

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева »



SATBAYEV
UNIVERSITY

Институт автоматики и информационных технологий

Кафедра Робототехники и технических средств автоматики

Жолдасбаев Еркебулан Талгатович

«Разработка оборудования для автоматизации процесса пайки больших мешков
(биг-бэг)»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

7М07107 – Робототехника и мехатроника

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»



Институт автоматики и информационных технологий

УДК 665.622.43.046.6-52 (043) На правах рукописи

Жолдасбаев Еркебулан Талгатович

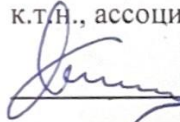
МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ (ПРОЕКТ)

На соискание академической степени магистра

Название диссертации «Разработка оборудования для автоматизации процесса пайки
больших мешков (биг-бэг) »

Направление подготовки 7М07107 – Робототехника и мехатроника

Научный руководитель
к.т.н., ассоциированный профессор

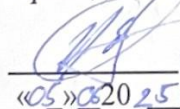
 Бактыбаев М.К.

«11» 06 20 25 г.

Рецензент
ассоциированный профессор кафедры
физики плазмы, нанотехнологий и
компьютерной физики КазНУ им. Аль-
Фараби, доктор РнД.


Муратов М.М.

Норм контроль
Преподаватель

 Игембай Е.А.
«05» 06 20 25 г.


ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой РТиТСА
Кандидат технических наук,
профессор
К.А. Ожикенов
«11» 06 2025 г.

Алматы 2025

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»



SATBAYEV
UNIVERSITY

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра Робототехники и технических средств автоматизации

7М07107 – Робототехника и мехатроника



УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой РТиТСА
Кандидат технических наук,
профессор

К.А. Ожикенов
«17» 06 2025 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Магистранту Жолдасбаев Еркебулан Талгатович

Тема: Разработка оборудования для автоматизации процесса пайки больших мешков (биг-бэг)

Утверждена приказом № 430 от «25» 03 2022 г.

Срок сдачи законченной диссертации : «30» май 2025 г.

Исходные данные к магистерской диссертации:

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

- Провести анализ процесса герметизации мешков типа биг-бэг
- Разработать конструкцию автоматизированного устройства для спайки
- Сформировать математическую и электрическую модели спаянного оборудования
- Провести экспериментальные испытания макета и оценить полученные результаты

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Рекомендуемая основная литература: 11 источников из списка

Продолжение приложения И

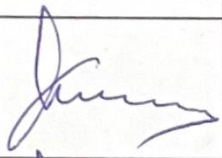
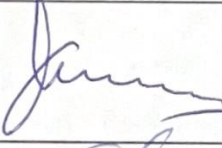
ГРАФИК

подготовки магистерской диссертации

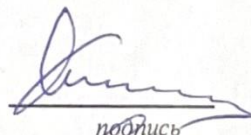
Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Провести анализ процесса герметизации мешков типа биг-бэг	16.02.2025	Выполнено
Разработать конструкцию автоматизированного устройства для спайки	17.04.2025	Выполнено
Сформировать математическую и электрическую модели спаечного оборудования	28.04.2025	Выполнено
Провести экспериментальные испытания макета и оценить полученные результаты	05.05.2025	Выполнено

Подписи

консультантов и норм контролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Экономическая часть	к.т.н., ассоциированный профессор Бактыбаев М.К.	07.06.2025	
Охрана труда	к.т.н., ассоциированный профессор Бактыбаев М.К.	07.06.2025	
Норм контролер	Старший преподаватель Игембай Е.А.	05.06.2025	

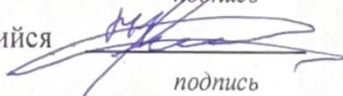
Научный руководитель


подпись

Бактыбаев М.К.

Ф.И.О.

Задание принял к исполнению обучающийся


подпись

Жолдасбаев Е.Т.

Ф.И.О.

Дата

« 14 » 06 2025 г

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
1 Проблема и обоснование необходимости решения	7
1.1 Литературный обзор по разным методам	8
2 Разработка не рабочего (первого) макета	13
2.1 Конструктивная часть	13
2.2 Принцип работы	22
2.3 Математическая модель	23
2.4 Электрическая схема	28
2.5 Анализ экспериментальных попыток и ошибок создания не рабочего макета	29
3. Разработка финального рабочего макета	36
3.1 Конструктивная часть	36
3.2 Математическая модель	40
3.3 Принцип работы	42
3.4 Электрическая схема	43
3.5 Испытания финального макета	45
3.6 Результаты и выводы испытаний	48
3.7 Анализ неудачных экспериментальных попыток создания рабочего макета	50
Заключение	65
Список использованной литературы	66

Введение

В современной агропромышленности важной частью после сбора и переработки урожая остаётся качественная упаковка, особенно когда речь идёт о сыпучих материалах — таких как зерновые культуры, комбикорма или удобрения. Для этих целей широко используются мешки типа биг-бэг (FIBC — Flexible Intermediate Bulk Container), ценимые за большой объём, удобство при транспортировке и хранении, а также защиту содержимого от внешних факторов.

Однако, несмотря на распространённость таких мешков, их герметизация в большинстве хозяйств по-прежнему выполняется вручную либо с помощью морально устаревшего оборудования. Это снижает общую производительность и увеличивает риски повреждения упаковки. Если шов оказывается неплотным, внутрь мешка может проникнуть влага, насекомые или пыль, что делает продукцию непригодной и приводит к прямым убыткам.

Проблема особенно обостряется в сезон активных полевых работ, когда важно обеспечить быструю и надёжную упаковку. Современные требования к качеству хранения, экспортной логистике и механизации производственных процессов требуют более технологичных решений в области упаковки.

Поэтому создание автоматизированного устройства, способного надёжно и равномерно запаивать верхнюю часть биг-бэга с регулируемой температурой и временем нагрева, становится задачей практического значения. Такое решение поможет оптимизировать упаковочный процесс, уменьшить потери и привести технологию хранения в соответствие с современными стандартами сельского хозяйства.

1 Проблема и обоснование необходимости решения

В современном промышленном производстве процессы упаковки и транспортировки товаров требуют использования больших мешков (биг-бэгов), обладающих высокой прочностью и герметичностью. Однако традиционные методы пайки, применяемые для соединения материалов биг-бэгов, часто оказываются недостаточно эффективными в условиях массового производства, характеризующегося высокими требованиями к качеству, скорости выполнения операций и снижению затрат. В условиях эксплуатации мешков типа биг-бэг существует ряд проблем с запаиванием. 1. Отсутствие автоматизации. Большинство процессов пайки больших мешков осуществляется вручную или с применением оборудования, требующего значительного участия оператора и это приводит к существенной потере времени (рисунок 1). А также это приводит к низкой производительности, высокой зависимости от человеческого фактора и увеличению вероятности ошибок в качестве пайки. 2. Низкая надежность и герметичность швов. Используемые в настоящее время технологии (например, ручные термосварочные аппараты) не всегда обеспечивают достаточную прочность и герметичность шва. Для биг-бэгов, которые транспортируют большие объемы сыпучих или жидких материалов, некачественные швы могут приводить к утечкам, повреждениям продукции и дополнительным затратам.



Рисунок 1 – Трудоемкий процесс запаивания мешка

Так же существует ряд проблем связанных с используемыми материалами. Каждый материал будь это пвх, пэт или же полипропилен имеют свой диапазон плавления, которое если нарушить может привести к проблемам пережога или недожога шва которое в свою очередь приводит к потере герметичности. В одном из научных статей А.А. Ефремова и его сподвижников определены диапазоны плавления полимерных пленок, которое нам следует использовать для нашего оборудования [1].

1.1 Литературный обзор по разным методам

В мире существует разные методы и пути решения проблем с пайкой различных материалов. Одним из них является спайка материалов токами высокой частоты. А рассмотрим мы именно оборудования для изготовления натяжных потолков [2]. Устройство для изготовления натяжных потолков предпочтительно из материала на основе поливинилхлорида (ПВХ) содержит станину, первую планку, закрепленную на станине, вторую планку, закрепленную на станине противоположно первой планке при помощи, по меньшей мере, одного поворотного держателя, а, по меньшей мере, одна из названных планок является L-образной в сечении, на одну из названных планок нанесен слой из электроизоляционного покрытия, поверх которого установлен нагревательный элемент с нанесенным на него антипригарным покрытием, а на противоположную ей планку нанесено эластичное упругое покрытие (рисунок 2).

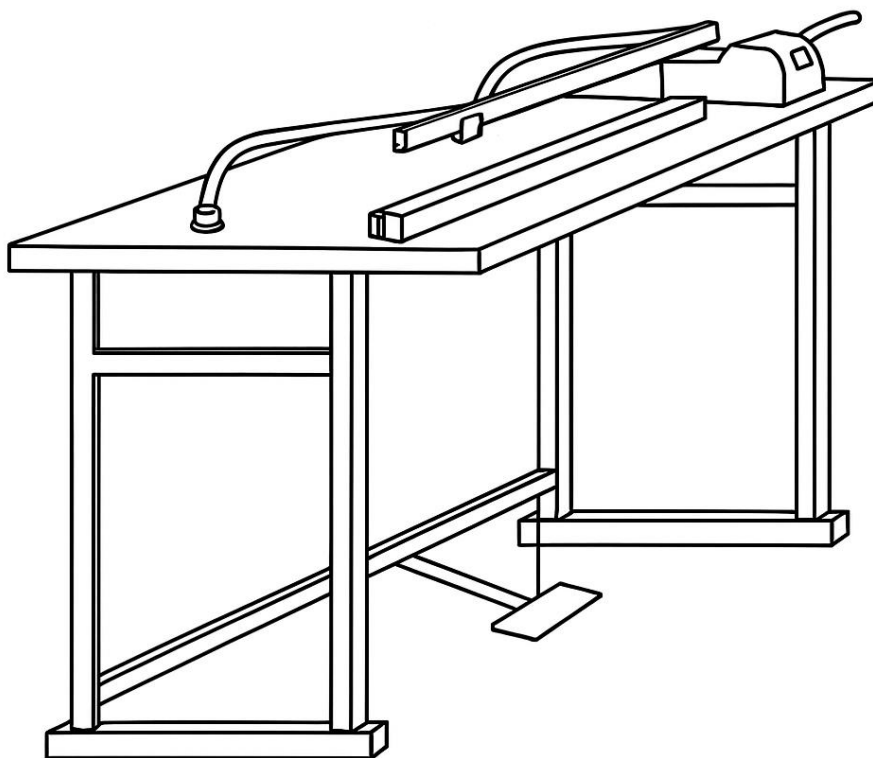


Рисунок 2 – Оборудование для натяжных потолков

Возьмем в пример станок для натяжных потолков WS – 5000 НТА [3].

Таблица 1.1 – Технические характеристики ТВЧ станка WS-5000HTA

Модель	WS – 5000 HTA
Питание / Рабочая частота	380В / 27.12 МГц
Входная / Выходная мощность	9 кВт / 5 кВт
Генераторная лампа	Toshiba E 3185
Размер рабочего места (мм)	350 x 700
Привод	Ножной рычаг. Дожим – пневматика
Вес нетто (кг) / Вес брутто (кг)	400 / 450
Размеры в упаковке (мм)	17110 (д) x 1100 (ш) x 1550 (в)
Амортизационная группа	4 группа (срок службы 7 лет)
Продолжительность бесперебойной работы	8 часов в сутки

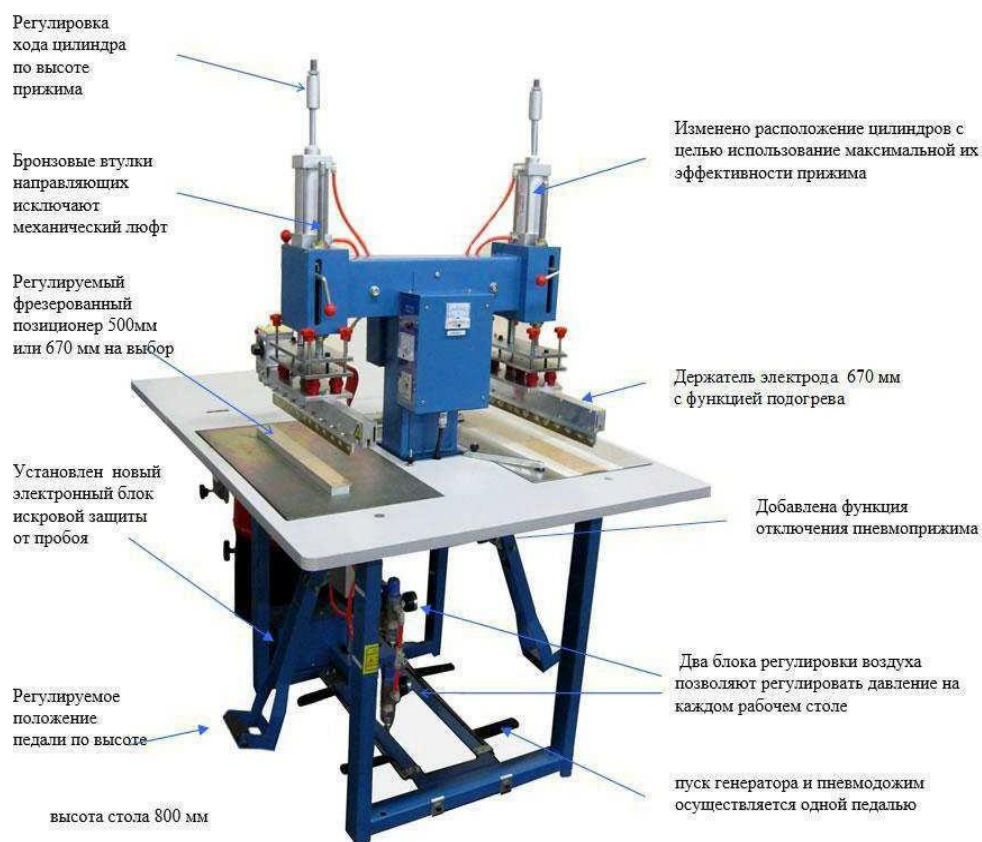


Рисунок 3 – Описание деталей ТВЧ станка

Основные этапы работы:

1. Подготовка материала – полотна из ПВХ раскраиваются по заданным размерам.
2. Размещение на рабочем столе – края полотен накладываются друг на друга с небольшим нахлестом.
3. Прессование – верхний электрод (пресс) опускается на зону соединения, создавая необходимое давление.

4. Высокочастотный нагрев – генератор подает ВЧ-энергию, которая вызывает дипольное разогревание молекул ПВХ, расплавляя материал в зоне шва.

5. Остывание и фиксация – после прекращения нагрева материал остается под давлением до полного затвердевания.

6. Готовый шов – после поднятия прессы получается прочное, эластичное соединение без механических повреждений.

Проведем эксперимент с ТВЧ станком как вариант спайки больших мешков биг-бэг в экспериментальной части нашей работы.

Следующий наше рассматриваемое оборудование L-образный запайщик пакетов (рисунок 4).



Рисунок 4 – L-образный запайщик пакетов

Машина используется для резки термоусадочной пленки и подготовки её к упаковке. Напряжение: 220 В / 50 Гц. Мощность: 1 кВт. Максимальная зона запайки: 600×500 мм. Регулируемое время нагрева: 0–3 секунды. Габариты: 1100×820×420 мм [4].

L-Seal Cutter (модель BSF-601) состоит из следующих основных компонентов:

1. Рамная конструкция

Служит основой для всей машины, обеспечивая её устойчивость. Обычно изготавливается из металла с порошковым покрытием для защиты от коррозии [4].

2. L-образный нож (система резки и запайки)

Главный рабочий элемент, который одновременно режет и запаивает термоусадочную пленку. Выполнен из нагревательного провода или ленты, покрытой тефлоном, чтобы предотвратить прилипание пленки.

3. Нагревательная система

Поддерживает заданную температуру ножа для резки и запайки пленки. Может включать нагревательные элементы, которые управляются термостатом для точного контроля температуры. Используется нихромовая нить (рисунок 5) [4].



Рисунок 5 – Нихромовая нить для спайки

4. Система управления

Панель управления с кнопками или переключателями для настройки времени нагрева, температуры и других параметров. Обычно включает цифровой таймер для регулировки времени запайки [4].

5. Рабочий стол

Поверхность, на которой размещается упаковка. Может быть снабжена направляющими для облегчения укладки пленки и объектов [4].

6. Держатели пленки

Механизм, удерживающий и подающий термоусадочную пленку. Часто включает ролики или втулки для удобного размотки материала [4].

7. Система безопасности

Защитные элементы, такие как предохранители или датчики, предотвращающие перегрев ножа и обеспечивающие безопасную эксплуатацию [4].

8. Электропривод

Обеспечивает работу компонентов станка, включая нагреватель и нож. Включает моторы и электрические цепи [4].

9. Шкала регулировки

Используется для точной настройки размеров зоны запайки.

10. Кабель питания

Подключает станок к электросети (220 В, 50 Гц) [4].

Также будем экспериментировать с этой моделью с использованием мешка из полипропилена в разделе экспериментальной части.

2 Разработка не рабочего (первого) макета

2.1 Конструктивная часть

При работе с биг-бэгами на практике часто возникает проблема качественной и герметичной запайки. Мы заметили, что большинство доступных решений требует постоянного участия оператора, что не только снижает производительность, но и увеличивает вероятность брака.

В нашем проекте мы разработали устройство, состоящее из трёх основных модулей: системы прижима, цепного механизма затяжки и блока нагрева. В качестве нагревательного элемента мы выбрали нихромовую ленту, которую закрепили на цепи через изолирующую прокладку из стеклотекстолита. Такая конструкция позволяет производить равномерный прогрев по окружности мешка.

Для того чтобы контролировать процесс, мы включили в схему диммер — он даёт возможность вручную регулировать уровень нагрева. Дополнительно установлена термопара типа К, чтобы отслеживать температуру ленты. Автоматическое отключение реализовано через таймер, что помогает избежать перегрева материала.

Конструкция требует минимального набора доступных компонентов: цепи, уголка, шестерён, электродвигателя с приводом, а также стеклотекстолита, тефлона и DIN-модуля с кнопками управления. Все элементы соединяются через провода сечением 0,5 мм. В качестве цепи мы выбрали приводную модель — она сохраняет жёсткость даже при изменении направления под 90 градусов, что критически важно для стабильной работы оборудования.



Рисунок 6 – Приводная цепь

При проведении различных экспериментов, было решено использовать самый оптимальный вариант — нихромовую ленту. Лента имеет гибкую форму, сделано из нихрома, выдерживает до 1250 °С. Подключение максимально

простое (рисунок 7). Для осуществления нашей цели 30 см нихромовой ленты будет достаточно.



Рисунок 7 – Нихромовая лента

Вместе с нихромовой лентой будет использоваться стеклотекстолит и тефлоновое покрытие. Стеклотекстолит был выбран из за того что выдерживает до 740 °С при кратковременном нагреве. Также выступает как диэлектрик между цепью и нихромовой лентой для предотвращения короткого замыкания (рисунок 8). Тефлоновое покрытие будет клеится на рабочую поверхность нихромовой ленты. Способен выдержать нагрев до +370 °С, основная цель его использования состоит в том чтобы нихромовая лента не прилипала к мешку при нагреве (рисунок 9) (рисунок 10).



Рисунок 8 – Стеклотекстолит



Рисунок 9 – Тефлоновое покрытие

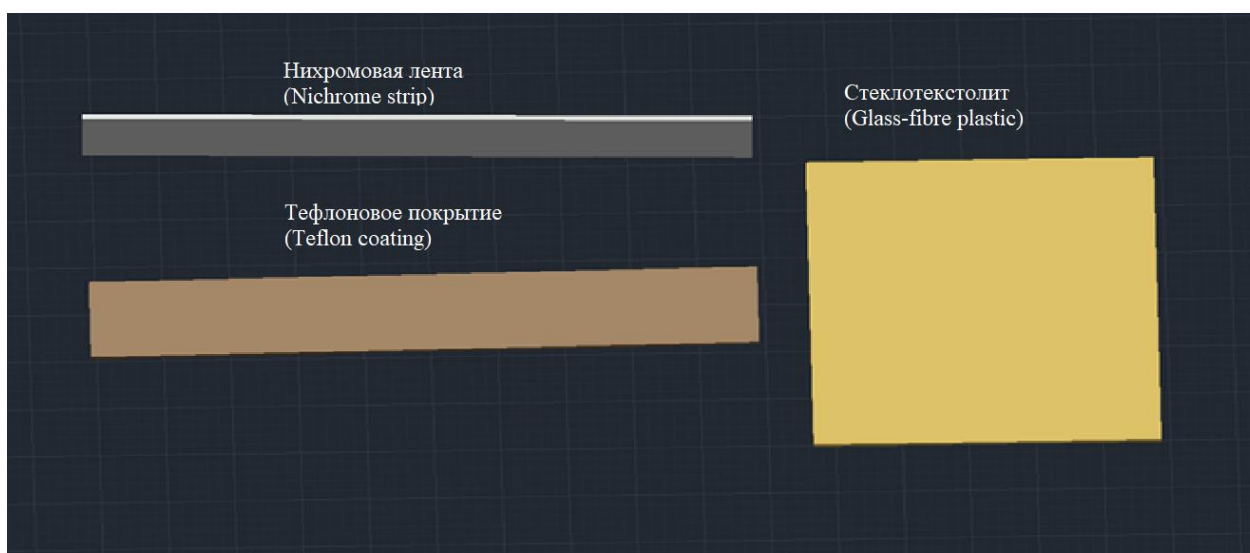


Рисунок 10 – Иллюстрация комплектующих в программе Autocad

Возьмем шестерню с 18 зубьями для обеспечения оптимальной скорости движения цепи (рисунок 11).



Рисунок 11 – Шестерня

Электромотор с редуктором 36в 350 Ватт для движения шестерни с цепью более чем подходит для крепкого зажима цепи (рисунок 12) (рисунок 13).



Рисунок 12 – Электромотор

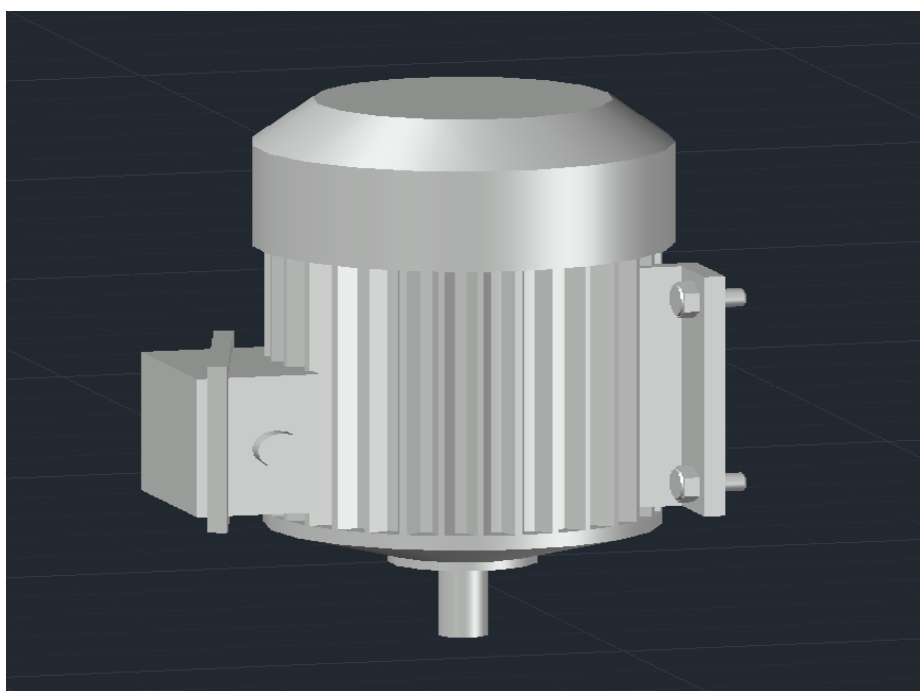


Рисунок 13 – Иллюстрация электромотора

Для удобного подключения и органичности нашего оборудования выбрали систему с Din рейкой которые используется в электрощитах (рисунок 14) (рисунок 15).



Рисунок 14 – Din рейка

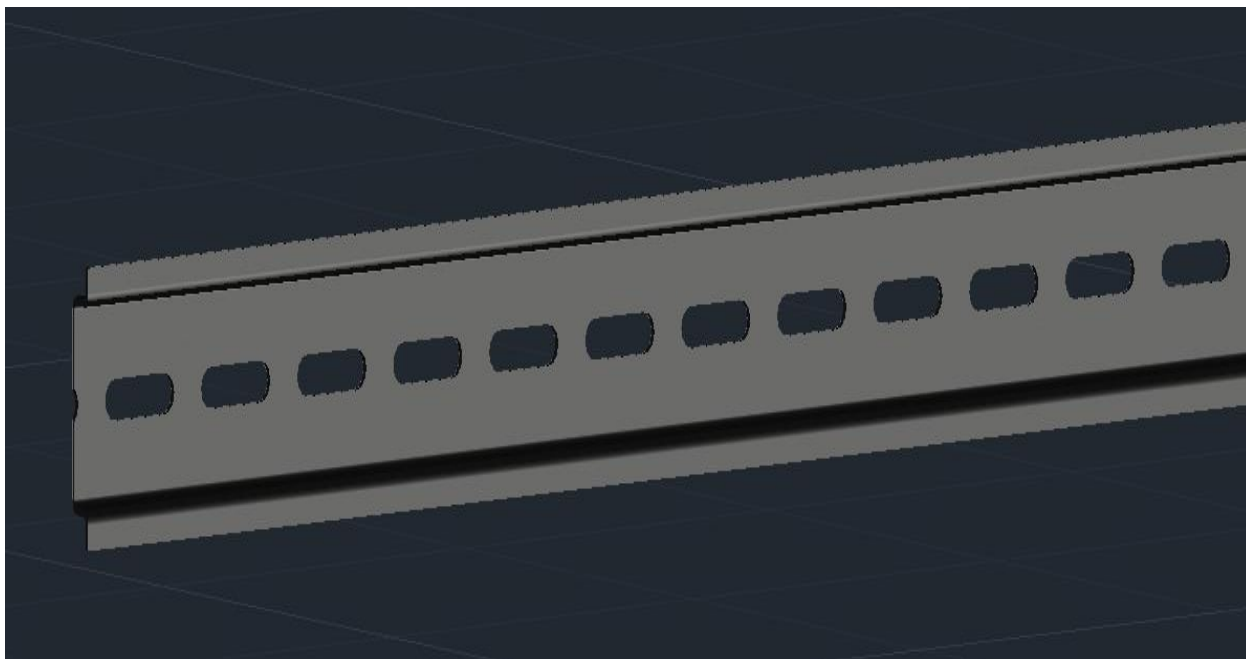


Рисунок 15 – Иллюстрация Din-рейки

Для управления нашей системы подобрали таймер и кнопку пуска устанавливаемый на DIN-рейку (рисунок 16) (рисунок 17) (рисунок 18).



Рисунок 16 – Таймер на DIN рейку



Рисунок 17 – Кнопка пуска на DIN рейку

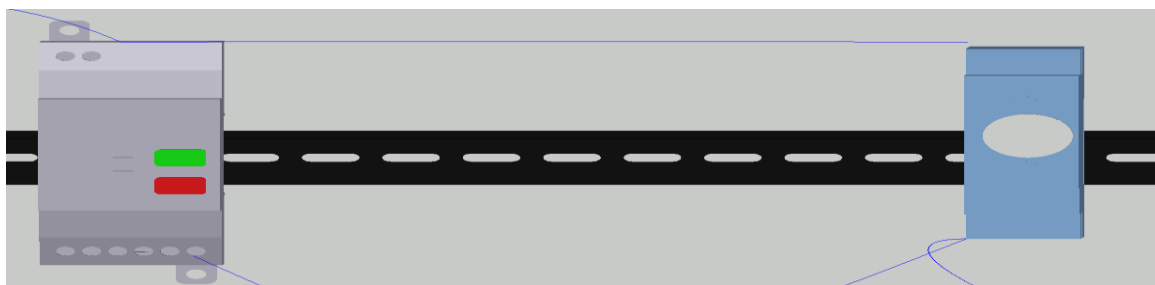


Рисунок 18 – Иллюстрация кнопки запуска и таймера

В этой разработке шины выполняют роль проводников тока, соединяя элементы установки без потерь энергии (рисунок 19).

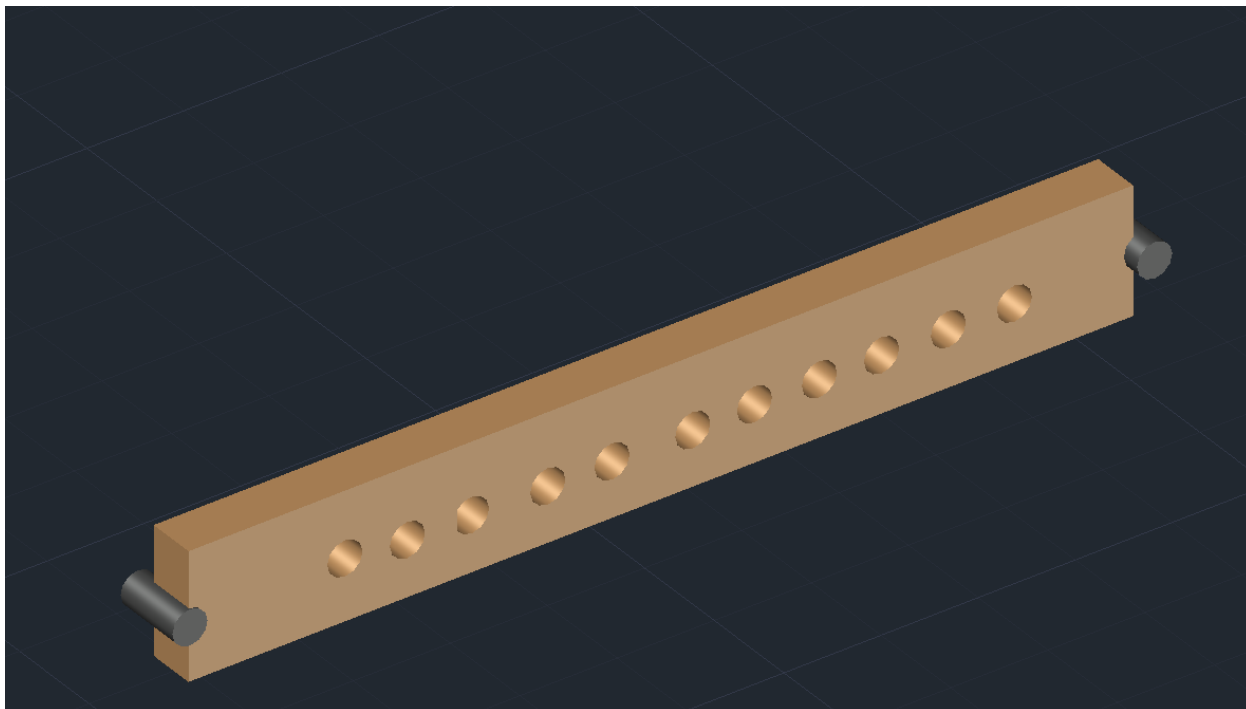


Рисунок 19 – Иллюстрация шины

Крепим цепь к железному профильному уголку. Одну сторону привариваем на внешней стороне уголка (рисунок 19). Шестерню ставим ближе к входу второго конца цепи.

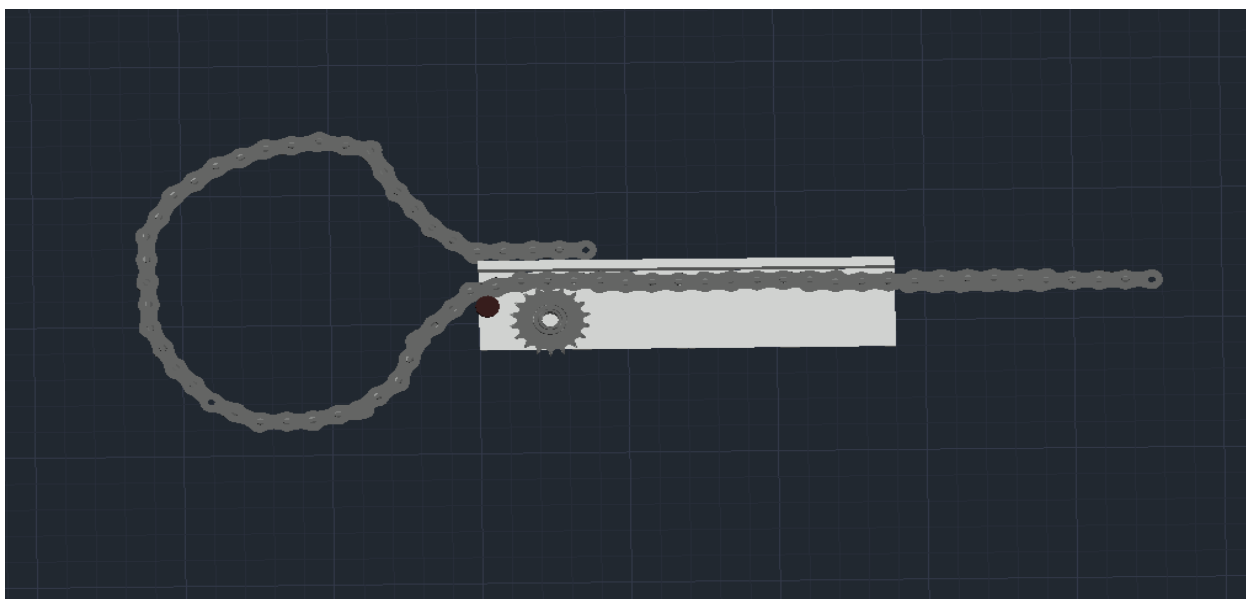


Рисунок 20 – Основа оборудования

Вырезаем нихромовую ленту, стеклотекстолит и тефлоновое покрытие по длине 8 см, по ширине 1,0 см. Соединяем их между собой и крепим к цепи. Так как зона контакта с мешком при нагреве составляет по периметру 31 см, крепим с зазором в 2,5 см между пластинами. Спроектированный электродвигатель устанавливаем сверху вниз для управления шестернями (рисунок 21).

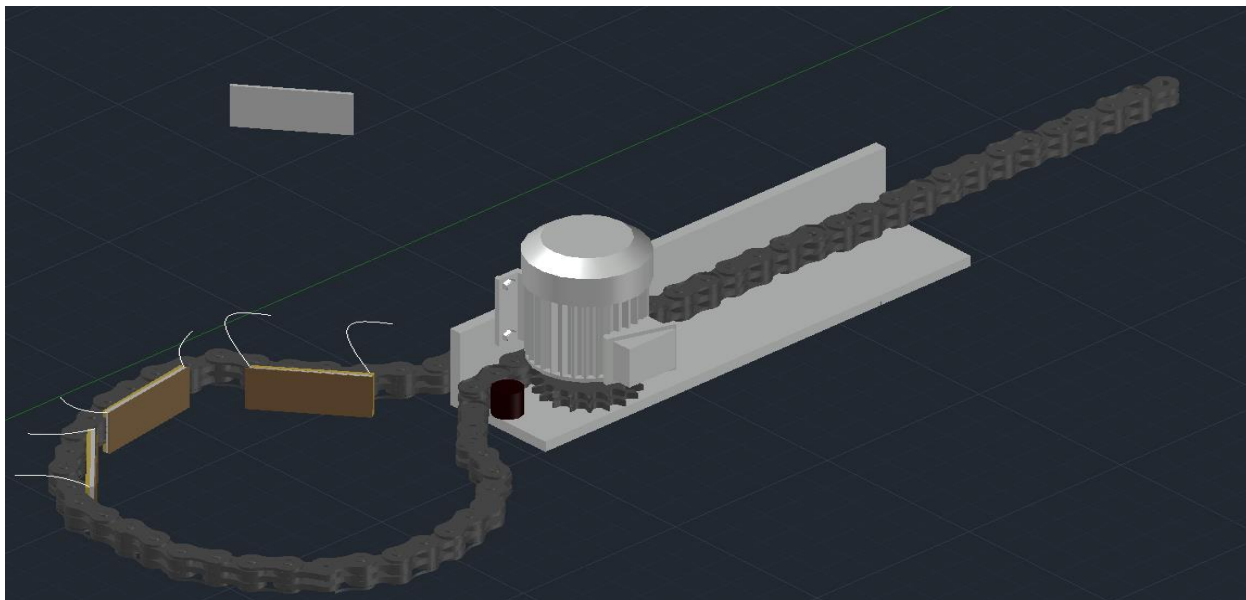


Рисунок 21 – Добавление других компонентов к основной системе

Добавляем к оборудованию второй двигатель с шестернями для обратного движения цепи. Прикрепляем две DIN-рейки к стенкам уголка с двух сторон. Ставим две шины на обе стороны уголка. На Din-рейку с одной стороны устанавливаем регулятор мощности, таймер и кнопку запуска. На вторую Din-рейку крепим два таймера и две кнопки запуска для двух электродвигателей. Пластины маленького размера привариваем к верхней части и сбоку цепи для того чтобы цепь двигалась по одной плоскости по одной оси (рисунок 22) (рисунок 23).

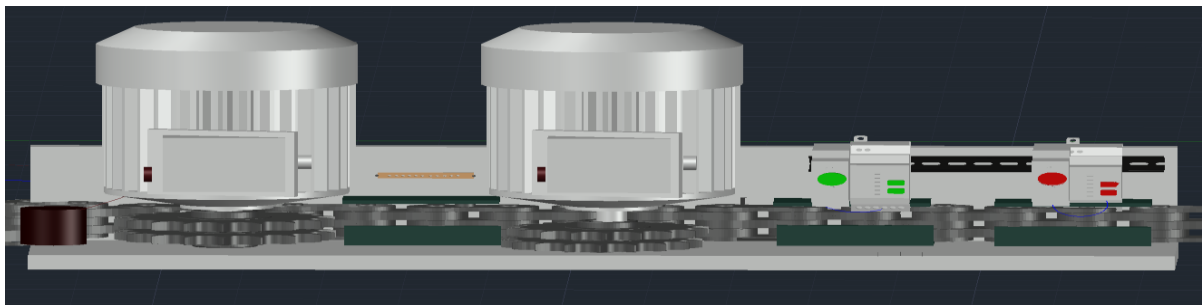


Рисунок 22 – Вид слева

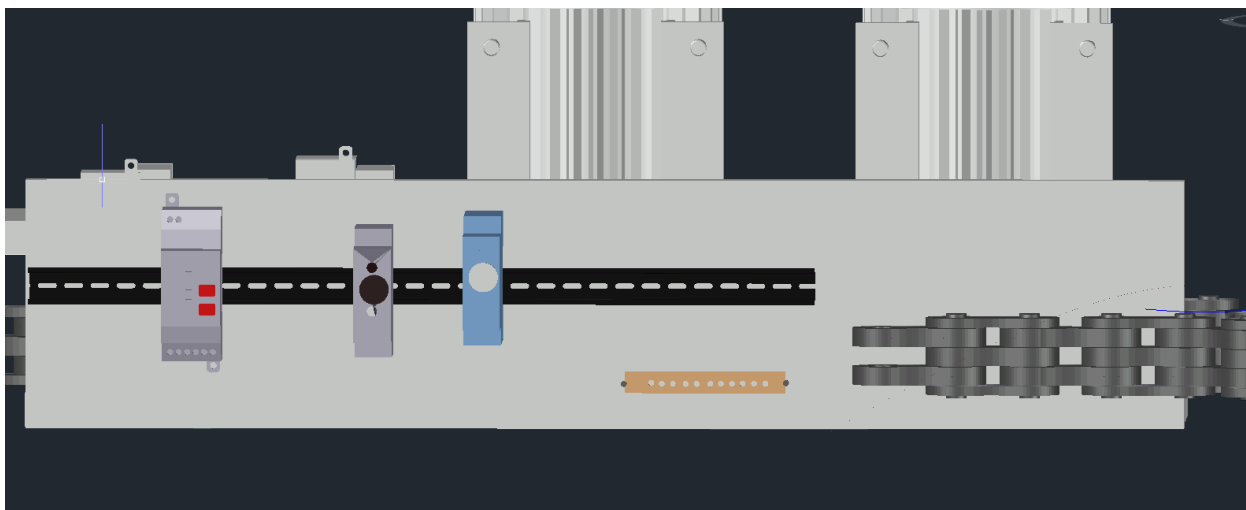


Рисунок 23 – Вид справа

Соединяем все эти элементы между собой проводами. В итоге получается мобильная система с простой конструкцией для герметичного спаивания биг-бэг мешка (рисунок 24) (рисунок 25).

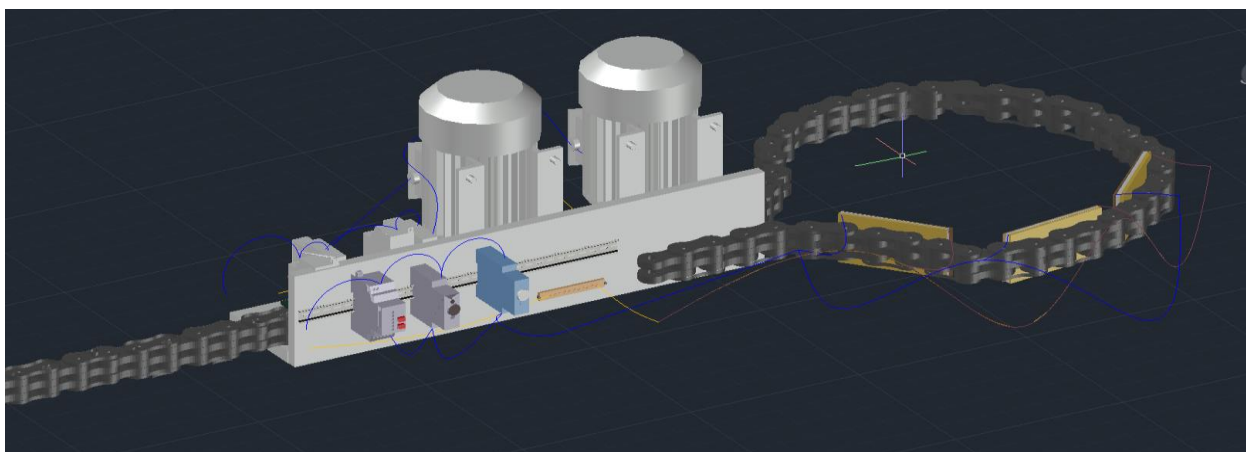


Рисунок 24 – Готовое оборудование для спайки биг-бэг мешка (вид справа)

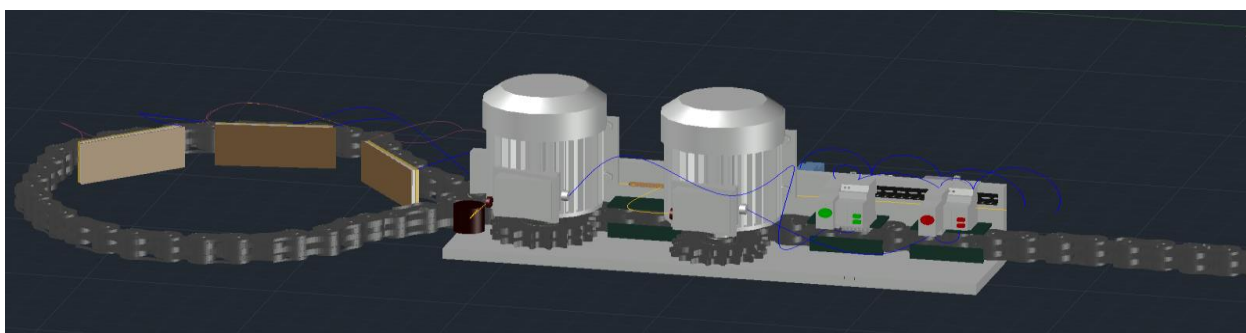


Рисунок 25 - Готовое оборудование для спайки биг-бэг мешка (вид слева)

2.2 Принцип работы

1. Мешок заполненный сыпучими материалами фиксируется в зоне спайки.

2. Оборудование на мобильной руке передвигается в зону мешка. С наименьшим усилием оператор корректирует положение мешка чтобы верхняя часть мешка была внутри круга (цепи).

3. Убедившись в правильном положении мешка, оператор нажимает кнопку запуска первого электродвигателя. Заранее настроенный таймер под конкретный тип мешка пропускает ток через себя и включает электродвигатель. Электродвигатель начинает вращать шестерню, а шестерни в свою очередь цепь. По истечению времени заданной оператором на таймере, выключается вращение шестерни. В итоге цепь максимально сжимает пучок мешка (рисунок 26).

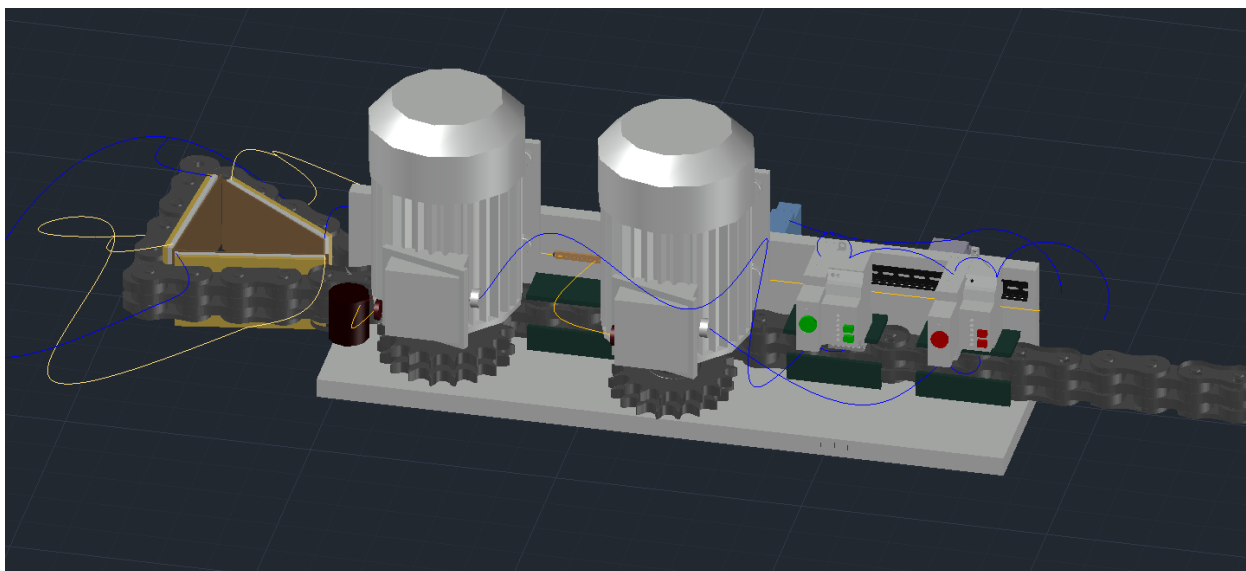


Рисунок 26 – Положение сжатия мешка

4. Оператор заранее регулирует таймер и регулятор мощности для нагрева мешка под определенный тип мешка на другой стороне оборудования.

5. Нажимает на кнопку запуска. По истечению времени таймера нагревательного элемента, происходит спайка мешка (рисунок 27).

6. Оператор нажимает на кнопку запуска второго электродвигателя. Второй электродвигатель двигает шестерню в обратном направлении. Нужен для того чтобы отпустить зажатый мешок и вернуть цепь в исходное положение.

7. В итоге мы получаем запаянный в верхней части мешок.

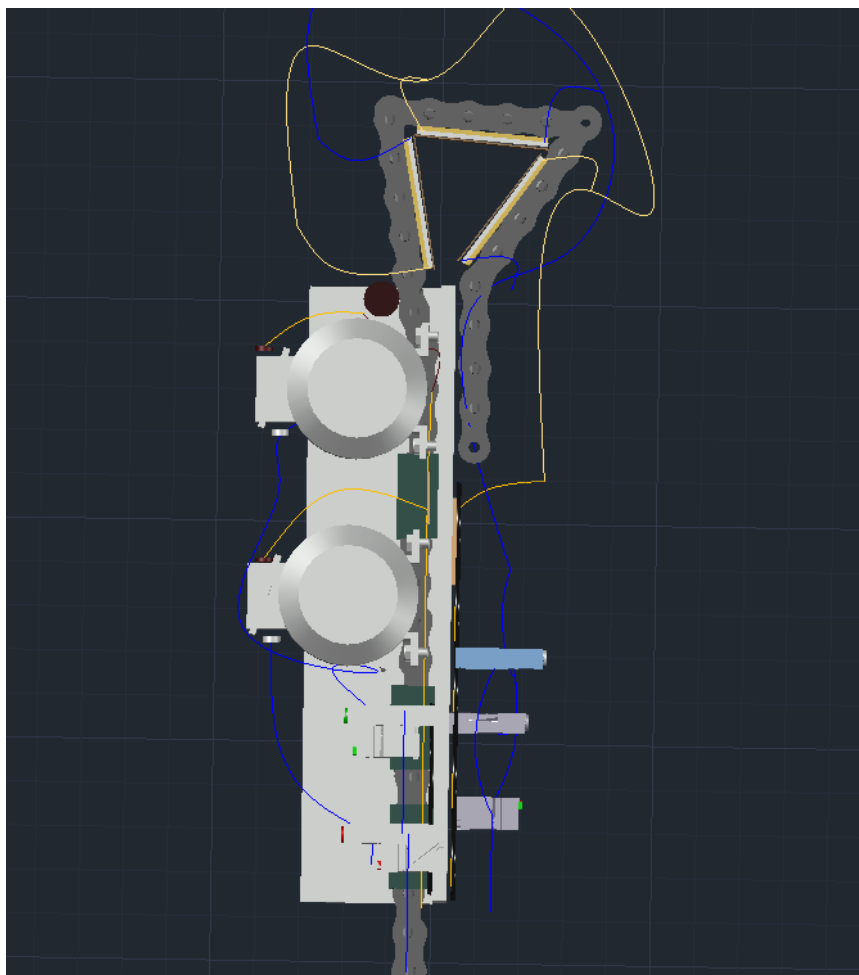


Рисунок 27 – Вид сверху оборудования в сжатом режиме

2.3 Математическая модель

Начнем с расчета усилия сжатия и необходимого крутящего момента для цепи. Для этого измеряем диаметр и периметр мешка в сжатом состоянии (рисунок 28).



Рисунок 28 – Расчет усилия сжатия



Рисунок 29 – Периметр горловины мешка в сжатом состоянии

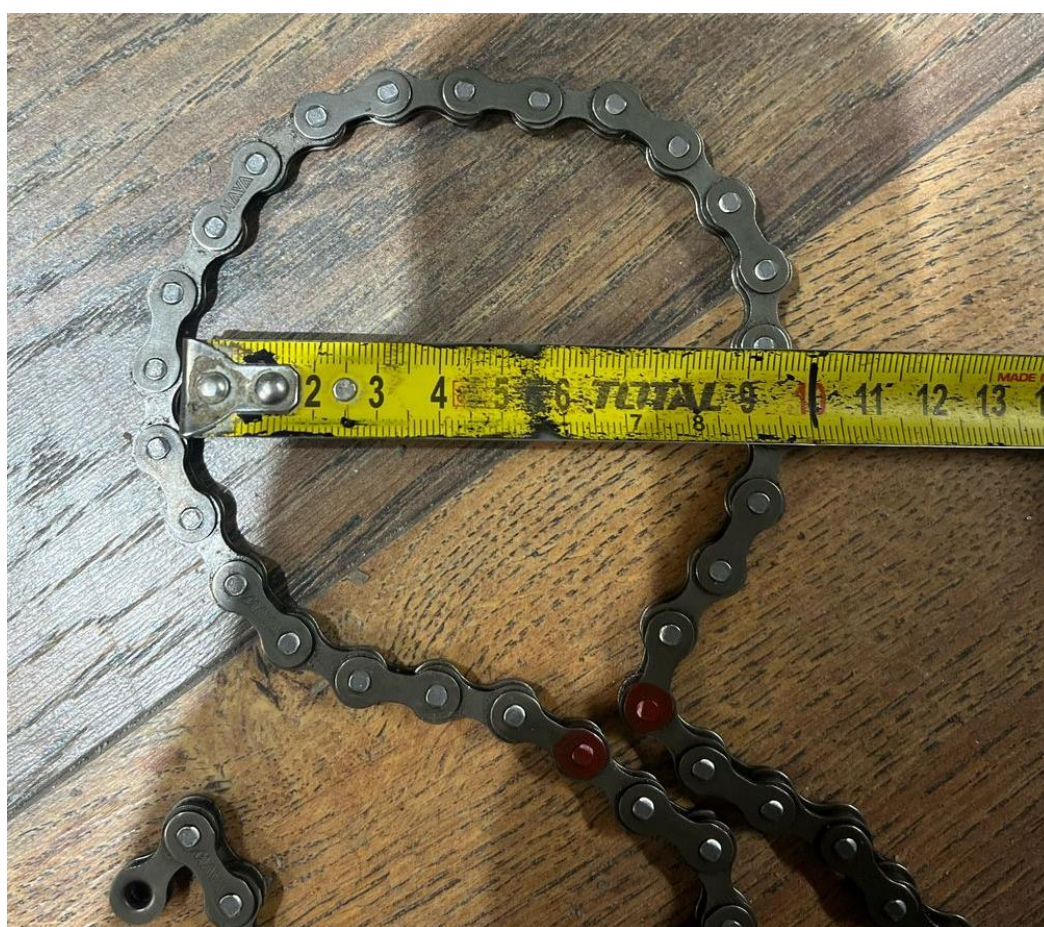


Рисунок 30 – Диаметр горловины мешка в сжатом состоянии

Исходя из взятых данных замер фактического периметра охватываемого мешка в максимально сжатом состоянии составило 32 см.
Для определения необходимого радиуса сжатия воспользуемся формулой окружности:

$$C = 2\pi r \Rightarrow r = \frac{C}{2\pi}, \quad (2.1)$$

$$r = \frac{32}{2 * 3.14} \approx 5.1 \text{ см} = 0,051 \text{ м},$$

Таким образом, радиус пучка составляет приблизительно 5,1 см.

Для расчета необходимого крутящего момента, который должен обеспечить электродвигатель с редуктором, используем следующую формулу:

$$M = F * r, \quad (2.2)$$

Где:

M — крутящий момент, Н·м

F — сила натяжения (допустимая расчетная нагрузка на мешок), Н

r — радиус пучка, м

При расчетной нагрузке 100 Н:

$$M = 100 * 0.051 = 5.1 \text{ Н * м}$$

Таким образом, электродвигатель должен обеспечивать крутящий момент не менее 5,1 Н·м.

Расчетная нагрузка в 100 Н — это сила, которую мы предположительно прикладываем к мешку (в точке обжатия), чтобы обеспечить достаточное сжатие пучка перед спайкой. 100 ньютонов — это примерно 10 кг усилия (так как $1 \text{ кг} \approx 9,81 \text{ Н}$). Это: не слишком много, чтобы порвать мешок; и не слишком мало, чтобы мешок не сжался до нужного диаметра.

Мы уже знаем периметр обхвата мешка $L = 32 \text{ см}$.

Рассчитаем диаметр цепи образующий окружность :

$$D = \frac{L}{\pi}, \quad (2.3)$$

$$D = \frac{0.32}{3.14} \approx 0.102 \text{ м} = 10.2 \text{ см}$$

Рассматриваем усилие, необходимое для удержания и деформации пучка. Средняя сила натяжения цепи которую должен приложить двигатель к цепи, определяется из условий прочности материала мешка. В литературе где описывается прочность полимерных материалов указано, что прочность материала мешка составляет примерно $\sigma = 12 \text{ МПа} = 12 * 10^6 \text{ Па}$ [6].

Если толщина мешка $h = 150\mu m = 150 * 10^{-6}m$, а ширина контакта цепи с мешком $b = 10mm = 0,01m$, то максимальное усилие, которое не вызывает разрыв :

$$F = \sigma * h * b, \quad (2.4)$$

$$F = 12 * 10^6 * 150 * 10^{-6} * 0.01 = 18 \text{ Н}$$

Проведем **тепловой** расчет. Нужную энергию для пайки. Требуемое количество тепла Q , чтобы расплавить мешок определяется по формуле:

$$Q = m * c * \Delta T, \quad (2.5)$$

где:

- m – масса обрабатываемой зоны ($5g = 0.005 \text{ кг}$)
- $c \approx 1900 \text{ Дж/кг}$ – теплоемкость полипропилен [6]
- $\Delta T = T_{\text{плавления}} - T_{\text{окр}} \approx 170 - 25 = 145 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$Q = 0.005 * 1900 * 145 \approx 1377,5 \text{ Дж}$$

Если захотим спаять за 5 секунд:

$$P = \frac{Q}{t}, \quad (2.6)$$

$$P = \frac{1377,5}{5} \approx 275.5 \text{ Вт}$$

Нужно использовать нагреватель мощностью около 300 Вт.

Рассчитаем характеристики электродвигателя с редуктором. Так как мы знаем что крутящий момент $M = 5.1 \text{ Н}$, нужно понять каков должен быть минимально электродвигатель с редуктором.

Что нужно:

- Исходная скорость двигателя $n_{\text{двиг}}$ (например, 3000 об/мин)
- Желаемая скорость вращения цепи $n_{\text{цепи}}$ (например, 30 об/мин)

Передачное число:

$$i = \frac{n_{\text{двиг}}}{n_{\text{цепи}}}, \quad (2.7)$$

$$i = \frac{3000}{30} = 100$$

Крутящий момент на валу двигателя:

$$M_{\text{двиг}} = \frac{M_{\text{нужный}}}{i * \eta}, \quad (2.8)$$

где η – КПД редуктора (возьмем 0,85)

$$M_{\text{двиг}} = \frac{5.1}{100 * 0.85} \approx 0.06 \text{ Н * м}$$

Исходя из этого можно понять что нам не нужен мощный электродвигатель. Подойдет самый маломощный электродвигатель.

Рассчитаем электрическую мощность электродвигателя.

Мы знаем момент и скорость вращения, с этими данными можно рассчитать мощность

$$P = \frac{M * \omega}{n}, \quad (2.9)$$

$$\text{Где } \omega = 2\pi \frac{n}{60}$$

$$\text{Если } n = 30 \frac{\text{об}}{\text{мин}},$$

$$\omega = \frac{2\pi * 30}{60} = \pi \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \quad (2.9.1)$$

$$P = \frac{5.1 * \pi}{0.85} \approx 18.8 \text{ Вт}$$

То есть двигателю нужно подать минимум 20 Вт.

Рассчитаем нужную мощность второго двигателя для возврата цепи. Второй двигатель необходим для ослабления натяжения цепи после завершения спайки мешка — он возвращает цепь в исходное положение. Усилие, необходимое для ослабления цепи, **меньше**, чем усилие для сжатия (примерно 30% от основного усилия). Значит, для обратного хода достаточно силы $F_{\text{возврат}} = 15 \text{ Н}$

Радиус шестерни остаётся прежним: $r = 0.02 \text{ м}$

Крутящий момент :

$$M = F * r, \quad (2.2)$$

$$M = 15 * 0.02 = 0.3 \text{ Н * м}$$

Угловая скорость :

Если цикл занимает 1.5 секунды, тогда:

$$\omega = \frac{2\pi}{1.5} \approx 4.19 \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \quad (2.9.1)$$

Мощность:

$$P = M * \omega = 0.3 * 4.19 \approx 1.26 \text{ Вт}, \quad (2.9.2)$$

2.4 Электрическая схема

Оборудование управляется тремя независимыми кнопками «Пуск», каждая из которых запускает определённую фазу процесса. Основные компоненты — два электродвигателя, нагревательная лента, таймеры и диммер (рисунок 31).

Для управления работой устройства предусмотрены три кнопки: первая запускает процесс обжата мешка, вторая активирует нагревательный элемент, а третья возвращает цепь в начальное положение. Каждый этап управляется соответствующим таймером: Timer №1 отвечает за двигатель обжата (M1), Timer №2 — за включение и отключение нагревательной ленты, а Timer №3 — за двигатель возврата цепи (M2). Мы использовали два электродвигателя: один с мощностью около 20 Вт — для натяжения цепи, второй — менее мощный (примерно 5 Вт), для обратного хода. Все элементы включаются через контакторы с функцией плавного пуска (C1–C3), что снижает нагрузку на схему. В качестве нагревательного элемента применяется нихромовая лента, а питание обеспечивается от бытовой сети 220 В. Для гибкой регулировки мощности нагрева установлен диммер. Также в схеме предусмотрен предохранитель на 10А для защиты всех узлов.

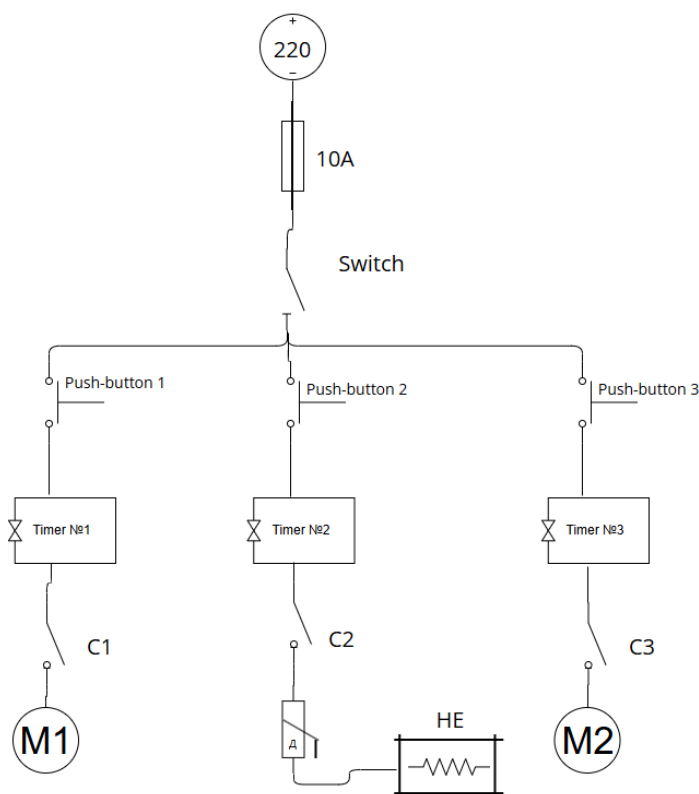


Рисунок 31 – Электрическая схема

На первом этапе оператор нажимает кнопку «Пуск 1», после чего включается электродвигатель, управляющий обжатием. Он получает питание через таймер, заранее настроенный на нужную длительность. Когда обжатие завершается, питание отключается, и мешок фиксируется.

Далее активируется нагрев. После нажатия кнопки «Пуск 2» нагревательная лента получает питание через диммер, позволяющий отрегулировать мощность. Таймер ограничивает длительность этого этапа, предотвращая перегрев.

После окончания нагрева запускается последний этап — отпускание мешка. Кнопка «Пуск 3» активирует второй двигатель, который вращает цепь в обратную сторону и возвращает механизм в исходное положение. В некоторых случаях остановка может быть выполнена вручную или с помощью концевого выключателя.

2.5 Анализ экспериментальных попыток и ошибок создания не рабочего макета

На этапе проектирования первого макета были проведены экспериментальные испытания с использованием простых и доступных нагревательных элементов. Целью экспериментов было проверить

возможность реализации системы обжимного нагрева с минимальными затратами и выявить основные ограничения.

Для опытов были изготовлены три нагревательные пластины размером по 8 см, каждая из которых представляла собой многослойную конструкцию: нихромовая лента и изолирующий слой из стеклотекстолита (рисунок 32). Эти пластины были соединены в одну цепь, подключённую к блоку питания мощностью 5 В, 60 А (рисунок 33). Такой источник тока был выбран потому, что суммарное сопротивление системы оказалось очень низким, а значит, для эффективного нагрева требовался большой ток при низком напряжении.



Рисунок 32 – Нихромовая пластина с стеклотекстолитом

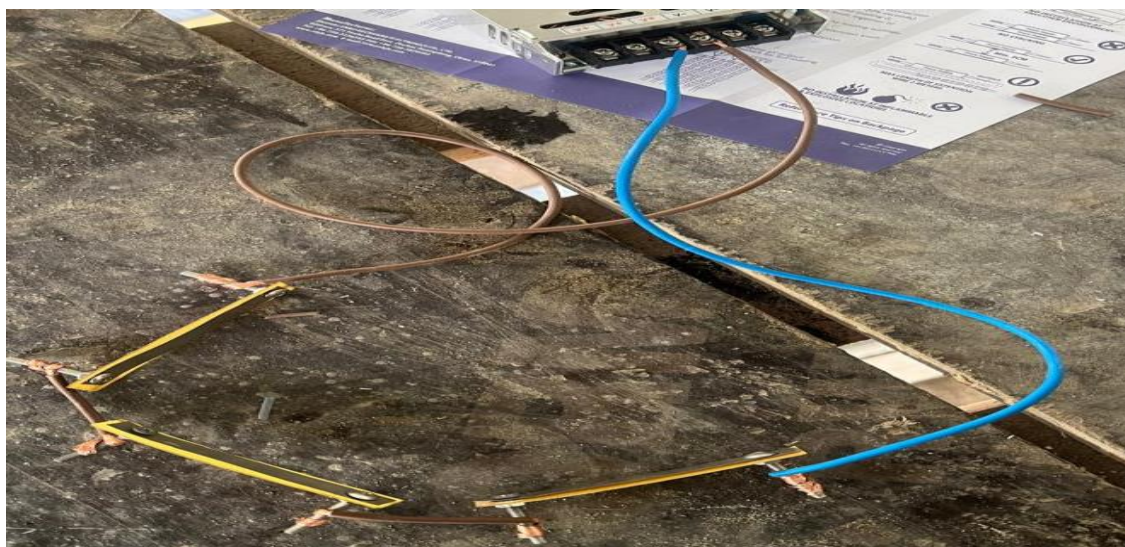


Рисунок 33 – Три пластины по 8 см

Собранная электрическая цепь обводилась вокруг сжатого пучка, образованного из горловины полипропиленового мешка (рисунок 34). Предполагалось, что равномерный прогрев этой зоны обеспечит прочное

термосварное соединение материала. Однако испытания выявили ряд существенных проблем.



Рисунок 34 – Система для нагрева пучка мешка

Во время испытаний проявился один из ключевых недостатков — нагрев материала происходил неравномерно. Края мешка, находящиеся ближе к источнику тепла, перегревались, в то время как центр оставался практически холодным. Из-за этого сформировался неравномерный шов, в котором середина не проплавилась должным образом.

Мы также обратили внимание на то, что даже при высокой силе тока эффективность нагрева оставалась низкой. Это объясняется тем, что общее сопротивление схемы оказалось слишком малым, и значительная часть энергии рассеивалась без пользы.

На полученных изображениях (рисунок 36) (рисунок 37) чётко видно: внешние слои материала обуглились, в то время как внутренние практически не расплавились. Такой результат подтвердил, что конструкция требует серьёзной переработки, прежде чем её можно будет применять на практике.



Рисунок 36 – Неудачная пайка пучка мешка



Рисунок 37 – Результат пайки

Таким образом, эти эксперименты позволили выявить ключевые инженерные ограничения:

- низкая эффективность нагрева при низком сопротивлении цепи;
- невозможность равномерного пропекания сложной формы (пучка) при использовании простого обвода;
- критическая важность обеспечения точечного давления и направленного теплового воздействия.

Несмотря на неудачу, проведённые опыты сыграли важную роль, так как помогли сэкономить ресурсы на следующих этапах и позволили перейти к разработке более продвинутого, рабочего макета.

После первых неудачных попыток с нагревательными пластинами было принято решение искать более эффективное решение для регулирования мощности. Так родилась идея создания схемы с использованием широтно-импульсной модуляции (ШИМ), которая позволила бы управлять большим током при низком напряжении, что идеально подходило для питания нихромовых нагревателей (рисунок 38).

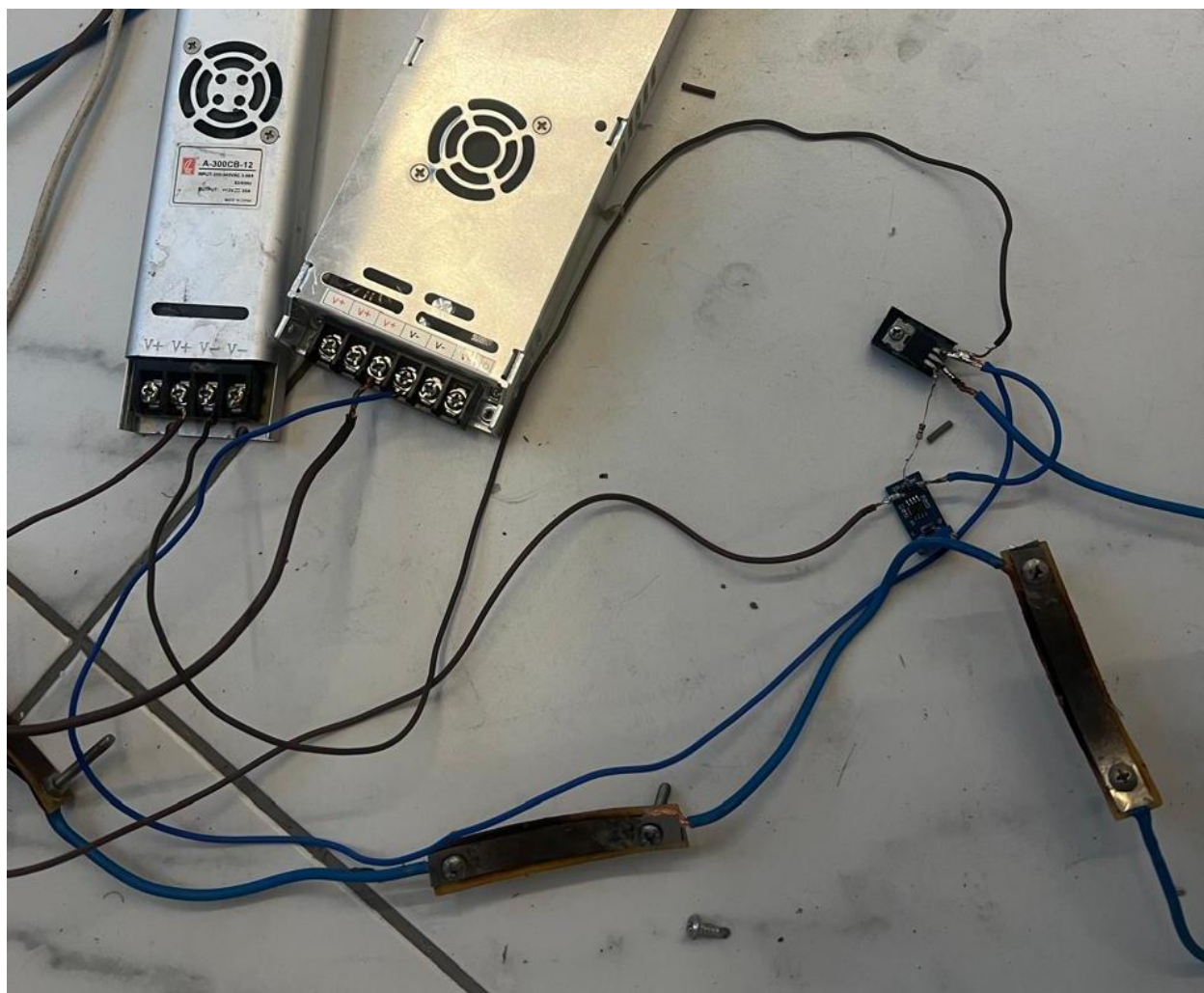


Рисунок 38 – Предварительно собранная схема с Ne555

На первом этапе был собран прототип на основе силового транзистора IRF3205, подключённого напрямую к источнику питания 5 В 60 А. Управление транзистором планировалось реализовать через модулятор на основе микросхемы NE555, которая генерировала регулируемые импульсы, задавая коэффициент заполнения ШИМ-сигнала (рисунок 39). Однако уже при первых испытаниях возникла проблема: транзистор IRF3205 сильно грелся, несмотря на правильное подключение, а нагревательные пластины, наоборот, практически не получали нужной мощности.

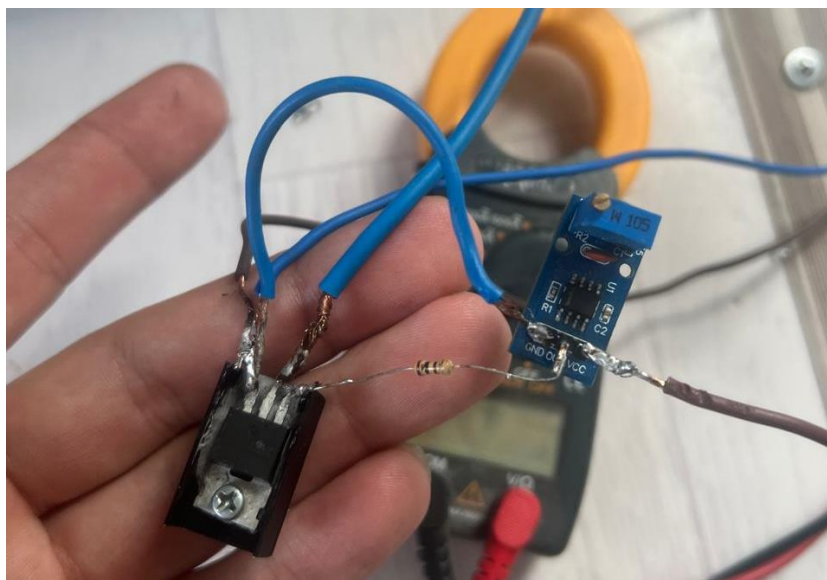


Рисунок 39 – Подключение IRF3205

Для решения этой проблемы было решено добавить в схему биполярный транзистор 2N2222, который должен был усилить сигнал и увеличить напряжение на затворе силового транзистора, чтобы IRF3205 открывался полностью (рисунок 40). В схему также были введены дополнительные резисторы, подбираемые экспериментально для настройки рабочих параметров (рисунок 41).

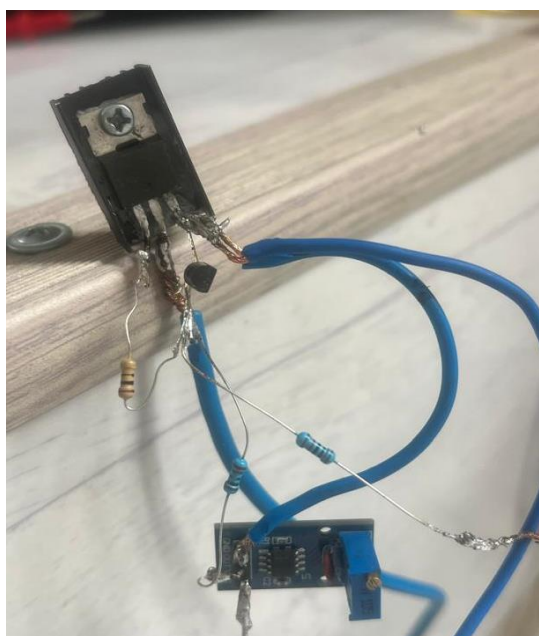


Рисунок 40 – Подключение биполярного транзистора

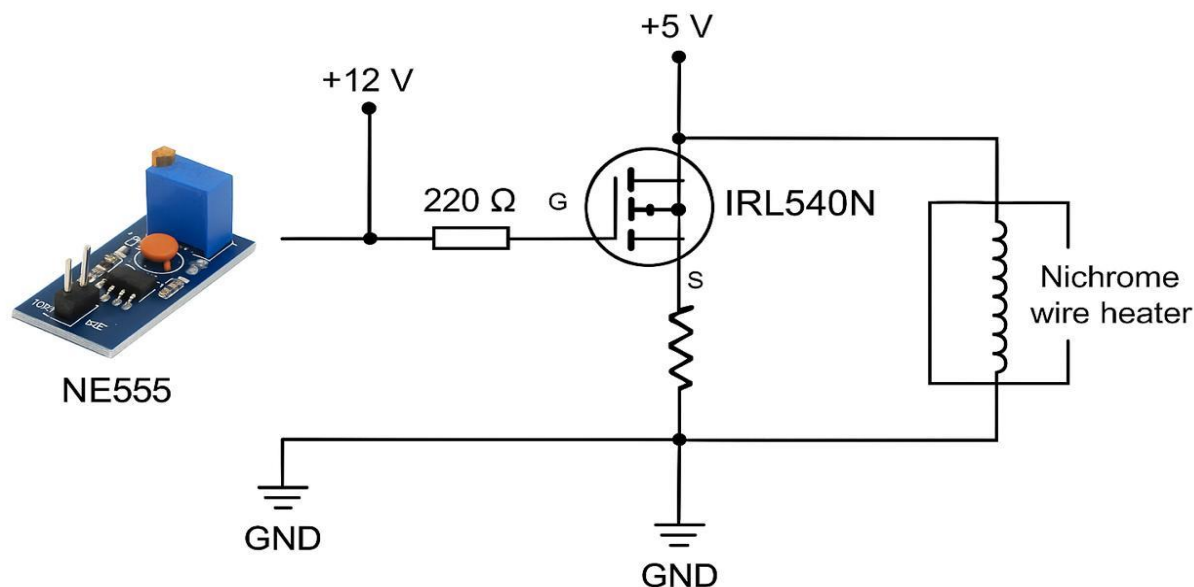


Рисунок 41 – Схема подключения ШИМ регулятора на нихромовую ленту

Однако даже с этой доработкой проблема не исчезла: при подключении нагрузки большая часть энергии уходила на нагрев самого транзистора, а не на нихромовые элементы. Было принято решение протестировать схему с использованием логических транзисторов с низким порогом открытия, однако и это решение не дало желаемого результата — схема по-прежнему показывала низкий КПД, а тепловая мощность распределялась неэффективно.

Таким образом, серия экспериментов с ШИМ-регуляцией, построенной на базе NE555, IRF3205 и биполярного транзистора 2N2222, показала, что выбранные компоненты не обеспечивают требуемой эффективности и надёжности. Несмотря на многократные попытки оптимизации схемы, включая подбор резисторов, смену транзисторов и изменение топологии подключения, большая часть энергии продолжала уходить на нагрев элементов схемы, а не на нагревательные пластины. Эти испытания, хотя и не привели к практическому успеху, позволили выявить ключевые инженерные ограничения и ошибки. Это дало возможность команде перейти к разработке финального макета оборудования с новым подходом, учитывающим полученные выводы и опыт.

Следующий этап работы был полностью сосредоточен на создании рабочего образца, где были реализованы усовершенствованные конструктивные и электрические решения для достижения надёжного и промышленно применимого результата.

3 Разработка финального рабочего макета

3.1 Конструктивная часть

После завершения экспериментов и анализа их результатов мы пришли к выводу, что прежние подходы не обеспечивают нужного качества и надёжности. Поэтому следующим шагом стала разработка финального макета оборудования, уже с прицелом на реальное промышленное применение.

Мы отказались от сложных и нестабильных конструкций и сконцентрировались на создании простого, но эффективного решения. В новой версии удалось достичь равномерного распределения тепла, надёжной фиксации мешка и точного управления температурным режимом.

Ниже приведено подробное описание финального образца: от конструктивной схемы до электрической части, включая расчёты и данные по испытаниям, которые подтвердили работоспособность модели.

Корпус финального рабочего макета собран из деревянных брусков сечением 30 на 40 миллиметров. Основная рама включает четыре бруска длиной 30 сантиметров, четыре бруска по 25 сантиметров и четыре бруска по 35 сантиметров (рисунок 42). Прижимная крышка изготовлена из двух брусков по 25 сантиметров и двух брусков по 30 сантиметров, что обеспечивает плотное и точное прилегание к верхней части конструкции. Для удобства управления дополнительно установлена рейка длиной 20 сантиметров, которая служит опорой для ручки. Все элементы соединены саморезами и мебельными уголками, а в местах наибольшей нагрузки добавлены металлические уголки для повышения прочности (рисунок 43) [6].

В нижней части рабочей зоны закреплено тефлоновое покрытие, выдерживающее нагрев до 300 градусов Цельсия [3]. Это покрытие защищает деревянные элементы от возможного возгорания и обеспечивает безопасную эксплуатацию оборудования (рисунок 44). В качестве нагревательного элемента применена нихромовая лента шириной 10 миллиметров и длиной 27 сантиметров. Она способна разогреваться до температур выше 700 градусов Цельсия при правильной настройке блока питания и использовании проводов соответствующего сечения. Лента закреплена на крышке переднего бруса (25 сантиметров) с помощью саморезов и винтов через клеммы, что обеспечивает надёжный электрический контакт и равномерный нагрев по всей длине (рисунок 45) [6].

Подвижная прижимная рамка соединена с основной рамой с помощью шарнирных креплений и фиксируется металлической защёлкой. Такая конструкция позволяет плотно прижимать горловину мешка во время процесса спайки и обеспечивает равномерное распределение давления.

Управляющая ручка установлена на верхней перекладине и используется для подъема и опускания прижимного механизма (рисунок 46) [6].

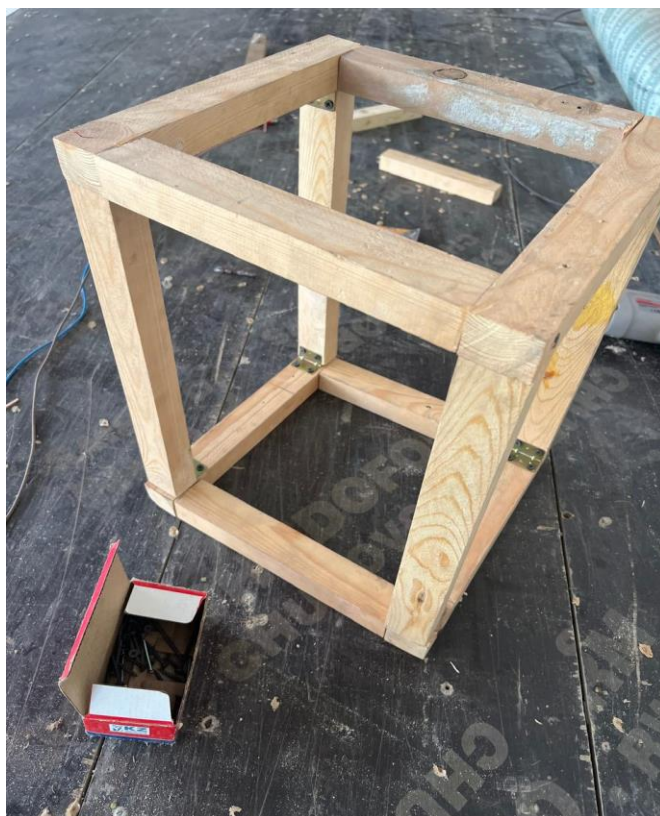


Рисунок 42 - Корпус устройства



Рисунок 43 - Повышение прочности рамы



Рисунок 44 - Тефлоновое покрытие(политетрафторэтилен)



Рисунок 45 - Нихромовая лента закрепленная на брус с подключением проводов



Рисунок 46 - Металлическая защелка для обеспечения равномерного давления

Для достижения оптимальной температуры и плавного старта используется Блок питания 5в 60А 300w. Такой БП был подобран именно для нагрева нихромовой ленты, так как сопротивление нихромовой ленты в 27 см очень мал, тем самым требует малого напряжения и большого тока. Для управления блоком питания используется таймер выключения Т3230 (реле времени) (рисунок 47). Оно обеспечивает точное отключение питание для избежание перегрева ленты [6].



Рисунок 47 - БП с таймером Т3230

Собрав все получаем мобильный макет запаечного устройства (рисунок 48).



Рисунок 48 - Макет запаечного устройства для полипропиленовых мешков

3.2 Математическая модель

1. Расчёт фактического тока через нихромовую ленту

Исходные данные: Напряжение питания: 5 В , сопротивление нихромовой ленты: 0.135 Ом

По закону Ома:

$$I = \frac{U}{R}, \quad (3.2)$$

$$I = \frac{5}{0.135} \approx 37.04 \text{ Вт}$$

Таким образом, при включении источника питания на 5 В через нихромовую ленту протекает ток около 37 А. Это значение значительно ниже предельного тока источника (60 А), что говорит о наличии запаса и корректной работе схемы [6].

3. Расчёт тепловой энергии за 31 секунду нагрева

Из проведенных экспериментов с временем было выявлено что оптимальным временем для полной и надежной сварки полипропилена при такой мощности требуется в среднем 28 – 32 секунды. За расчет берем среднее 31 секунду.

Энергия, выделившаяся в течение всего цикла нагрева:

$$Q = P * T, \quad (3.3)$$

$$Q = 185 * 31 \approx 5.7 \text{ кДж}$$

Для расплавления полиэтиленовой поверхности достаточно 1–2 кДж. Таким образом, энергия в 5.7 кДж является значительным запасом, компенсирующими теплопотери в воздух, подложку и материал мешка. Это гарантирует надёжное термоспаивание [6].

4. Проверка плотности тока

Важно проверить, не превышена ли допустимая плотность тока, чтобы исключить перегрев и перегорание ленты.

Геометрические параметры ленты:

Ширина: 10 мм = 0.01 м

Толщина: 0.1 мм = 0.0001 м

Площадь переменного сечения: $A = 0.01 * 0.0001 = 1e^{-6} \text{ м}^2$

Плотность тока:

$$J = \frac{I}{A}, \quad (3.4)$$

$$J = \frac{37.04}{1e^{-6}} = 3.704 * 10^7$$

Для нихрома допустимая кратковременная плотность тока составляет до 10^7 А/м². Таким образом, в данном устройстве используется предельное значение, что допустимо при кратковременной работе и наличии термостойкой подложки (например, тефлоновое покрытие), обеспечивающей теплоотвод [6].

5. Расчёт необходимой силы прижима для сварки полипропилена

Для качественной сварки полипропилена необходимо обеспечить достаточное давление между нагревательной лентой и материалом. По литературным данным, требуемое давление при сварке полипропилена составляет от 0.15 до 0.3 МПа. Площадь сварочного шва: Ширина: 10 мм = 0.01 м Длина: 270 мм = 0.27 м

Находим площадь

$$S = a * b, \quad (3.5)$$

$$S = 0.01 * 0.27 = 0.0027 \text{ м}$$

Минимально необходимая сила прижима:

$$F = P * S, \quad (3.6)$$

$$F = 0.15 * 10^6 * 0.0027 = 405 \text{ Н}$$

Таким образом, механизмы прижима должны обеспечивать усилие не менее 405 Н (примерно 41 кг). Это значение может быть достигнуто при использовании пружинных, кулачковых или защёлочных фиксаторов [6].

6. Расчёт эффективности теплопередачи от ленты к мешку

Коэффициент теплопередачи (приблизённо):

Основные пути передачи тепла — контактная передача от нихрома к полипропилену через тефлоновое покрытие и мешок.

Упрощённо, общее количество тепла, переданное материалу, зависит от:

$$Q = \eta * Q_{\text{пол}}, \quad (3.7)$$

Где:

η (КПД) — доля тепла, реально поступающая к мешку

Q — вся выделенная энергия (≈ 5.7 кДж)

$Q_{\text{пол}}$ — полезное тепло, поступившее в зону сварки [6].

В инженерной практике для контактных нагревателей КПД обычно оценивается в пределах 15–25%, остальное теряется в форме: Излучения, теплопроводности в подложку, нагрева воздуха. Таким образом, даже при 20% КПД:

$$Q = 0.2 * 5735 \approx 1147 \text{ Дж}, \quad (3.8)$$

Ранее мы рассчитали, что для надёжного плавления требуется ~240 Дж. Это означает, что даже с потерями запас в тепле около 35 раз, что гарантирует стабильность сварки, при условии плотного прижима [6].

3.3 Принцип работы

Финальное устройство функционирует по следующему принципу. После того как мешок с сыпучими материалами полностью заполнен, его верхнюю часть вручную размещают в зоне термосварки. Затем оператор закрывает крышку устройства и фиксирует её при помощи защёлок, что обеспечивает плотное и равномерное прижатие материала в области будущего сварного шва [6].

После этого запускается таймер, заранее настроенный на выполнение определённого цикла. Сначала включается короткая задержка — примерно 5 секунд — которая необходима для стабилизации положения мешка и подготовки системы к нагреву. Затем подаётся питание на нагревательный элемент: нихромовую ленту длиной 27 сантиметров и шириной 1 сантиметр, обладающую электрическим сопротивлением 0,135 Ом. В течение установленного времени (около 31 секунды) лента разогревается до рабочей температуры, обеспечивая равномерное прогревание внешней поверхности полипропиленового мешка в зоне контакта [6].

После завершения процесса нагрева система автоматически отключает подачу электроэнергии с помощью настроенного таймера (например, модели Т3230). Затем оператор вручную открывает крышку, разблокировав защёлки, и извлекает готовый, герметично спаянный мешок. В результате образуется прочный сварной шов, обеспечивающий надёжное хранение и транспортировку содержимого (рисунок 49) [6].

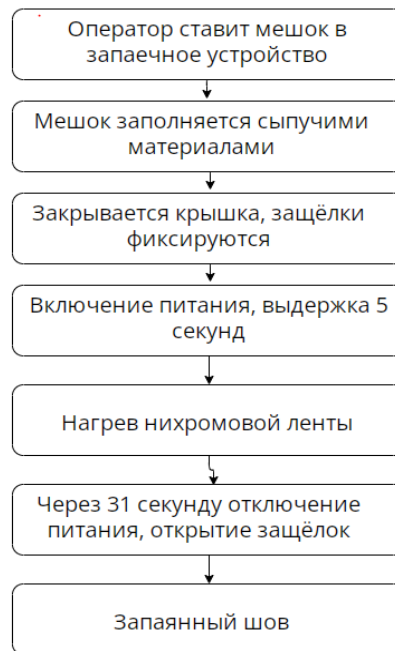


Рисунок 49 - Блок схема работы системы

3.4 Электрическая схема

Электрическая схема устройства построена таким образом, чтобы обеспечивать полностью автоматизированный цикл нагрева и запайки. Основными элементами схемы являются:

Источник питания 220 В — стандартная электрическая сеть;

Кнопка запуска (S1) — замыкает цепь и подаёт питание на систему;

Блок питания (PSU) — преобразует переменное напряжение 220 В в постоянное 5 В, с максимальным током до 60 ампер;

Таймер (T1) — электронный модуль управления, который задаёт две основные фазы:

- задержку перед началом нагрева (5 секунд),
- продолжительность подачи питания на нагревательный элемент (31 секунда);

Нагревательный элемент (R1) — нихромовая лента длиной 270 миллиметров и шириной 10 миллиметров, с сопротивлением 0,135 Ом. Она является ключевым компонентом системы и отвечает за плавление материала мешка в области сварки (рисунок 50) [6].

В этой схеме процесс начинается с нажатия кнопки запуска. После этого таймер активирует блок питания, который подаёт постоянное напряжение на нихромовый элемент. По истечении заданного времени таймер автоматически размыкает цепь, обеспечивая безопасность системы и предотвращая перегрев.

Такой подход позволяет полностью контролировать процесс нагрева, минимизируя человеческий фактор и повышая надёжность оборудования [6].

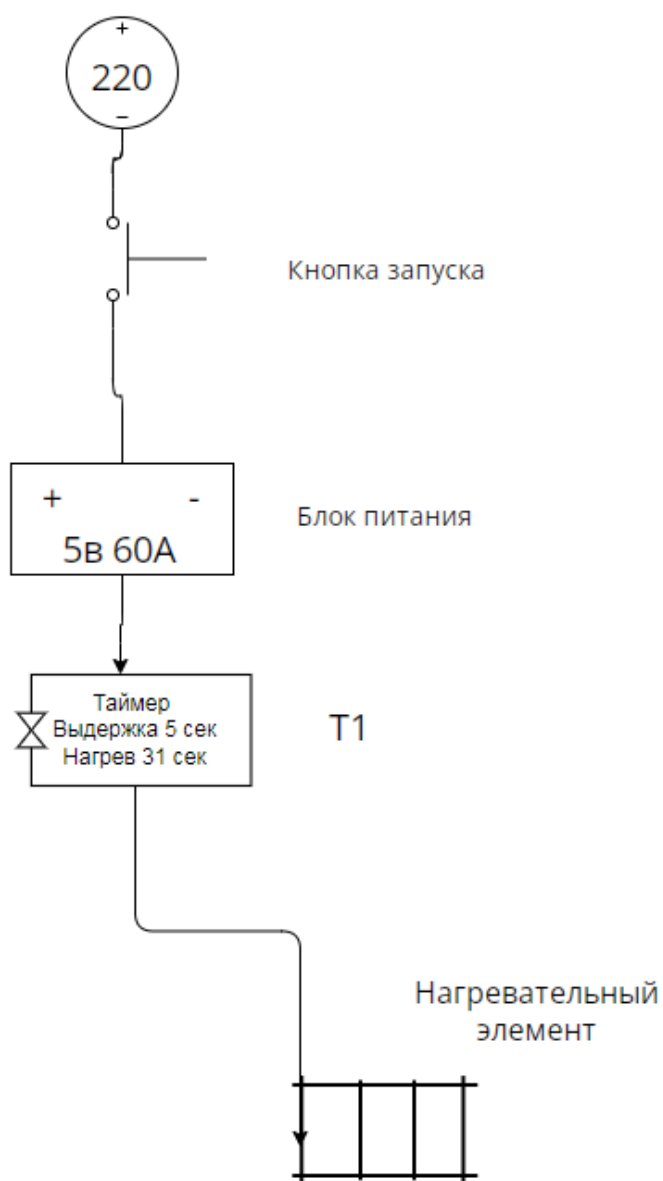


Рисунок 50 - Электрическая схема

3.5 Испытания финального макета

После завершения сборки финального макета были проведены экспериментальные испытания с целью проверки его работоспособности, настройки оптимальных параметров и оценки качества сварного шва. Испытания проводились поэтапно, с подробной фиксацией каждого шага [6].

Этап 1. Подготовка и установка мешка

На первом этапе верхний край полипропиленового мешка вручную направлялся в зону сварки (рисунок 51). Мешок фиксировался в устройстве с помощью защёлки, обеспечивающей равномерное прижатие материала по всей линии шва [6].



Рисунок 51 – Прижатие мешка

Этап 2. Набор температуры

После запуска устройства включался таймер и начинался процесс нагрева. В течение первых десяти секунд система постепенно набирала температуру (рисунок 52). На дисплее измерителя фиксировались промежуточные значения, позволяющие контролировать процесс в реальном времени [6].



Рисунок 52 – Промежуточный замер температуры

Этап 3. Достижение рабочей температуры

К 31-й секунде теста температура в зоне нагрева достигала порядка 213–228 °C (рисунок 53) (рисунок 54). Это значение соответствовало расчётным параметрам, обеспечивающим надёжное плавление полипропиленового материала.



Рисунок 53 – Температура при 31 секунде



Рисунок 54 – Замер температуры

Этап 4. Визуальная оценка результата

После завершения цикла нагрева и снятия защёлки проводилась проверка сварного шва. На фотографиях представлены результаты спайки: ровный, герметичный шов без прожогов и недоплавленных участков (рисунок 55) (рисунок 56). Эти образцы демонстрируют высокое качество соединения, пригодное для промышленного использования [6].



Рисунок 55 – Результат запаивания мешка с трех сторон

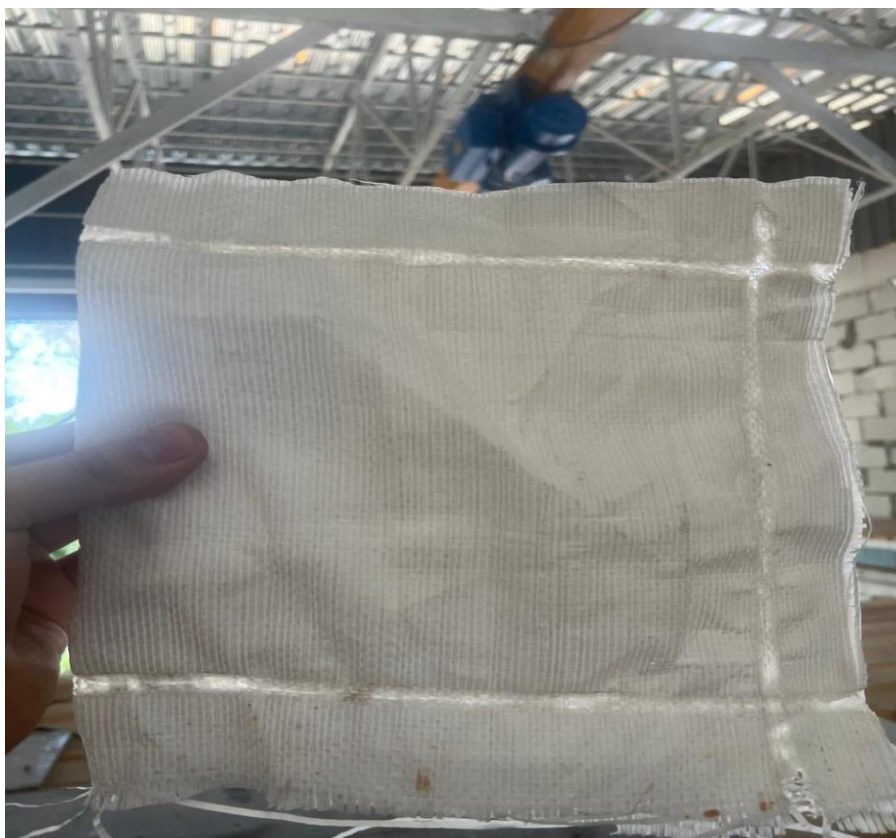


Рисунок 56 – Результат запаивания с обратной стороны

3.6 Результаты и выводы испытаний

Этап 5. Сравнительный анализ по времени нагрева

Особое внимание было уделено анализу качества шва при разной продолжительности нагрева. На снимке представлены обрезанные участки, полученные при 40, 35, 33 и 31 секундах нагрева (снизу вверх). Как показал эксперимент, именно режим 31 секунды обеспечивал оптимальное сочетание прочности и равномерности, в то время как более долгий нагрев приводил к перегреву и повреждению материала. При осмотре образцов отмечались такие параметры, как наличие или отсутствие прожогов, ровность линии спайки и отсутствие зазоров между слоями материала. Образцы, сваренные при 40 секундах, демонстрировали явные признаки пережога — материал терял эластичность, становился ломким, а края шва часто выглядели обугленными. При 35 секундах ситуация улучшалась, но всё ещё наблюдались локальные зоны перегрева. Режим 33 секунды уже давал более ровный результат, но лишь при 31 секунде удалось достичь баланса между температурой, временем и прочностью шва. Эти данные подтверждают расчётные модели и совпадают с ранее определёнными параметрами математических расчётов. (рисунок 57) [6].



Рисунок 57 – Анализ по времени нагрева

На рисунке ниже представлена диаграмма, отображающая взаимосвязь между силой тока, температурой нагрева и выделенной энергией. Эта диаграмма позволяет наглядно проследить, как изменяются параметры системы при увеличении электрической нагрузки, а также подтвердить эффективность выбранного подхода (рисунок 58) [6].

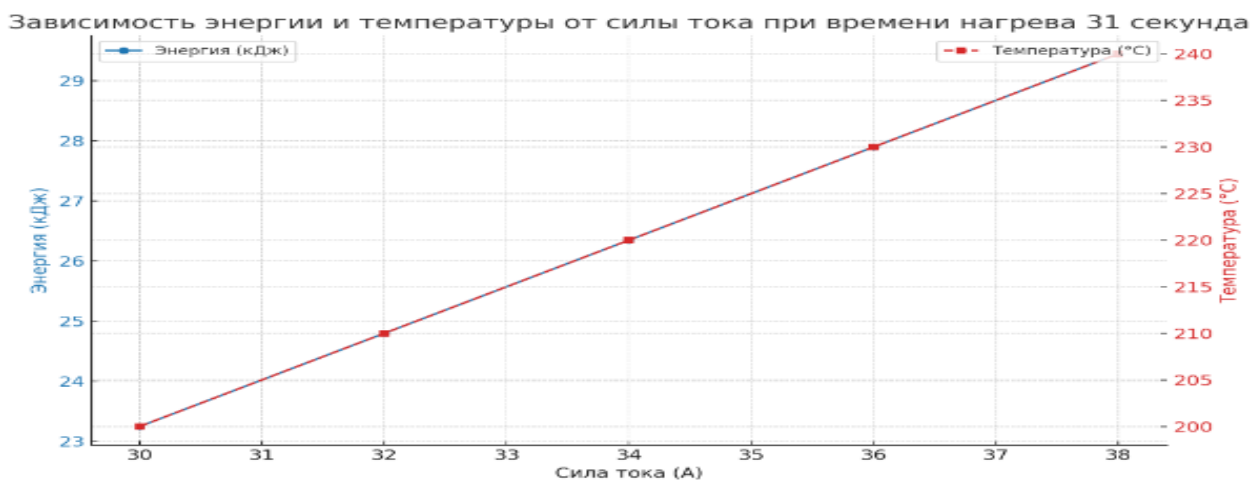


Рисунок 58 – Зависимость энергии, температуры и силы тока

3.7 Анализ неудачных экспериментальных попыток создания рабочего макета

Для достижения финального образца оборудования потребовалось провести немало экспериментов.

Эксперимент №1 был проведен с ТВЧ станком для натяжных потолков.

Цель эксперимента – сможет ли станок ТВЧ провести качественную спайку полипропиленовых мешков.

Принцип работы ТВЧ-станка для нагрева и спайки материалов:

Создание высокочастотного тока:

ВЧ-генератор формирует переменный ток высокой частоты (обычно 13,56 или 27,12 МГц).

Этот ток подается на электроды, создавая в зоне контакта электромагнитное поле.

Нагрев материала:

Электромагнитное поле вызывает диэлектрические потери в молекулах полимера (например, ПВХ).

Энергия этих потерь преобразуется в тепло внутри материала, равномерно нагревая его до температуры плавления.

Прессование и сварка:

Верхний электрод прессует материал к нижнему, обеспечивая равномерное распределение тепла и давления.

При достижении температуры плавления полимеры соединяются, формируя прочный сварной шов.

Охлаждение:

После завершения подачи тока материал охлаждается под давлением, что закрепляет сварное соединение (рисунок 32).



Рисунок 32 – Рабочий стол ТВЧ

Системы контроля:

Современные ТВЧ-станки оснащены автоматическим контролем температуры, времени сварки и силы тока, что снижает вероятность брака и повышает точность процесса (рисунок 33).



Рисунок 33 – Составные части и регулировка подаваемого тока

Результат эксперимента оказался отрицательным. В ходе эксперимента выяснилось что :

Несовместимость материалов. ТВЧ спайка эффективна только для полярных термопластичных материалов, таких как ПВХ (поливинилхлорид) или ПУ(полиуретан). Так как наш материал полипропилен, оно не является полярным материалом. У него низкая диэлектрическая проницаемость, из за этого он не нагревается в высокочастотном электромагнитном поле и не спаивается. Принцип работы ТВЧ. Сам ТВЧ нагревает материал за счет диэлектрических потерь при пропускании высокочастотного электромагнитного поля.

Эксперимент №2 – Использование станка для спайки упаковочных пакетов. **Цель эксперимента** – Выявить эффективность спайки для полипропиленовых мешков, освоить принцип нагрева для спайки пакетов.

Эксперимент был проведен с станком - BSF-601 Manual L-Seal Cutter производства компании Hualian Machinery Group Co., Ltd [3].

Аппарат используется для резки термоусадочной пленки и подготовки её к упаковке. Напряжение: 220 В / 50 Гц. Мощность: 1 кВт. Максимальная зона запайки: 600×500 мм. Регулируемое время нагрева: 0–3 секунды. Габариты: 900×800×420 мм (рисунок 34) [3].

Используется для упаковки товаров в пищевой промышленности, фармацевтике, а также для упаковки потребительских товаров, где требуется герметичность и защита от внешнего воздействия (рисунок 35) [3].



Рисунок 34 – станок BSF-601



Рисунок 35 – Процесс заправки термоусадочной пленки

Состоит из :

1. Рамная конструкция
2. L-образный нож (система резки и запайки)
3. Нагревательная система
4. Система управления
5. Рабочий стол
6. Держатели пленки [3].

Нагревающим элементом является – утолщенная спиральная нихромовая нить. Принцип работы: С помощью L-образного ножа пленка разрезается и одновременно заплавляется. Благодаря регулируемому времени нагрева обеспечивается плотная фиксация пленки на объекте. Чем больше времени устанавливается тем сильнее нагревается пленка (рисунок 36).



Рисунок 36 – Результат после спайки пакета

Проведем эксперимент с спайкой мешка из полипропилена.(рисунок 37).



Рисунок 37 – Установка мешка

В ручную опускаем L-образный нож. При опускании начинается нагрев металлической проволоки, и включается таймер. Таймер установлен на 1,3 сек. Тем самым происходит спайка мешка. Мешок разрезается и запаивается одновременно (рисунок 38) (рисунок 39).

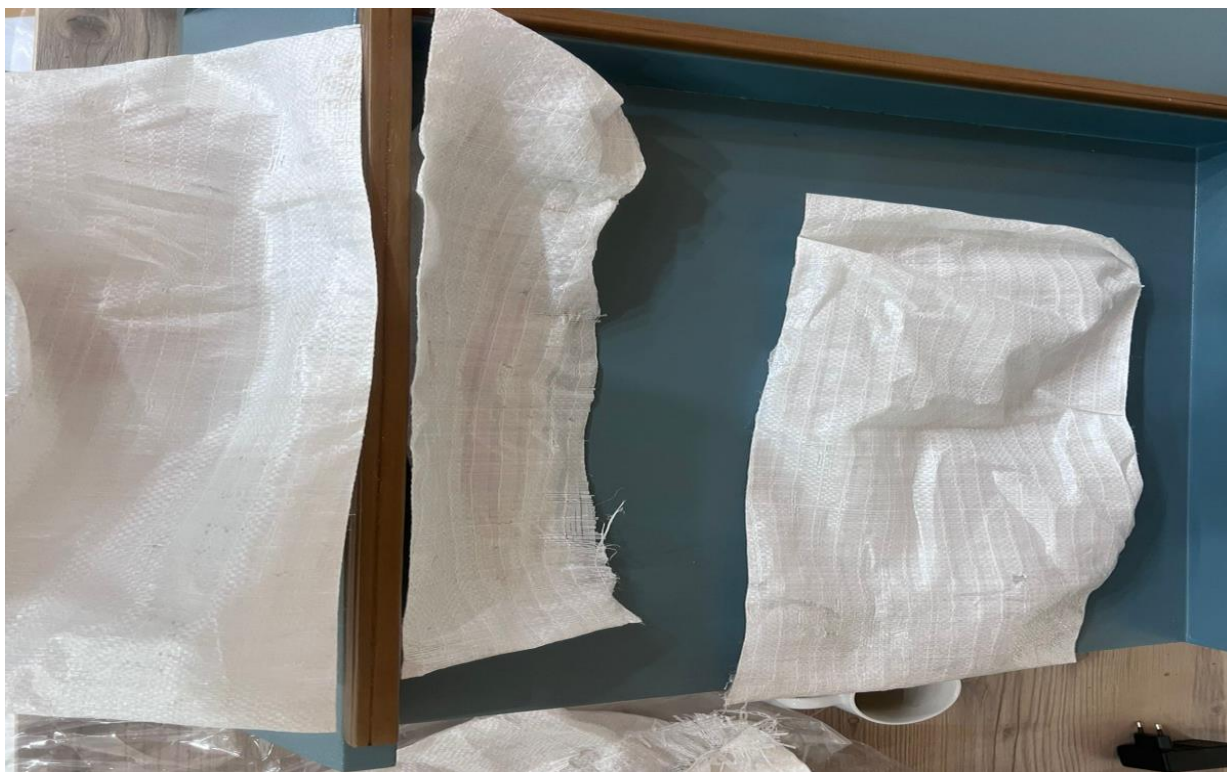


Рисунок 38 – Резка и запаивания мешка



Рисунок 39 – Результат запаивания

К сожалению результат не положительный. Резка и запаивания происходит быстро. Но шов который делает этот аппарат является не прочной (рисунок 40).



Рисунок 40 – Провальный результат

Подведем итоги. Эксперимент оказался провальным. Использование станка для терма усадочной пленки не является подходящим. Резка мешка происходит мгновенно, но качество спайки очень плохое. Для мешков биг-бэг необходимы прочные швы, способные выдерживать значительный вес содержимого. Также требует высокую герметичность шва. В итоге станок BSF-601 не подходит для спайки мешков сделанных из полипропилена.

Но проводя этот эксперимент мы узнали что можно использовать систему нагрева этого оборудования. Системой нагрева является нихромовая нить.

Этот метод непригоден. В ходе изучения этого метода выяснилось, что:

1. Несовместимость материалов. Склеивание ПНД эффективно только для полярных термопластичных материалов, таких как ПВХ (поливинилхлорид) или ПУ (полиуретан). Поскольку наш материал - полипропилен, он не пользуется популярностью. Он обладает низкой диэлектрической проницаемостью, поэтому не нагревается в высокочастотном электромагнитном поле и не паяется [7][8].

2. Принцип работы HDTV. Сам ПНД нагревает материал за счет диэлектрических потерь при прохождении высокочастотного электромагнитного поля [9].

Машина для производства термоусадочной пленки не подходит. Пакет разрезается мгновенно, но качество спайки оставляет желать лучшего. Для пакетов биг-бэг требуются прочные швы, способные выдержать значительный вес содержимого. Кроме того, требуется высокая герметичность швов. В результате машина BSF-601 не подходит для пайки пакетов из полипропилена [10].

Но, проводя этот эксперимент, мы узнали, что можно использовать систему нагрева этого оборудования. В качестве системы нагрева используется нихромовая нить накала [11].

Эксперимент №3 – Использование горячего клина

При осмыслении системы нагрева. Пришла идея использовать горячий клин то есть металлическую пластину (медную) для спайки мешков. Идею взял с ТВЧ станка. В нем используется медная пластина длиной 67 см и толщиной в 3 или 2 мм (рисунок 41).

Принцип работы - Греющий элемент (металлический клин с нагревателем внутри) нагревается до 200-300°C. Мешок проходит между прижимными роликами, которые плотно прижимают расплавленный слой. Остывание и фиксация – мешок выходит уже запаянным.

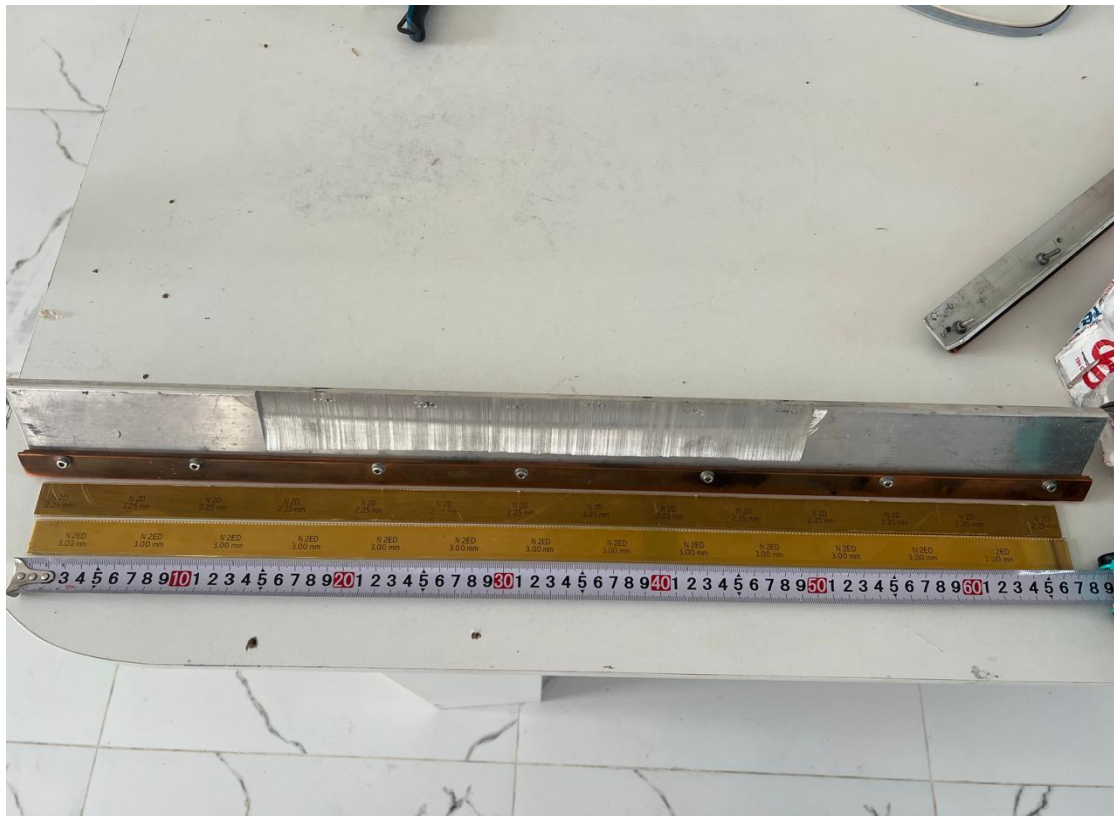


Рисунок 41 – Медная пластина

Основная идея- две металлические пластины на роликах, двигаются навстречу друг к другу, зажимая мешок в центре и спаивая его (рисунок 41).

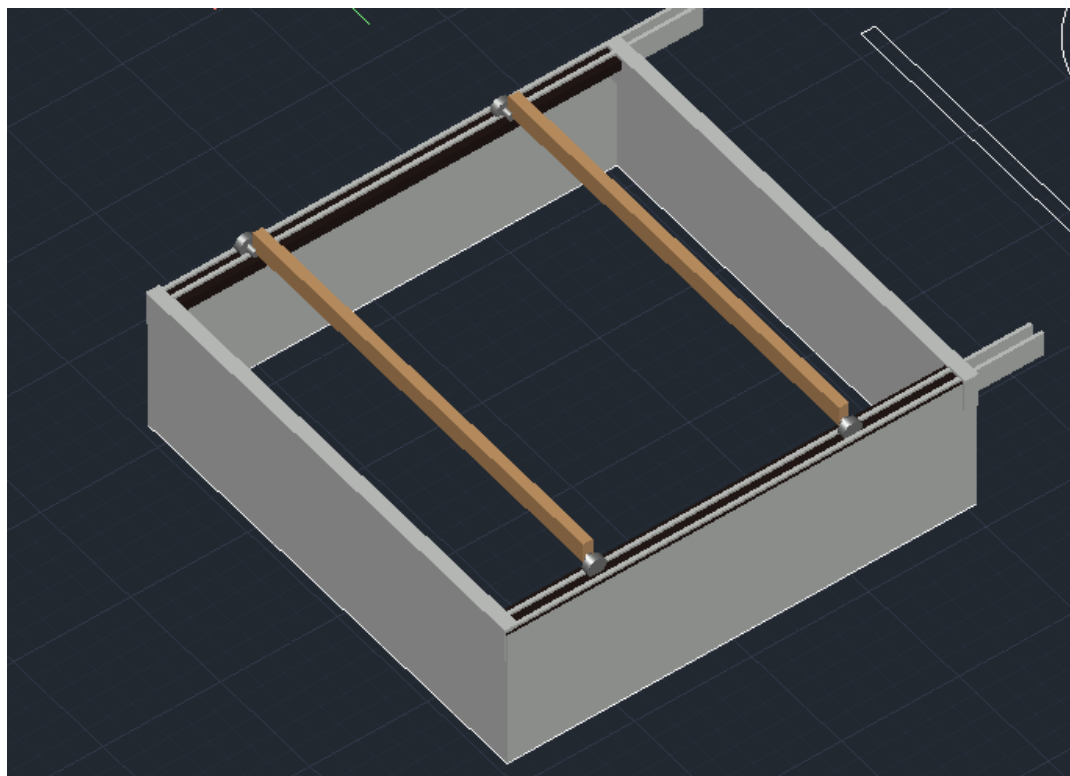


Рисунок 41 – 3д визуализация оборудования с горячим клином

Проблемой этой идеи была его конструкция. Оно оказалось сложной для исполнения. Для его исполнения :

1. Нужно было обеспечить – равномерное движение двух пластин в одной оси. То есть подобрать к квадратной конструкции направляющие рельсы для роликов. Отсюда вышла еще одна проблема, первое столкновение происходит у роликов. Ролики сталкиваются друг с другом и остается зазор между пластинами. Так как нам нужно было прижатие пластин с такой конструкцией осуществить это не удалось. Нужно было делать двухуровневую конструкцию.

2. Нагрев медной пластины. Так как площадь медной пластины достаточно большая нужно было использовать мощные нагреватели или токи для того чтобы обеспечить температуру в 150-200 градусов. Опять таки это усложняет конструкцию и появляется дороговизна.

3. Прижимной механизм. Нужно было придумать механизм который обеспечивает сильную силу прижатия пластин. Использование пружин в теории не подошла, поэтому нужно было использовать мотор с редуктором либо же рычажный механизм. Это усложняет конструкцию в разы.

В итоге такая конструкция не подходит для осуществления спайки мешка. Сложная конструкция.

Эксперимент №4. Использование механизма прижима с нихромовой нитью.

Суть эксперимента заключается в спайке пучка мешка с помощью системы обжата горловины мешка. Для этого использовался трос и нихромовая нить (рисунок 42) (рисунок 43). Принцип работы – трос зажимает мешок плотно образуя пучок. Нихромовая нить обмотанный на трос нагревается и происходит спайка мешка.



Рисунок 42 – Нихромовая нить



Рисунок 43 – Металлический трос

Просто намотать нихромовую нить к тросу не получится. Так как произойдет короткое замыкание. Для этого используется тефлоновый материал. Обматываем трос тефлоновым покрытием и на нее нихромовую нить (рисунок 44).



Рисунок 44 – Трос обмотанный тефлоном с нихромовой нитью

Подключаем питание. Используем низковольтный 24В трансформатор. Подключаем фазу к одному концу нихромовой нити, ноль к другому концу (рисунок 45).



Рисунок 45 – Подключение трансформатора 24В

Зажимаем горловину мешка подготовленным тросом с нихромовой нитью (рисунок 46).



Рисунок 46 – Зажим мешка

Подключаем питание трансформатора. Процесс начинается. Нихромовая нить которую мы использовали – нагрелась до красноты до 600 °С. В итоге мешок нагрелся так сильно, что начал гореть (рисунок 47).



Рисунок 47 – Результат эксперимента

Поняв что маленькая площадь троса с нихромовой нитью режет и сжигает мешок, решено увеличить площадь обжимающего материала. Для

этого использовали алюминиевую тонкую пластину (рисунок 48). Так как мы из проведенного эксперимента поняли что прямой контакт нихромовой нити с мешком неэффективен и сжигает мешок, решили использовать три вырезанных алюминиевых пластин. Алюминиевая пластина в середине будет обмотана нихромовой нитью. И две пластины обмотанные тефлоновым покрытием, будут закрывать переднюю и заднюю часть основной пластины и скреплены между собой саморезами. Подключение оставляем таким же через трансформатор (рисунок 49).



Рисунок 48 – Алюминиевая пластина с нитью

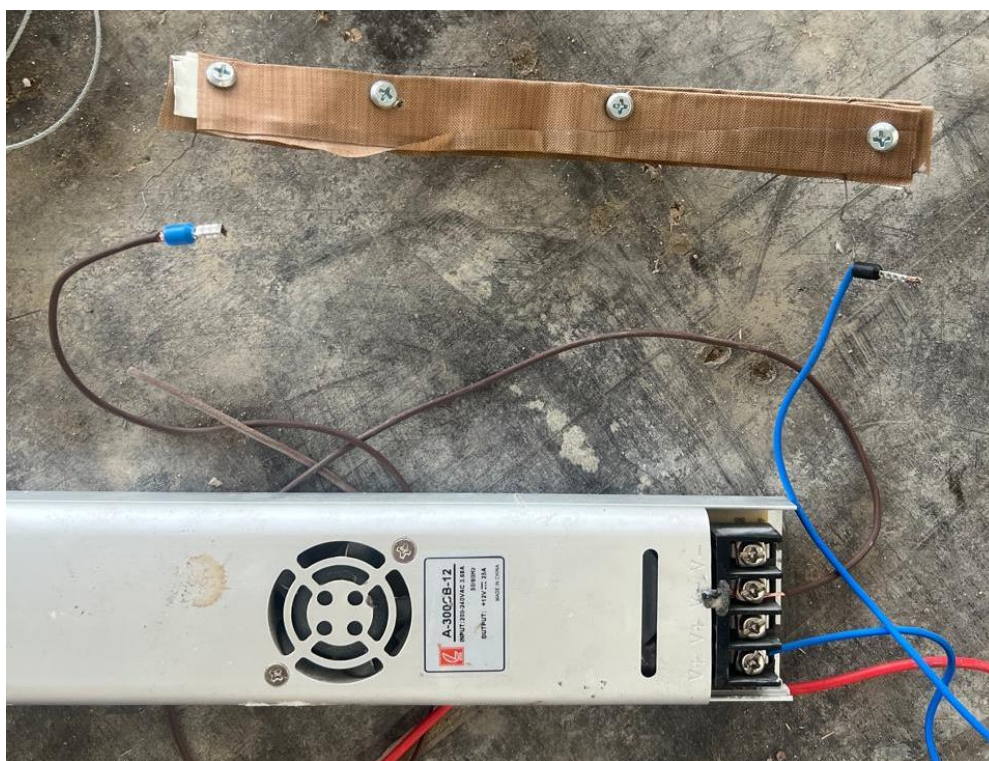


Рисунок 49 – Три пластины закрепленные между собой

Результат оказался неудовлетворительным. Соединение пластин между собой не обеспечивают равномерное распределение тепла. В итоге в

некоторых местах мешок перегревается, а в некоторых местах не нагревается (рисунок 50).



Рисунок 50 – Спайка мешка алюминиевыми пластинами

При успешном проведении эксперимента, построили бы оборудование с крутящимся кругом для мешка и с натяжением троса закрепленный к пластине (рисунок 51).

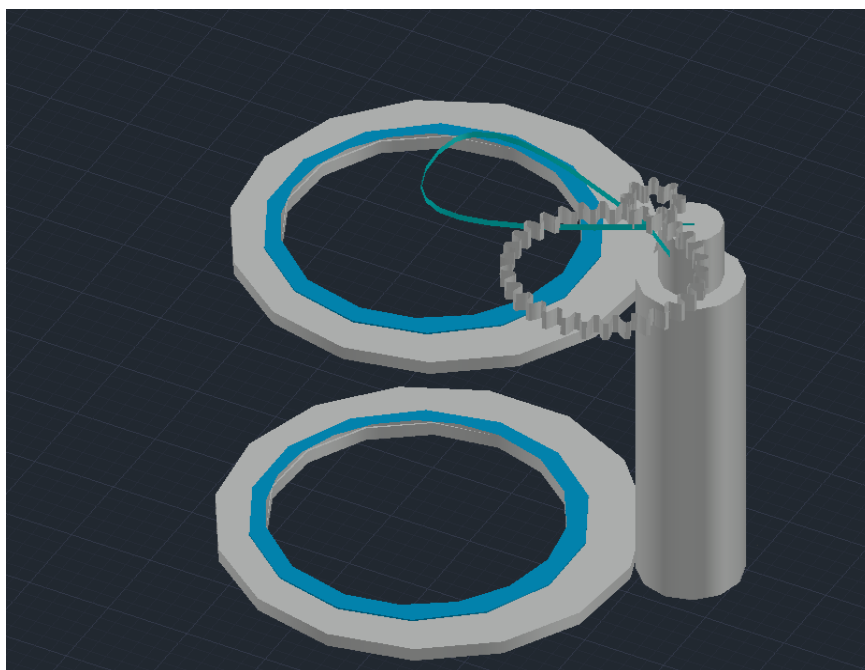


Рисунок 51 – Визуализация оборудования

Эксперимент №5. Еще одним решением спайки мешка была разработка оборудования на мобильной руке. На раму грузовика будет прикреплен мобильная рука. На мобильной руке будет приварен круг с подшипниками. Внутренний круг крутится с помощью подшипников. Внутри круга будет полукруг. На полукруг будет закреплен дуговой тэн. На движущейся части оборудования будет бобина с термоусадочной трубкой. Приводим в действие с помощью привода с электродвигателем. Оператор наматывает термоусадочную трубку на горловину мешка. Далее при нажатии кнопки включается мотор. Мотор крутит внутренний круг, бобина вместе с внутренним кругом наматывает термоусадочную трубку. Дуговой тэн нагревается и круговыми движениями расплавляет и запаивает горловину мешка (рисунок 52). Но эксперимент считается провальным, так как термоусадочная трубка не обеспечивает герметичное запаивания мешка (рисунок 53). Также нагрев дугового тэна оказался очень долгим. С этого эксперимента мы поняли что мы не будем использовать тэн как нагревательный элемент (рисунок 54).

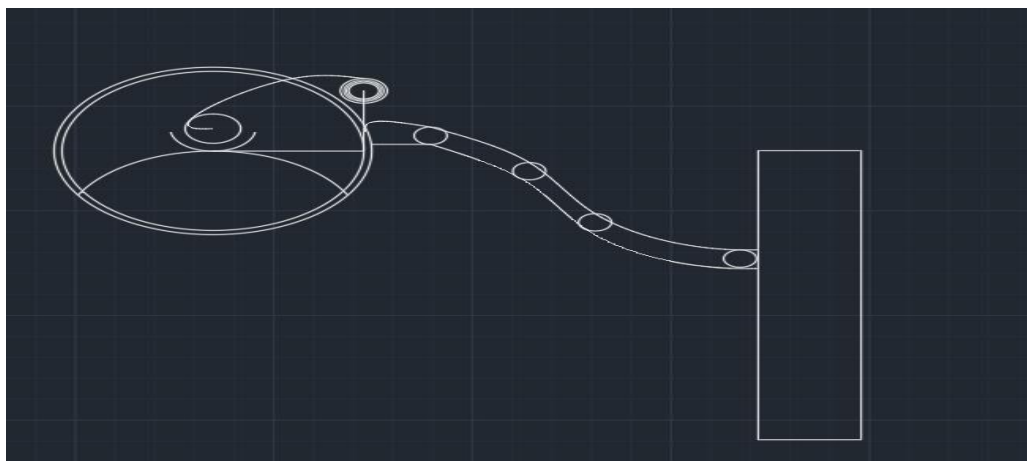


Рисунок 52 – Чертеж оборудования с дуговым тэном



Рисунок 53 – Термоусадочная трубка

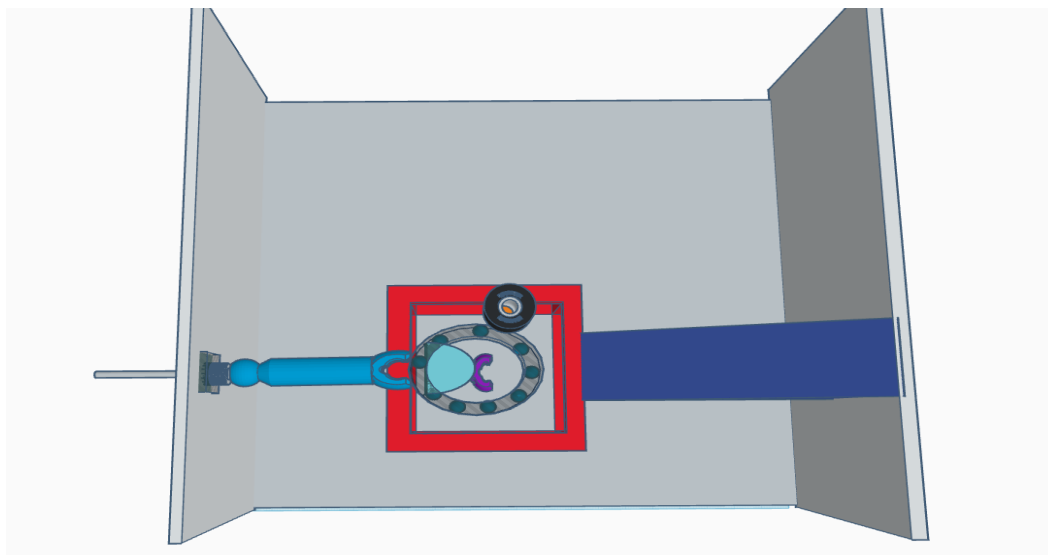


Рисунок 54 – Визуализация оборудования

Заключение

В данной работе была разработана автоматизированная система для спайки верхней части мешков типа биг-бэг, предназначенная для применения в аграрной сфере. Сформулирована проблема герметизации упаковки сыпучих материалов на этапе хранения и транспортировки, выявлены технологические ограничения существующих решений, а также определены требования к новому устройству.

Разработан конструктивный макет оборудования, включающий подвижную цепную систему обжата, нагревательный элемент, а также управляющие модули с таймерами и диммером. Выполнены математические расчёты, определяющие необходимые усилия обжата и мощность приводных электродвигателей. Также произведён расчёт теплового нагрева для спаивания мешка с заданными параметрами прочности.

Создана электрическая схема, обеспечивающая пошаговую работу всех компонентов: автоматическое включение обжима, регулирование температуры нагрева и возврат цепи в исходное положение. Проведены практические испытания опытного образца, по итогам которых подтверждена работоспособность схемы и выявлены области для последующей доработки (в том числе подбор оптимального материала ленты и режима нагрева).

Разработанная система обеспечивает надёжную герметизацию мешков, снижает долю ручного труда и повышает эффективность упаковочного процесса. Полученные результаты могут быть применены для промышленной реализации установки в условиях сельскохозяйственного производства.

Список использованной литературы

- 1 А. А. Ефремова, Р. М. Гарипов, В. В. Носов, А. Ф. Пешкин,. Исследование влияния режимов термосварки и состава адгезионных клеящих слоёв на прочность сварного шва для трёхслойных полимерных плёнок
- 2 Патент на полезную модель № 176280 U1 Российская Федерация, МПК E04B 9/00, B29C 51/00. Устройство для изготовления натяжных потолков : № 2017138463 : заявл. 03.11.2017 : опубл. 15.01.2018 / А. П. Ульянов. – EDN OALTIJ.
- 3 Менжелиевская Е. В. Разработка бизнес-плана создания предприятия по производству и монтажу натяжных потолков : дис. – Сибирский федеральный университет, 2017.
- 4 L-образный запайщик BSF-601. Hualian Machinery Group. URL: <https://www.hualian.ru/production/6.html>
- 5 Есмагамбетов Е. А. Прочностные характеристики упаковочных полимерных материалов // Научный журнал «Промышленная технология». – 2019. – №2. – С. 34–38.
- 6 Бактыбаев, М. Разработка запаечного устройства для полипропиленовых мешков / М. Бактыбаев, Ч. Алимбаев, Е. Жолдасбаев // Современные тенденции научных исследований : сборник статей Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 08 мая 2025 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2025. – С. 205-217. – EDN HLUJIL.
- 7 Ефремов А.А., Савельев И.В. Исследование температурных режимов высокочастотной сварки полимерных пленок. Вестник машиностроения, № 4, С. 42-47 (2020).
- 8 Галкин В.Ф., Орлов А.П.: Полимерные материалы: свойства, обработка, применение. 2-е изд. Химия, Москва (2019).
- 9 Майкл У.: Переработка пластмасс: введение. 2-е изд. Издательство Hanser, Мюнхен (2003).
- 10 Греттон Р., Уайт Дж.Р. Сварка и склеивание полимерных материалов. Издательство Woodhead, Кембридж (2001).
- 11 Шивакумар А., Прасад А. Высокочастотная сварка: механизмы, материалы и области применения. Журнал полимерной инженерии. 40(5), 421-437 (2020).

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН
Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Студент образовательной программы 7М07107 – «Робототехника и мехатроника»

Магистерская диссертация
Жолдасбаева Еркебулана Талгатовича

**Тема: «Разработка оборудования для автоматизации процесса пайки больших
мешков (биг-бэг)»**

Разработан:

- а) графическая часть 41 листов
б) пояснительная записка 26 страниц

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Магистерская диссертация Жолдасбаева Еркебулана посвящена решению актуальной задачи — созданию устройства для автоматизированной герметизации полипропиленовых мешков типа биг-бэг, применяемых в промышленности и сельском хозяйстве.

Цель работы заключалась в разработке устойчивой и надёжной конструкции, способной обеспечивать равномерный прогрев и качественную спайку горловины мешка. В процессе исследования автор провёл технический анализ существующих решений, выполнил серию экспериментальных сборок и испытаний, а также предложил оптимизированную модель финального устройства. Разработка оборудования была опубликована в сборнике статей Международной научно-практической конференции.

В работе представлены детальные конструктивные и электрические схемы, проработана математическая модель, описан принцип действия и логика управления. Автором грамотно подобраны элементы нагревательной системы, включая нихромовую ленту, блок питания, таймер и электропитания. В перспективе возможно рассмотреть дальнейшее развитие автоматизации. Эксперименты показали, что предложенное решение обладает практической применимостью и устойчиво к производственным нагрузкам.

ОЦЕНКА РАБОТЫ

Магистерская диссертация Жолдасбаева Е.Т. выполнена на высоком уровне, обладает практической ценностью и научной обоснованностью. Представленные материалы соответствуют требованиям, предъявляемым к выпускным квалификационным работам магистров.

Рекомендую оценить работу на 90 баллов (отлично) и допустить автора к защите с присуждением академической степени магистра.

Рецензент

Ассоциированный профессор, доктор PhD
кафедры физики плазмы, нанотехнологий
и компьютерной физики КазНУ им. аль-Фараби,
« 02 » июня 2025 ж



Муратов М. М.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на магистерскую диссертацию

магистранту специальности 7М07107 – Робототехника и мехатроника

Жолдасбаев Еркебулан Талгатович

Тема: «Разработка оборудования для автоматизации процесса пайки больших
мешков (биг-бэг)»

Данная работа посвящена разработке лабораторного запаечного устройства для герметизации полипропиленовых мешков типа "биг-бэг", что представляет собой актуальное направление в области аграрной упаковочной техники. Проблематика работы обусловлена недостаточной автоматизацией процессов герметизации в агропромышленном комплексе, а также ограниченностью доступных решений, особенно в условиях малых и средних производств.

Автором проведён глубокий анализ существующих способов спайки, выявлены их недостатки, а также проработана собственная конструктивная концепция. В рамках работы были спроектированы и реализованы прототипы, проведены многочисленные экспериментальные испытания, рассчитаны параметры плотности тока, температуры и времени нагрева, подобраны оптимальные режимы работы.

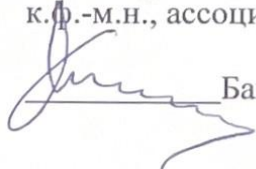
Следует отметить высокий уровень самостоятельности и инженерного подхода автора при выборе материалов, сборке экспериментальной установки, выполнении расчетов, проектировании каркаса, внедрении таймера и адаптации системы к условиям реального использования. В работе продемонстрированы компетенции в области мехатроники, электротехники и конструирования, а также способность критически оценивать собственные решения и предлагать усовершенствования.

Работа выполнена на хорошем методическом уровне, включает все структурные элементы научного исследования: актуальность, теоретическую часть, практическую реализацию, блок-схемы, математическую модель и перспективы дальнейшего развития. Полученные результаты обладают высокой практической значимостью и могут быть использованы в фермерских хозяйствах и производственных упаковочных линиях.

Научно-исследовательская работа соответствует требованиям, предъявляемым к магистерским диссертациям. Результаты подтверждают новизну подхода и практическую применимость конструкции. Считаю, что работа заслуживает оценки «отлично», а автор может быть рекомендован к защите диссертации.

Научный руководитель

к.ф.-м.н., ассоциированный профессор



Бактыбаев М.К.



Отчет подоби

Метаданные

Название организации

Satbayev University

Название

Разработка оборудования для автоматизации процесса пайки больших мешков (биг-бэг)

Автор

Научный руководитель / Эксперт

Жолдасбаев Еркебулан ТалгатовичМурат Бактыбаев

Подразделение

ИАиИТ

Объем найденных подоби

КП-ия определяют, какой процент текста по отношению к общему объему текста был найден в различных источниках.. Обратите внимание!Высокие значения коэффициентов не означают плагиат. Отчет должен быть проанализирован экспертом.



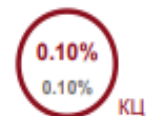
25

Длина фразы для коэффициента подоби 2



7102

Количество слов



54002

Количество символов

Тревога

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся текстовых искажений. Эти искажения в тексте могут говорить о ВОЗМОЖНЫХ манипуляциях в тексте. Искажения в тексте могут носить преднамеренный характер, но чаще, характер технических ошибок при конвертации документа и его сохранении, поэтому мы рекомендуем вам подходить к анализу этого модуля со всей долей ответственности. В случае возникновения вопросов, просим обращаться в нашу службу поддержки.

Замена букв		0
Интервалы		0
Микропробелы		4
Белые знаки		0
Парафразы (SmartMarks)		0

Подобия по списку источников

Ниж

10 самых длинных фраз

Цвет текста

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ)	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
из базы данных RefBooks (0.00 %)		
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
из домашней базы данных (0.00 %)		
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)

из программы обмена базами данных (0.00 %)



ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из интернета (0.00 %)



ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ИСТОЧНИК URL	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	--------------	---

Список принятых фрагментов (нет принятых фрагментов)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	СОДЕРЖАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	------------	---