

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «АЛТАЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт цифровых технологий, электроники и физики

Кафедра Вычислительной техники и электроники

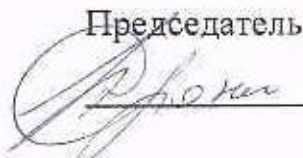
УДК 681.5.08, 681.586.773

Магистерская работа защищена

«15» июня 2023 г.

Оценка Отлично

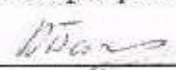
Председатель ГЭК д.т.н., проф.

 С. П. Пронин

Допустить к защите в ГЭК

«13» июня 2023 г.

Зав. кафедрой к.ф.-м.н., доц.

 В. В. Пашнев

РАЗРАБОТКА АСУ ТП В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ МАГИСТРА**

МР 09.04.01.5.105М.017 ПЗ

обозначение документа

Студент группы

5.105М

А. А. Сотников

и.о. фамилия

Руководитель работы

д.т.н., профессор

ученое звание, должность

В. Н. Седалищев

и.о. фамилия

Консультанты:

Нормоконтролер

Старший преподаватель

ученое звание, должность

В. В. Белозерских

и.о. фамилия

Барнаул 2023

РЕФЕРАТ

Объем работы, листов	66
Количество рисунков	40
Количество используемых источников	30
Количество таблиц	4

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ, ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ, ПЬЕЗОРЕЗОНАНСНЫЕ ДАТЧИКИ, SCADA-СИСТЕМЫ, АСУ ТП, АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА.

Данная работа посвящена разработке модели автоматизированной системы управления технологическими процессами на предприятиях пищевой промышленности.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка многопараметрического датчика и комплекса программных и аппаратных модулей, предназначенных для осуществления контроля реологических свойств пищевых продуктов.

В ходе выполнения работы были разработаны программные и аппаратные модули, позволяющие осуществлять обработку измерительной информации от датчика такого типа и выработку управляющих сигналов для системы автоматики.

В работе использовались следующие термины и сокращения:

- АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом;
- ПРД – пьезорезонансный датчик;
- МСК ПРД – модуляция связанных колебаний ПРД;
- ПЭТ – пьезоэлектрический трансформатор;
- ЧЭ – чувствительный элемент;
- ЭС – элемент связи;
- ЭЭСЗ – эквивалентная электрическая схема замещения.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ	8
1.1. Классификация существующих приборов контроля реологических характеристик пищевых продуктов	8
1.2. Обзор конструкций датчиков.....	17
1.3. Требования к автоматизированной системе управления технологическим процессом (АСУ ТП)	20
1.3.1. Основные задачи и цели создания АСУ ТП	20
1.3.2. Назначение системы.....	20
1.3.3. Требования к техническому обеспечению	21
1.3.4. Требования к программному обеспечению	22
1.3.5. Требования к функциям системы	22
2. ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ АСУ ТП С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПЬЕЗОРЕЗОНАНСНОГО ДАТЧИКА	24
2.1. Пьезорезонансный датчик.....	24
2.2. Структурная схема системы автоматизации.....	29
2.3. Программируемый логический контроллер	31
2.4. Преобразователь тока.....	37
2.5. Электронная схема датчика	38
2.6. Устройство измерения аналоговых сигналов	41
2.7. SCADA-системы.....	42
3. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ	46
3.1. Блок программы-счетчика импульсов с входов ПЛК	46
3.2. Транслирование данных из MB110 в MasterSCADA	50
3.3. Транслирование данных из ПЛК 110 в MasterSCADA	53
3.4. Создание панели управления оператора в MasterSCADA	56
3.5. Блок программы ПЛК для подачи управляющих сигналов	57

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	60
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	61
ПРИЛОЖЕНИЕ	64

ВВЕДЕНИЕ

В пищевой промышленности производятся продукты и вещества с самыми разнообразными свойствами. Заранее отнести их к какому-либо определённому типу жидкости не представляется возможным. Создание и использование инструментов для объективного контроля качества пищевых товаров позволяет не только заменить субъективный контроль на более точный, но и способствует развитию автоматических и роботизированных систем контроля за технологическими процессами производства пищевых продуктов. Это открывает новые перспективы для автоматизации производства пищевых товаров и повышения эффективности производственных процессов. Современный уровень конкуренции на данном рынке требует особого внимания качеству таких групп товаров, как молочная продукция, кондитерская продукция, продукты пчеловодства и др. От качества этих продуктов будет зависеть цена и потребительский спрос.

Традиционные методы измерения, такие как вискозиметрия и реометрия, имеют свои ограничения, такие как высокая стоимость оборудования, сложность использования и необходимость прямого контакта с продуктом. В связи с этим, предлагается разработка проекта многопараметрического пьезоэлементного датчика для контроля реологических свойств пищевых продуктов.

Датчики, основанные на принципе пьезоэлектрического эффекта, обладают способностью преобразовывать механическую энергию в электрический сигнал и наоборот. Это позволяет использовать пьезоэлементы для измерения реологических параметров, таких как вязкость, плотность, упругость, температура, трение, масса и т.п. Использование таких датчиков открывает новые возможности для более точного и удобного контроля качества продуктов.

Необходимо отметить, что в настоящее время практически не существует подобных приборов промышленного изготовления.

Цель исследований:

Произвести разработку многопараметрического датчика и комплекс программных и аппаратных средств автоматизированной системы для осуществления контроля реологических свойств (вязкости, плотности, упругости) пищевых продуктов.

Для достижения поставленной в цели необходимо решить следующие **задачи:**

1. Рассмотреть особенности устройства и функционирования систем контроля основных параметров пищевых продуктов (вязкость, плотность, упругость, температура и т. п.).

2. Разработать конструкцию многопараметрического ПРД реологических характеристик пищевых продуктов. Осуществить имитационное моделирование его работы.

3. Произвести выбор оборудования для автоматизированной системы контроля нескольких параметров продуктов.

4. Разработать алгоритм управления и реализовать программный модуль автоматизированной системы управления технологическими процессами.

Научную новизну работы составляет разработка многопараметрического ПРД на основе реализации связанных колебаний в системе с тремя степенями свободы. Использование нелинейных принципов формирования измерительного сигнала в сложных конструкциях из взаимосвязанных пьезорезонаторов позволяет создавать датчики с расширенными функциональными возможностями, которые могут измерять несколько параметров одновременно.

В результате проведенных исследований была разработана модель автоматизированной системы контроля физико-механических характеристик пищевых продуктов.

Практическая значимость выпускной квалификационной работы состоит в возможности применения полученных результатов научных

исследований и технических решений на их основе для создания высокочувствительных многофункциональных ПРД, применимых для одновременного измерения нескольких параметров пищевых продуктов, что позволит повысить качество выпускаемой продукции.

1. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

1.1. Классификация существующих приборов контроля реологических характеристик пищевых продуктов

Приборы для измерения реологических свойств пищевых продуктов делятся на три категории:

- абсолютные;
- относительные;
- условные.

Первая категория приборов получает физические величины в абсолютной системе единиц, используя информацию о геометрических размерах рабочего органа и условиях эксперимента, вторая измеряет значения свойств эталонных материалов, получая численные значения физических величин, которые могут быть использованы для расчетов, а приборы третьей категории отображают измеряемые величины в условных единицах, которые не предназначены для расчетов, но используются для сравнения показателей качества продукта в ограниченном диапазоне изменений технологических характеристик. Эти приборы применяются для сопоставления качественных показателей продукта в ограниченном диапазоне изменений его технологических характеристик [1].

Кроме того, они классифицируются на:

- дифференциальные;
- интегральные.

Реологические приборы можно классифицировать на четыре группы в зависимости от измеряемой величины. Дифференциальные приборы позволяют отслеживать распределение скоростей и деформаций продукта, а интегральные приборы – определять конечный, суммарный эффект измерения [2].

Существует четыре подхода к измерению реологических свойств, но эта классификация несколько условна. Некоторые устройства могут изменять два значения при неизменном третьем.

Первый метод – постоянная скорость сдвига. Он заключается в том, что материал помещается между двумя поверхностями, одна из которых движется слева направо, а другая - справа налево, с определенной постоянной скоростью. Скорость сдвига в материале при этом равна разности скоростей движения двух поверхностей [3].

Второй метод – метод постоянной нагрузки является одним из наиболее популярных методов измерения реологических характеристик материалов. Он заключается в том, что материал помещается между двумя параллельными поверхностями, одна из которых движется материалом с постоянной скоростью, а другая остается неподвижной. Нагрузка на материал при этом остается постоянной [4].

Третий метод основан на измерении постоянной силы нагрузки, обусловленной постоянной массой движущейся части устройства. Продолжительность измерений обычно постоянна (от 180 до 300 секунд) и занимает немного больше времени, чем период релаксации. В эксперименте глубина погружения измеряется с уменьшающейся скоростью, которая в пределе достигает нуля. Данный метод позволяет оценить такие реологические параметры, как динамический модуль упругости, вязкость, пластичность и другие [5].

Четвертый метод позволяет определить энергию деформации, исходя из площади диаграммы, а силу – по ординате. Приборы этой категории могут вычислять энергию, используя информацию о мощности, если они оборудованы автоматическим записывающим ваттметром или счетчиком [6-7].

В пищевой промышленности существует несколько методов и оборудований для оценки реологических свойств продуктов.

Термопары и терморезисторы — это электронные датчики, которые измеряют температуру путем определения изменений сопротивления или напряжения при изменении температуры (рис. 1.1). Они широко используются в промышленных системах контроля температуры пищевых процессов.



Рис. 1.1 Внешний вид термопары.

Преимущества датчиков:

1. Широкий диапазон измерения: Термопары и терморезисторы могут измерять очень высокие и очень низкие температуры, в зависимости от их типа. Некоторые термопары могут работать в диапазоне от -200 до $+2300$ градусов Цельсия.

2. Высокая стойкость к экстремальным условиям: Данные датчики могут быть устойчивыми к высоким температурам, вибрациям, агрессивным средам и электромагнитным помехам.

3. Быстрый отклик: Термопары имеют малую тепловую инерцию, что позволяет им быстро реагировать на изменения температуры.

Недостатки датчиков:

1. Датчики имеют ограниченную точность измерений по сравнению с другими типами датчиков, особенно на низких температурах.

2. Временная деградация термопар может привести к постепенному изменению их характеристик со временем.

Ротационный вискозиметр - одно из наиболее распространенных устройств для измерения вязкости материалов (рис. 1.2). Он основывается на измерении силы, необходимой для вращения стержня в жидкости или полуторной кривой в пастоподобной смеси. Этот метод может быть использован для измерения вязкости продуктов как на начальном, так и на продвинутом этапах, например, при разработке новых рецептов и контроля качества на производстве [8].



Рис. 1.2 Вискозиметр Брукфильда ротационный.

Ротационные вискозиметры обладают рядом преимуществ по сравнению с другими типами вискозиметров. Существует более сотни различных конструкций ротационных вискозиметров, которые могут быть разделены на две основные группы (рис. 1.3).

Первая группа приборов включает устройства, в которых крутящий момент ротора остается постоянным при изменении частоты вращения, а

вторая группа содержит устройства, в которых частота вращения ротора остается постоянной при изменении крутящего момента. В России широко распространены ротационные вискозиметры системы РВ-8 профессора Воларовича, которые относятся к первой группе, а также вискозиметры «Реотест», которые относятся ко второй группе:

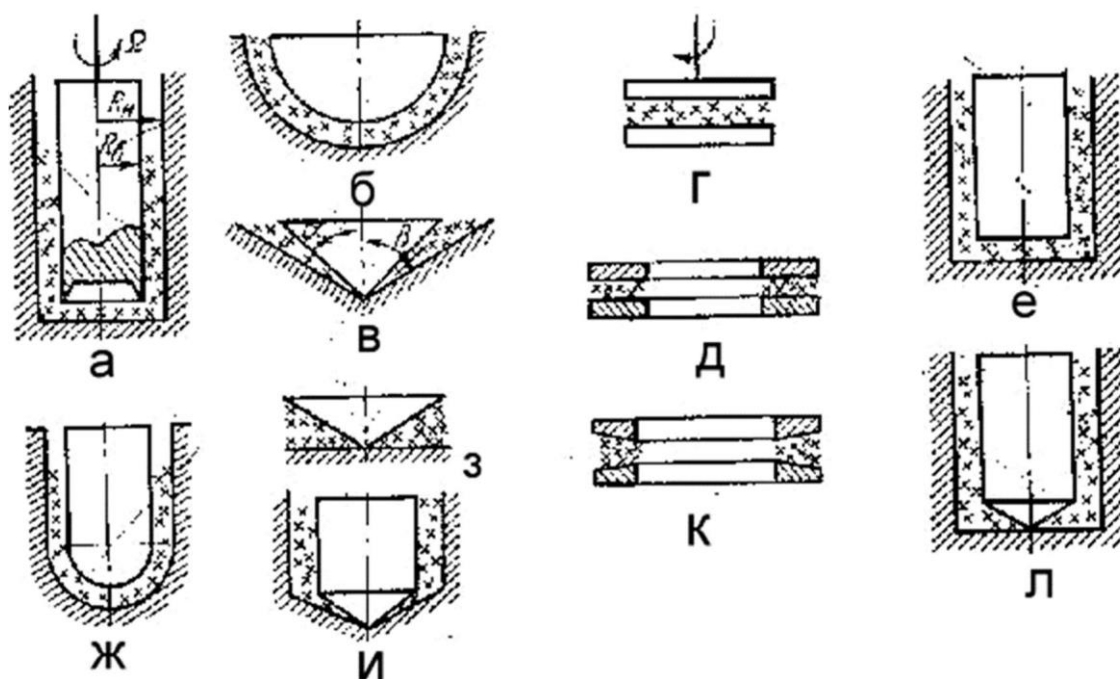


Рис. 1.3 Принципиальные схемы ротационных вискозиметров:

а – коаксиальные цилиндры; б – сферы или полусферы; в – два конуса; г – две плоскопараллельные пластины; д – два плоских кольца; к – два конических кольца; е – цилиндр-диск; ж – цилиндр-полусфера; з – конус-диск; и – цилиндр конус; л – цилиндр-конус-диск.

Плюсы:

1. Ротационный вискозиметр обеспечивает высокую точность измерений вязкости материалов.
2. Благодаря компактным размерам и простоте управления ротационный вискозиметр легко использовать.
3. Это универсальный инструмент, который позволяет измерять вязкость от очень тонких жидкостей до очень плотных пастообразных материалов.

4. Ротационный вискозиметр относится к стандартным измерительным инструментам, доступным для пользователей в широком диапазоне цен.

Минусы:

1. Ротационный вискозиметр измеряет вязкость жидкости при конкретной температуре, и это может быть проблемой для некоторых пользователей.

2. Размер образцов может оказать влияние на точность и надежность измерений. Если образец слишком мал или слишком большой, ротационный вискозиметр может не дать корректных результатов.

3. Для некоторых материалов применение ротационного вискозиметра может привести к избыточному высокому давлению, что может привести к деформации искажению, что может повлиять на точность измерений.

Динамический механический анализатор (DMA) (рис. 1.4). Это устройство, которое использует колебания, чтобы измерить упругие и пластические свойства продукта. Оно может быть использовано для измерения модуля упругости, максимальной деформации, пластических свойств, напряжений на разрыв, динамического трения и других характеристик, которые могут быть важными для проектных инженеров, ученых и менеджеров производства.



Рис. 1.4 Внешний вид динамического механического анализатора.

В применении к пищевой промышленности, DMA может использоваться для изучения механических свойств различных продуктов, таких как тесто на разных стадиях замешивания, мясо при различных температурах, выпечка в различных условиях и т.д. Это позволяет оптимизировать процессы производства и улучшить качество конечного продукта [10].

Кроме того, DMA может быть полезен при исследованиях различных материалов, используемых в пищевой промышленности, таких как упаковки и материалы для упаковки, включая пленки и контейнеры.

Плюсы прибора:

1. DMA способен измерять механические свойства материалов с высокой точностью, что позволяет установить свойства материала из-за колебания температуры, давления, массы и других переменных.

2. DMA обеспечивает широкий диапазон тест-методов, позволяющих изучать механические свойства материалов в зависимости от температуры, частоты нагрузки, деформации и других параметров.

3. DMA может полностью автоматизировать процесс тестирования, от сбора данных до обработки результатов, что упрощает и ускоряет процесс испытаний.

Минусы прибора:

1. Для проведения тестов на DMA необходимы точно подготовленные образцы, и это может потребовать дополнительного времени и усилий.

2. DMA – довольно дорогой инструмент, и покупка и обслуживание такого оборудования может быть дорогим.

Тестер текстуры— это оборудование, которое измеряет физические свойства продуктов, например, жесткость, эластичность и крутость (crumbliness). Оно может быть использовано для контроля процессов приготовления, включая изменение состояния продукта в зависимости от температуры.

Продукты питания, которые проверяют на тестере текстуры, включают, например, мясо, рыбу, сыры, хлеб, кремы, масло, соусы и напитки. Такой

тест помогает определить физические свойства продукта и принимать решения в отношении рецептуры, соответствия стандартам качества, сохраняемости и многого другого [11].

Плюсы прибора:

1. Позволяет точно измерять физические свойства продуктов, такие как текучесть, эластичность, упругость, вязкость и т.д.
2. Облегчает процесс контроля качества продукции на заводе в процессе подготовки рецептуры.
3. Позволяет быстро выявлять проблемы в производственном процессе (например, с изменением текучести продукта со временем или в разных условиях).

Минусы прибора:

1. Ограниченность в использовании. Такой тестер может быть полезен только в тех случаях, когда рассматриваемый продукт имеет реологические свойства, которые можно измерить таким образом.
2. Высокая стоимость такого оборудования может быть препятствием для небольших производств, которые не могут позволить себе инвестировать в такой тестер.
3. Значимость результатов теста напрямую зависит от компетенции тех, кто проводит измерения и анализирует данные.

Реометр Андерсона-Уилера — это устройство с двумя вращающимися дисками, которые могут быть использованы для измерения вязкости в любой точке материала в зависимости от скорости вращения дисков (рис. 1.5). Данный прибор часто применяется для образцов жидкостей и полужидких продуктов [12].



Рис 1.5 Внешний вид реометра Андерсена-Уилера.

Плюсы прибора:

1. Способность работать с небольшими образцами материалов;
2. Высокая точность измерения реологических свойств материалов;
3. Может быть использован для измерения широкого диапазона материалов, таких как жидкости, гели, пасты и твердые материалы;
4. Может быть использован для измерения реологических свойств материалов в широком диапазоне температур и давлений.

Минусы прибора:

1. Сложная установка и настройка.
2. Этот метод измерения требует использования высокоточных инструментов, что может увеличить его стоимость.
3. Материалы могут поглощать звуковые волны, что может повлиять на точность измерения.
4. Не рекомендуется использовать для измерения материалов с высокой концентрацией частиц, так как они могут повлиять на точность измерения.

1.2. Обзор конструкций датчиков

Пьезорезонансные датчики являются устройствами, которые используют пьезоэлектрические эффекты для измерения различных параметров. Они обычно состоят из пьезоэлектрического материала, который изменяет свои электрические свойства в ответ на механическое воздействие, такое как деформация или колебания.

Принцип работы пьезорезонансных датчиков основан на измерении изменения резонансной частоты пьезоэлектрического элемента при взаимодействии со средой. Когда среда воздействует на пьезоэлемент, она приводит к изменению резонансных свойств ЧЭ. Измеряя изменение резонансной частоты, можно получить информацию о физических свойствах продукта [13].

На рисунке 1.6 представлена структурная схема пьезорезонансного трибодатчика, который используется для измерения уровня сыпучих материалов. ЧЭ устройства состоит из пьезоэлектрической пластины, которая прикреплена к поверхности плоского металлического вибратора с согласованными размерами.

Когда сыпучий материал наливается в контейнер, он начинает увеличивать вес на кончик пьезорезонансного трибодатчика, вызывая его механическое колебание на определенной частоте. Эта частота, определяемая структурой и геометрией кристалла пьезоэлектрика, регистрируется с помощью датчика и используется для определения уровня материала в контейнере.

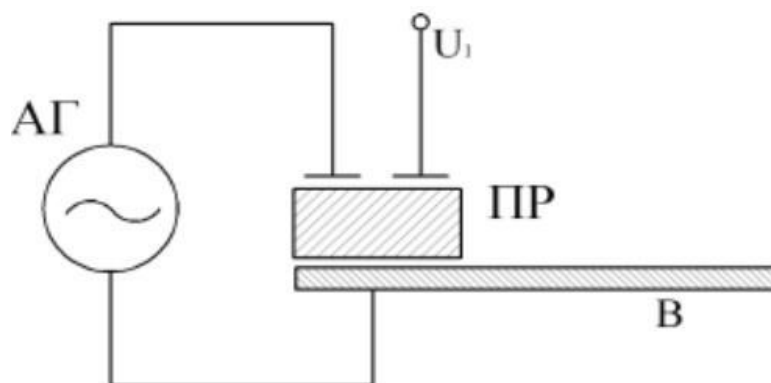


Рис. 1.6 Структурная схема датчика вязкости жидких сред на базе составного пьезорезонатора.

На рисунке 1.7 показано устройство датчика вязкости жидких сред с микроазором типа ПР МСК. В таких датчиках используется принцип внутренней связи между пьезорезонаторами в первичном измерительном преобразователе. Между вибраторами размер микроазора сопоставим с толщиной пограничного слоя жидкости на их поверхности. Данный датчик вибрационного типа позволяет измерять вязкоупругие характеристики жидких сред [14].

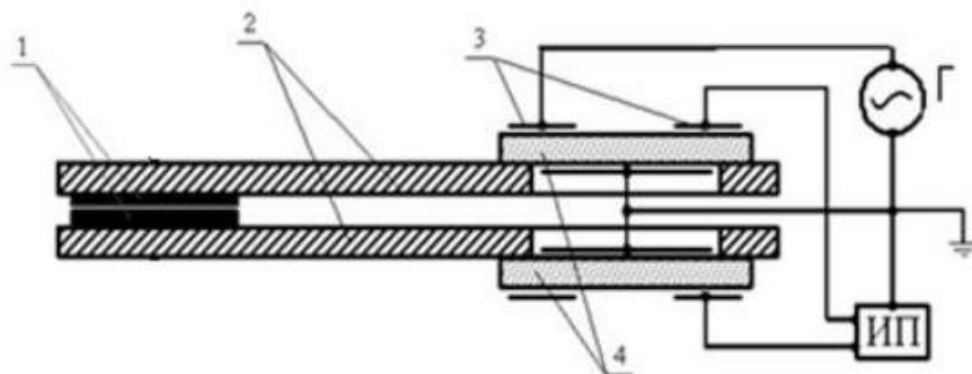


Рис. 1.7 Схема ПР МСК датчика вязкости с внутренней связью между составными пьезорезонаторами.

Исследования показали, что создание датчиков на основе составных ПЭТ представляет практический интерес. Датчики этого типа обладают простой конструкцией, низкой стоимостью, а также могут быть применены в суровых условиях и легко изготавливаются. Дополнительный вибратор или элемент

акустической связи между ПЭТ и вибратором может применяться в качестве контрольного датчика (рис. 1.8). Элементы конструкции чувствительного элемента, как правило, имеют определённые геометрические размеры, обеспечивающие установку в колебательной системе датчика стоячих волн [15].

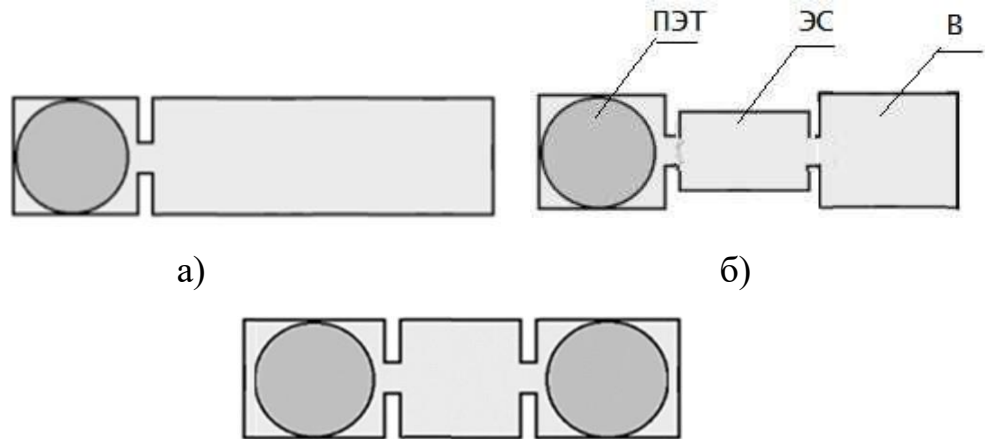


Рис. 1.8 Варианты конструктивного исполнения составного ПЭТ с использованием в качестве ЧЭ вибратора (а) и элемента связи (б).

Датчики данного типа это, как правило, сложные конструкции, собранные из нескольких ПЭТ, вибраторов и элементов связи между ними, в качестве которых могут быть использованы протяженные звукопроводы (рис. 1.9) [16].

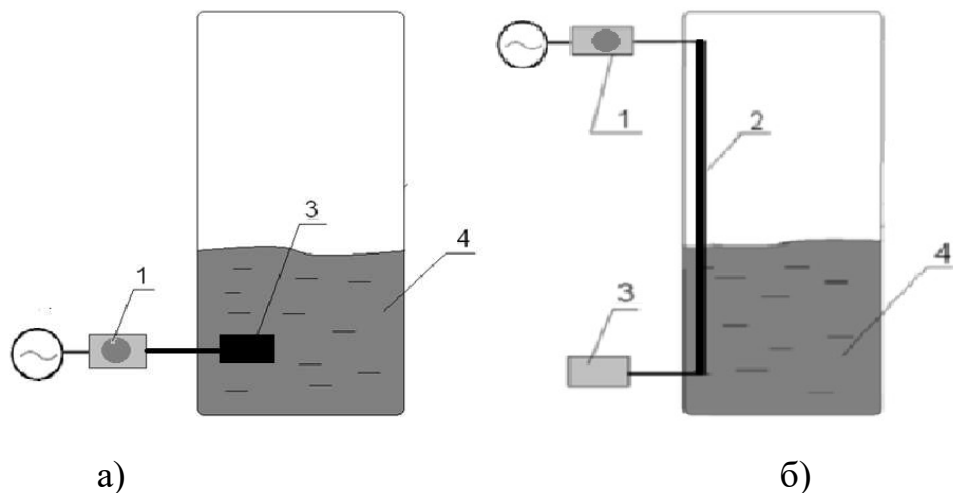


Рис. 1.9 Конструкции и схемы установки пьезотрансформаторных датчиков с вибратором (а) и звуководом (б) в качестве чувствительного элемента: (1 - составной ПЭТ; 2 - элемент связи; 3 - вибратор; 4 - исследуемый материал).

1.3. Требования к автоматизированной системе управления технологическим процессом (АСУ ТП)

1.3.1. Основные задачи и цели создания АСУ ТП

Основные цели создания:

- замена органолептического контроля;
- обеспечение надежной работы системы;
- повышение качества и улучшение транспортировочных свойств пищевых продуктов;
- уменьшение стоимости оборудования и ПО;
- переход на отечественные программно-аппаратные системы;
- обеспечение надежной работы системы;
- повышение степени организации управления функционально - технологическим процессом.

1.3.2. Назначение системы

АСУ ТП автоматизированной системы контроля реологических свойств пищевых продуктов должна обеспечивать:

- контроль и управление в реальном времени технологическим процессом;
- контроля реологических характеристик пищевых продуктов, их нахождение в заданных нормативных пределах;
- расчет необходимых для отображения значений;
- информационное взаимодействие;
- обеспечение общей и информационной безопасности.

1.3.3. Требования к техническому обеспечению

Все управляющие объекты автоматизации должны соответствовать требованиям функциональной достаточности, то есть способности реализовывать с заданными показателями качества функции, которые соответствуют их назначению.

Все средства автоматизации и оборудования, которые используются в АСУ ТП, должны отвечать требованию стабильной работы, то есть должно по возможности выполнять работу в режиме непрерывной круглосуточной работы.

В блоке управления должны быть расположены все аппаратные модули контроллера, необходимые для работы системы. Помещение, в котором устанавливают оборудование, должно соответствовать требованиям инструкций по проектированию зданий, помещений для электронно-вычислительных машин.

Все электрические средства должны быть расположены во взрывоопасных зонах и иметь уровень взрывозащиты, соответствующий требованиям [17].

Оборудование АСУ ТП должно обеспечивать степень защиты не ниже IP65 для составляющих, устанавливаемых вне помещений, не ниже IP42 – внутри помещений [18].

В соответствии с [19] и [20], для корректной работы оборудования в рабочих помещениях должны соблюдаться необходимые условия.

Необходимо постоянное проведение периодического технического обслуживания абсолютно всех используемых технических средств и компонентов. Порядок проведения данной операции устанавливается в соответствии с требованиями, которые указывает производитель.

1.3.4. Требования к программному обеспечению

Программные средства АСУ ТП должны отвечать следующим требованиям:

- модифицируемость;
- надежность;
- модульное построение;
- функциональная полнота;
- удобство применения.

Программные модули АСУ ТП связывает все элементы системы в единое целое. Программные модули должны обеспечить удобный человеко-машинный интерфейс, и быть достаточными для разработки требуемого набора функций заданной системы, обеспечить взаимодействие с базовыми аппаратными средствами, взаимодействие с пользователем.

Для создания специализированного прикладного ПО используемые инструменты должны включать в себя различные языки программирования (технологические, универсальные). Языки технологического программирования должны соответствовать стандарту IEC 61131-3.

1.3.5. Требования к функциям системы

АСУ ТП должна соответствовать требованиям, определенным в ГОСТ 24.104-85 ЕСС АСУ «Автоматизированные системы управления. Общие требования». Согласно стандарту, АСУ ТП должна обеспечивать следующие функции:

- автоматический и ручной режимы управления технологическим процессом;
- автоматизированный сбор и предобработку данных;
- контроль состояния процесса и предупреждающие сигналы при выходе за установленные границы;
- управление технологическим процессом в реальном времени;

- вывод информации в удобном для пользователя виде;
- непрерывную передачу данных на верхний уровень предприятия в автоматическом режиме;
- обеспечение защиты системы от несанкционированного доступа и недопустимых действий пользователей;
- предоставление функций энергосбережения и автоматической диагностики системы.

2. ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ АСУ ТП С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПЬЕЗОРЕЗОНАНСНОГО ДАТЧИКА

2.1. Пьезорезонансный датчик

Особенностью разрабатываемой системы является то, что улучшение технико-эксплуатационных характеристик датчиков физико-механических характеристик жидких сред достигается не за счет применения достаточно сложных и дорогих аппаратно-программных средств, а за счет использования нелинейных принципов формирования измерительного сигнала, основанных на рациональном использовании различных режимов связанных колебаний в сложных системах многоэлементных первичных измерительных преобразователей.

Чтобы упростить и без того сложную аппаратную составляющую и уменьшить стоимость оборудования предлагается использовать датчики на базе составных ПЭТ с расширенными функциональными возможностями, то есть данные устройства при правильной настройке позволяют измерять несколько параметров пищевой продукции одновременно. Для этого был выбран многопараметрический датчик с тремя степенями свободы.

Планируется, что многопараметрический датчик с тремя степенями свободы на базе составных ПЭТ (рис. 2.1) будет состоять из трех ЧЭ, соединенных средой (элементом связи разной протяженности). Расстояния между ЧЭ обуславливают характер зависимости акустического сопротивления элемента связи от измеряемых параметров. Например, если длина ЭС больше четверти длины волны, то сильнее проявляются инерционные (индуктивность) свойства датчика. Если ЭС короче четверти длины волны, то между ЧЭ преобладают упругая связь (емкость). Длина волны рассчитывается по стандартной формуле (1):

$$\lambda = v / f; \tag{1}$$

где v – скорость волны в среде, м/с;

f – частота волны, Гц.

Отсюда следует, что элементы связи крайних ПЭТ со средним резонатором (ПЭТ) будут иметь преобладающий инерционный или упругий характер. ЭЭСЗ такого датчика можно представить в виде цепочки из трех взаимосвязанных между собой колебательных контуров, которые соединены между собой через индуктивность и емкость [21].

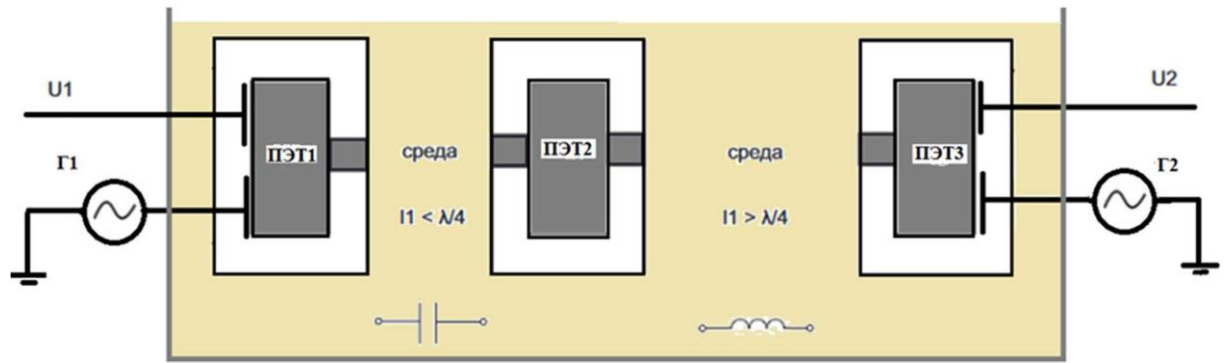


Рис. 2.1 Устройство многопараметрического датчика с тремя степенями свободы.

Исследование режимов работы такого первичного измерительного преобразователя было осуществлено путем имитационного моделирования динамики колебательных процессов в среде Micro-Cap с использованием ЭЭСЗ чувствительного элемента датчика (рис. 2.2).

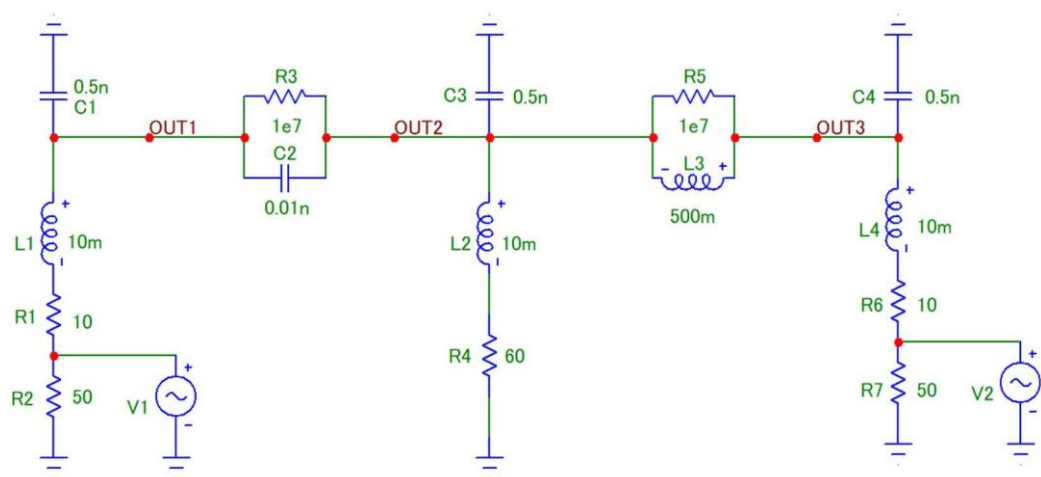


Рис. 2.2 ЭЭСЗ ЧЭ многопараметрического датчика с тремя степенями свободы.

Математическое описание нелинейных динамических процессов в таких сложных системах является достаточно трудной задачей. Для этой цели могут быть использованы современные нейроинформационные технологии, машинное обучение, искусственный интеллект.

В упрощенном виде аналитические соотношения, описывающие динамику связанных колебаний в системах с тремя степенями свободы, могут быть представлены зависимостью вида (2):

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 - \mu_1 F_1(x_1) \dot{x}_1 + n_1^2 x_1 = \gamma_{11} \ddot{x}_2 + \gamma_{12} \dot{x}_2 + \gamma_{13} x_2 \\ \ddot{x}_2 - \mu_2 F_2(x_2) \dot{x}_2 + n_2^2 x_2 = \gamma_{21} \ddot{x}_1 + \gamma_{22} \dot{x}_1 + \gamma_{23} x_1 + \gamma_{31} \ddot{x}_3 + \gamma_{32} \dot{x}_3 + \gamma_{33} x_3 \\ \ddot{x}_3 - \mu_3 F_3(x_3) \dot{x}_3 + n_3^2 x_3 = \gamma_{31} \ddot{x}_2 + \gamma_{32} \dot{x}_2 + \gamma_{33} x_2 \end{cases} \quad (2)$$

где x – безразмерная переменная;

n – собственная частота колебательного контура;

μ – малый параметр, характеризующий близость системы к линейной;

$F(x)$ – функция, определяющая нелинейность колебательного контура;

γ – коэффициенты связи (γ_1 – емкостной, γ_2 – индуктивной и γ_3 – диссипативной составляющих).

В связи с этим для исследования режимов работы датчика такого типа было проведено имитационное моделирование с использованием программы MicroCap.

Рассмотрим работу датчика в различных режимах. При эмуляции возбуждения колебаний в системе с помощью генераторов синусоидального сигнала со стороны одного из боковых ПЭТ можно получить следующие графики АЧХ (рис. 2.2 – 2.6):

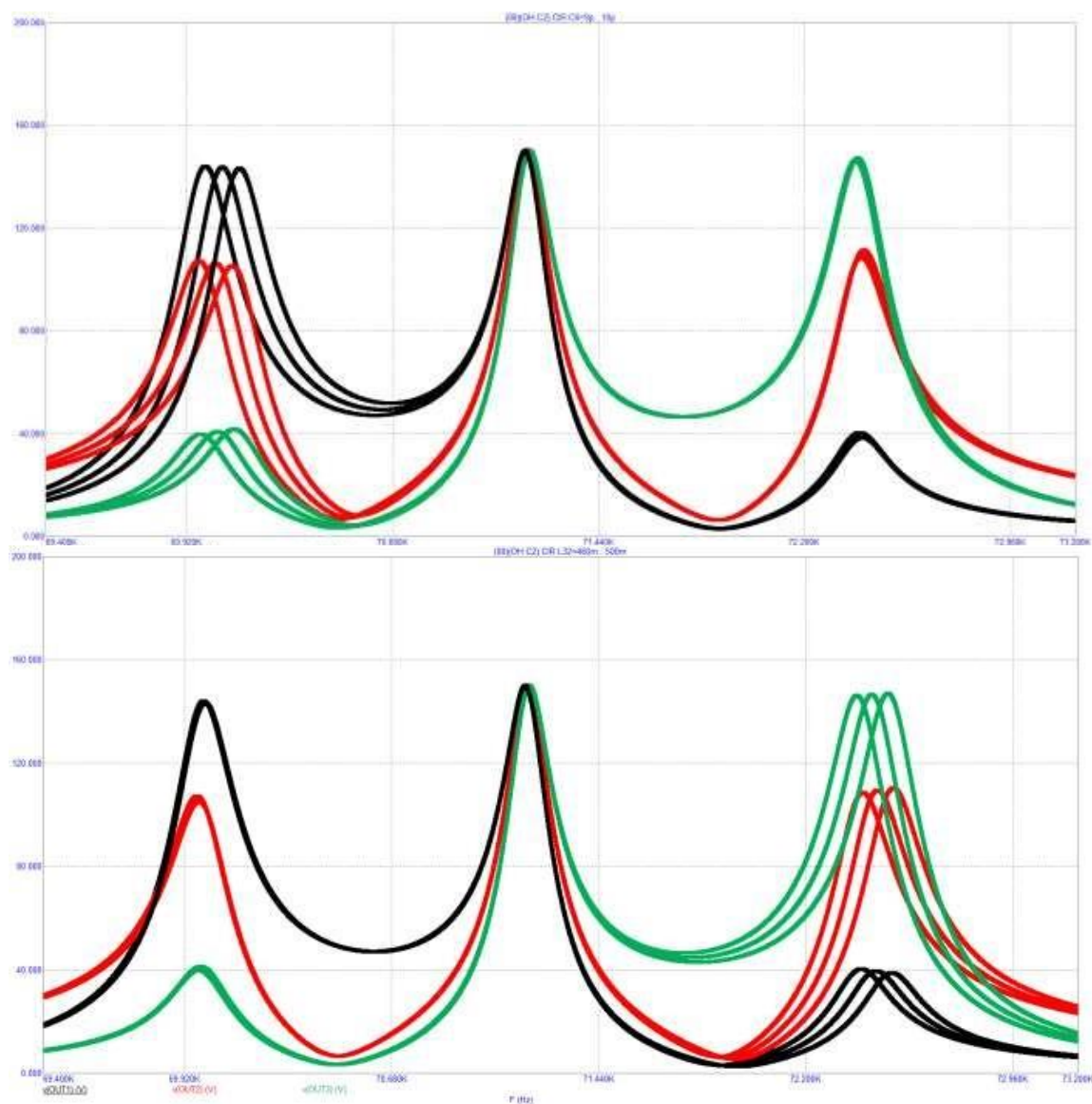
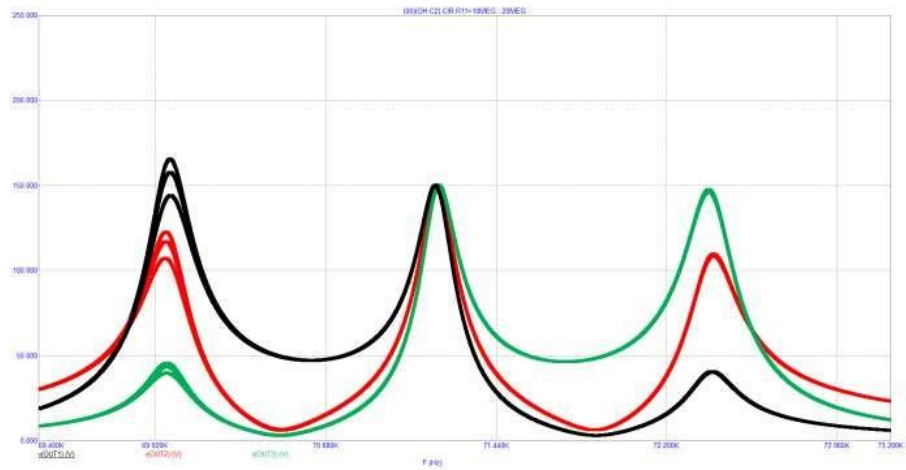
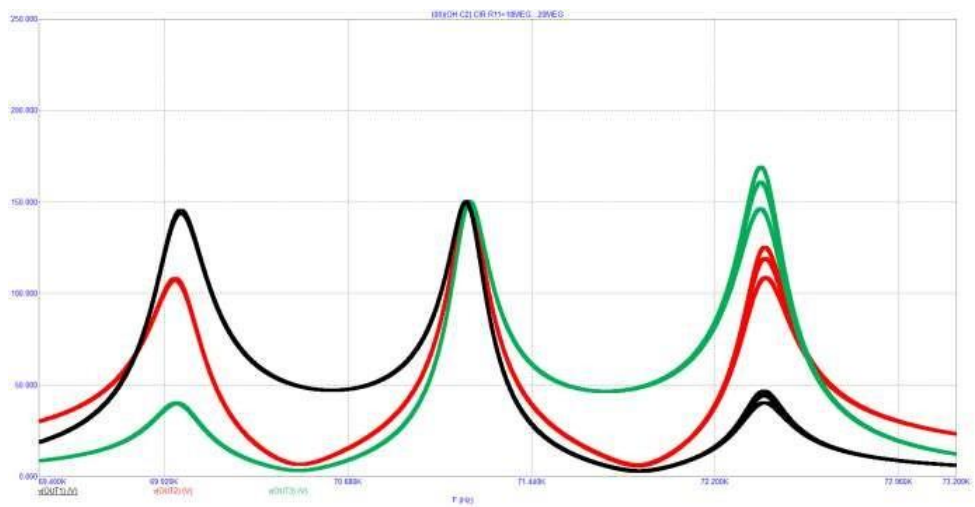


Рис. 2.3 АЧХ резонаторов (ПЭТ1, ПЭТ3) при изменении температуры (упругости) среды (C2 при возбуждении ПЭТ1) и плотности среды (L3 при возбуждении ПЭТ3): черным цветом обозначен сигнал, снятый с выхода OUT 1 ЭСС3, зеленым цветом – с выхода OUT 2, красным цветом – с выхода OUT 3.



а)



б)

Рис. 2.4 АЧХ резонаторов (ПЭТ1, ПЭТ3) в функции вязкости среды: а- изменяется R3 при возбуждении ПЭТ1; б - R5 при возбуждении ПЭТ3; черным цветом обозначен сигнал, снятый с выхода OUT 1 ЭСС3, зеленым цветом – с выхода OUT 2, красным цветом – с выхода OUT 3.

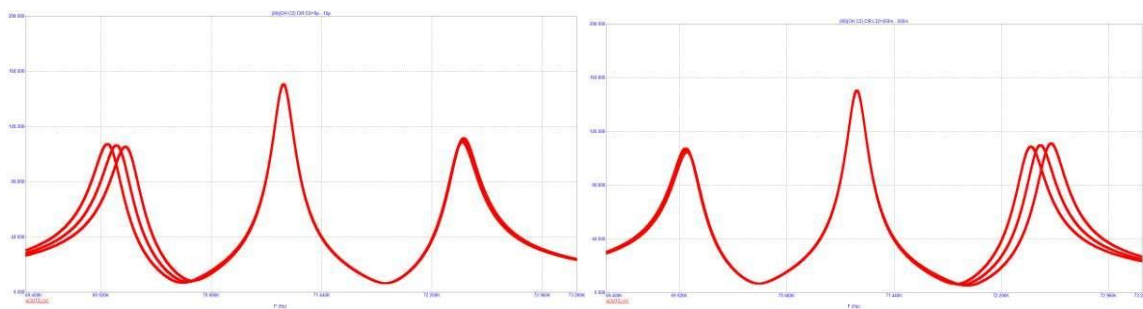


Рис. 2.5 АЧХ ПЭТ1 при изменении упругости среды и АЧХ ПЭТ3 при изменении плотности среды.

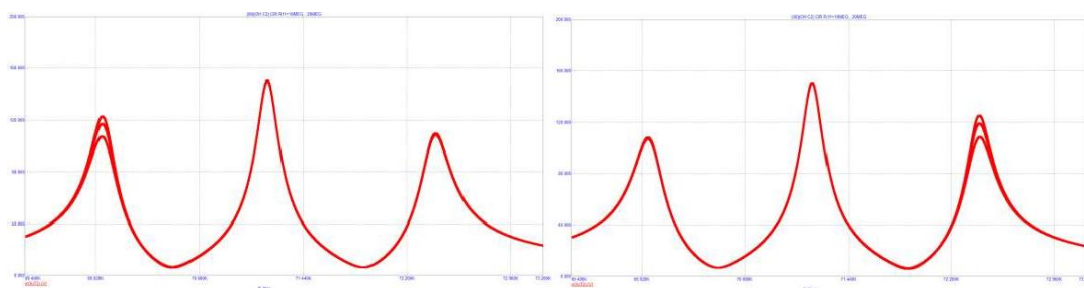


Рис. 2.6 АЧХ ПЭТ1 и АЧХ ПЭТ3 при изменении вязкости среды.

С помощью АЧХ было установлено, что при возбуждении первого пьезорезонатора и изменения емкости конденсатора $C2$ с определенным шагом пик амплитуды происходит на другой частоте. Если возбуждать электрическими сигналами второй пьезорезонатор, то при изменении индуктивности катушки $L3$ с определенным шагом происходит то же самое, но на крайних справа частотах [22]. Следовательно, на емкостном ЭС будет измеряться упругость для твердых сред, температура для жидких, а на индуктивном плотность и масса соответственно. Если изменяется амплитуда вне зависимости от режима измерения, то при преобразовании и линеаризации параметров получают показатели вязкости для жидких и трения для твердых сред.

2.2. Структурная схема системы автоматизации

Структурная схема разрабатываемой системы представлена на рисунке 2.7:

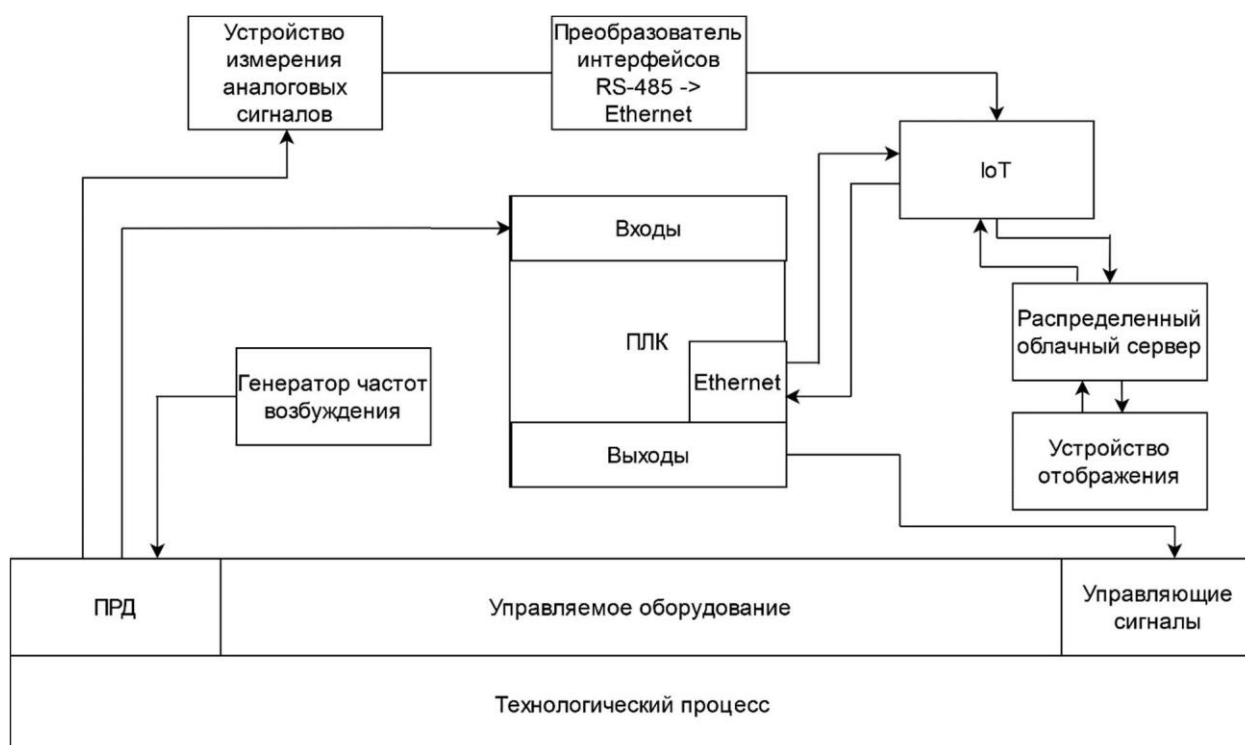


Рис. 2.7 Структурная схема системы автоматизации.

Предполагается, что ПРД будут установлены, например, в баках для смешивания ингредиентов, и будут измерять сразу несколько реологических параметров продукта. Для запуска ПРД необходимо будет подать на него возбуждающие электрические сигналы высокой частоты с помощью автоколебательного генератора частот. Для измерения величины переменного напряжения с датчика, его необходимо выпрямлять, так как все измерительные системы, от простейшего стрелочного прибора до цифрового, работают с постоянным напряжением. В режиме реального времени сигналы с ПРД поступают на измерительные схемы. Выпрямленное напряжение различного значения преобразуются в цифровой вид и, проходя преобразователь интерфейсов, будет передаваться с помощью маршрутизатора IoT на распределённый облачный сервер, где будет осуществлена обработка и конвертирование. С частотного выхода измерительной схемы сигналы определенной частоты после преобразования в прямоугольные сигналы будут передаваться на импульсные входы ПЛК. На основе этой информации будем получать значение частоты колебаний ПРД.

Посчитанные значения далее будут переданы также на маршрутизатор и отправятся на сервер для конвертации. Затем, эти показатели отобразятся на устройстве у оператора. Так же с устройства оператора предполагается отправлять управляющие сигналы на оборудование через ПЛК, например, для открытия подачи нужного ингредиента в емкость при достижении определенной консистенции продукта.

2.3. Программируемый логический контроллер

ПЛК – микропроцессорное устройство, предназначенное для управления технологическими процессами в промышленности и другими сложными технологическими объектами.

Принцип работы ПЛК заключается в сборе сигналов от датчиков и их обработке по прикладной программе пользователя с выдачей управляющих сигналов на исполнительные устройства.

Архитектура ПЛК практически не отличается от архитектуры компьютера. Отсутствует видеоплата, дисковая подсистема, средства ручного ввода.

Контроллеры обычно не имеют дисплеев, модулей ввода таких, как клавиатура, и следовательно, не могут управляться напрямую. Диагностика и управление ПЛК осуществляется с помощью ПК и специализированного ПО, включая средства разработки. Подключение осуществляется с помощью интерфейсов обмена данными такими как RS-232, RS-485, Ethernet и т. п. ПЛК устанавливаются в шкафах управления на динрейку и подключаются к обычным промышленным блокам питания.

В АСУ ТП ПЛК обменивается данными с помощью человеко-машинного интерфейса и компьютеризированных рабочих станций. Например, они могут взаимодействовать с SCADA-системами (системами сбора и анализа данных), которые предоставляют операторам графический интерфейс для мониторинга и управления процессами. [23].

ПЛК состоит из микроконтроллера, который представляет собой микропроцессорную систему с собственной памятью, периферийными устройствами и таймерами (рис. 2.8).

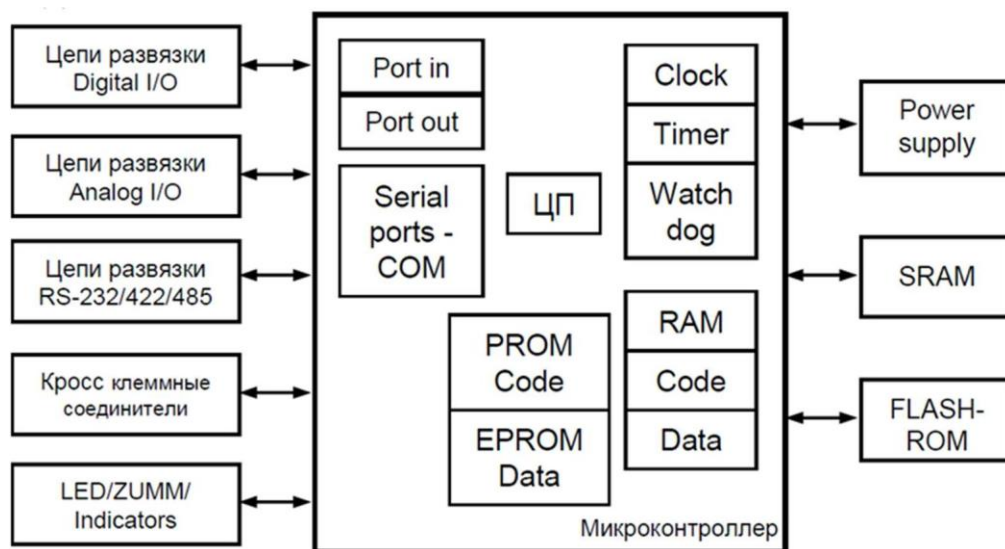


Рис. 2.8 Программируемый логический контроллер.

ЦП – основной вычислительный модуль контроллера, который обеспечивает выполнение программы управления и координацию работы других компонентов устройства.

Оперативная память (RAM) разделена на несколько частей. Обычно это память программ и память данных.

PROM Code используется для непосредственного хранения программ и библиотек ввода-вывода.

EPROM Data предназначен для хранения параметров настройки и константных переменных системы управления.

Clock – блок внутренних часов, счетчиков времени, таймеров, таймеров специального назначения.

Port in/out – параллельные порты ввода и вывода.

Serial ports – последовательные интерфейсы, в частности COM-порты.

Виды внешних схем развязки микроконтроллера и их количество в основном определяют конфигурацию ПЛК:

- *цены развязки Digital I/O* – дискретные порты ввода-вывода с гальванической развязкой;
- *цены развязки Analog I/O* – аналоговые порты ввода-вывода с цепями защиты от переплюсовки, скачков напряжения и цепи искрогашения, АЦП и ЦАП;
- *цены развязки RS-232/422/485* – COM-порты, использующиеся для подключения устройств и систем к ПЛК и обеспечения безопасной передачи данных;
- *LED/ZUMM/Indicators* – предназначены для отображения статуса и состояния входных и выходных модулей, звукового оповещения о произошедших событиях, а также для отображения информации о состоянии системы;
- *SRAM* – внешнее ОЗУ статического типа, которое предназначено для хранения программ или данных;
- *FLASH-ROM* – внешний накопитель хранения файлов и папок.

Если система управления является распределённой, то дискретные и аналоговые сигналы могут передаваться с ПЛК на модули ввода-вывода, которые подключаются к ПЛК по шине. Данный вариант обеспечивает более эффективное распределение функций, а также делает систему более надёжной [24].

Выбор количества и типов последовательных портов на ПЛК определяется в зависимости от задачи. Как правило, контроллеру для обмена данными с ПК, модулями визуализации и модулями ввода-вывода выделяется один из последовательных портов RS-232. Для передачи данных по данному интерфейсу используется специальное программное обеспечение. Остальные последовательные интерфейсы могут быть различных типов, включая порты Ethernet и USB. Выбор пользователем портов, таких как RS-232, RS-422 и RS-485, происходит путем установки механических перемычек на печатной плате устройства [25].

Автоматизация производства в современном мире очень сильно позволяет снижать издержки и затраченное время для производства товаров. На сегодняшний день автоматизация технологического процесса не представляет решения без программируемых логических контроллеров. Огромная польза заключается в автономном режиме работы, даже если условия, в которых будет работать устройство не самые благоприятные. Контроллеры считаются независимым механизмом и вместе с вспомогательными модулями представляют многофункциональное устройств, что отличает их от множества других электрических устройств, используемых в этой сфере деятельности. Сейчас на рынке продаж представлен достаточно большой ассортимент оборудования различных производителей из разных стран, таких как Япония, Китай, Россия и другие. Одними из крупнейших мировых производителей ПЛК являются компании такие как Siemens, Schneider Electric, Delta, Omron, Mitsubishi Electric и другие. Из российских производителей ПЛК можно выделить Овен, Segnetics, Текон, Fastwel [26].

Если смотреть глобально, то в целом ПЛК всех производителей похожи по своим характеристикам. Но существуют разные критерии, которые отличают их друг от друга. Существуют общие понятия.

Главная характеристика контроллера при выборе – это число точек ввода и вывода для подключения наибольшего количества датчиков, исполнительных устройств, устройств управления.

Тип ПЛК выбирается исходя из поставленных задач и целей. В некоторых условиях это может быть моноблочный контроллер, а в других ПЛК с расширенными возможностями.

При программировании можно столкнуться с недостаточной производительностью контроллера. Цикл программы может достигать сотни миллисекунд. Оценивается это только путем написания программы. Размер программы также ограничен и определяется системными характеристиками

контроллера. Согласно статистике, лишь 25% общего объема рабочей программы занимает управление технологическим процессом.

Сравним несколько видов ПЛК, подходящих для реализации нашей задачи. На выбор взято четыре наиболее популярных производителей ПЛК из четырех стран. В их составе Япония, Германия, Россия и Франция. Выбраны контроллеры, подходящие для заданных промышленных условий: Omron 1P2, ОВЕН 110, Schneider Electric 172, Siemens S7. Сравнительная характеристика этих видов ПЛК представлена в табл. 2.1:

Таблица 2.1

Характеристики ПЛК

Параметры	Omron NX1P2	ПЛК Овен 110	ПЛК 172 Schneider Electric	ПЛК Siemens S7
Напряжение питания	24 В постоянного тока	24В /~220В	24В /~220В	24 В (пост. ток)
Центральный процессор	ЦПУ серии CJ1, 32-разрядный RISC-процессор	32-разрядный RISC- процессор 200 МГц	LPC1778 is Cortex-M3	CPU 1212C
Объем оперативной памяти	64 Мб	8 Мб	32 Мб	2 Кб
Объем энергонезависимой памяти	1 х слот для карты SD	4 Мб	5 Мб	1 Мб
Потребляемая мощность	7 Вт	6 Вт	15 Вт в 24 В пер/пост.тока	4 Вт
Поддерживаемые интерфейсы	RS-232 Порт USB Порт EtherNet/IP Порт EtherCAT	Ethernet, RS-232, USB Type A	1 порт CAN 2 RS 485 1 Ethernet – RJ45	RS-485
Макс. кол-во точек ввода/вывода	24 вх/16 вых, до 10 модулей NX	18 DI 14 DO	12 DI 12DO 12AI 6AO	8 DI 6 DO 2 AI 0 AO
Максимальная частота подаваемых сигналов на импульсные входы	500 КГц	100 КГц	200 КГц	100 КГц
Время выполнения инструкции	3,3 нс	Мин. 0,25 мс, типичное от 1 мс	1 мс	0,0001 мс

Рабочая температура	0 до +80 °С	-10 до +55 °С	-20 до 65 °С	0 до +60 °С
Среда разработки	Sysmac Studio	CoDeSys-2.3 и выше	EcoStruxure Machine Expert – HVAC	TIA Portal v.13
Язык программирования	LD, ST	IL, ST, LD, SFC, FBD	IL, ST, LD, SFC, FBD + доп. язык CFC	IL, ST, LD, SFC, FBD
Стоимость	От 80000 рублей	от 30000 рублей	от 55000 рублей	от 48000 рублей

Выбор был сделан в пользу программируемого логического контроллера фирмы «ОВЕН».

ПЛК Овен 110 — это программируемый логический контроллер, который имеет несколько преимуществ (рис. 2.9):

1. Широкий диапазон входных и выходных сигналов: ОВЕН 110-32 имеет 18 цифровых входов, 12 цифровых выходов, что позволяет контролировать и управлять различными процессами.

2. Высокая скорость выполнения задач: благодаря процессору с тактовой частотой 200 МГц и объему оперативной памяти 512 КБ, ОВЕН 110 способен быстро обрабатывать и реагировать на сигналы в режиме реального времени.

3. Простота использования и программируемости: ОВЕН 110 имеет интуитивно понятный и удобный интерфейс, который позволяет быстро создавать и редактировать программы на специальных языках программирования IL, ST, LD, SFC, FBD.

4. Высокая надежность и долговечность: благодаря использованию качественных компонентов и специализированного корпуса, ОВЕН 110 имеет высокую степень защиты от вибрации, воздействия пыли и влаги и обладает длительным сроком службы.

5. Низкая стоимость: ПЛК 110 отличается небольшой ценой по сравнению с аналогами и является отличным выбором для различных задач автоматизации процессов в промышленности, сельском хозяйстве, энергетике и других отраслях.

6. Поддерживаются интерфейсы такие как Ethernet, RS-232 Debug, RS-232, USB Type A.



Рис.2.9 ОВЕН ПЛК 110-32.

2.4. Преобразователь тока

Для питания аппаратных составляющих системы необходим преобразователь тока (рис. 2.10). Для этого была выбрана модель ПТ-5, Данная модель используется для преобразования переменного тока с эффективным значением от 0 до 5 А в постоянный ток диапазона от 4 да 20 мА по линии электропитания. Характеристики представлены в табл. 2.2:

Таблица 2.2

Характеристики ПТ-5

№	Параметры	Характеристики
1	Диапазон значений входного переменного тока	от 0 до 5 А
2	Максимально допустимый ток через входные клеммы	25 А
3	Частота входного переменного тока	от 45 до 65 Гц
4	Диапазон значений выходного постоянного тока	от 4 до 20 мА
5	Максимальная погрешность преобразования	0,5%
6	Напряжение питания	от 15 до 27 В постоянного тока
8	Средняя наработка на отказ	10000 часов

9	Температура окружающей среды	От -40 до +90
10	Срок эксплуатации	10 лет

Преобразователь располагается в пластиковом корпусе. Сам корпус оснащён узлом крепления на DIN-рейку. Входное воздействие подается двумя методами:

- провод с током пропускается через отверстие диаметром 6 мм в корпусе;
- в контролируемую электрическую цепь включаются последовательно входные клеммы преобразователя.

Источник электропитания подключается к клеммам. Потребляемый ток от источника электропитания, меняется в диапазоне от 4 до 20 мА при изменении входного тока от 0 до 5 А.

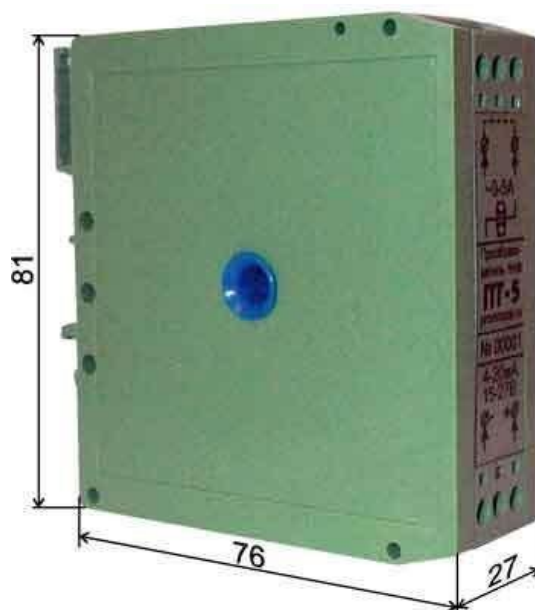


Рис.2.10 Преобразователь тока ПТ-5.

2.5. Электронная схема датчика

Электронная составляющая датчика (рис 2.11, 2.12) представляет собой герметичный бокс с блоком управления ЧЭ, в котором расположены автоколебательный генератор частот, амплитудный и частотный выходы, (рис. 2.13, 2.14). Также на нем расположены кнопки для выбора пьезоэлемента для возбуждения и информационный экран. Для подачи

требуемого напряжения на схему используется внешний блок питания, который питается от сети 220 В. В зависимости от требуемого опорного напряжения для, например АЦП, имеется возможность его задания.



Рис. 2.11 Внешний вид электронной части датчика.

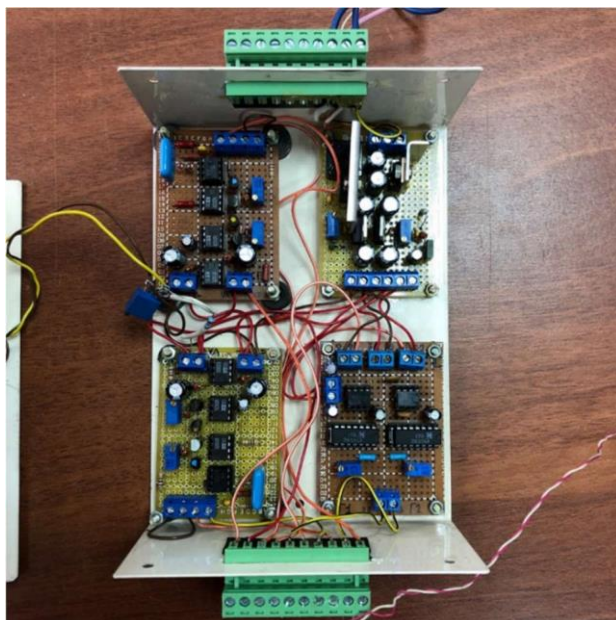


Рис. 2.12 Блок управления ЧЭ (вид изнутри).

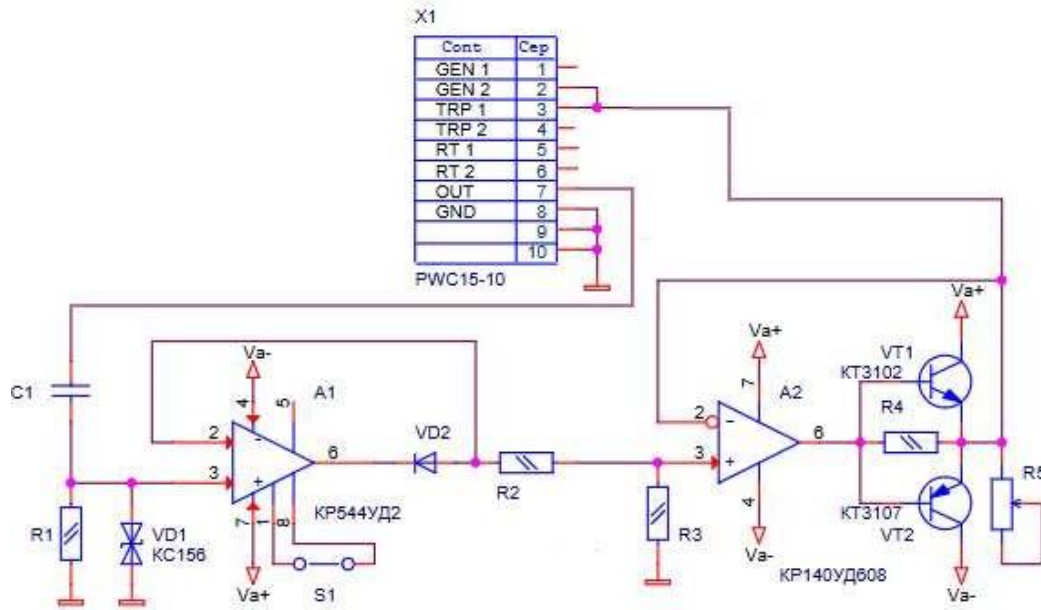


Рис. 2.13 Схема ИП с частотным выходом электрическая принципиальная.

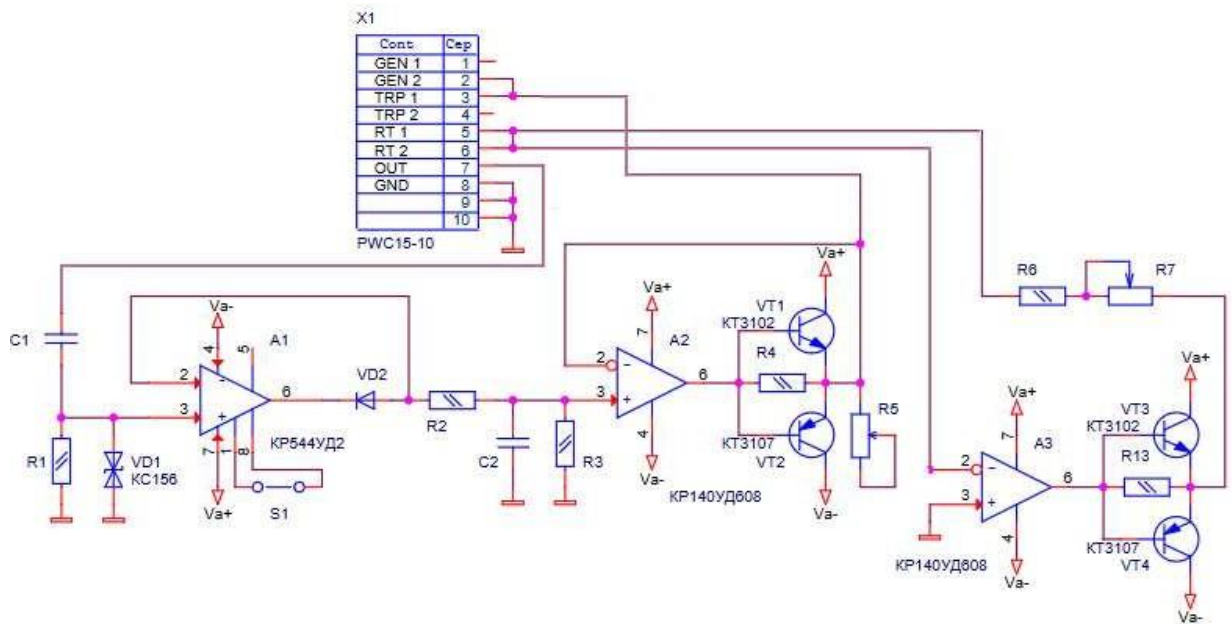


Рис. 2.14 Схема ИП с амплитудным выходом электрическая принципиальная.

Частотные выходы датчика подключаются к импульсным входам ПЛК, далее контроллер будет передавать по протоколу MODBUS значения с программного счетчика.

Сигналы с амплитудных выходов будут подаваться на входы устройств с АЦП для их последующий конвертации в цифровые значения.

2.6. Устройство измерения аналоговых сигналов

Для выполнения преобразования снятых с ПРД выпрямленных амплитудных сигналов в дискретную форму, из доступных и входящих в средний ценовой сегмент устройств, был выбран модуль ввода-вывода ОВЕН MB110-224.2A (рис. 2.15). Данный прибор широко используется для построения автоматизированных ССД в различных областях промышленности, сельского и коммунального хозяйства и транспорта.

Основные функции этого устройства – это измерение аналоговых сигналов со встроенных аналоговых входов, преобразование измеренных значений в цифровой сигнал и дальнейшая передача на вычислительное устройство с помощью интерфейса RS-485 [27].



Рис. 2.15 Модуль ввода MB110-224.2A.

Технические характеристики прибора представлены табл. 2.3:

Таблица 2.3

Характеристики MB110

№	Параметры	Характеристики
1	Напряжение питания	Переменный ток 220В, 50Гц, Постоянный ток 24В
2	Количество аналоговых входов	2
3	Время опроса одного входа:	
	Термометры сопротивления	Не более 0,8 с
	Термоэлектрические преобразователи и унифицированные сигналы постоянного напряжения и тока, с, не более	Не более 0,4 с
4	Потребляемая мощность	Не более 6 ВА
5	Напряжение встроенного источника питания	24 ±3 В
6	Ток встроенного источника питания	Не более 50 мА
7	Интерфейс связи с компьютером	RS-485
8	Протокол связи, используемый для передачи информации	ОВЕН; ModBus-RTU; ModBus-ASCII; DCON
11	Средний срок службы	8 лет

2.7. SCADA-системы

SCADA-система – это программно-аппаратный механизм, который используется для управления технологическим процессом, сбором данных и понятным для пользователя отображением данных. Основная задача управление множеством удаленных объектов. Сама модель системы в обязательном порядке состоит из трех элементов, которые непосредственно находятся в постоянном взаимодействии между собой:

- удаленный терминал (RTU);
- терминал диспетчера (MTU);
- системы коммуникации, связывающие RTU и MTU.

Удаленный терминал (RTU) подключен к контролируемому объекту. Обработка управления и контроля осуществляется в режиме реального времени. В качестве терминала может быть датчик с примитивным способом взаимодействия, который занимается съемом информации с объекта и

управлением в режиме реального времени, а также специализированные многопроцессорные специальные вычислительные комплексы.

MTU действует как человеко-машинный интерфейс и обеспечивает обработку выходных данных и управление в режиме реального времени для человека, воспринимающего информацию. В качестве MTU может быть обычный ПК, соединенный с несколькими источниками связи или огромный вычислительный механизм с терминалами.

Системы связи необходимы для передачи данных с удаленного терминала на терминал диспетчера. Таких линий передач существует достаточно разнообразное количество. Приведем некоторые из них:

- выделенные линии связи;
- мобильные сети;
- радиоволны;
- телефонные линии связи;
- ISDN-каналы.

Панель оператора – это устройство для ввода и вывода информации, разработанное как средство человеко-машинного интерфейса в системах автоматизации. Операторские панели могут взаимодействовать с одним или же несколькими промышленными контроллерами [28].

Панель оператора предполагает собою прибор с целью ввода и отображения определенной информации, подключенное к рабочему оборудованию с поддержкой специального программного обеспечения и подключенное к удаленному контроллеру или ПК для обмена данными.

Панели оператора в зависимости от их технологической сложности могут быть следующих типов:

1. Панель с текстовым дисплеем – здесь информация отображается на панели оператора в виде строк текста. Панель этого типа управляется подключенным промышленным контроллером. Она не имеет пользовательской программы управления.

2. Панель с графическим дисплеем – информация отображается в виде различных графических элементов. Этот тип панели очень удобен для визуализации даже для не очень квалифицированного пользователя.

3. Сенсорная панель – это устройство с сенсорным экраном, управление которым осуществляется нажатием на сам экран. Обычно на нем совсем нет кнопок.

4. Панельный ПК – это максимально приближенная к нынешней современной панели оператора ПК, которая сама по себе имеет аналогичное устройство и производительность, а также обширные возможности программирования.

Преимущества современных HMI-панелей:

1. Высокоскоростные процессоры современных панелей управления обеспечивают высокую скорость обработки информации и данных.

2. Панели потребляют небольшое количество энергии и предназначены для защиты самого устройства от любых механических воздействий.

3. Устройства имеют малые габариты, что позволяет гораздо удобнее размещать панель.

4. Некоторые модели имеют возможность варьировать положение экрана, выбирая вертикальное или горизонтальное положение.

5. Пакеты программного обеспечения панели оператора включают библиотеку графических элементов, которая упрощает работу по созданию экранных страниц.

6. Устройства также легко подключаются к разному оборудованию через USB-порты – при необходимости к панели оператора можно подключить сканер, принтер, съемный диск и другое различное оборудование.

Для решения нашей задачи будем использовать систему MasterSCADA.

MasterSCADA – это простая, современная SCADA-система, которая обеспечивает обработку, управление, хранение и визуализацию

технологических процессов. К главной задаче проекта можно отнести простоту и удобство использования для конечного пользователя [29].

3. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ

В рамках выпускной квалификационной работы было выполнено проектирование и разработка системы контроля реологических свойств пищевых продуктов. Система может быть использована в качестве интерактивного инструмента для управления технологическим процессом проверки консистенции сыпучих и жидких продуктов и контроля за выполнением смешивания ингредиентов на предприятиях пищевой промышленности.

Программный модуль модели системы разработан в трех направлениях-блоках – программа-счетчик импульсов сигналов с многопараметрических датчиков на базе составных ПЭТ, панель управления оператора в MasterSCADA, программа отправки управляющих сигналов на оборудование.

3.1. Блок программы-счетчика импульсов с входов ПЛК

Чтобы формировать и передавать значения частоты ЧЭ по протоколу Modbus, необходимо подключать к импульсным входам ПЛК частотные выходы датчика. Для сохранения точности измерений со временем, так как пьезоэлементы подвержены старению, сигналы берутся с возбуждаемого ЧЭ и невозбуждаемого. Написанная программа позволяет считать разность импульсов с ЧЭ и передавать раз в 5 секунд полученную информацию по интерфейсу Ethernet.

Для опробования такого принципа формирования выходного сигнала датчика была выполнена с использованием двух энкодеров. Для этого на импульсные входы ПЛК DI1 и DI2 были подключены два энкодера, вращающиеся с разной частотой.

Затем была проведена настройка конфигурации проекта в программе CodeSys (рис. 3.1):

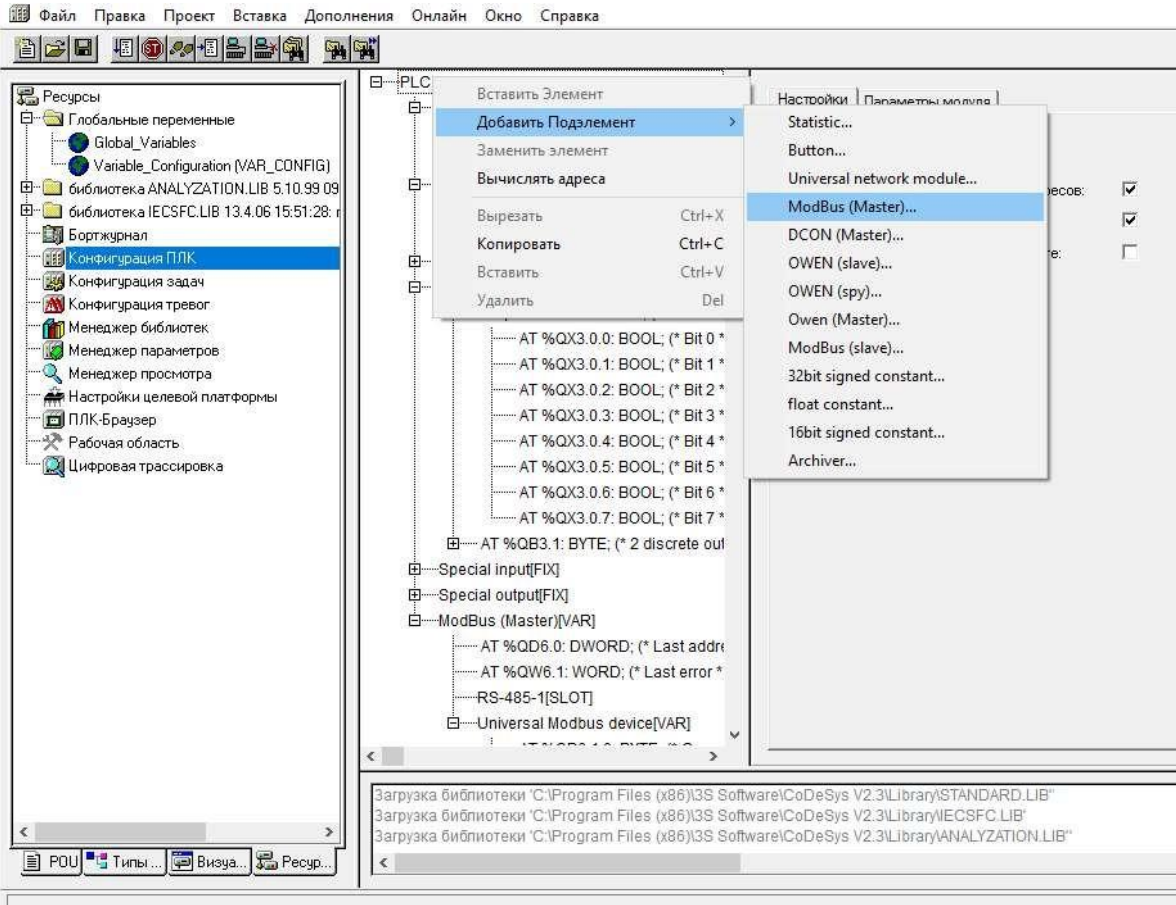


Рис.3.1 Конфигурация ПЛК 110.

Далее были настроены параметры обмена через интерфейс Modbus (рис. 3.2)

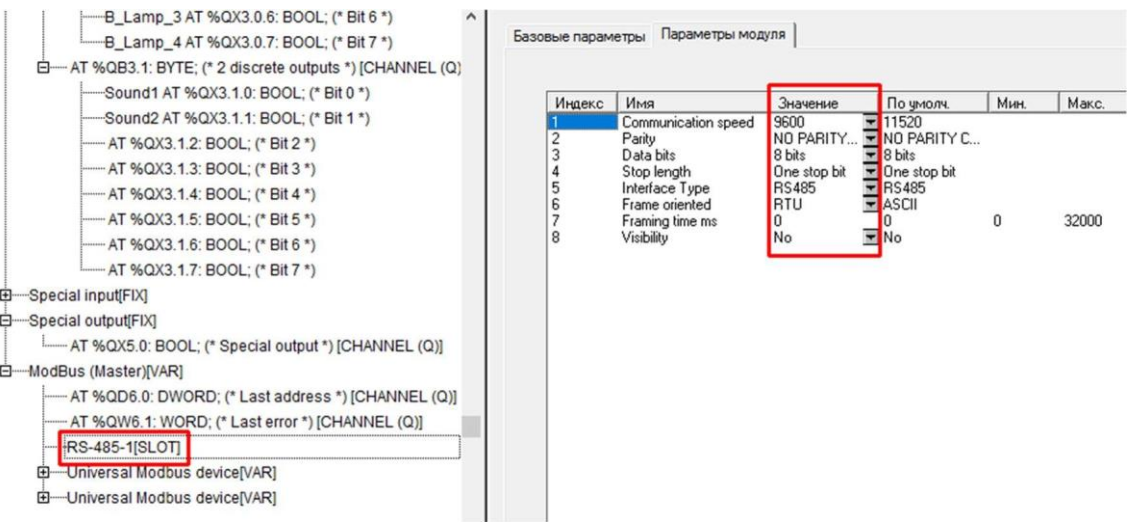


Рис. 3.2 Настройка параметров обмена.

Затем произведено добавление подэлементов проекта «UniversalModbusDevice» и «Registerinputmodule» для обмена с датчиками (рис. 3.3, 3.4).

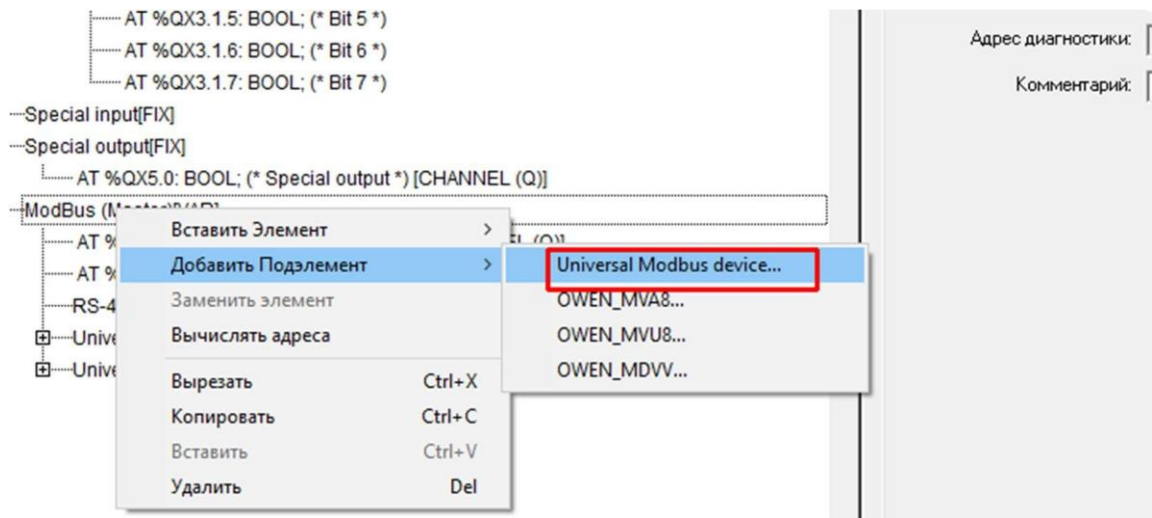


Рис. 3.3 Добавление подэлемента.

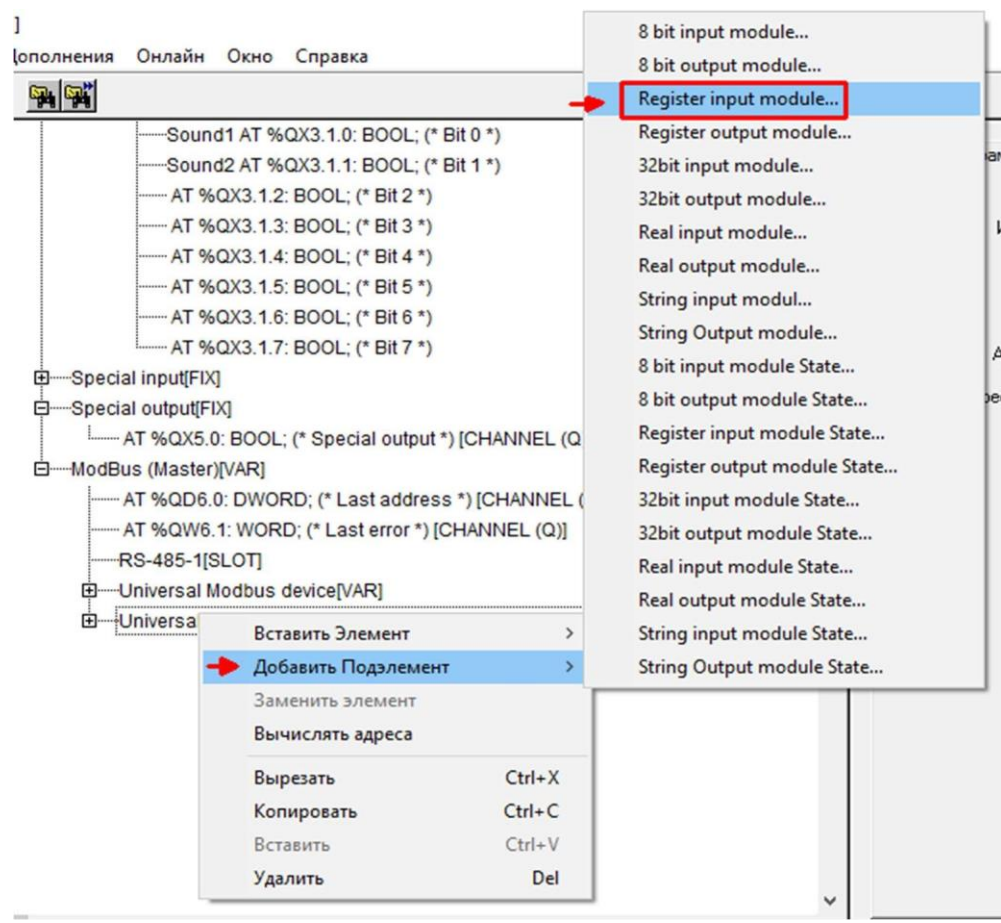


Рис.3.4 Добавление модулей.

После настройки протокола была написана программа на языке ST. На рисунках 3.5, 3.6 изображен алгоритм основной программы и подпрограмм обработчиков прерывания при изменении сигнала на входах DI1 или DI2 (листинг программы см. в Приложении):

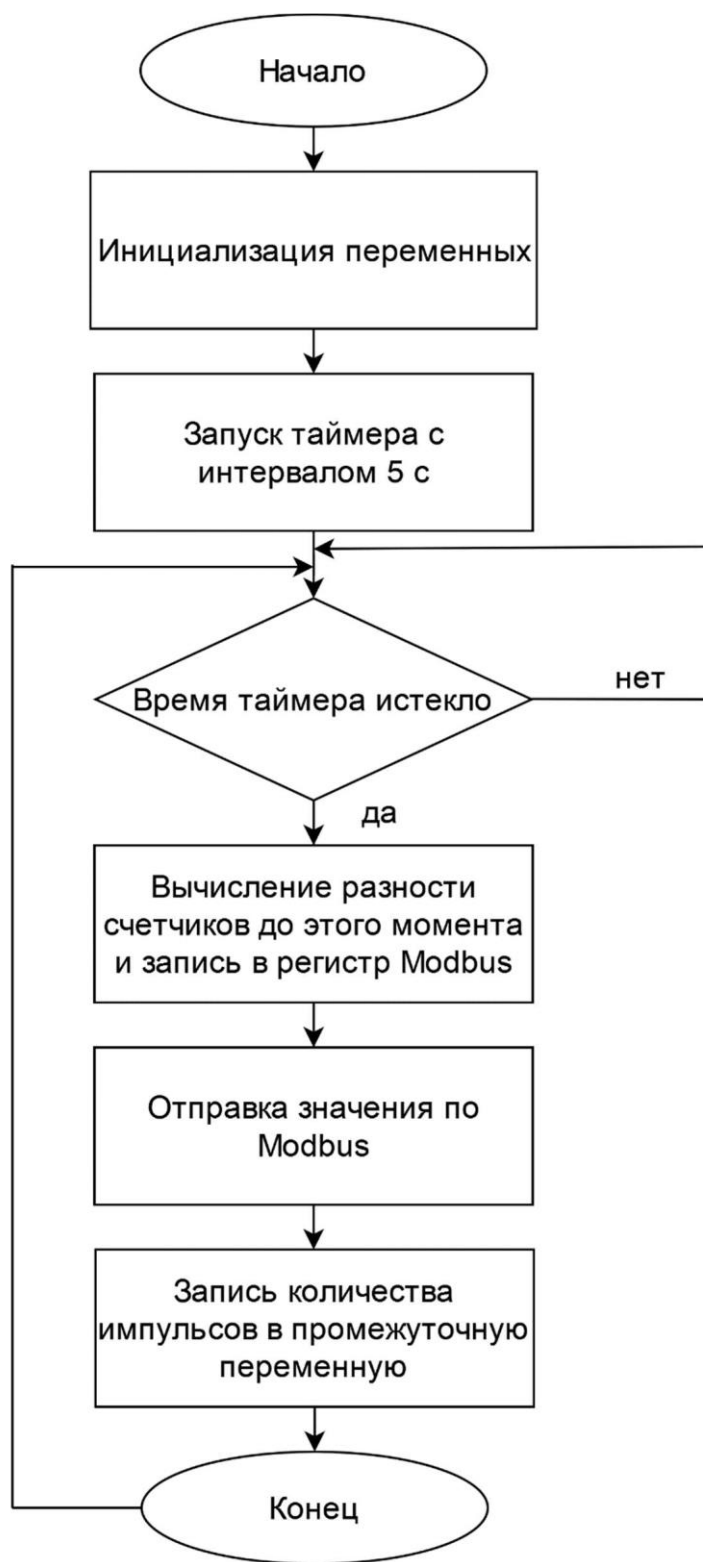


Рис.3.5 Алгоритм основной программы-счетчика импульсов.

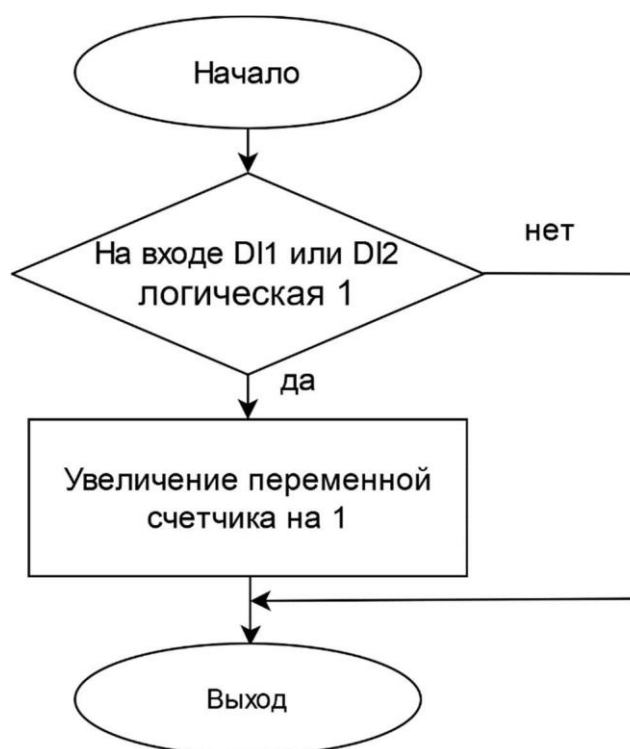


Рис.3.6 Алгоритм подпрограммы обработчиков прерывания при изменении сигнала DI1 и DI2.

3.2. Транслирование данных из MB110 в MasterSCADA

Чтобы успешно подключить устройство измерения аналоговых сигналов MB110, на вход которого подается выпрямленное напряжение с выхода датчика, к компьютеру необходим преобразователь интерфейса RS-485 в RS-232. После физического подключения с помощью преобразователя, было настроено программное с помощью OPC-драйвера для приборов Овен с интерфейсом RS-485 (рис. 3.7).

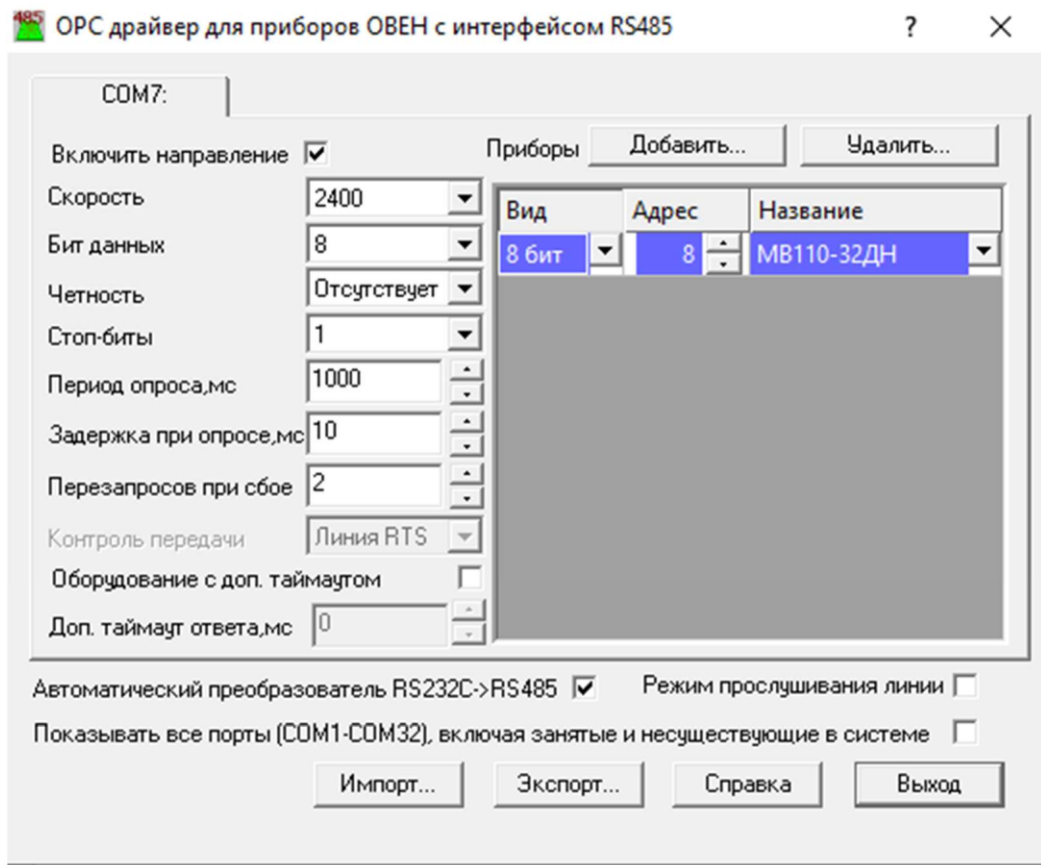


Рис. 3.7 Подключение MB110 к компьютеру.

Далее, устройство было подключено к проекту MasterSCADA (рис. 3.8).

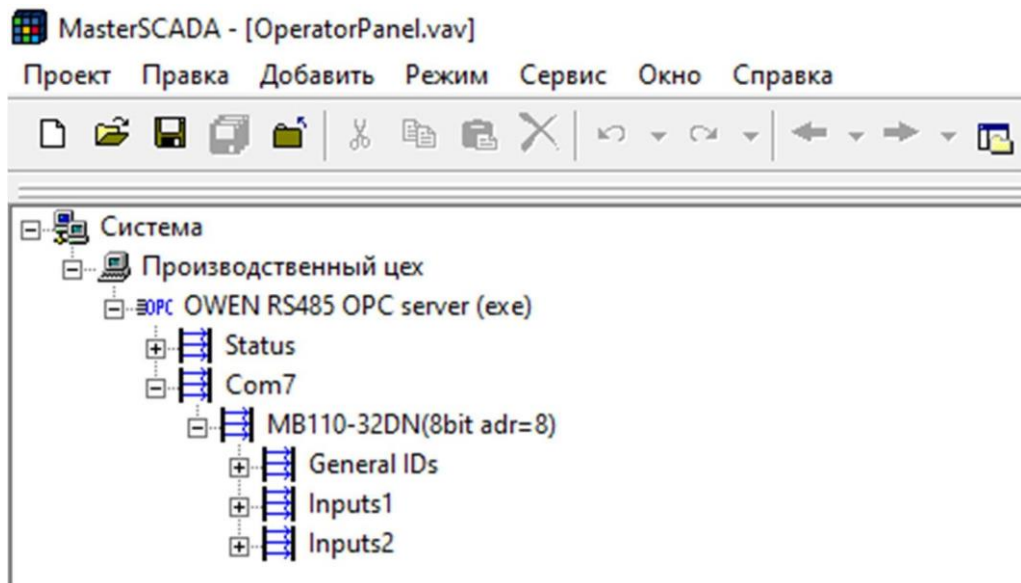


Рис. 3.8 Подключение устройства к проекту.

После успешной проверки чтения данных, были созданы объекты расчета значений вязкости продукта из считанных значений напряжений на ЧЭ датчика, а также панель отображения графика (рис. 3.9, 3.10).

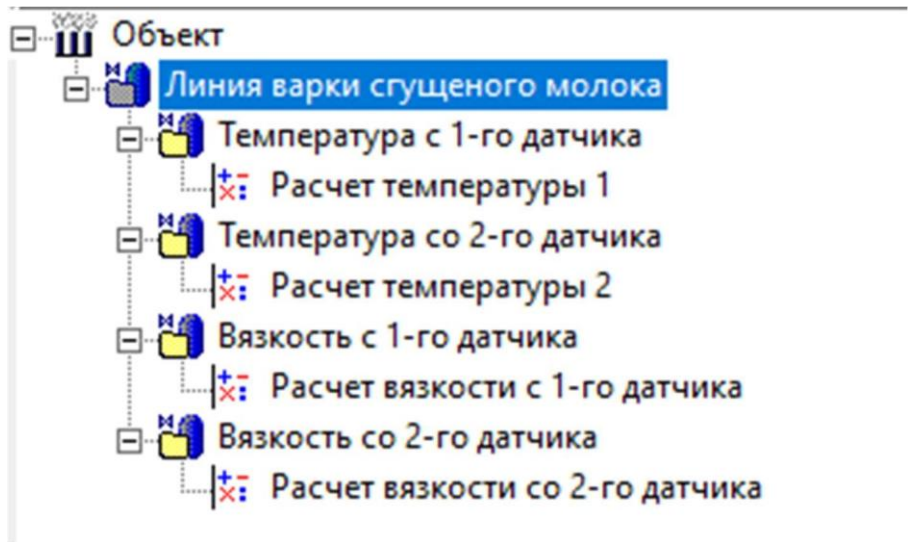


Рис. 3.9 Создание объектов расчёта значений вязкости продукта.

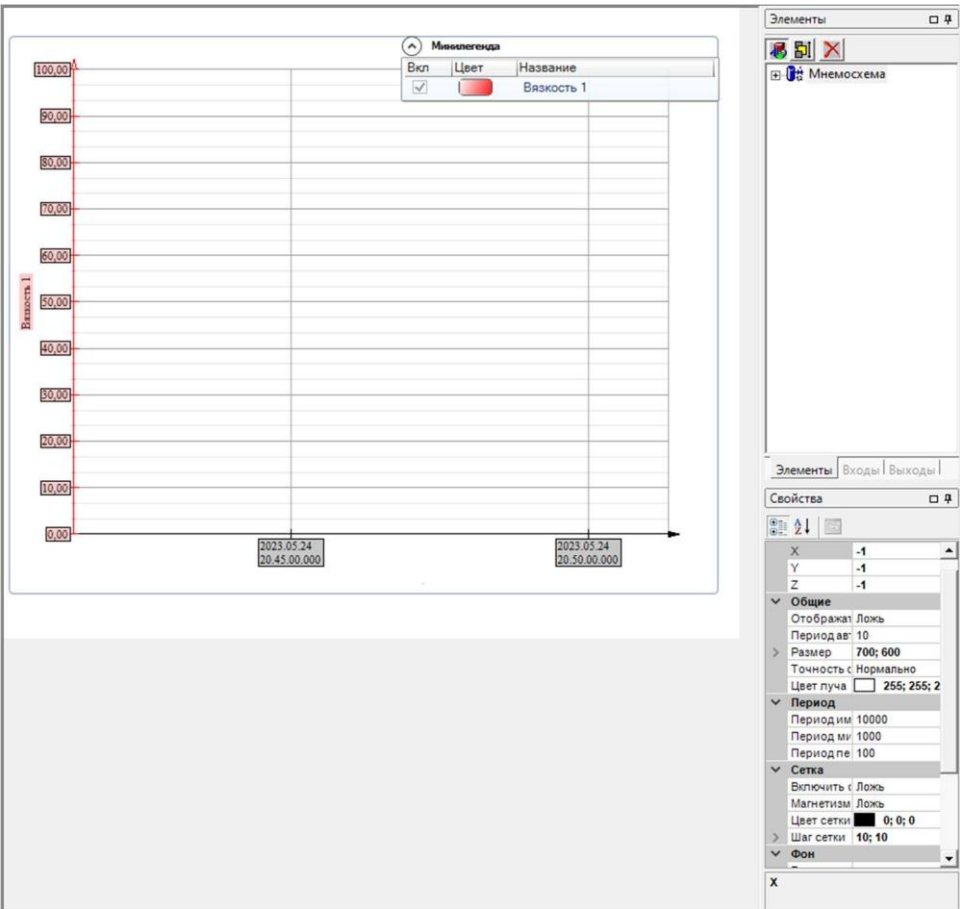


Рис. 3.10 Создание окна с графиком вязкости.

3.3. Транслирование данных из ПЛК 110 в MasterSCADA

Чтобы получить значения частоты из Modbus-регистров ПЛК, необходимо подключить его к ПК через утилиту MasterOPCUniversalModbusServer. В программе для начала был создан узел в котором был указан IPи порт ПЛК (рис. 3.11).

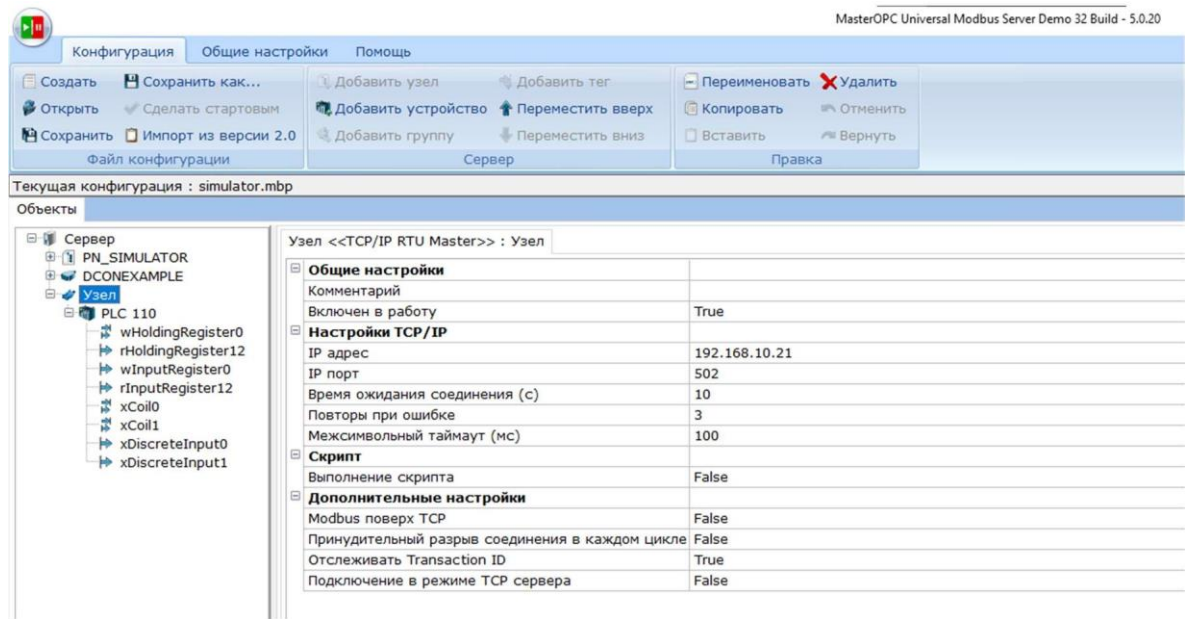


Рис. 3.11 Создание узла в MasterOPC Universal Modbus Server.

Далее во вложенную структуру был добавлен ПЛК со следующими параметрами (рис. 3.12):

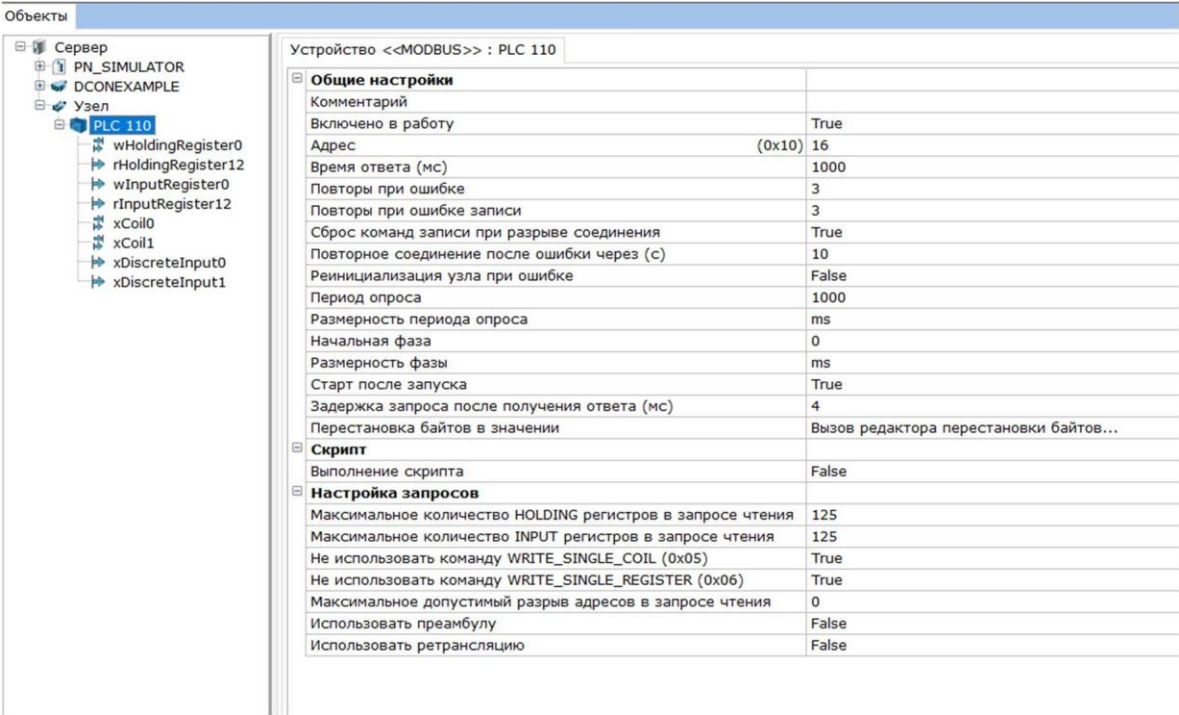


Рис. 3.12 Подключение ПЛК к Master OPC Universal Modbus Server.

После подключения ПЛК к серверу необходимо указать регистры, с помощью которых будет осуществляться обмен (рис. 3.13).

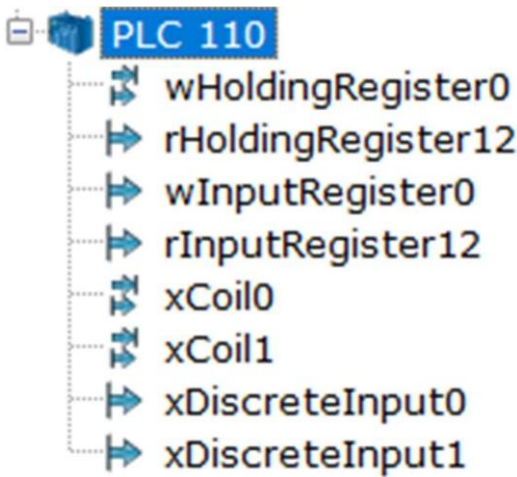


Рис. 3.13 Регистры обмена с ПЛК по протоколу Modbus.

Для передачи и приема данных по протоколу Modbus в Овен ПЛК 110 используются регистры ModbusHoldingRegisters (HR) и InputRegisters (IR).

HoldingRegisters (HR) предназначены для хранения и передачи данных от ПЛК к внешним устройствам или от внешних устройств к ПЛК. При этом

можно записывать данные в HoldingRegisters для передачи или читать данные из них.

InputRegisters (IR) предназначены для передачи данных от внешних устройств в ПЛК. При этом можно читать данные из InputRegisters, но нельзя записывать в них данные.

Далее было осуществлено подключение ПЛК к проекту MasterSCADA (рис. 3.14).

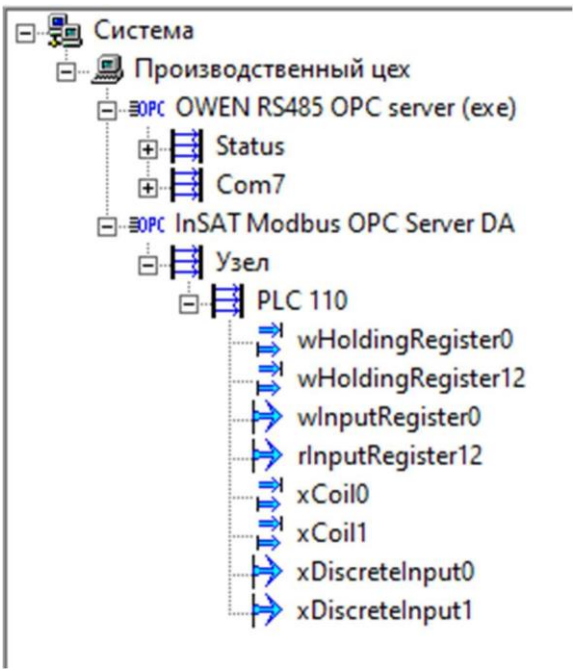


Рис. 3.14 Подключение ПЛК к проекту.

После успешной проверки чтения данных, создаются объекты расчета значений температуры продукта из считанных значений частоты из ПЛК, а также панель отображения графика (рис. 3.15).

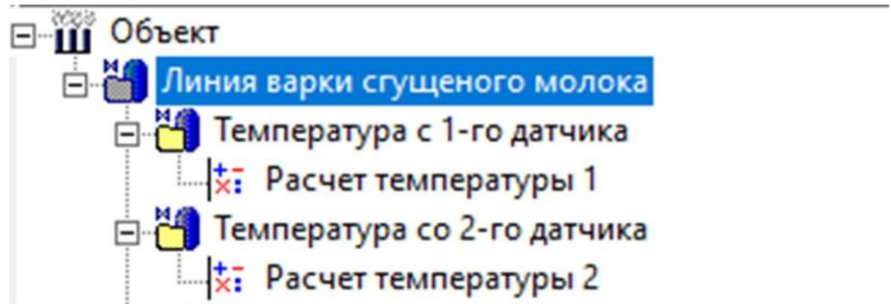


Рис. 3.15 Создание объектов для расчёта значений температуры продукта.

3.4. Создание панели управления оператора в MasterSCADA

Для удобного мониторинга оператором реологических свойств продукта графики зависимостей параметров от времени были размещены на главной мнемосхеме (рис. 3.16). Таким образом, при запуске ПК произойдет запуск проекта с этого окна. Также, имеется возможность подачи управляющих сигналов на различное оборудование, например, для запуска, остановки перемешивания продукта и открытия шлюзов.

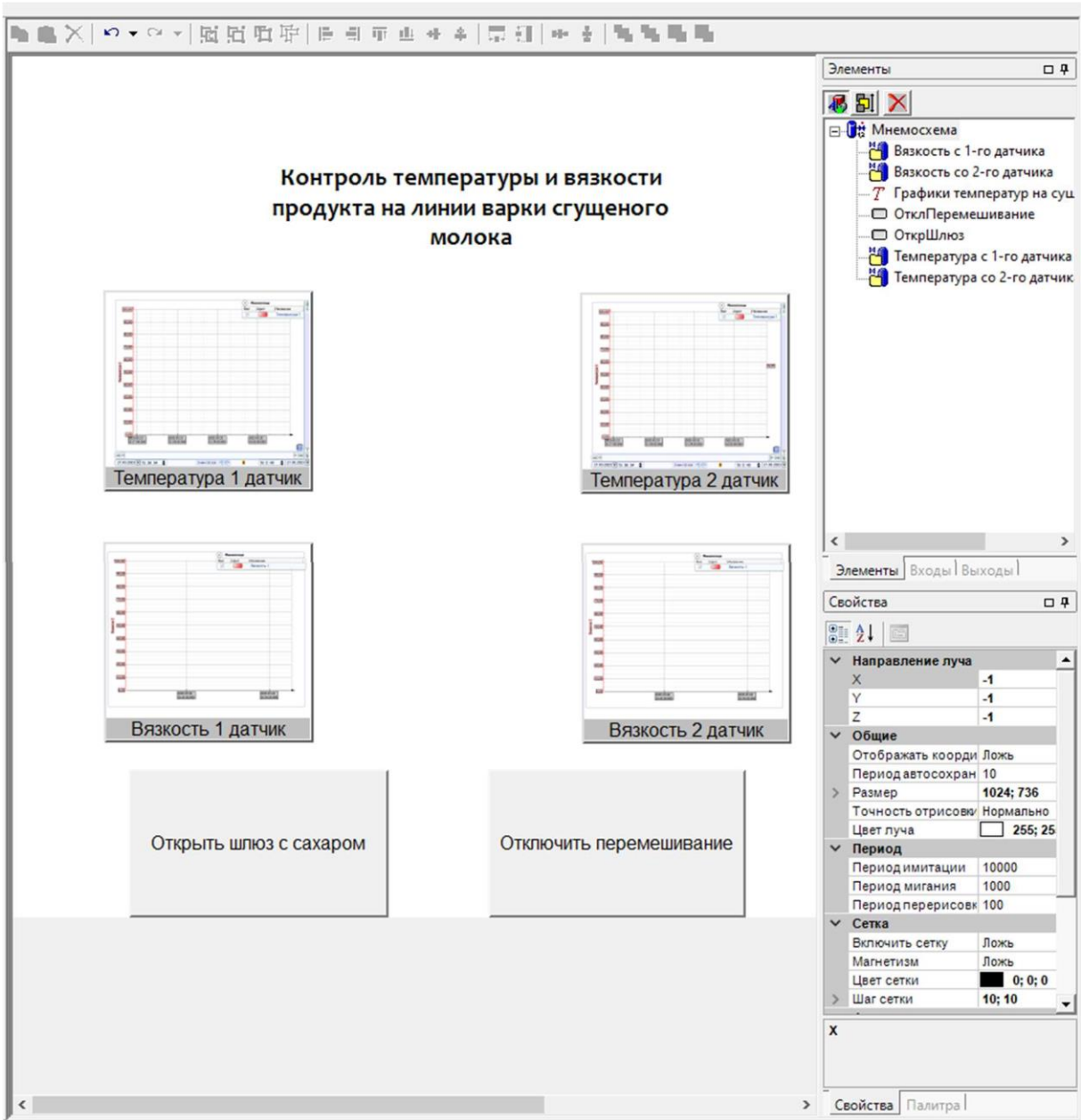


Рис. 3.16 Панель управления оператора.

После открытия одного из окон с графиком имеется возможность в реальном времени осуществлять мониторинг измеряемых параметров (рис. 3.17).

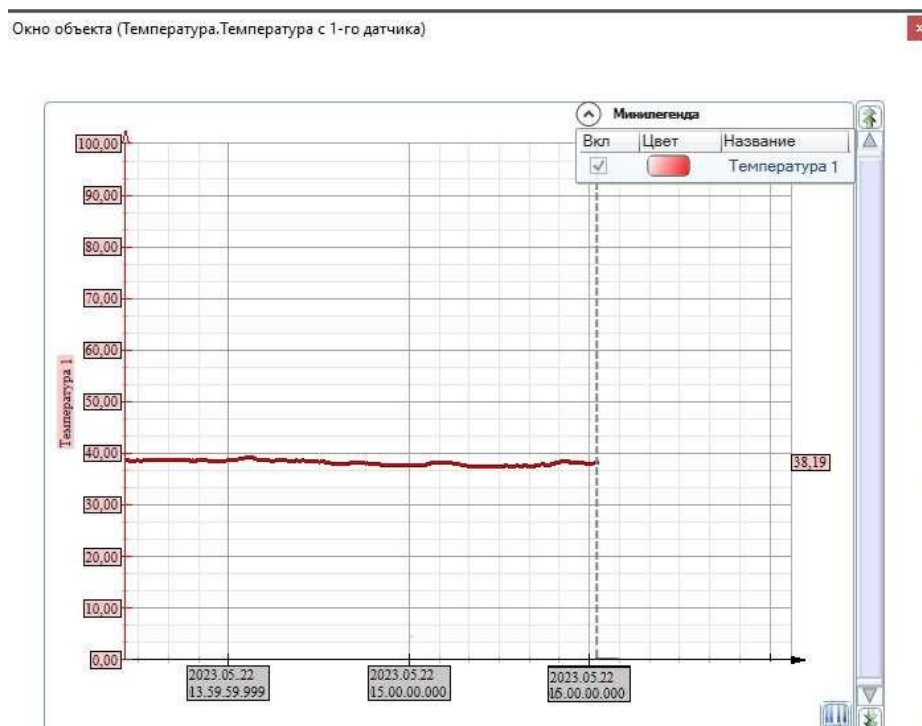


Рис. 3.17 График зависимости температуры от времени.

После проведенного исследования можно прийти к выводу, что разработанная в рамках выпускной квалификационной работы модель системы полностью удовлетворяет поставленным требованиям и рекомендациям, а также обладает необходимым функционалом, который обеспечивает стабильную работу системы.

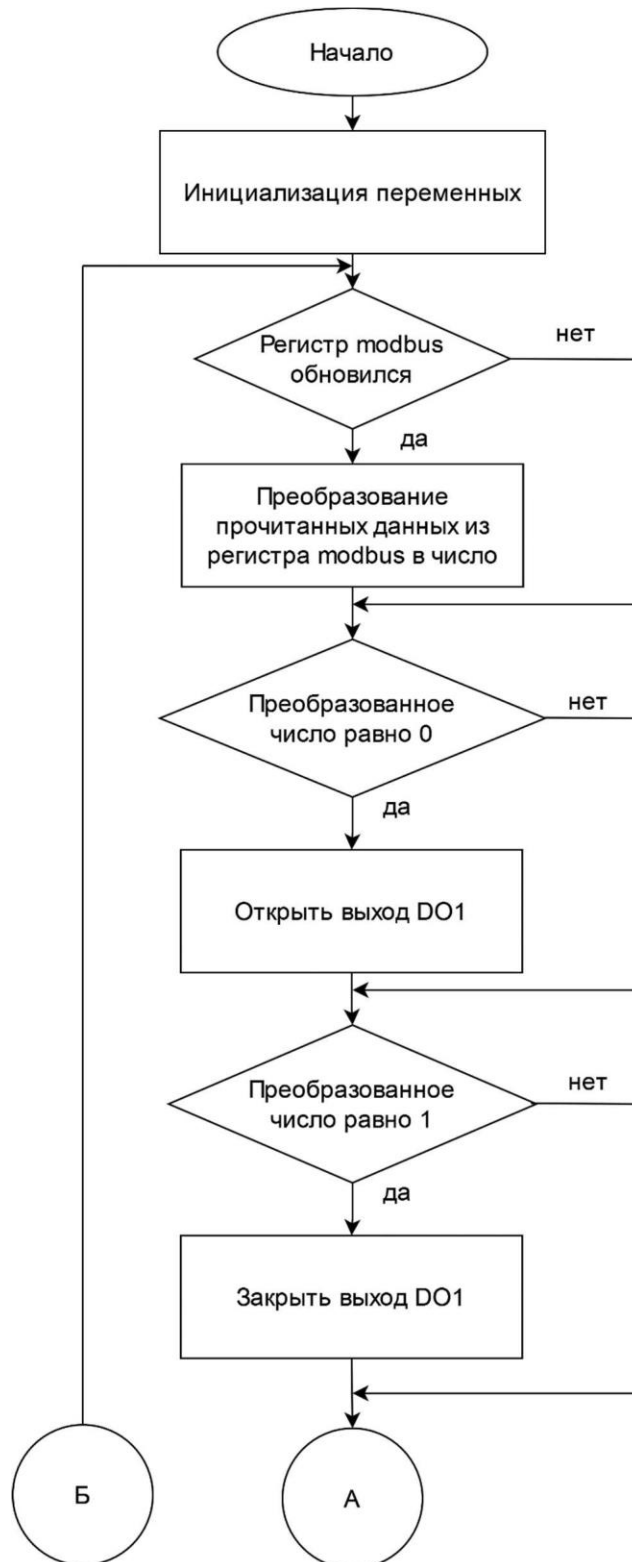
3.5. Блок программы ПЛК для подачи управляющих сигналов

Для подачи управляющих сигналов на оборудование, из MasterSCADA в регистр wInputRegister0 добавляется число и в зависимости от него с помощью цикла программы производится подача логической единицы или нуля на выходы DO1 и DO2:

- Если wInputRegister0 = 0, то DO1 = True.
- Если wInputRegister0 = 1, то DO1 = False.

- Если `wInputRegister0 = 2`, то `DO2 = True`.
- Если `wInputRegister0 = 3`, то `DO1 = False`.

Блок-схема алгоритма представлена на рисунке 3.18 (листинг программы см. в Приложении):



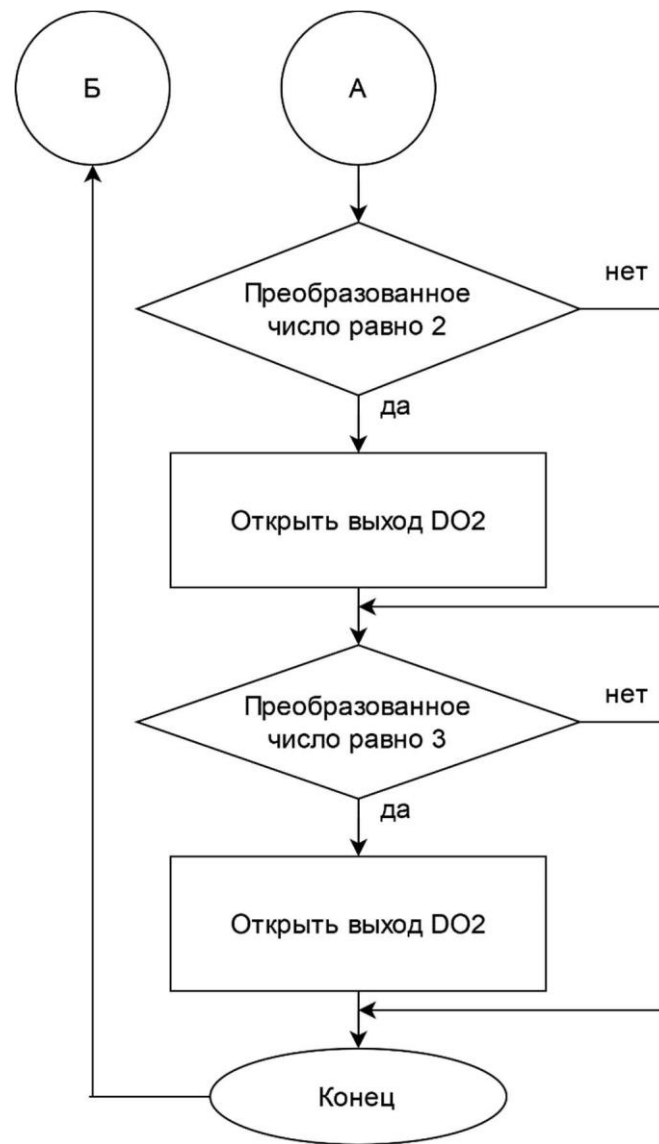


Рис.3.18 Блок-схема алгоритма программы подачи управляющих сигналов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы были рассмотрены основные особенности разработки систем контроля реологических свойств пищевых продуктов, изучены различные подходы, методы и технологии, используемые для создания таких систем, был выполнен их сравнительный анализ.

Была предложена и разработана конструкция многопараметрического пьезорезонансного датчика для контроля реологических свойств пищевых продуктов, с использованием методов имитационного моделирования осуществлено исследование режимов его работы, произведен выбор оборудования и разработан алгоритм управления автоматизированной системой контроля, реализован программный модуль автоматизированной системы контроля параметров пищевых продуктов.

Таким образом, в результате выполнения ВКР был разработан многопараметрический датчик на базе составных ПЭТ с расширенными функциональными возможностями. Использование нелинейных принципов формирования измерительного сигнала позволят измерять несколько параметров (вязкость, плотность, упругость пищевых продуктов) причем одновременно и в одной точке. Применение разработанных аппаратно-программных средств позволят осуществлять программную обработку измерительной информации и выработку сигналов для управления исполнительными механизмами.

Применение разработанного многопараметрического датчика и комплекса аппаратно-программных средств позволит улучшить технико-эксплуатационные характеристики автоматизированной системы управления технологическими процессами в пищевой промышленности.

Таким образом, задачи, сформулированные перед началом выполнения выпускной квалификационной работы, следует считать решенными, а поставленную цель – достигнутой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильиных В.В. Реология: учебное пособие. – Кемерово: КемГУ, 2018.- 128 с.
2. Никитин В.В. Реология: учебно-методическое пособие – Брянск: Брянский ГАУ, 2018.-125 с.
3. Реология и физико-механические свойства материалов пищевой промышленности: учеб. пособие/В.А. Арет, С.Д. Руднев. – СПб.: ИЦ Интермедия, 2014.- 252 с.
4. Физико-механические свойства сырья и готовой продукции: учебное пособие / В.А. Арет, Б.Л. Николаев, Л.К. Николаев. – СПб.: ГИОРД, 2009. 448 с.
5. Реология: концепции, методы, приложения/Пер. с англ./А.Я. Малкин, А.И. Исаев. – СПб.: Профессия, 2007.- 560 с.
6. Косой В.Д. Инженерная реология. Пособие для лабораторных и практических занятий. – СПб.: ГИОРД, 2007. – 664 с.
7. Низкочастотная сдвиговая упругость жидкостей/Б.Б. Бадмаев, С.А. Бальжинов, Б.Б. Дамдинов, Т.С. Дембелова //Акустический журнал.- 2010.-N 5.- С. 602-605.
8. Электронный прибор для измерения плотности и вязкости нефтепродуктов / В.М. Колешко, В.Я. Сунка //Материалы, технология, инструменты.- 1997.- N 1.- С. 96-99.
9. Ультразвук. Маленькая энциклопедия/М.А. Исакович, Ю.И. Китайгородский, В.Е. Лямов, И.Б. Найденова – М.: Советская Энциклопедия, 1979.- 110 с.
10. Методы исследования и контроля в пищевой промышленности: учебное пособие / Г.Б. Зотова, Е.В. Щербаков. – М.: Изд-во «Лань», 2015.- С. 23-32.

11. Исследование текучести и тектонической структуры пищевых продуктов с использованием тестера текстуры / В.А. Крылов, И.И. Токарева //Иновационная наука: проблемы и перспективы.- 2014.-Т.23, N 5.- С. 71-76.

12. Исследование реологических свойств пищевых материалов с использованием реометра Андерсена-Уилера/Р.М. Хабибуллин, М.Г. Студеникин //Инновации в науке.- 2018.- Т.5, N 5.- С. 31-35.

13. Седалищев В.Н. Измерительные устройства, основанные на реализации связанных колебаний в пьезорезонансных датчиковых структурах. //Ползуновский вестник.- 2006. N2.- С. 264-270.

14. Проектирование интеллектуальных сенсорных систем измерения вязкости материалов. Учебно-методическое пособие по дисциплине «Сенсоры и сенсорные системы» / В.М Колешко, В.Я. Сунка, Е.В. Польшкова, Крупская Е.В.- Минск: БНТУ, 2010.- 256 с.

15. Пьезорезонансный МСК датчик вязкоупругих характеристик жидких сред с микроазором / В.Н. Седалищев, С.А. Синеев, А.А. Соснова, Д.О. Страхатов //Ползуновский альманах.- 2013.- N1.- С. 142 – 144.

16. Разработка многоэлементных измерительных устройств с использованием связанных колебаний пьезорезонаторов / В.Н.Седалищев А.О. Тицнер, А.В. Балыков, А.С. Назаров и др.//Ползуновский вестник.- 2010.- N 2.- С. 48-51.

17. ГОСТ 30852.13-2002. Электроустановки во взрывоопасных зонах (кроме подземных выработок).- М.: Изд-во стандартов, 2014.- 44 с.

18. ГОСТ 14254-2015 Степени защиты, обеспечиваемые оболочками.- М.: Изд-во стандартов, 2017.- 36 с.

19. ГОСТ 21552-84 Средства вычислительной техники. Общие технические требования, правила приемки, методы испытаний, маркировка, упаковка, транспортирование и хранение – М.: Изд-во стандартов, 2003.- 23 с.

20. ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Изд-во стандартов, 2000.- 29 с.

21. Информационный критерий оценки эффективности измерительных устройств / В.Н. Седалищев, А.В. Балыков, А.О. Тицнер, М.Ю. Ларионов //Ползуновский альманах.- 2009.- N 2.- С. 164-169.
22. Седалищев В.Н. Пьезотрансформаторные измерительные преобразователи: Монография. – Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2015.- С. 21-28.
23. Данилушкин И.А. Аппаратные средства и программное обеспечение систем промышленной автоматизации: Учеб. пособие. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т., 2005.-168 с.
24. ПЛК системы [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://plcsystems.by/articles/651>. – Загл. с экрана.
25. Контроллеры для систем автоматизации [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.bookasutp.ru/Chapter6_1.aspx– Загл. с экрана.
26. К вопросу о выборе программируемых логических контроллеров для автоматизации работы[Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docplayer.ru/71612606-k-voprosu-o-vybore-programmiruemyh-logicheskikh-kontrollerov-dlya-avtomatizacii-raboty.html>– Загл. с экрана.
27. Шишов О.В. Современные технологии промышленной автоматизации: Учебник. – Саранск: Изд-во Мордович, 2007.- 250 с.
28. SCADA-системы: Учеб.-метод. пособие. / В.В. Грачев, К.Г. Венгер, М.В. Шипунов. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2013.- 104 с.
29. Интеллектуальные SCADA- системы: истоки и перспективы / Тарасов В.Б., Святкина М.Н [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/224479.html> – Загл. с экрана.
30. SCADA-системы. Взгляд изнутри / Е.Б. Андреев, Н.А. Куцевич, О.В. Синенко. – М.: РТ Софт, 2004.- 176 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Код блока программы-счетчика импульсов со входов ПЛК

VAR

di1: BOOL;

di2: BOOL;

pulseCount1: INT := 0;

pulseCount2: INT := 0;

lastCount1: INT := 0;

lastCount2: INT := 0;

interval: INT := 5000; // 5 секунд

timer: TON;

modbusTx: MODBUS_MBAP_TX;

END_VAR

// Обработчик прерывания для счетчика импульсов с DI1

INTERRUPT CountDI1()

IF di1 THEN

pulseCount1 := pulseCount1 + 1;

END_IF

END_INTERRUPT

// Обработчик прерывания для счетчика импульсов с DI2

INTERRUPT CountDI2()

IF di2 THEN

pulseCount2 := pulseCount2 + 1;

END_IF

END_INTERRUPT

// Основной цикл программы

```
ROUTINE Main()
```

```
    // Запустить таймер с интервалом 5 секунд
    timer(IN:=TRUE,PT:=interval);
```

```
    // Если таймер достиг заданного интервала
```

```
        IF timer.Q THEN
```

```
            // Вычислить разность счетчиков до этого момента
```

```
            modbusTx.Values[0] := (pulseCount1 - lastCount1 - pulseCount2 - lastCount2) / 5;
```

```
        // Отправить значения по Modbus
```

```
        modbusTx.Execute();
```

```
    // Сохранить текущие значения счетчиков
```

```
    lastCount1 := pulseCount1;
```

```
    lastCount2 := pulseCount2;
```

```
        END_IF
```

```
END_ROUTINE
```

Код блока программы-счетчика импульсов со входов ПЛК

```
VAR
```

```
    do1: BOOL := FALSE;
```

```
    do2: BOOL := FALSE;
```

```
    mbClient: ModbusClient; // Клиент Modbus
```

```
    mbData: ARRAY[0..1] OF INT;
```

```
    modbusValueBuffer: ARRAY[0..1] OF BYTE; (* Буфер для хранения
    прочитанных данных *)
```

```
    readResult: BOOL;
```

```
METHOD ReadModbus()
```

```
BEGIN
```

```
mbData := ReadMultipleRegisters(address := 0, quantity := 2);
```

```
IF readResult THEN
```

```
    (* Преобразование прочитанных данных в число *)
```

```
    modbusValue := (modbusValueBuffer[0] * 256) + modbusValueBuffer[1];
```

```
    END_IF;
```

```
END_METHOD
```

```
METHOD ControlOutputs()
```

```
    CASE modbusValue OF
```

```
        0:
```

```
            do1 := TRUE;
```

```
        1:
```

```
            do1 := FALSE;
```

```
        2:
```

```
            do2 := TRUE;
```

```
        3:
```

```
            do2 := FALSE;
```

```
    ELSE
```

```
END_CASE
```

```
WHILE TRUE DO
```

```
    ReadModbus();
```

```
    ControlOutputs();
```

```
END_WHILE
```