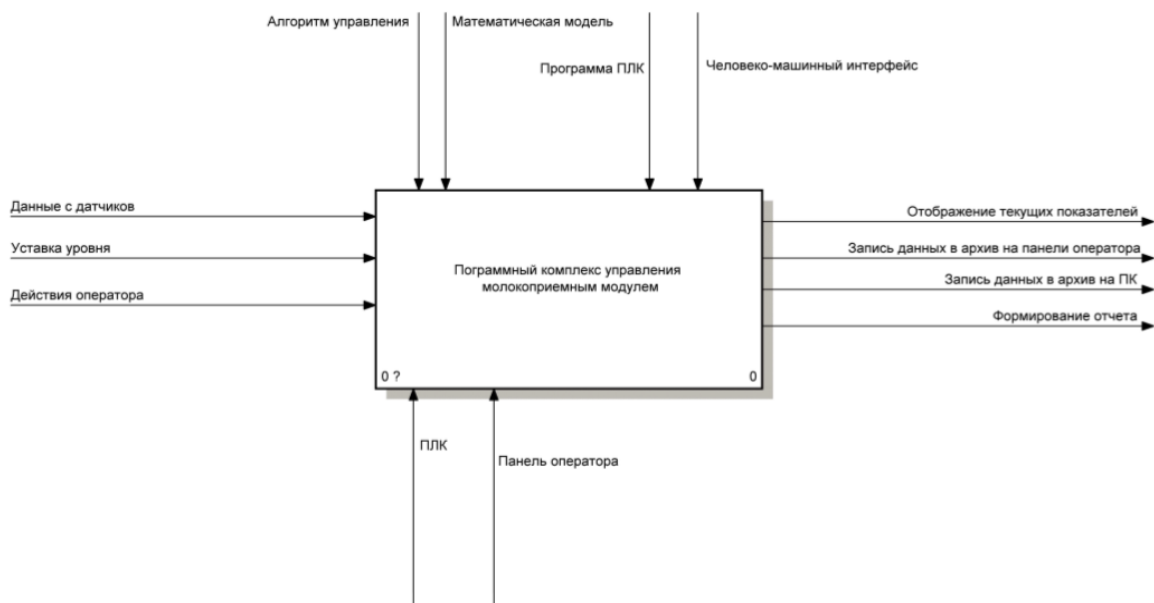


Рисунок 7 – Диаграмма взаимодействия программного комплекса управления молокоприемным модулем

В архив на панели оператора заносится информация о дате, времени, количестве. Эта же информация передается в приложение на ПК, в котором реализована возможность сортировки и печати отчета и накладных.

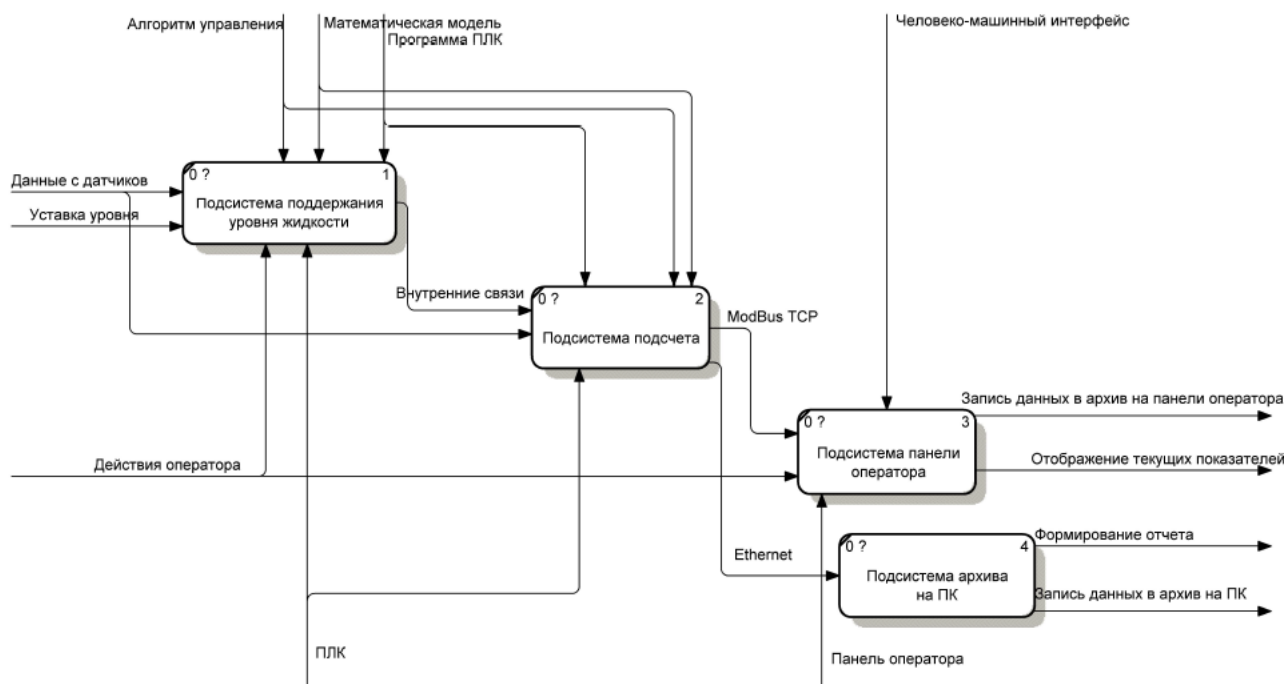


Рисунок 8 – Декомпозиция программного комплекса для молокоприемного модуля

Программный комплекс содержит в себе несколько подсистем:

1) подсистема поддержания уровня жидкости принимает данные с датчика уровня, сравнивает их с уставкой и на основе алгоритма регулируется блоком программы на ПЛК;

2) подсистема подсчета организует взаимодействие счетного устройства и программы ПЛК, а так же передает показания в подсистему панели оператора по Modbus TCP и в подсистему архива на ПК посредством подключения по Ethernet;

3) подсистема панели оператора реализует человеко-машинный интерфейс для взаимодействия с установкой (наблюдение, управление, архивирование);

4) подсистема архива на ПК организует прием данных от системы подсчета, отображение данных, запись в архив в виде таблицы в файл, сортировку полученных данных и формирование отчета для печати.

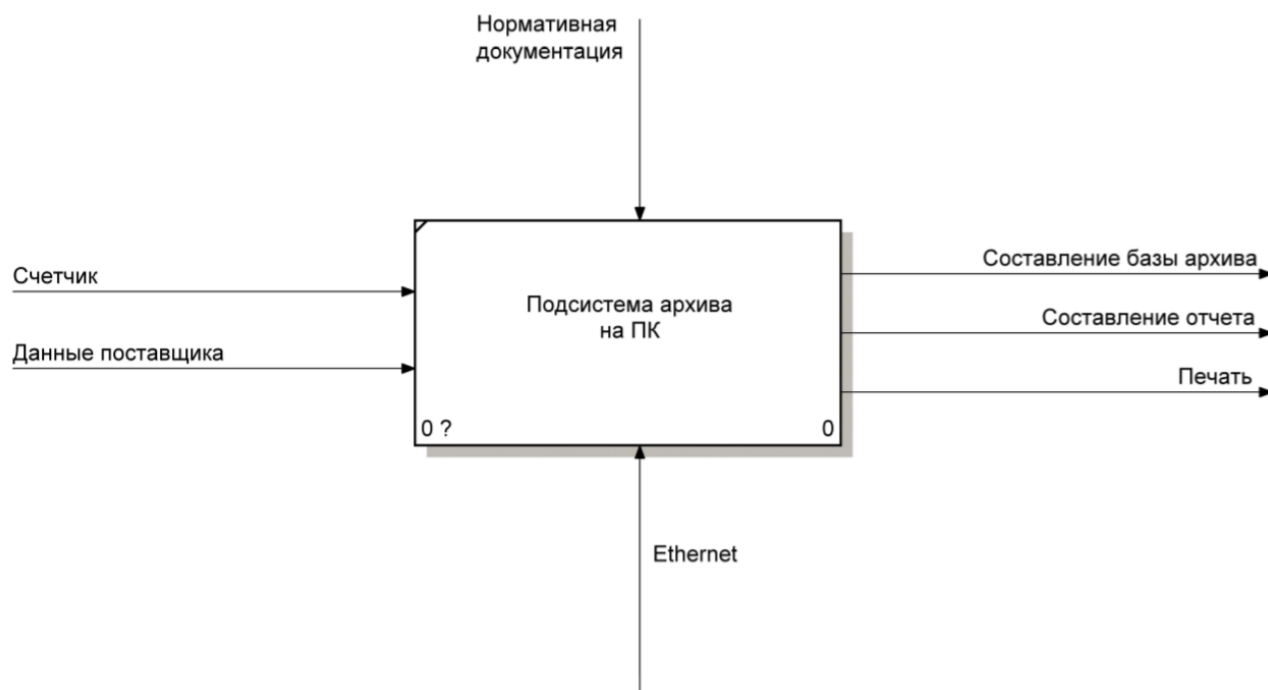


Рисунок 9 – Диаграмма взаимодействия подсистемы архива на ПК

Данная подсистема получает информацию о показаниях счетчика и о поставщике по Fast Ethernet, записывает и сортирует их, а также составляет отчет и накладные в соответствии с нормативной документацией и отправляет на печать.

### 3.6 Диаграмма вариантов использования системы управления молокоприемным модулем

С системой управления молокоприемным модулем может взаимодействовать несколько категорий пользователей.



Рисунок 10 – Диаграмма вариантов использования

К ним относятся:

1) операторы, которые непосредственно работают на установке и управляют пуском, остановом, вносят данные о поставщике, следят за исправностью и корректностью работы установки;

2) наладчики – занимаются установкой, настройкой, ремонтом и наладкой в случае неисправности, также имеют право управления установкой при необходимости.



3) управляющий персонал – заведующий производством, главный технолог, управляющий, заместитель директора по качеству имеют доступ к получению данных из базы архива, в котором хранятся сведения о дате, времени, поставщике, количестве принятого молока, а так же могут выводить необходимые отсортированные данные на бумажный или электронный носитель. Одновременно могут быть подключены несколько пользователей.

### 3.7 Диаграмма деятельности программного комплекса

Установка постоянно находится в режиме ожидания действий оператора. После нажатия кнопки Пуск запускается выполнение рабочей программы на ПЛК. При этом в работу включается блок поддержания уровня молока в промежуточной ёмкости, блок подсчета количества пройденного молока и система вывода информации на панель оператора для контроля текущих параметров.

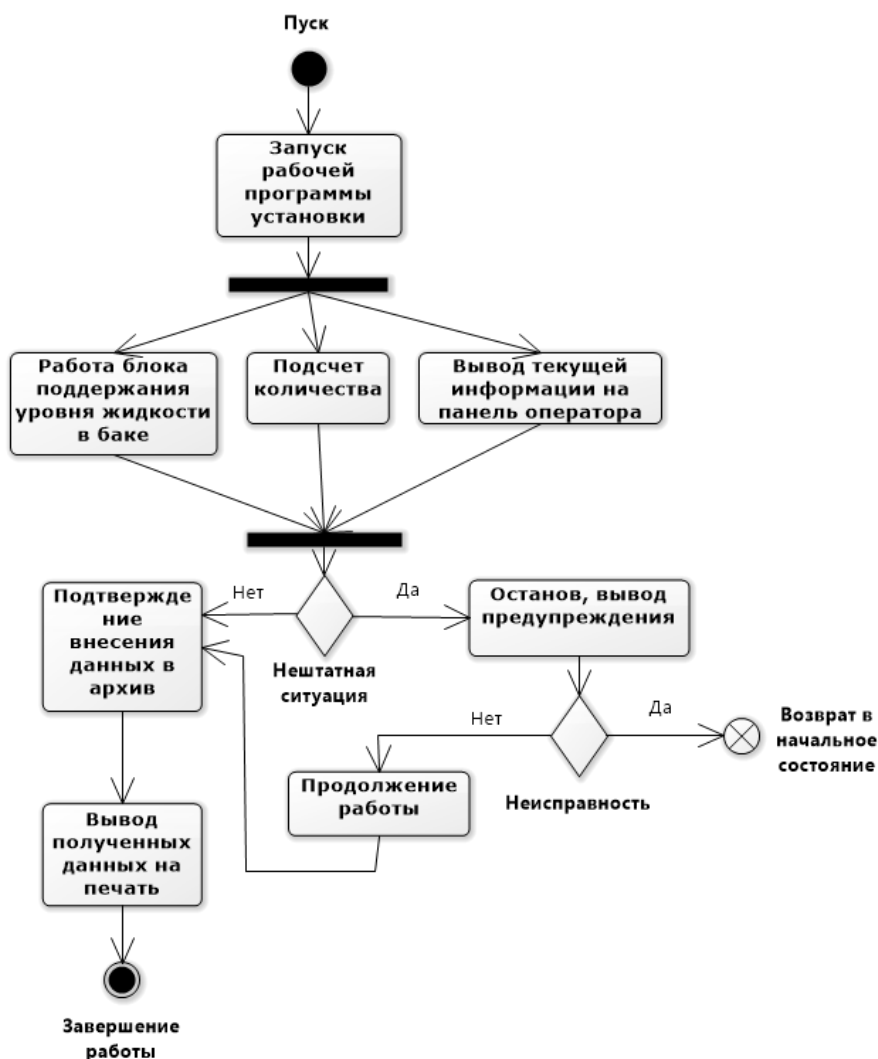


Рисунок 11 – Диаграмма деятельности

Если во время работы основной программы возникла нештатная ситуация, то выводится предупреждение, которое требует внимания оператора. Если оператор обнаруживает неисправность, то он обязан произвести остановку выполнения программы, которая приведет к возврату в исходное состояние, и приступить к устранению неисправности самостоятельно или прибегнуть к помощи наладчика. Если же нештатная ситуация не имеет критический характер, то оператор сбрасывает предупреждение и продолжает работу установки. По завершении подсчета молока оператор подтверждает занесение данных в архив и при необходимости производит вывод отчета на бумажном носителе. После этого другие пользователи так же имеют доступ к внесенным данным.

### 3.8 Диаграмма состояний молокоприемной установки

В рабочем цикле установки можно выделить базовое состояние готовности к действиям оператора, из него осуществляется переход в состояние работы установки, в которое входят состояния: поддержания уровня жидкости, подсчета количества, вывода текущих данных на экран, вывода текущих данных на панель.

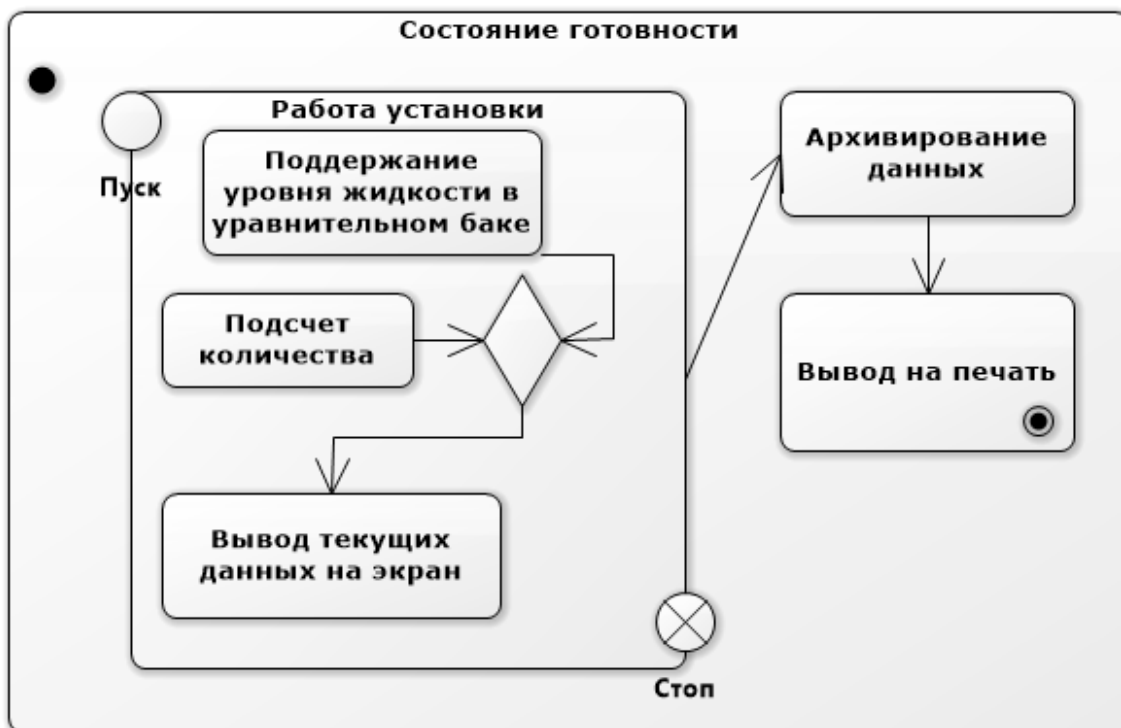


Рисунок 12 – Диаграмма состояний

При выходе из состояния работы переходит в состояние архивирования данных, затем в состояние вывода отчета на печать, которые происходят в рамках состояния готовности установки.

### **3.9 Диаграмма компонентов программного комплекса**

Программный комплекс делится на несколько компонентов.

#### Рисунок 13 – Диаграмма компонентов

В него входят:

- 1) Рабочая программа на ПЛК PLC.pro, выполненная в среде CODESYS на языке функциональных блоков, которая управляется с панели оператора;
- 2) Графический интерфейс HMI.txp на панели оператора, выполненный в среде Конфигуратор СП300, взаимодействующий с программой на ПЛК;
- 3) OPC-сервер, который получает данные о поставщике и данные счетчика от установки и передает по запросу клиенту;
- 4) OPC-клиент, отправляет запросы и получает данные от OPC-сервера и заносит их в базу данных;
- 5) База данных Archive.sql, в которую заносятся и хранятся данные о поставщике, дате, времени, количестве принятого молока;
- 6) Доступ к чтению и изменению данных в базе имеет клиентское приложение на ПК PCClient.exe, через которое осуществляется просмотр отсортированных данных и вывод их на бумажный носитель;
- 7) Руководство пользователя Manual.chm.

#### 4 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЛОКА ПОДДЕРЖАНИЯ УРОВНЯ МОЛОКА В ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЕМКОСТИ МОЛОКОПРИЕМНОЙ УСТАНОВКИ

В емкость молоко подается самотеком из автоцистерны через шланг диаметром 0,05 м и длиной 4 м. Автоцистерна имеет эллиптическую форму с габаритами секции 2,6м×1,785м×1,005м и выходное отверстие 0,05м. Установлена на автомобиле так, что верхняя граница цистерны находится на высоте 2,66м от уровня пола.

Геометрический объем цистерны определяется по формуле:

$$V_{\Gamma} = \frac{\pi}{4} \cdot a \cdot b \cdot L, \quad (1)$$

где  $a$  – высота цистерны, м;

$b$  – ширина цистерны, м;

$L$  – длина цистерны, м.

$$V_{\Gamma} = \frac{\pi}{4} \cdot 1,005 \cdot 1,785 \cdot 2,6 = 3,66 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Рабочая вместимость всегда меньше геометрической и приблизительно принимается:

$$V_p = (0,9 \div 0,95)V_{\Gamma}, \quad (2)$$

$$V_p = 0,9 \cdot 3,66 = 3,294 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Для определения объемного расхода молока на входе в емкость молокоприемной установки использована формула:

$$Q_{\text{вх}} = v \cdot S, \quad (3)$$

где  $v$  – скорость истечения жидкости, м/с;

$S$  – площадь поперечного сечения трубопровода, м<sup>2</sup>.

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,05^2}{4} = 0,0019635 \text{ (м}^2\text{)}.$$

$$v = \mu \sqrt{2gH}, \quad (4)$$

где  $v$  – скорость истечения жидкости, м/с;

$g$  – ускорение силы тяжести,  $9,81\text{ м/с}^2$ ;

$H$  – высота уровня жидкости в цистерне от входного патрубка установки,  $(2,66-1)=1,66\text{ м}$ ;

$\mu$  – коэффициент расхода.

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \lambda \frac{L}{d} + \Sigma \xi}}, \quad (5)$$

где  $\lambda$  – коэффициент гидравлического трения;

$L$  – длина соединительного шланга, м;

$d$  – диаметр патрубков, м;

$\Sigma \xi$  – местные потери при истечении через насадки.

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,0242 \cdot \frac{4}{0,05} + 0,49}} = 0,54,$$

$$v = 0,54 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,66} = 3,08 \text{ (м/с)},$$

$$Q_{\text{вх}} = 3,08 \cdot 0,0019635 = 0,00604758 \text{ (м}^3\text{/с)} = 21,77 \text{ (м}^3\text{/ч)}.$$

Модель емкости строится на основе балансового соотношения:

$$Q_{\text{вх}} - Q = \frac{dV}{dt}, \quad (6)$$

где  $Q_{\text{вх}}$  – объемный расход входной жидкости,  $\text{м}^3\text{/с}$ ;

$Q$  – объемный расход выходной жидкости,  $\text{м}^3\text{/с}$ ;

$V$  – объем жидкости, находящийся в емкости,  $\text{м}^3$ .

$$V = V_{\text{д}} + V_{\text{ц}}, \quad (7)$$

где  $V_{\text{д}}$  – объем сферического дна,  $\text{м}^3$ ;

$V_{\text{ц}}$  – объем цилиндрической части резервуара,  $\text{м}^3$ .

$$V_{\text{д}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{3} \pi R^3, \quad (8)$$

$$V_{\text{д}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot 0,2^3 = 0,01675 \text{ (м}^3\text{)},$$

$$V_{\text{ц}} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot h_{\text{ц}}, \quad (9)$$

где  $R$  – радиус емкости, м;

$D$  – диаметр емкости, м;

$h_{ц}$  – высота подъема жидкости в цилиндрической части резервуара, м;

$h$  – высота подъема жидкости в резервуаре, м.

Общий объем емкости равен  $0,071 \text{ м}^3$ , а заданный поддерживается на уровне  $0,05 \text{ м}^3$ , таким образом:

$$V = V_{\partial} + V_{ц} = 0,05 \text{ (м}^3\text{)},$$

$$V_{ц} = 0,05 - 0,01675 = 0,03325 \text{ (м}^3\text{)},,$$

$$h_{ц} = \frac{4}{\pi D^2} \cdot V_{ц} = \frac{4}{\pi \cdot 0,4^2} \cdot 0,03325 = 0,2646 \text{ (м)},,$$

$$h = R + h_{ц} = 0,2 + 0,2646 = 0,4646 \text{ (м)}.$$

Так как выбран датчик уровня ПДУ-И.500.5 с шагом измерения 5мм, принимаем  $h = 0,465 \text{ м}$ .

Добавляем к уравнению (6) начальные условия и строим систему:

$$\begin{cases} Q_{вх} - Q = \frac{dV}{dt} \\ h(0) = h_{зад} \end{cases} \quad (10)$$

Статический режим характеризуется неизменностью во времени значений входных и выходных координат. Типовой подход при моделировании динамических систем заключается в нанесении ступенчатого входного воздействия и получения кривой разгона (кривая переходного процесса).

Особенность данного объекта заключается в наличии двух входных координат: неуправляемая переменная  $Q_{вх}$  и управляемая переменная (поскольку имеется исполнительное устройство) –  $Q$ . Выходная координата одна – уровень  $h$ .

Переход от модели динамики к модели статики осуществляется за счет приравнивания к нулю производной:  $Q_{вх} - Q = 0$ .

#### 4.1 Математическая модель первичного преобразователя

Инерционность первичного преобразователя бесконечно мала по сравнению с инерционностью объекта. На выходе первичного преобразователя возникает электрический сигнал, который может быть по току, по напряжению, с разными диапазонами, цифровой и т.д., но в любом случае минимальному значению измеряемой величины соответствует минимальное значение выходного сигнала, а максимальному – максимальное значение выходного сигнала. Для единообразия модели выходной сигнал в модели представляется безразмерной переменной, изменяющейся в пределах от 0 до 1.

$$\check{h} = \begin{cases} \frac{h}{h_{max}}, & h < h_{max} \\ 1, & h \geq h_{max} \end{cases} \quad (11)$$

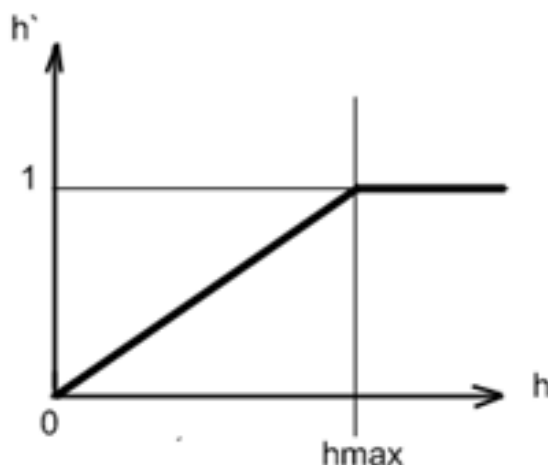


Рисунок 14 – Зависимость выходного сигнала от входного первичного преобразователя

$$h_{max} = 1.3h_{зад} \quad (12)$$

$$h_{max} = 1,3 \cdot 0,465 = 0,6045(\text{м})$$

## 4.2 Математическая модель регулятора

Регулирующее воздействие  $u$  регулятора находится по формуле:

$$u = k_p \cdot \varepsilon + \frac{1}{T_{\text{и}}} \int_0^{t_p} \varepsilon(t) dt \quad (13)$$

где  $u$  – регулирующее воздействие

$k_p$  – коэффициент усиления регулятора;

$\varepsilon$  – ошибка регулирования;

$T_{\text{и}}$  – постоянная времени интегрирования.

Ошибку регулирования вычисляем по формуле

$$\varepsilon = \tilde{h} - \tilde{h}_{\text{зад}} \quad (14)$$

Модель регулятора описывается системой:

$$\begin{cases} u = k_p \cdot \varepsilon + \frac{1}{T_{\text{и}}} \int_0^{t_p} \varepsilon(t) dt \\ \varepsilon = \tilde{h} - \tilde{h}_{\text{зад}} \\ \tilde{h}_{\text{зад}} = \frac{h_{\text{зад}}}{h_{\text{max}}} \end{cases} \quad (15)$$

## 4.3 Математическая модель исполнительного устройства

Входной координатой исполнительного устройства является регулирующее воздействие, выходной – расход вытекающей жидкости. Основными элементами исполнительного устройства являются:

1. Исполнительный механизм (ИМ)
2. Регулирующий орган (РО)

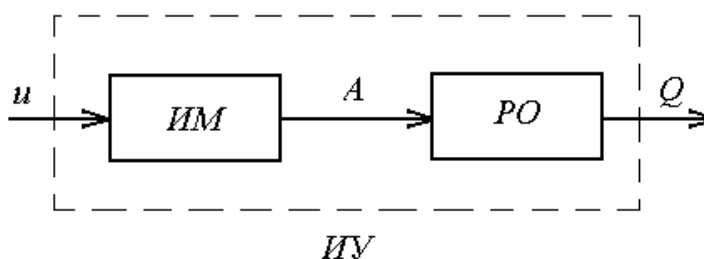


Рисунок 15 – Функциональная схема исполнительного устройства

Назначение ИМ: преобразование регулирующего воздействия в перемещение штока, что ведет к изменению степени открытия клапана. Изменение степени открытия ведет к изменению расхода среды через РО. ИМ может являться пневмо- и электроприводом. Пневмопривод относится к объектам с



емкостным запаздыванием, электропривод – характеризуется постоянной скоростью изменения положения штока. В данной работе рассматривается электропневматический ИМ.

ИМ описывается уравнением:

$$A = u, \quad (16)$$

где  $u$  – регулирующее воздействие;

$A$  – степень открытия, (0 – 1);

РО описывается уравнением:

$$Q = S_{\text{кл}} \cdot A \sqrt{2gh}, \quad (17)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $g=9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$S_{\text{кл}}$  – площадь поперечного сечение проходного отверстия.

$$S_{\text{кл}} = \frac{\pi d_{\text{кл}}^2}{4}, \quad (18)$$

где  $d_{\text{кл}}$  – диаметр условного прохода клапана.

Модель исполнительного устройства описывается системой:

$$\begin{cases} Q = S_{\text{кл}} \cdot A \sqrt{2gh} \\ A = u \end{cases} \quad (19)$$

#### 4.4 Математическая модель блока регулирования уровня

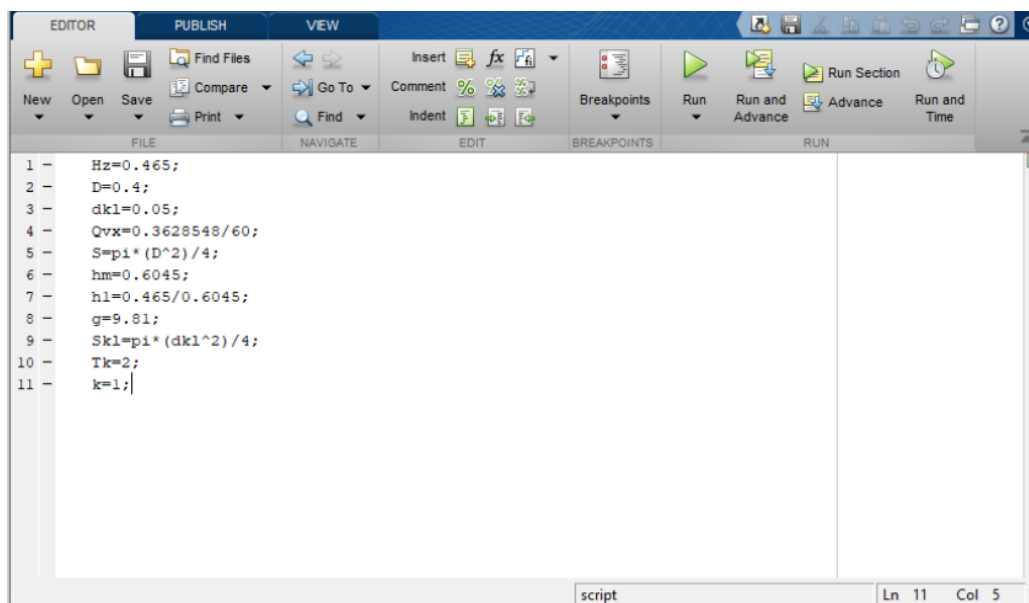
Составляем модель САР уровня, объединяя уравнения (10), (11), (15),

(19):

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{вх}} - Q = \frac{dV}{dt} \\ h(0) = h_{\text{зад}} \\ \frac{h}{h_{\text{max}}}, h < h_{\text{max}} \\ 1, h \geq h_{\text{max}} \\ u = k_p \cdot \varepsilon + \frac{1}{T_{\text{и}}} \int_0^{t_p} \varepsilon(t) dt \\ \varepsilon = \tilde{h} - \tilde{h}_{\text{зад}} \\ \tilde{h}_{\text{зад}} = \frac{h_{\text{зад}}}{h_{\text{max}}} \\ Q = S_{\text{кл}} \cdot A \sqrt{2gh} \\ A = u \end{array} \right. \quad (20)$$

## 4.5 Построение имитационной модели регулирования уровня молока

Создаем файл с исходными данными и формулами для расчёта площади поперечного сечения клапана и ёмкости.



```
1 - Hz=0.465;  
2 - D=0.4;  
3 - dkl=0.05;  
4 - Qvx=0.3628548/60;  
5 - S=pi*(D^2)/4;  
6 - hm=0.6045;  
7 - hl=0.465/0.6045;  
8 - g=9.81;  
9 - Skl=pi*(dkl^2)/4;  
10 - Tk=2;  
11 - k=1;
```

Рисунок 16 – M-File с исходными данными

### 4.5.1 Создание модели объекта регулирования

Модель объекта регулирования составляем в виде подсистемы.

При составлении модели необходимо обратиться к файлу с исходными данными. Для создания подсистемы, нужно выделить необходимые блоки

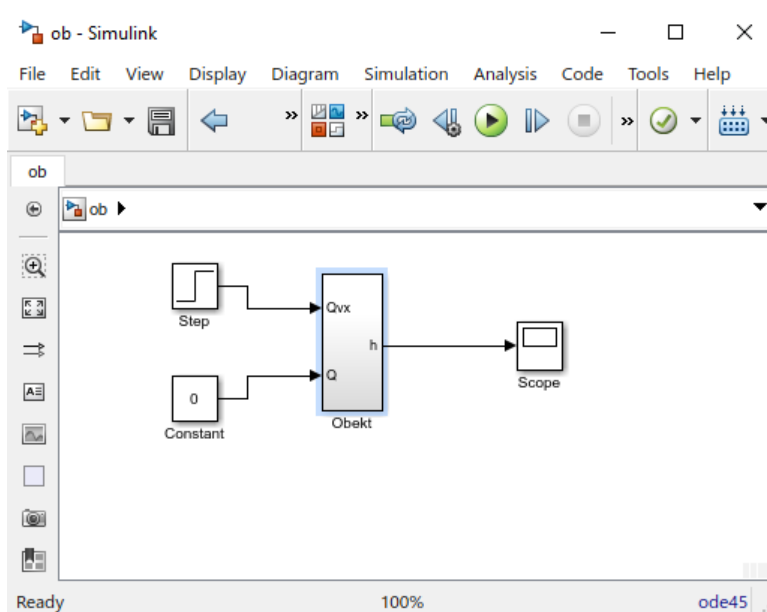


Рисунок 17 – Модель объекта в виде подсистемы

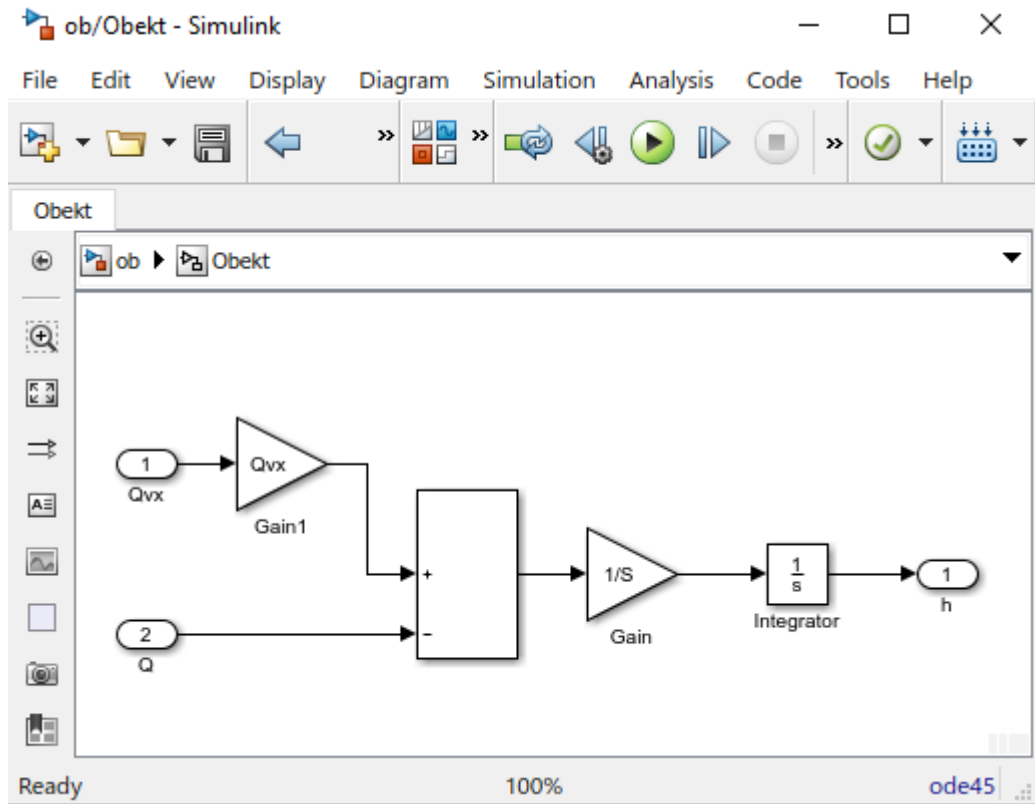


Рисунок 18 – Подсистема модели объекта

Запускаем программу на выполнение. Получаем график кривой разгона объекта.

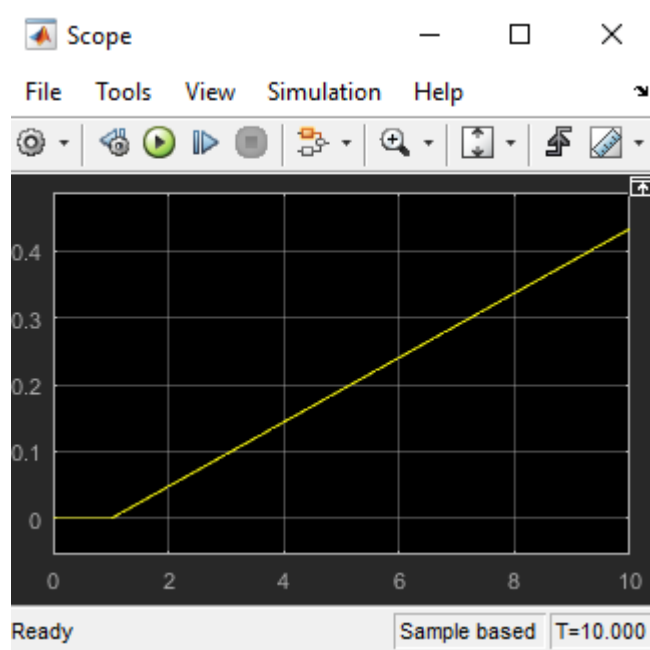


Рисунок 19 – Кривая разгона объекта

#### 4.5.2 Создание модели первичного преобразователя

Модель первичного преобразователя составляем в виде подсистемы.

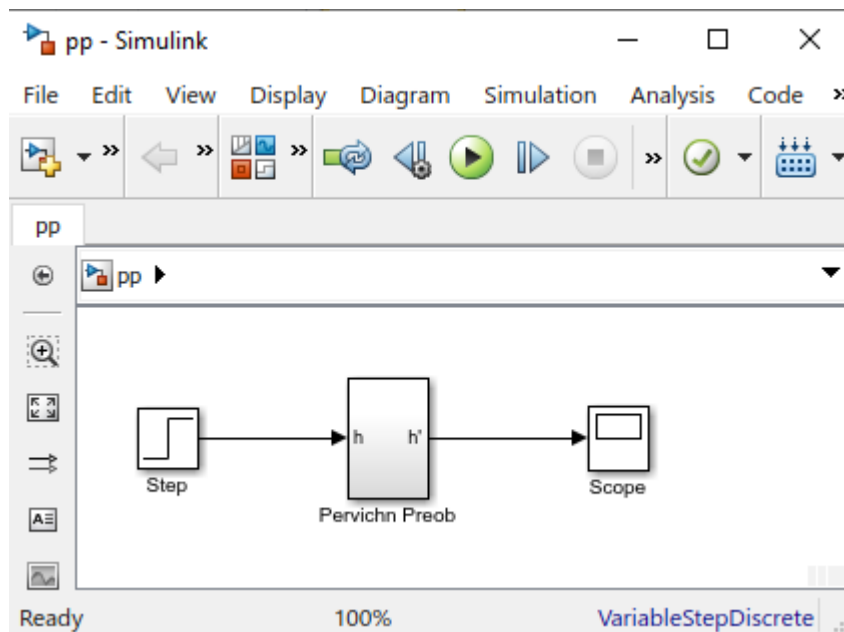


Рисунок 20 – Модель первичного преобразователя в виде

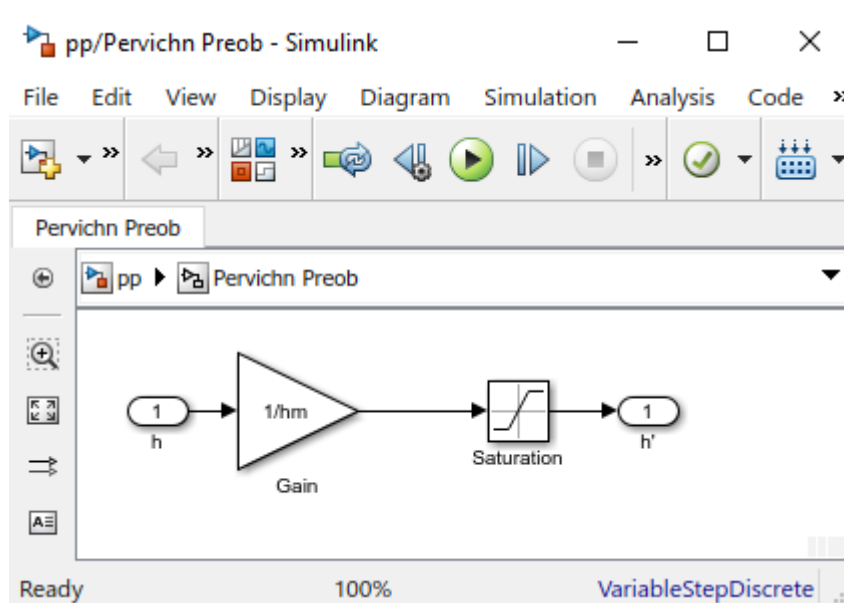


Рисунок 21 – Подсистема модели первичного преобразователя

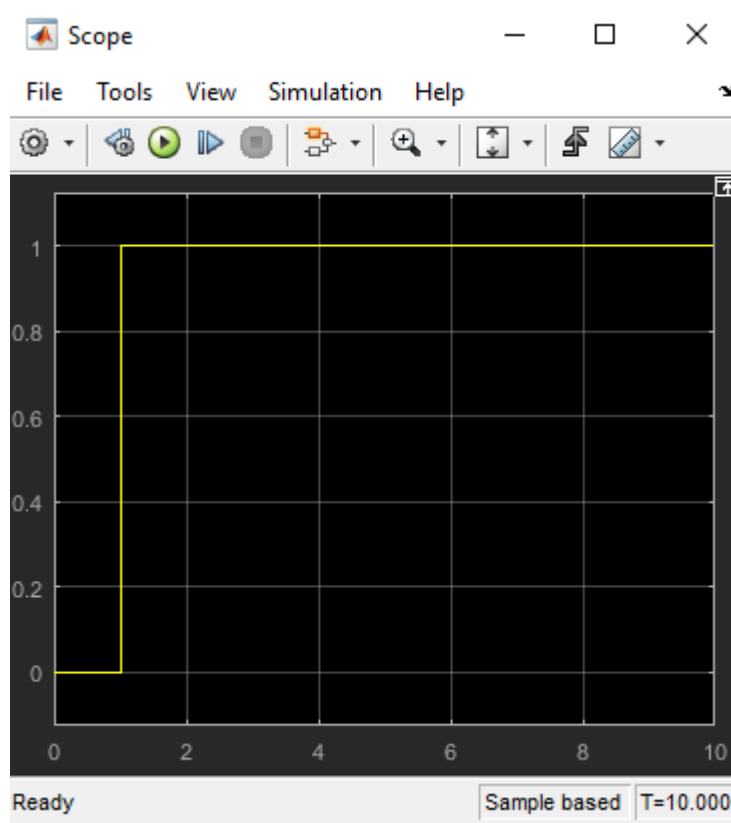


Рисунок 22 – Унифицированный преобразованный сигнал уровня

#### 4.5.3 Создание модели регулятора

Модель регулятора создаем в виде маскированной подсистемы. Для этого создаем подсистему. Далее создаем маску подсистемы.

Задаем параметры автоматического регулятора (рисунок 15).

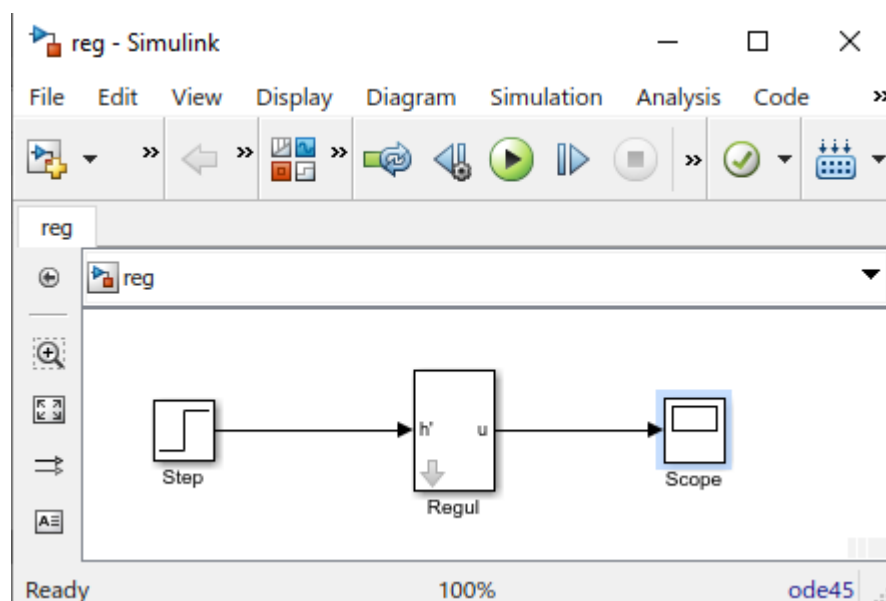


Рисунок 23 – Модель регулятора в виде маскированной подсистемы

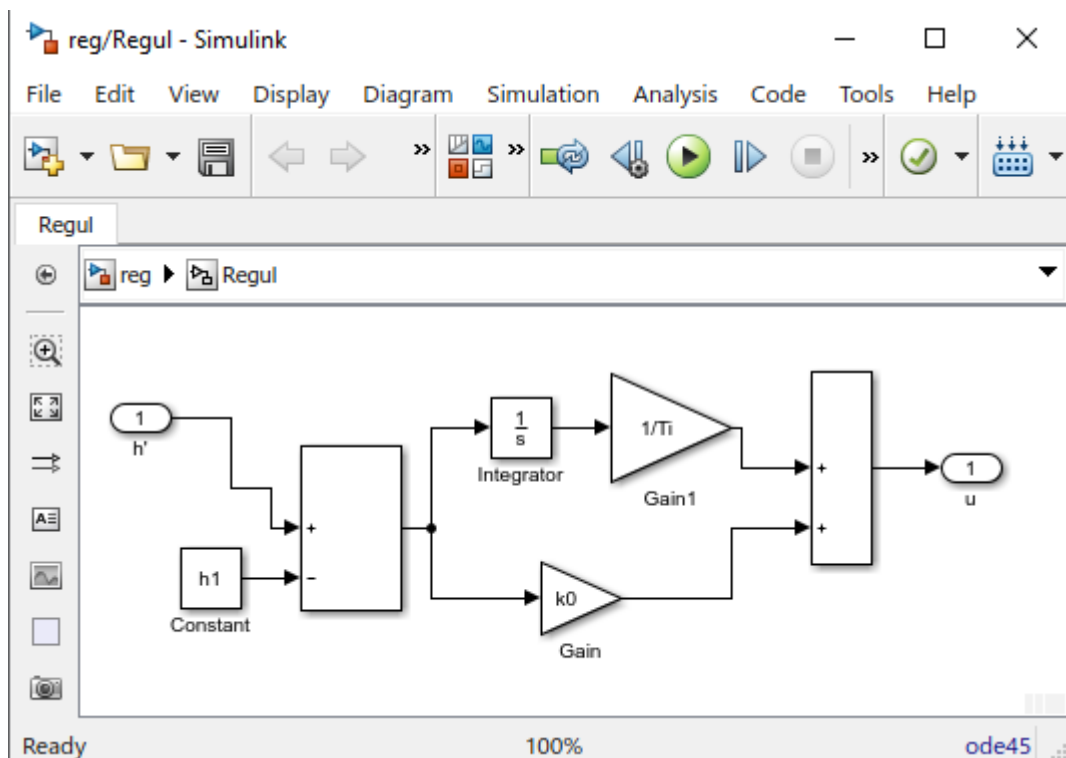


Рисунок 24 – Маскированная подсистема модели регулятора

The Mask Editor interface for the 'Regul' block is shown in two states. The top screenshot shows the 'Parameters & Dialog' tab with a table of parameters:

| Type        | Prompt | Name              |
|-------------|--------|-------------------|
| %<MaskType> |        | DescGroupVar      |
| Parameters  |        | ParameterGroupVar |
| #1          | Coef   | k0                |
| #2          | Integ  | Ti                |

The 'Property editor' on the right shows the properties for the selected 'Coef' parameter:

|          |                                     |
|----------|-------------------------------------|
| Name     | k0                                  |
| Value    | 0.7                                 |
| Prompt   | Coef                                |
| Type     | edit                                |
| Tooltip  |                                     |
| Evaluate | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Tunable  | <input checked="" type="checkbox"/> |

The bottom screenshot shows the same editor but with the 'Integ' parameter selected. The 'Property editor' now shows:

|          |                                     |
|----------|-------------------------------------|
| Name     | Ti                                  |
| Value    | 10                                  |
| Prompt   | Integ                               |
| Type     | edit                                |
| Tooltip  |                                     |
| Evaluate | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Tunable  | <input checked="" type="checkbox"/> |

Рисунок 25 – Параметры регулятора

где  $k_0$  – коэффициент усиления регулятора;

$T_i$  – постоянная времени интегрирования регулятора.

Затем задаем эти значения:

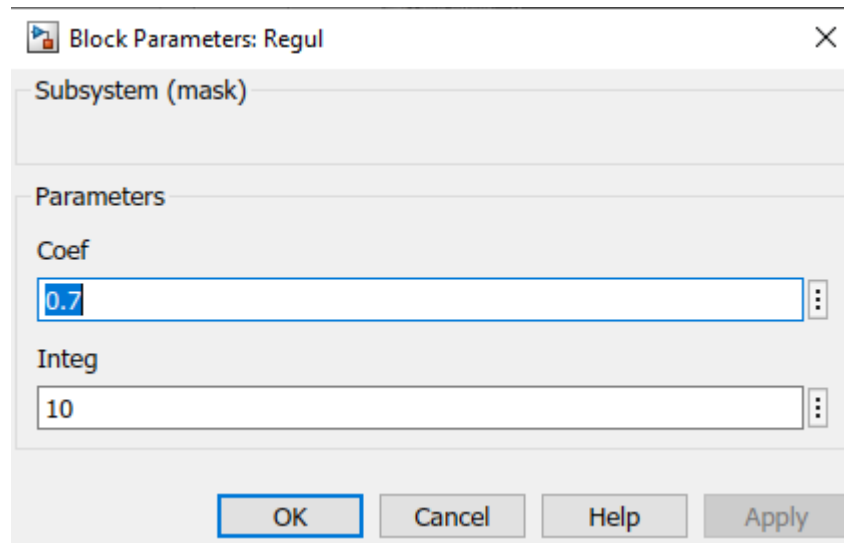


Рисунок 26 – Значения параметров ПИ регулятора

Запускаем программу на выполнение:

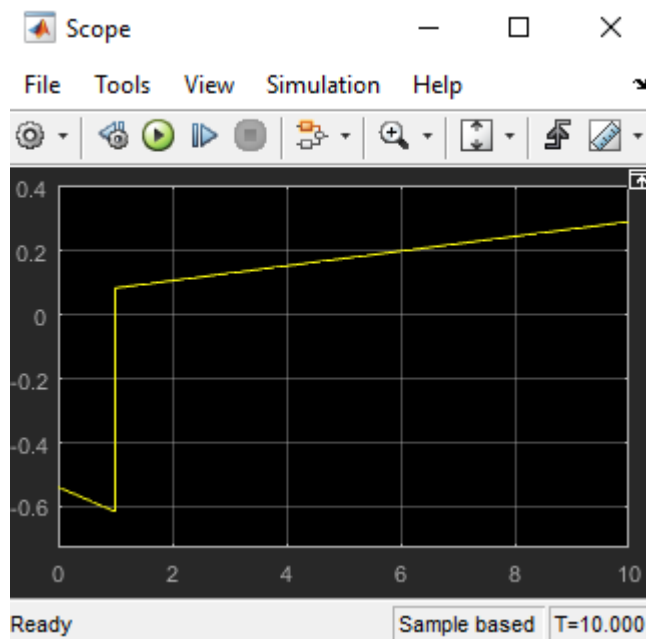


Рисунок 27 – Управляющее воздействие регулятора

#### 4.5.4 Создание модели исполнительного устройства

##### *a) Создание модели исполнительного механизма*

Модель исполнительного механизма составляем в виде подсистемы. При составлении модели необходимо обратиться к файлу с исходными данными

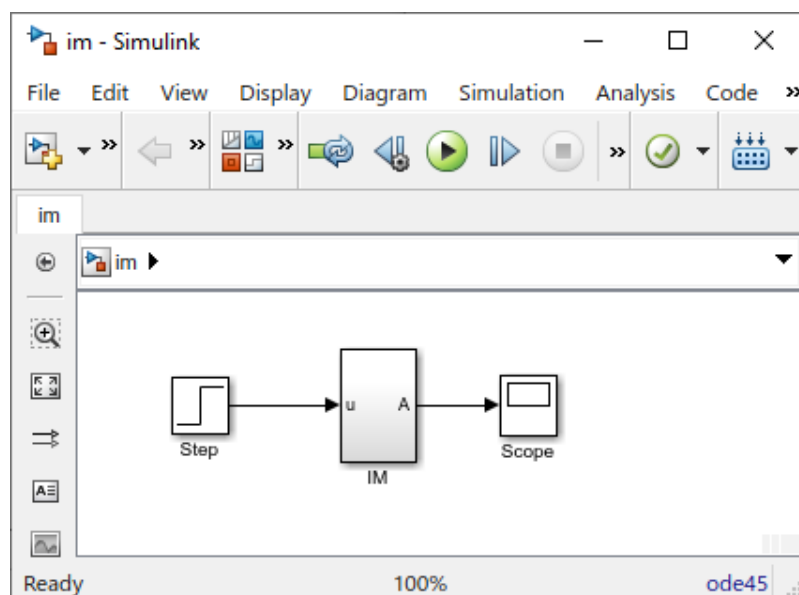


Рисунок 28 - Модель ИМ в виде подсистемы

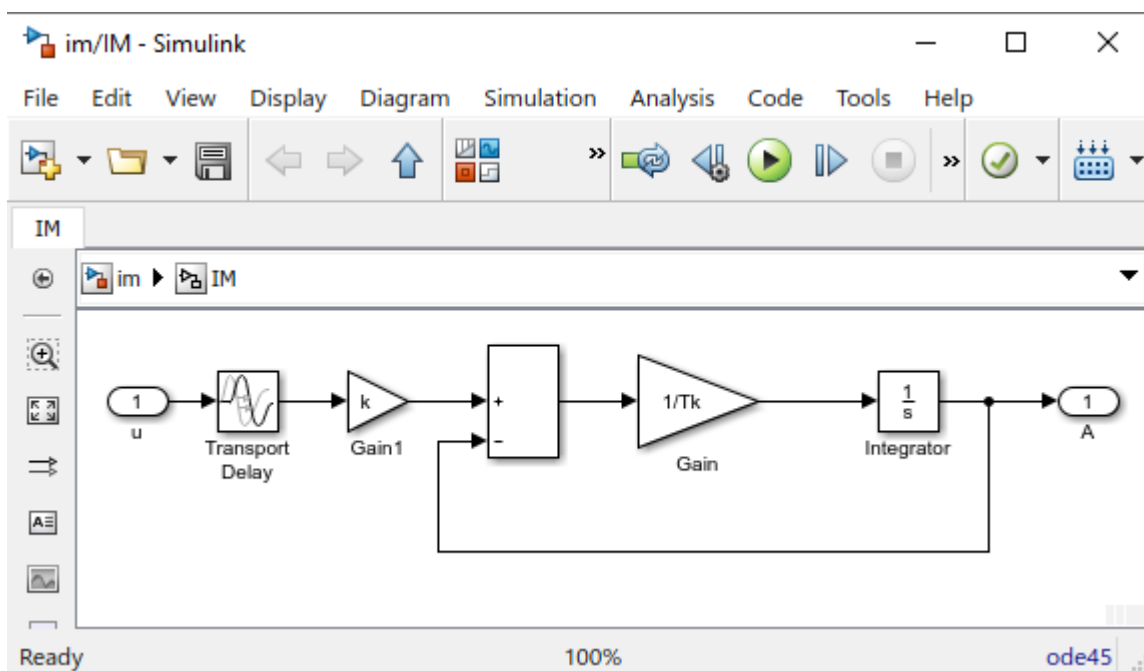


Рисунок 29 – Подсистема модели ИМ

Запускаем модель, результаты посматриваем в блоке Scope:



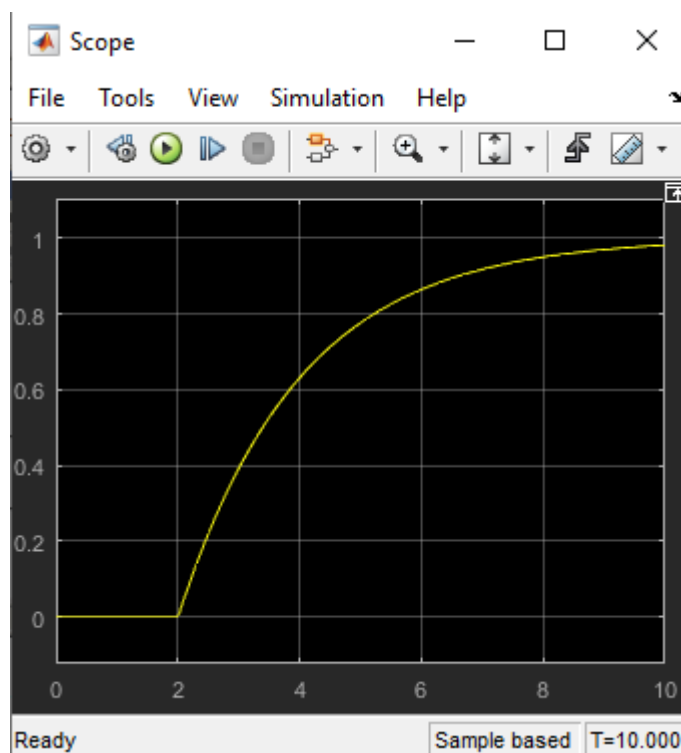


Рисунок 30 – Кривая разгона исполнительного механизма

***б) Создание модели регулирующего органа***

Модель регулирующего органа составляем в виде подсистемы. При составлении модели необходимо обратиться к файлу с исходными данными

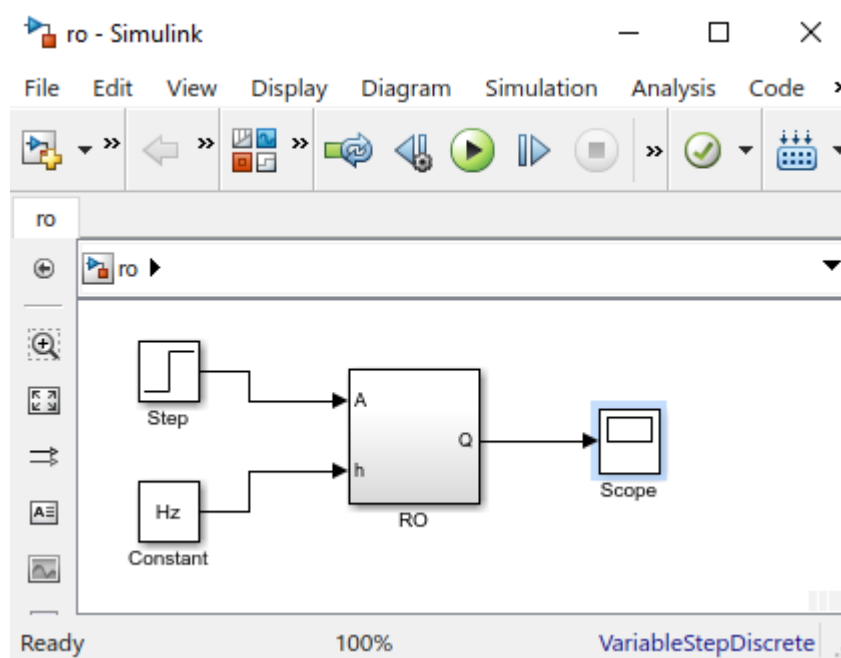


Рисунок 31 – Модель РО в виде подсистемы

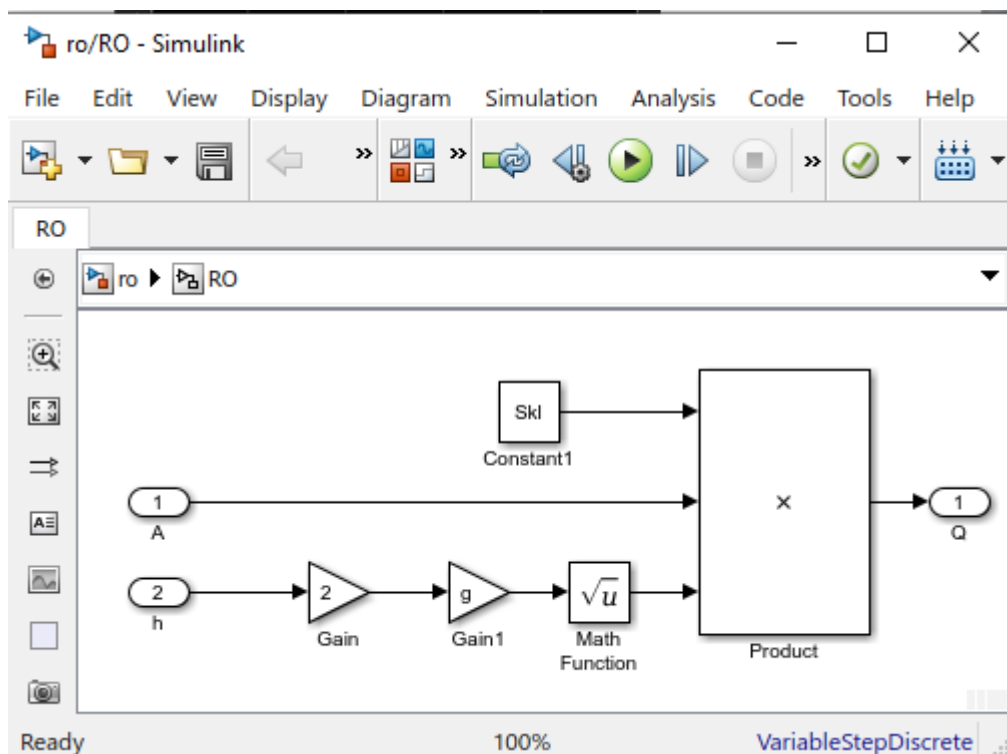


Рисунок 32 – Подсистема модели РО

Запускаем модель, результаты посматриваем в блоке Scope:

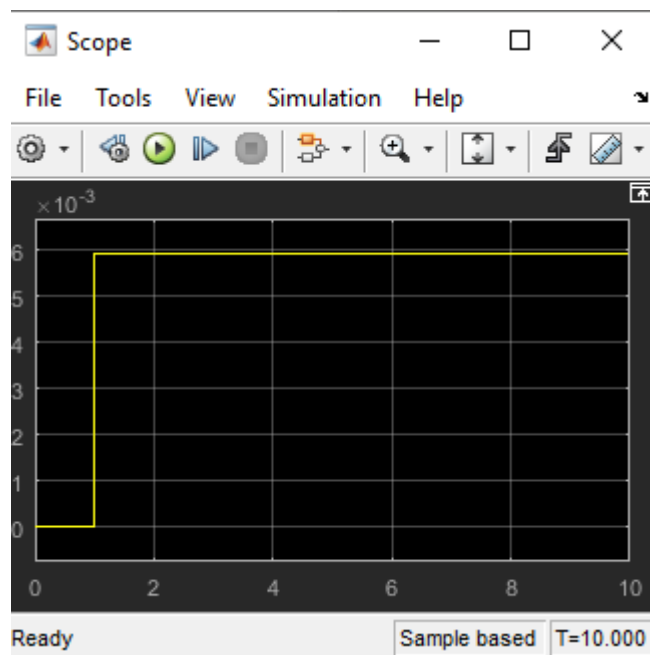


Рисунок 33 – Результат работы регулирующего органа

Объединяем модель ИМ и РО и получаем модель исполнительного устройства. Модель исполнительного устройства составляем в виде подсистемы.

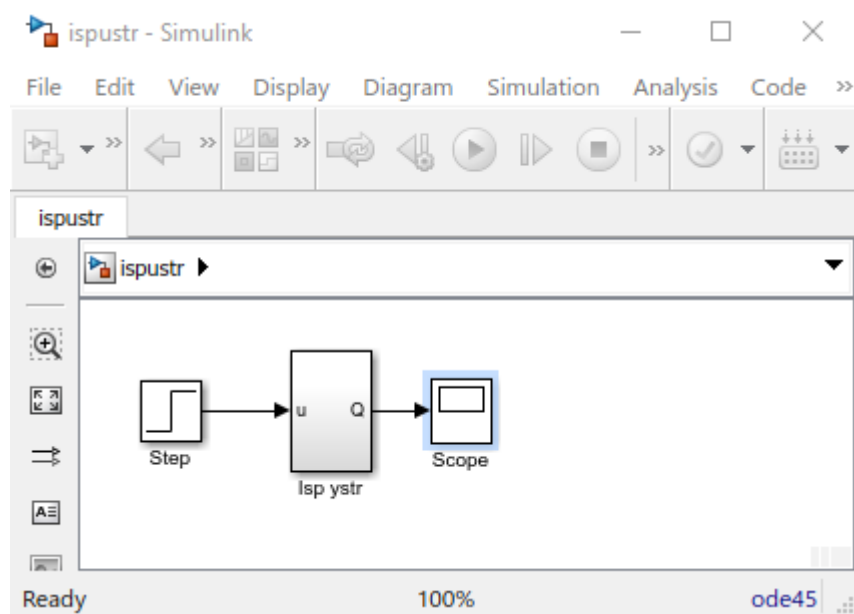


Рисунок 34– Модель исполнительного устройства в виде подсистемы

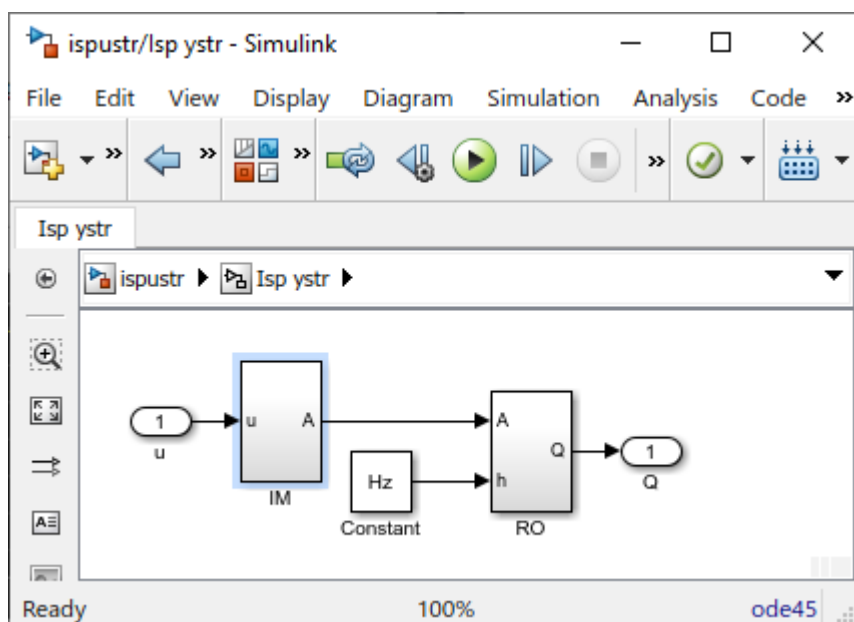


Рисунок 35 – Подсистема модели исполнительного устройства

Запускаем модель, результаты посматриваем в блоке Scope:

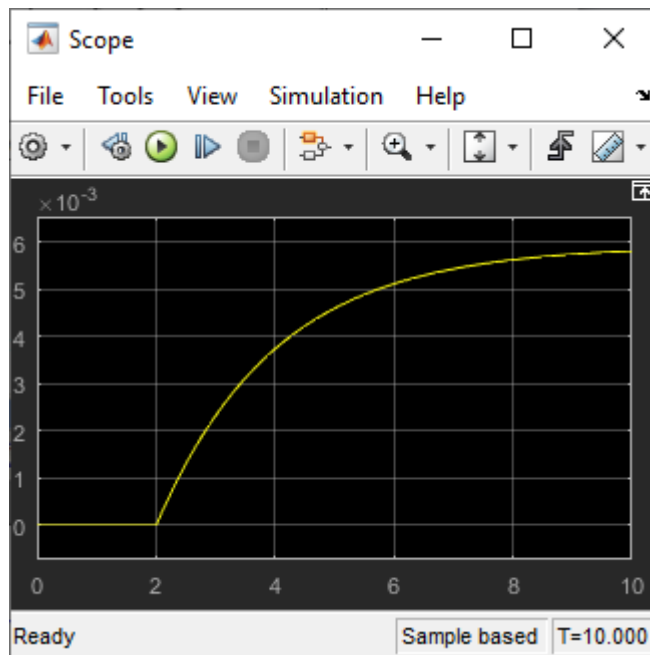


Рисунок 36 – результат работы исполнительного устройства

#### 4.6 Создание модели системы автоматического регулирования

Для создания модели САР необходимо все ранее созданные блоки объединить в один.

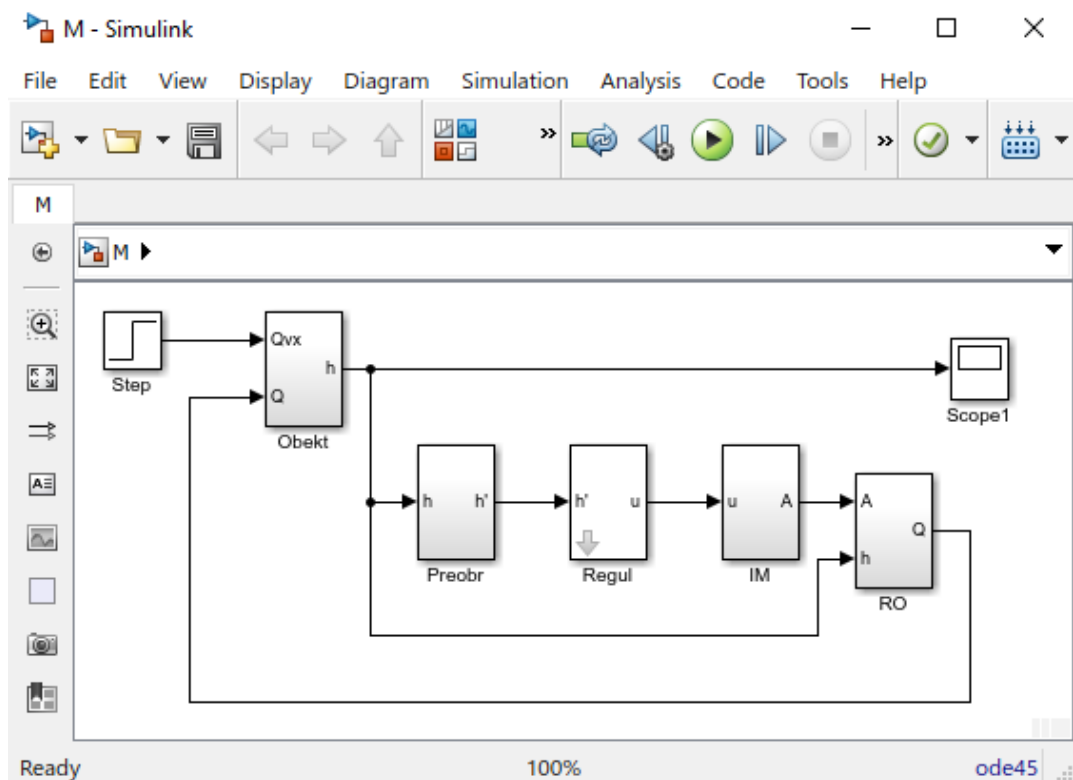


Рисунок 37 – Модель САР

Запускаем модель, результаты посматриваем в блоке Score:

Рисунок 38 – Процесс изменения уровня в емкости

## 5 ПРОЕКТИРОВАНИЕ КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ МОЛОКОПРИЕМНОЙ УСТАНОВКИ

### 5.1 Проектирование сетевых компонентов для молокоприемной установки

Клиент-серверная архитектура подсистемы архива на ПК включает в себя следующие элементы:

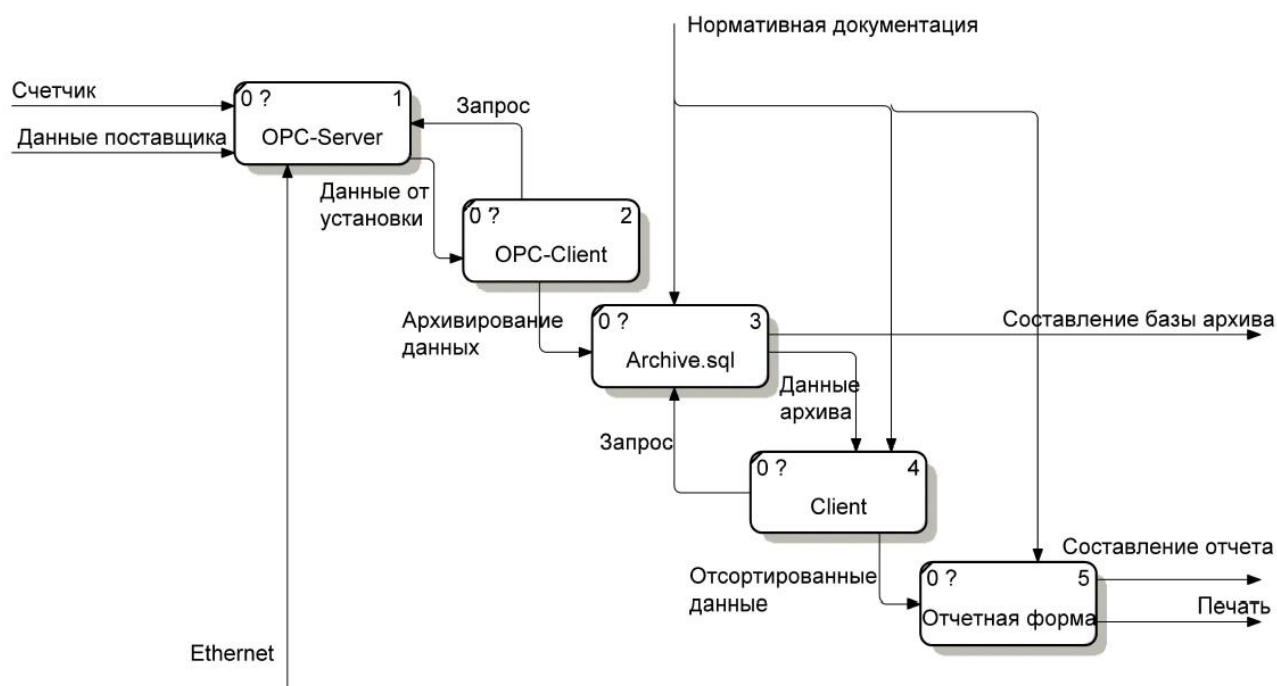


Рисунок 39 – Подсистема архива на ПК

- OPC-сервер (OPC – это набор повсеместно принятых спецификаций, предоставляющих универсальный механизм обмена данными в системах контроля и управления. Аббревиатура OPC традиционно расшифровывается как OLE for Process Control. OLE – Object Linking and Embedding (связывание и встраивание объектов). ), получающий данные во внутреннем формате устройства или системы и преобразующая эти данные в формат OPC, обеспечивающий взаимодействие с OPC-клиентом, и предоставляющий их по запросу от OPC-клиента;

- OPC-клиент, отправляющий запросы для получения данных от OPC-сервера и записывающий их в базу данных;

- SQL-базу данных, в которую будут заноситься и храниться данные о поставщике, дате, времени, количестве и качестве принятого молока;
- ПК-клиент, с помощью которого можно просматривать, сортировать данные из базы, и формировать отчетные формы;
- отчетную форму, в которой можно просматривать отчет, отправлять на печать, сохранять в электронном виде.

## 5.2 Проектирование базы данных для хранения информации о принятом молоке

База данных для хранения полученных данных с установки создана в СУБД MySQL.

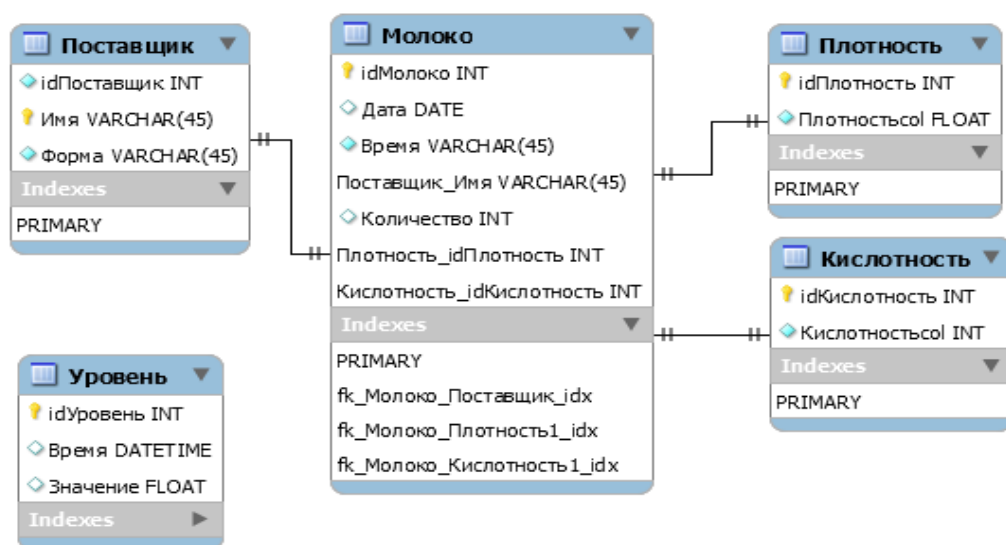


Рисунок 40 – Структура базы данных подсистемы архива на ПК

В нее входят 5 таблиц: Поставщик, в которой хранятся данные о поставщике (наименование и организационная форма); в таблицах Кислотность и Плотность хранятся соответственно кислотность и плотность принимаемого молока; в таблице Молоко дополнительно хранится дата, время и количество принятого молока, полученное от установки; в таблице Уровень хранятся показания уровня и дата.

## 5.3 Проектирование экранных форм приложения-клиента

Экранные формы приложения должны быть интуитивно понятны пользователю, обеспечивать беспрепятственное взаимодействие с функционалом программы и базой данных. Экранные формы пользовательского интерфейса

включают в себя окно входа, основное рабочее окно, окно сортировки, окно вывода отчета, окно справки. Окно входа предоставляет доступ к программе авторизованным пользователям по паре Логин-Пароль, выданными администратором, что предотвращает несанкционированный доступ со стороны третьих лиц.

Идентификация оператора

Параметры >>

Компьютер  
Компьютер 1

Имя  
sa

Пароль  
RUS

Войти Отменить

Рисунок 41 – Окно входа

Для входа в приложение вводятся Логин и Пароль в соответствующие поля и затем необходимо нажать кнопку Войти. При ошибке ввода данных нужно нажать кнопку Отмена и повторно ввести учетные данные.

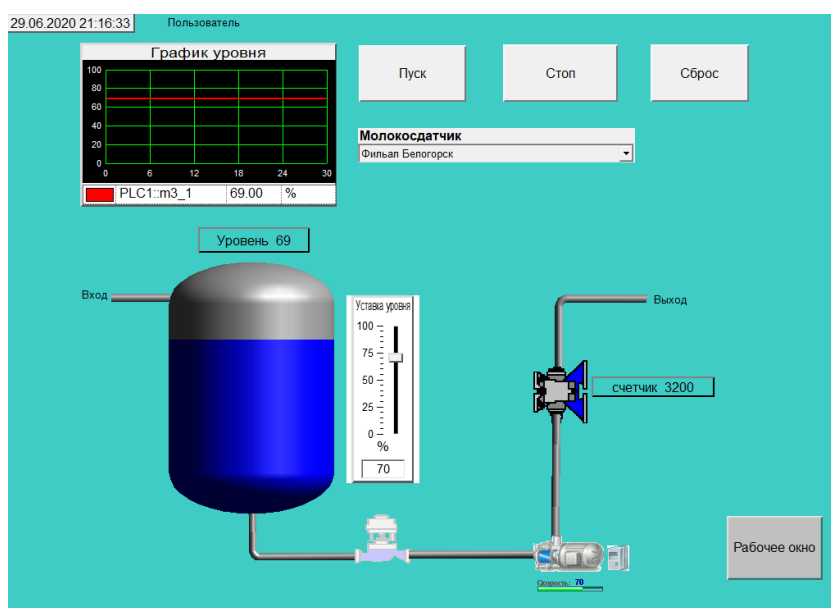


Рисунок 42 – Окно оператора



Окно оператора открывается после удачного ввода учетных данных. В нем отображаются текущие данные о пользователе, поставщике, количестве молока, уровень молока в промежуточной емкости, ползунок для изменения уставки уровня, а также кнопки Пуск, Стоп, Сброс, Рабочее окно. Кнопка Пуск запускает работу молокоприемного модуля, кнопка Стоп останавливает процесс работы, кнопка Сброс обнуляет значение счетчика. Наименование молокодатчика выбирается из выпадающего списка из ранее внесенных наименований. Кнопка Рабочее окно открывает окно для заполнения данных о молоке и внесения их в базу.

Рабочее окно

30.06.2020 0:57:39 Пользователь

Молокодатчик КФХ Иволга

Плотность 1027

Кислотность 14

Количество 3200 л

Подтвердить

Отмена

Архив

Рисунок 43 – Рабочее окно

В рабочем окне заполняются данные о принятом молоке, а именно: наименование хозяйства, с которого принято молоко, плотность, кислотность и количество. Кнопка Подтвердить заносит введенные данные в базу данных. Кнопка Отмена сбрасывает поля на стандартные значения. В поля наименование поставщика, плотность и кислотность можно выбрать из имеющихся значений, а также ввести новое, которое затем сохранится для последующего использования. При нажатии кнопки Архив происходит переход к окну просмотра архивных данных и вывода отчета.

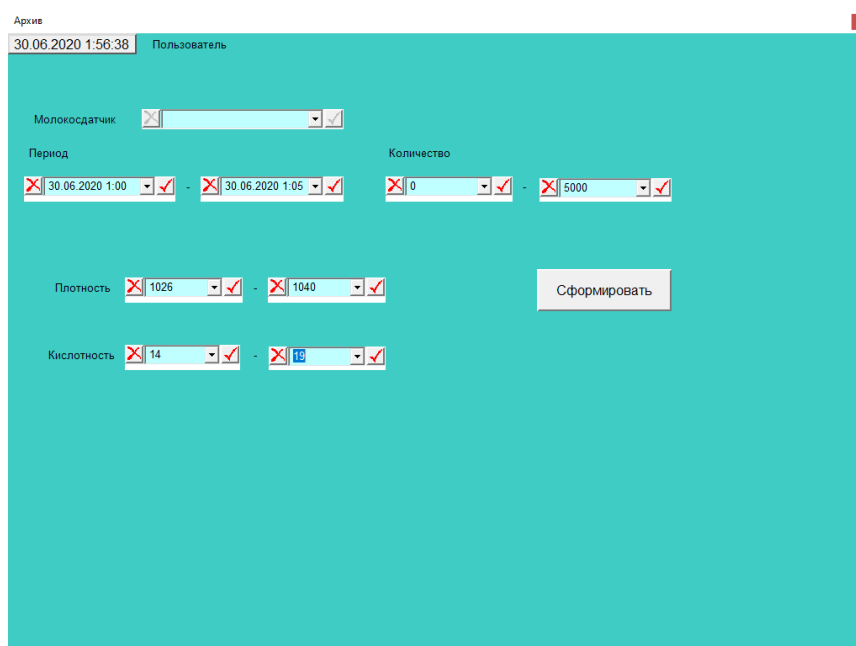


Рисунок 44 – Окно Архив

В окне Архив имеются поля, которые заполняются в соответствии с необходимостью вывода данных, а именно: промежуток времени или определенная дата, количество, плотность, кислотность в пределах выбранного диапазона значений. Кнопка Сформировать подтверждает введенные значения и запускает выборку из базы данных, и формирует отчет.

### 5.3.1 Проектирование отчетных форм

В отчетных формах отображается вся необходимая информация о принятом молоке, как полученная от установки, так и введенная пользователем.

| № пп | Дата       | Время | Наименование        | Количество | Плотность | Кислотность |
|------|------------|-------|---------------------|------------|-----------|-------------|
| 1    | 27.11.2019 | 10:05 | КФХ «ИВОЛГА»        | 5300       | 1027,3    | 15          |
| 2    | 27.11.2019 | 11:15 | ИП ГОЛОВИН          | 4700       | 1027,8    | 15          |
| 3    | 27.11.2019 | 12:07 | Филиал г. Белогорск | 8300       | 1027,4    | 16          |
| 4    | 27.11.2019 | 15:20 | ЛПХ Тамбовка        | 3800       | 1026,5    | 15          |

Рисунок 45 – Форма отчета

Отчеты сохраняются в электронном виде в формате .doc, либо отправляются на печать на бумажный носитель.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Темой данной квалификационной работы «Разработка распределенной автоматизированной системы управления молокоприемным модулем для молокоперерабатывающих предприятий». В ходе выполнения исследования была достигнута поставленная цель, а именно разработка автоматизированной системы для предприятия, а также практическое усвоение основных разделов проектирования информационных систем. Данная система позволяет повысить точность показаний при приемке молока, а также автоматизировать ведение отчетности по принятому молоку.

В ходе проектирования были изучены способы применения Process Modeler для создания диаграммы взаимодействия программного комплекса, а также ее декомпозиции, SoftwareIdeasModeler для создания UML-диаграмм вариантов использования, деятельности, состояний, компонентов, MySQLWorkbench для создания структуры базы данных архива, создание математической и имитационной модели системы автоматического регулирования уровня молока в промежуточной емкости с использованием Matlab. Для написания кода для ПЛК была использована среда разработки CODESYS 2.3, для разработки ПО для панели оператора использован Конфигуратор СП300. Данные средства являются достаточно развитыми средствами моделирования, позволяющим проводить анализ, документирование и улучшение бизнес процессов. С их помощью можно моделировать действия в процессах, определять их порядок и необходимые ресурсы.

Задание выполнено в полном объеме. Программный продукт готов к тестированию и последующему внедрению.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черкасов, А.С. Обзор программных средств разработки и языков программирования для программируемых логических контроллеров (ПЛК), используемых в промышленном оборудовании / А.С.Черкасов // Молодежь XXI века: шаг в будущее : материалы XX региональной научно-практической конференции (23 мая 2019 г., Благовещенск) : в 3 томах. – Благовещенск : Издво Амурского гос. ун-та, 2019. – Т. 3. – 225-227 с
2. Черкасов, А.С. Использование языков МЭК 61131-3 для программирования логических контроллеров / А.С. Черкасов // Символ науки.- 2020.- №1.- с.34-37.
3. Черкасов, А.С. Разработка алгоритма блока поддержания уровня жидкости в уравнивательной емкости установки для приемки молока / А.С. Черкасов // Символ науки. – 2020. - №6. – с.44-47.
4. Смирнов, Ю.А. Технические средства автоматизации и управления : учебное пособие / Ю.А. Смирнов. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2018. – 456 с. – ISBN 978-5-8114-2376-7. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/109629> (дата обращения: 08.05.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Гайдук, А.Р. Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB : учебное пособие / А.Р. Гайдук, В.Е. Беляев, Т.А. Пьявченко. – Санкт-Петербург : Лань, 2017. – 464 с. – ISBN 978-5-8114-1255-6. – Текст: электронный// Электронно-библиотечная система «Лань»: [сайт]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/90161> (дата обращения: 08.05.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
6. Казанцев, В.П. Системы управления исполнительными механизмами : учеб. пособие / В.П. Казанцев. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015. – 274 с

7. Федоров, Ю.Н. Справочник инженера по АСУ ТП: Проектирование и разработка. Учебно-практическое пособие. 2-е изд.,- В 2-х т.- Том 1.- М.: Инфра-Инженерия, 2016. – 448 с. – ISBN 978-5-9729-0122-7

8. Крищенко, В.А. Технологии создания кросс-платформенных распределенных приложений : учебное пособие / В.А. Крищенко. – Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 40 с. – ISBN 978-5-7038-3316-2. – Текст: электронный// Электронно-библиотечная система «Лань»: [сайт]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/52094> (дата обращения: 08.05.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

9. Романова, И.К. Методы теории оптимального управления в проектировании технических систем : методические указания / И.К. Романова. – Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 152 с. – ISBN 978-5-7038-4622-3. – Текст: электронный// Электронно-библиотечная система «Лань»: [сайт]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/103430> (дата обращения: 09.05.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

10. Чертовской, В.Д. Моделирование процессов адаптивного автоматизированного управления производством : монография / В.Д. Чертовской. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 200 с. – ISBN 978-5-8114-3668-2. – Текст: электронный// Электронно-библиотечная система «Лань»: [сайт]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/119643> (дата обращения: 09.05.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

11. Алимарданова, М. Оборудование предприятий молочного производства : учебное пособие / М. Алимарданова, М. Еркебаев – Астана. : Фолиант, 2010. – 192 с.

12. Крамаренко, В.В. Гидравлика. Методические материалы по курсу «Гидравлика» для студентов II курса, обучающихся по направлению 280302 «Комплексное использование и охрана водных ресурсов». Часть II / сост. В.В. Крамаренко, О.Г. Савичев – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 124 с.

13. Программирование программируемых логических контроллеров ОВЕН ПЛК110 и ПЛК160 Руководство пользователя Версия 1.9 Москва 2010

14. Голубева, Н. В. Математическое моделирование систем и процессов : учебное пособие / Н. В. Голубева. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2016. – 192 с. – ISBN 978-5-8114-1424-6. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/76825> (дата обращения: 12.05.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

15. Денисенко, В.В. Протоколы и сети Modbus и Modbus TCP / В.В. Денисенко // Современные технологии автоматизации, 2010. №4. С. 94-98.

16. Инструкция по монтажу и эксплуатации Электропневматический позиционер SAMSON 3725 . Исполнение 1,10 . Издание: октябрь 2012

17. Инструкция по монтажу и эксплуатации Пневматические и электропневматические сервоприводы типа 3372 . Выпуск ноябрь 1998

18. Сидоренко, И.В. Приемка и первичная обработка молочного сырья: учебное пособие / Сост. И.В.Сидоренко. – Брянск: ФГБОУ ВПО «Брянская государственная сельскохозяйственная академия»; Мичуринский филиал, 2014.- 124 с.

19. Вобликова, Т. В. Процессы и аппараты пищевых производств : учебное пособие / Т. В. Вобликова, С. Н. Шлыков, А. В. Пермяков. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 204 с. – ISBN 978-5-8114-4163-1. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/115658> (дата обращения: 20.06.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

20. Зайцев, А.П. Основы теории автоматического управления: Учебное пособие. / А.П. Зайцев. – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 152 с.

21. Неймарк, Ю.И. Математическое моделирование как наука и искусство: Учебник / Ю.И. Неймарк. –2-е изд., испр. и доп. – Н. Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2010. – 420 с.

22. Николаенко, С.А. Автоматизация систем управления: учеб. пособие

/ С. А. Николаенко, Д. С. Цокур. – Краснодар: Изд-во ООО «Крон», 2015. – 119 с.

23. Федосенков, Б. А. Теория автоматического управления: классические и современные разделы : учебное пособие / Б. А. Федосенков. – Кемерово : КемГУ, 2018. – 322 с. – ISBN 978-5-8353-2207-7. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/107707> (дата обращения: 20.06.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

24. Ощепков, А. Ю. Системы автоматического управления: теория, применение, моделирование в MATLAB : учебное пособие / А. Ю. Ощепков. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2018. – 208 с. – ISBN 978-5-8114-1471-0. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/104954> (дата обращения: 20.06.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

25. Кудинов, Ю. И. Теория автоматического управления (с использованием MATLAB – SIMULINK) : учебное пособие / Ю. И. Кудинов, Ф. Ф. Пащенко. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 312 с. – ISBN 978-5-8114-1994-4. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/111198> (дата обращения: 20.06.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

26. Гаврилов, А. Н. Средства и системы управления технологическими процессами : учебное пособие / А. Н. Гаврилов, Ю. В. Пятаков. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 376 с. – ISBN 978-5-8114-4584-4. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/122190> (дата обращения: 20.06.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

27. Федотов, А. В. Компьютерное управление в производственных системах : учебное пособие / А. В. Федотов, В. Г. Хомченко. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 620 с. – ISBN 978-5-8114-4616-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/140775> (дата обращения: 20.06.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

28. Музипов, Х. Н. Программно-технические комплексы автоматизированных систем управления : учебное пособие / Х. Н. Музипов. – Санкт-Петербург : Лань, 2018. – 164 с. – ISBN 978-5-8114-3133-5. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/108458> (дата обращения: 20.06.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

29. PLCBrowser. Настройка и мониторинг функционирования ОВЕН ПЛК Руководство пользователя // Текст : электронный Режим доступа: [https://ftp.owen.ru/CoDeSys23/06\\_Documentation/Plc1xx\\_PlcBrowser.pdf](https://ftp.owen.ru/CoDeSys23/06_Documentation/Plc1xx_PlcBrowser.pdf) (дата обращения: 20.06.2020).

30. Применение баз данных в MasterSCADA Часть 1 Методическое пособие // Текст: электронный Режим доступа: <https://insat.ru/metodicheskie-materialy/Хранение%20данных%20и%20сообщений.Экспорт%20данных%20и%20сообщений.pdf> (дата обращения: 20.06.2020).

31. Руководство Быстрый старт. Инструкция по созданию первого простого проекта при подключении ПЛК через Modbus TCP. Версия 1. Дата 2009/11 // Текст: электронный Режим доступа: [http://www.kipshop.ru/Soft/lectus/bistriy\\_start\\_tcp.zip](http://www.kipshop.ru/Soft/lectus/bistriy_start_tcp.zip) (дата обращения: 20.06.2020).

32. Гнездилова, А. И. Процессы и аппараты пищевых производств : учебно-методическое пособие / А. И. Гнездилова, Ю. В. Виноградова. – Вологда : ВГМХА им. Н.В. Верещагина, 2012. – 48 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/130745> (дата обращения: 20.06.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

33. Тугов, В. В. Проектирование автоматизированных систем управления : учебное пособие / В. В. Тугов, А. И. Сергеев, Н. С. Шаров. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 172 с. – ISBN 978-5-8114-3858-7. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/123695> (дата обращения: 20.06.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей.



34. Захахатнов, В. Г. Технические средства автоматизации : учебное пособие / В. Г. Захахатнов, В. М. Попов, В. А. Афонькина. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 144 с. – ISBN 978-5-8114-4111-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/130159> (дата обращения: 20.06.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

35. Методические рекомендации по улучшению качества молока : методические рекомендации. – Вологда : ВГМХА им. Н.В. Верещагина, 2015. – 49 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/130929> (дата обращения: 20.06.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

36. Филиппов, А. Н. Применение языка запросов SQL в САПР ТП : учебное пособие / А. Н. Филиппов. – Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2017. – 54 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/110479> (дата обращения: 20.06.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

37. Федоров, Ю. Н. Порядок создания, модернизации и сопровождения АСУТП / Ю. Н. Федоров. – Москва : Инфра-Инженерия, 2013. – 576 с. – ISBN 978-5-9729-0039-8. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/13543.html> (дата обращения: 20.06.2020). – Режим доступа: для авторизир. пользователей

38. Мякишев, Д. В. Принципы и методы создания надежного программного обеспечения АСУТП : методическое пособие / Д. В. Мякишев. – Москва : Инфра-Инженерия, 2017. – 114 с. – ISBN 978-5-9729-0179-1. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/69006.html> (дата обращения: 20.06.2020). – Режим доступа: для авторизир. пользователей

39. Решетняк, Е. П. Расчет технологического оборудования молочной отрасли с помощью ЭВМ. Методическое пособие для студентов специальности 260303 – «Технология молока и молочных продуктов» / Е. П. Решетняк, Т. А. Дидык. – Саратов : Саратовский государственный аграрный университет имени

Н.И. Вавилова, Вузовское образование, 2011. – 44 с. – ISBN 2227-8397. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/8146.html> (дата обращения: 20.06.2020). – Режим доступа: для авторизир. пользователей

40. Самосюк, В. Г. Технологическое оборудование для производства молока / В. Г. Самосюк, В. О. Китиков, Э. П. Сорокин. – Минск : Белорусская наука, 2013. – 494 с. – ISBN 978-985-08-1572-9. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/29527.html> (дата обращения: 20.06.2020). – Режим доступа: для авторизир. пользователей

41. Петров, И. В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования / И. В. Петров ; под редакцией В. П. Дьяконова. – Москва : СОЛОН-Пресс, 2016. – 254 с. – ISBN 5-98003-079-4. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/90376.html> (дата обращения: 20.06.2020). – Режим доступа: для авторизир. пользователей

## ПРИЛОЖЕНИЕ А Документ «Техническое задание на проектирование»

### 1. Введение.

Работа выполняется в рамках проекта «Автоматизированная система управления модулем для приемки и учета молока для молокоперерабатывающих предприятий».

### 2 Основание для разработки

1. Основанием для данной работы служит договор № 078-ж от 02 сентября 2019 г.

#### 2. Наименование работы:

«Модуль автоматизированной системы учета молока».

3. Исполнители: студент 2-го курса магистратуры Амурского государственного университета Черкасов Александр Сергеевич.

#### 4. Соисполнители: нет.

### 3 Назначение разработки

Создание модуля для контроля, учета и оперативной корректировки состояния основных параметров установки для приема молока на молокоперерабатывающем предприятии ООО «Хладокомбинат».

### 4 Технические требования

#### 4.1. Требования к функциональным характеристикам.

4.1.1. Состав выполняемых функций. Разрабатываемое программное обеспечение должно обеспечивать:

- сбор и анализ информации о принятом сырье;
- сбор и анализ информации с устройств управления системами регулирования потока жидкости, создания давления и разряжения, приборов учета принятого количества сырья;
- предварительный анализ информации на предмет нахождения параметров в допустимых пределах и сигнализирование при выходе параметров за пределы допуска;
- выдачу рекомендаций по дальнейшей работе;

- отображение текущего состояния набора параметров – циклически постоянно, при сохранении периодичности контроля прочих параметров;
- визуализацию информации по расходу и уровню жидкости:
  - текущей;
  - с накоплением за прошедшие сутки, неделю, месяц – в виде почасового графика для информации за сутки и неделю;
  - суточный расход – для информации за месяц.

По отдельному запросу осуществляются внутренние настройки. В конце отчетного периода система должна архивировать данные.

#### 4.1.2. Организация входных и выходных данных.

Исходные данные в систему поступают в виде значений с датчиков, установленных на аппарате. Эти значения отображаются на панели оператора. После анализа поступившей информации оператор устанавливает необходимые параметры для устройств.

Возможна также автоматическая установка некоторых параметров для устройств регулирования.

Основной режим использования системы – ежедневная работа.

#### 4.2. Требования к надежности.

Для обеспечения надежности необходимо проверять корректность получаемых данных с датчиков – проверка на заданный диапазон значений.

#### 4.3. Условия эксплуатации и требования к составу и параметрам технических средств.

Для работы системы должен быть выделен ответственный оператор. Требования к составу и параметрам технических средств уточняются на этапе эскизного проектирования системы.

#### 4.4. Требования к информационной и программной совместимости.

Программа должна работать на платформах Windows 7 и выше.

#### 4.5. Требования к транспортировке и хранению. Программа поставляется на лазерном носителе информации.

Программная документация поставляется в электронном и печатном виде.

---

#### 4.6. Специальные требования.

Программное обеспечение должно иметь дружелюбный интерфейс, рассчитанный на пользователя (в плане компьютерной грамотности) средней квалификации. Ввиду объемности проекта задачи предполагается решать поэтапно, при этом модули ПО, созданные в разное время, должны предполагать возможность наращивания системы и быть совместимы друг с другом, поэтому документация на принятое эксплуатационное ПО должна содержать полную информацию, необходимую для работы программистов с ним.

Язык программирования – по выбору исполнителя, должен обеспечивать возможность интеграции программного обеспечения с некоторыми видами периферийного оборудования.

#### 5 Требования к программной документации

Основными документами, регламентирующими разработку будущих программ, должны быть документы Единой Системы Программной Документации (ЕСПД):

- руководство пользователя,
- руководство администратора,
- описание применения.

#### 6 Техничко-экономические показатели

Эффективность системы определяется удобством использования системы для контроля и управления основными параметрами приемки молока молокоперерабатывающими предприятиями, а также экономической выгодой, полученной от внедрения аппаратно-программного комплекса.

#### 7 Порядок контроля и приемки

После передачи Исполнителем отдельного функционального модуля программы Заказчику, последний имеет право тестировать модуль в течение 7 дней. После тестирования Заказчик должен принять работу по данному этапу или в письменном виде изложить причину отказа от принятия. В случае обоснованного отказа Исполнитель обязуется доработать модуль.

Таблица 3 – Календарный план работ

| Наименование этапа                                                                                  | Сроки этапа                | Результат выполнения этапа                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 Изучение предметной области                                                                       | 02.09.2019 –<br>10.09.2019 | Предложения по разработке программного обеспечения<br>Проектирование системы.<br>Выбор средства реализации.<br>Разработка системы.<br>Акт сдачи-приемки предложений по реализации системы. |
| 2 Разработка программного модуля по сбору и анализу информации со счётчиков и устройств управления. | 11.09.2019 –<br>30.09.2019 | Завершённый программный комплекс.<br>Внедрение системы на одной из установок предприятия.                                                                                                  |
| 3 Тестирование и отладка модуля.                                                                    | 01.10.2019 –<br>15.10.2019 | Готовая система контроля молокоприёмного модуля.                                                                                                                                           |
| 4. Внедрение автоматизированной системы.                                                            | 16.10.2019 –<br>30.12.2019 | Готовая система контроля системы на всех установках предприятия.<br>Программная документация.<br>Акт сдачи-приёма работ.                                                                   |

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б Документ «Спецификация»

### 1. Введение

#### 1.1. Назначение

Программное обеспечение предназначено для ведения оперативного подсчета и архивирования полученных данных о количестве принятого молока на молокоперерабатывающих предприятиях

#### 1.2. Область действия

Программное обеспечение организует работу молокоприемного модуля для молокоперерабатывающего предприятия, взаимодействие с панелью оператора, а так же отображение и архивирование полученных данных в приложении на компьютере и на панели оператора.

#### 1.3. Определения, акронимы и сокращения

Заказчик – представитель предприятия ООО «Хладокомбинат», для которого разрабатывается данное программное обеспечение.

Исполнитель – студент 2 курса магистратуры АмГУ Черкасов Александр Сергеевич.

Оператор – ответственное лицо, непосредственно работающее на данном оборудовании.

Сервисный инженер – представитель исполнителя на предприятии, осуществляющий установку, настройку и отладку аппаратного и программного обеспечения на территории заказчика.

ПЛК – программируемый логический контроллер.

#### 1.4. Краткий обзор

ПО предназначено для организации функционирования молокоприемного модуля, согласно заданной математической модели на основе данных, получаемых с датчиков уровня, давления, скорости вращения двигателя, угла поворота заслонки, объемного расхода жидкости, а также подсчета принятого сырья, а также его наглядного отображения и архивирования на панели оператора и составления отчета на ПК.

### 2. Общее описание

---

## 2.1. Взаимодействие продукта (с другими продуктами и компонентами)

ПО для молокоприемного модуля разделено на 3 блока: программа на ПЛК, программа на панели оператора, клиентское приложение на ПК, документация по сопровождению программного продукта.

## 2.2. Функции продукта (краткое описание)

Программа на ПЛК непосредственно принимает сигналы с датчиков уровня, давления, положения заслонки, счетчиков, управляет работой модуля, подавая управляющие сигналы на органы регулирования.

Программа на панели оператора организует человеко-машинный интерфейс, который позволяет взаимодействовать с установкой, производить запуск, останов, просмотр параметров работы установки для контроля корректности работы, просмотр архивных данных.

Программа на ПК организует прием данных со счетчика, а также архивирование полученных данных и составление отчета, сортировки данных, а так же вывода данных в электронном или бумажном виде.

## 2.3. Характеристики пользователя

К работе на данном оборудовании может быть допущен персонал, прошедший соответствующее обучение и инструктаж.

## 2.4. Ограничения

Установка и настройка аппаратуры молокоприемного модуля должна проводиться сервисным инженером.

## 2.5. Допущения и зависимости

При изменении модели ПЛК может потребоваться обновление ПО.

## 3. Детальные требования

### 3.1. Требования к внешним интерфейсам

#### 3.1.1. Интерфейсы пользователя

Интерфейс пользователя реализован в виде человеко-машинного интерфейса на панели оператора. Представляет собой схематическое отображение установки с полями для отображения необходимых данных (дата, время, показания счетчика, уровень в промежуточном баке, давление в воздушной систе-



ме), а также кнопки и пиктограммы, необходимые для управления установкой. Помимо того интерфейс пользователя представлен окном приложения на ПК, в котором так же отображается дата, время, показания счетчика, окно отображения архива и кнопка формирования отчета. Текстовое поле ввода – любые символы, длина не более 2000 знаков. Числовые поля ввода – целочисленные и с плавающей точкой разделенные запятой или точкой. Поля ввода даты - дд.мм.гггг.

### 3.1.2. Интерфейсы взаимодействия

Взаимодействие между компонентами системы происходит по локальной сети стандарта Ethernet.

### 3.2. Функциональные требования

ПО должно обеспечивать бесперебойную и корректную работу модуля, управление им. А так же передавать данные на ПК, заносить в архив и формировать отчет с сортировкой по дате, времени, количеству, форме и наименованию организации.

### 3.3. Требования к производительности

Процессор: Dual core 3 ГГц.

Оперативная память: 2 ГБ.

Операционная система: Windows 7 и выше.

### 3.4. Проектные ограничения (и ссылки на стандарты)

IEEE Std 830-1998 Рекомендации IEEE по разработке требований к программному обеспечению

3.5. Нефункциональные требования (надежность, доступность, безопасность и пр.)

Создание резервных копий базы данных ежедневно.

Безопасность данных осуществляется на уровне разграничения прав доступа пользователей.

На сервере необходима установка антивирусного программного обеспечения.

## ПРИЛОЖЕНИЕ В Окно справки

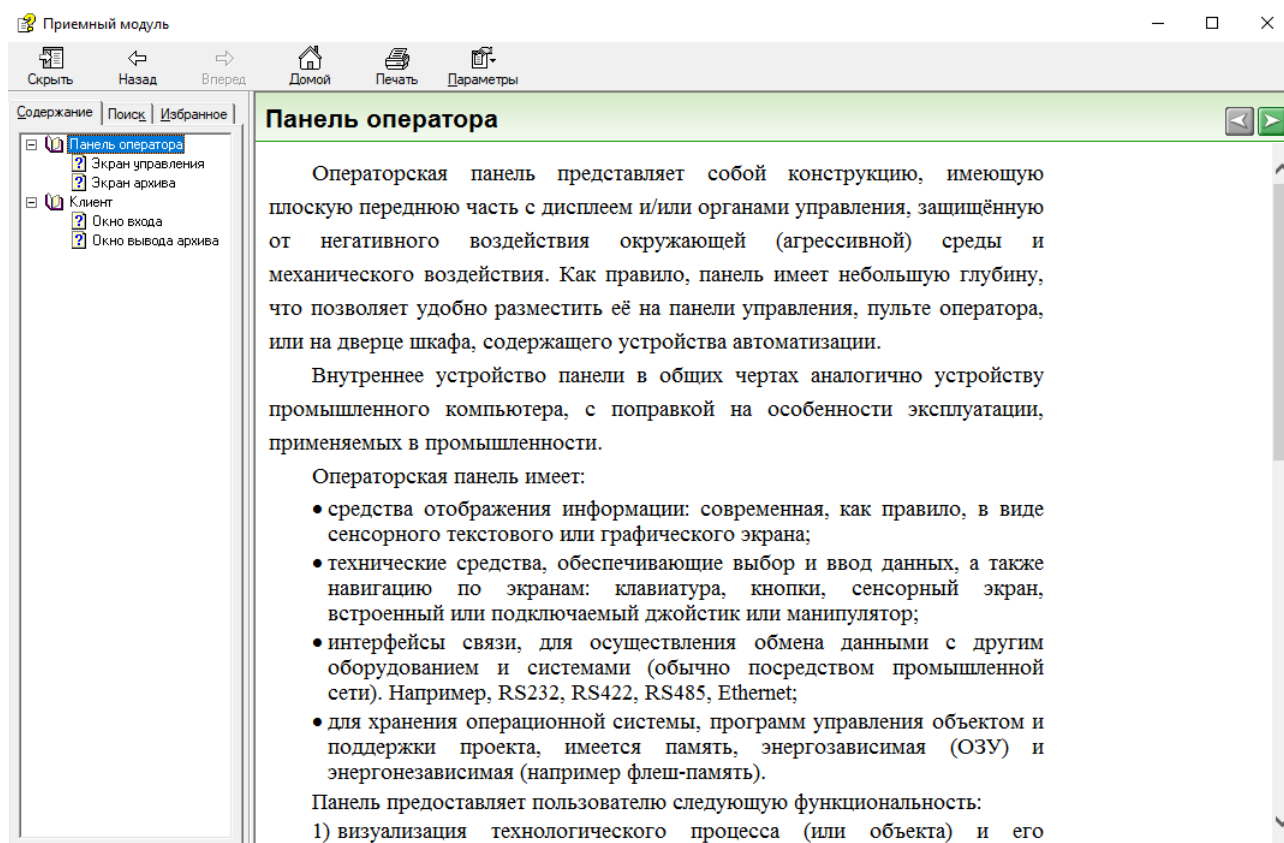


Рисунок 46 – Окно справки