

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования

«Пензенский государственный технологический университет»

На правах рукописи

РЕДЧЕНКО МАРИЯ АЛЕКСАНДРОВНА

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ
СВЕКЛОВИЧНОГО ЖОМА И ПОЛУЧЕНИЕ ИЗ НЕГО ПИЩЕВЫХ
ВОЛОКОН**

Специальность: 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Авроров Валерий Александрович

Пенза - 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ СВЕКЛОСАХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	12
1.1 Характеристика отходов свеклосахарного производства.....	12
1.2 Анализ технологии первичной переработки свекловичного жома и используемого оборудования.....	19
1.3 Анализ технологии и оборудования для получения готовой продукции из свекловичного жома	36
Выводы.....	52
2 АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА КОМПАКТИРОВАНИЯ СВЕЖЕГО СВЕКЛОВИЧНОГО ЖОМА.....	54
2.1 Исследование условий движения свежего свекловичного жома в зоне шнека	56
2.2 Анализ условий взаимодействия жома при его контакте со стенкой перфорированной вставки компактора	59
2.3 Исследование процесса отделения влаги из жома в зоне шнекового движителя.....	63
2.4 Определение размеров диафрагмы и величины прогиба ее лепестков при давлении жома	65
2.5 Определение степени уплотнения жома в межвитковом пространстве шнека компактора.....	74
2.6 Оценка производительности компактора.....	76
Выводы.....	83
3 РАЗРАБОТКА КОМПОНОВКИ КОМПАКТОРА И КОНСТРУКТИВНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ЛИНИЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН ИЗ СВЕКЛОВИЧНОГО ЖОМА.....	85
3.1 Разработка конструктивно- технологических схем и компоновки компактора.....	85

3.2 Разработка технологической и параметрической схем компактора.....	91
3.3 Предварительная оценка технических параметров компактора.....	95
3.4 Разработка эскизов базовых деталей и элементов компактора.....	98
3.5 Разработка вариантов конструктивно-технологических схем ресурсосберегающих поточных линий и основного оборудования для производства пищевых волокон из свекловичного жома	106
3.5.1 Разработка и выбор оборудования для поточных линий по переработке свекловичного жома	107
3.5.2 Разработка вариантов конструктивно-технологических схем поточных линий.....	125
Выводы	130
4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА КОМПАТИРОВАНИЯ ЖОМА И ЕГО РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ.....	132
4.1 Методика проведения испытаний.....	132
4.2 Проведение однофакторного эксперимента по прессованию жома.....	134
4.3 Экспериментальные исследования реологических показателей свекловичного жома.....	137
Выводы.....	148
5 ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШНЕКОВОГО КОМПАКТОРА ЖОМА И ПРОИЗВОДСТВА ИЗ ЖОМА ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН.....	150
5.1 Оценка себестоимости изготовления компактора.....	150
5.2 Оценка экономической эффективности производства пищевых волокон из жома на поточной линии.....	151
Выводы.....	154
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	155
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	157
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	177
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	203

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. При производстве сахара сахарные заводы РФ перерабатывают ежегодно более 40 млн.т. свеклы [160]. При этом основным видом отходов, помимо ботвы, мелассы, фильтрационного остатка, является свежий свекловичный жом, составляющий 70...90% от массы перерабатываемой свеклы [141].

Свекловичный жом по содержанию полезных веществ относится к ценным вторичным материальным ресурсам и его целесообразно использовать:

- при производстве сушеного жома с применением различных минеральных добавок;
- для получения обогащенного мелассой, молочной сывороткой и другими компонентами силоса;
- при производстве пектина;
- при производстве пищевых волокон;
- при производстве биогаза, биоэтанола и др [63, 148].

Хорошо известно, что рацион питания человека помимо белков, углеводов, жиров, витаминов и микроэлементов должен включать так называемые балластные вещества. К таким веществам относится клетчатка и гемицеллюлоза, содержащиеся в пищевых волокнах и способствующие выведению из организма токсичных элементов.

Клетчатка в смеси с гемицеллюлозой активизирует перистальтику кишечника, способствует нормализации продвижения пищи по желудочно-кишечному тракту и стабилизации холестерина обмена, связывая жирные кислоты, улучшает микрофлору кишечника и восстанавливает функцию печени.

Свекловичный пектин, входящий в состав волокон, по своим физико-химическим свойствам является природным адсорбентом по отношению к тяжелым металлам, радионуклидам, остаточным пестицидам и по этому

показателю относится к незаменимым веществам в производстве пищевых продуктов функционального назначения.

Несмотря на изобилие и относительно невысокую стоимость свекловичного жома, пектиносодержащие комплексы, как и пектин, в Российской Федерации в промышленных масштабах практически не производятся, что сдерживает выпуск профилактических биологически активных добавок и продуктов функционального назначения на их основе. В отечественной пищевой промышленности в основном используется импортный пектин из яблочных выжимок.

Ежегодная потребность в пищевых волокнах по разным данным для отечественной пищевой промышленности и общественного питания составляет 1,2...1,5 млн. т. В настоящее время производимая пищевая продукция способна удовлетворить потребность населения в пищевых волокнах лишь на 30-35% [91].

Поэтому создание промышленных технологий получения пищевых свекловичных волокон из жома и широкое использование их в производстве продуктов функционального назначения является актуальной задачей.

Степень разработанности темы. Перспективным направлением использования свекловичных волокон является их применение в виде добавки при производстве различной пищевой продукции повышенной биологической ценности. Так, например, по заключению ВНИИ мясной промышленности производство вареных колбас, рубленых полуфабрикатов, пельменей может использовать пищевые свекловичные волокна с сохранением вкусовых достоинств продукции и увеличением ее биологической ценности. При этом гидратированные волокна заменяют до 10 % мясного сырья [127].

Пищевые свекловичные волокна также могут найти широкое применение в молочной промышленности при выпуске творожных паст и кисломолочных напитков, в кондитерской промышленности при производстве конфетных масс.

При производстве хлебобулочных изделий, особенно профилактического назначения, разнообразных готовых блюд, горчицы, соусов, супов, кетчупа,

изделий консервной и рыбной промышленности также можно использовать свекловичные волокна.

Однако сегодня свекловичный жом в недостаточной степени используется в качестве вторичного материального ресурса и большей частью идет в утилизируемые отходы, загрязняя окружающую среду.

Работа проводилась в соответствии с договором № 31140ГУ/2017 от 10.05.2017 с Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» (Фонд содействия инновациям) и планом НИОКР ПензГТУ в 2016-2019 гг.

Цель исследований - совершенствование процесса компактирования свежего свекловичного жома и разработка с его использованием конструктивно-технологических схем поточных линий для получения пищевых волокон.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Разработать научно-технические решения по совершенствованию процесса компактирования свежего свекловичного жома и его дальнейшего использования в качестве сырья для производства пищевых волокон, в том числе:

- исследовать процесс прессования свежего свекловичного жома и прессовое оборудование;

- разработать компоновки компакторов для удаления влаги из свежего свекловичного жома.

2. Разработать и исследовать модели процесса обезвоживания свежего свекловичного жома, в том числе:

- разработать и исследовать модели движения влагосодержащей жомовой массы в зоне шнекового движителя компактора, ее уплотнения в межвитковом пространстве шнека и влагоотделения через перфорированную вставку, окружающую шнек;

- предложить и исследовать научно-техническое решение, способствующее интенсификации процесса обезвоживания в компакторе со шнековым движителем;

- выявить зависимости, влияющие на степень влагоотделения из свежего свекловичного жома при его прессовании в компакторе (величину осевого давления, пропускную способность перфорированной вставки, окружающей конический шнек компактора, величину прогиба многолепестковой диафрагмы от давления жома, выходящего из шнекового движителя, степень уплотнения жома и др.).

3. Экспериментально исследовать изменение физико-механических показателей жома при его компактировании, в том числе:

- изменения эффективной вязкости жома в зависимости от скорости деформации при его прессовании в компакторе;

- изменения осевого давления в зависимости от площади выходного отверстия компактора и изменения количества отжимаемой жидкости от величины осевого давления.

4. Обосновать и разработать варианты рациональных конструктивно-технологических схем поточных линий для производства пищевых волокон из свежего, сухого и гранулированного жома

5. Оценить экономическую эффективность производства из жома пищевых волокон.

Объект исследований – процесс обработки свежего свекловичного жома.

Предмет исследований – конструктивные и режимные параметры оборудования поточной линии для производства пищевых волокон из свекловичного жома.

Научная новизна:

1. Предложено научно-техническое решение процесса двухэтапного компактирования свежего влагосодержащего свекловичного жома, реализуемого в последовательном непрерывном режиме. В соответствии с предложенным научно-техническим решением разработана и обоснована компоновка вертикального компактора с коническим шнековым движителем, имеющим переменный шаг витков и уменьшающиеся углы их наклона, окруженном перфорированной конической вставкой для удаления отжимаемой влаги,

отличающаяся от известных моделей тем, что предложено дополнительное прессующее устройство, представляющее собой много лепестковую диафрагму, содержащую консольно закрепленные на кольцевом основании отдельные плоские упругие лепестки. Конструкция компактора позволяет увеличить степень извлечения влаги из жома в 1,5 раза.

2. Разработаны и теоретически исследованы модели процесса обезвоживания свежего свекловичного жома в предложенном и разработанном образце компактора. Получены аналитические зависимости, позволяющие определить значения сил, действующих на частицу жома при ее движении по виткам конического шнека компактора в зависимости от переменного радиуса его витков. Установлена зависимость изменения давления на отжимаемую жомовую массу, оказываемую витками конического шнека, и ее давления на стенки перфорированной вставки по всей высоте зоны отжима, определена пропускная способность и скорость истечения жидкой фракции через отверстия вставки, окружающей шнек. Получено выражение, позволяющее определить степень уплотнения жома в зоне конического шнекового движителя и зоне многолепестковой упругой диафрагмы. Аналитическим путем установлена зависимость величины прогиба лепестков диафрагмы от величины давления, оказываемым жомом, выходящим из шнекового движителя компактора.

3. На действующей модели компактора выявлено влияние скорости деформации при прессовании жома в компакторе на его эффективную вязкость. Получены эмпирические зависимости, характеризующие изменение эффективной вязкости прессуемого жома. Выявлено влияние изменения величины осевого давления на жом, оказываемого шнековым движителем в зависимости от площади сечения выходного отверстия компактора и на количество отжимаемой влаги.

4. Предложены рациональные по критерию ресурсосбережения машино-аппаратурные схемы трех вариантов поточных линий для получения пищевых волокон из свежего, высушенного или гранулированного жома и технические решения по устройствам для замачивания, промывки и отбеливания жома. Показано, что разработанные варианты исполнений поточных линий для

получения пищевых волокон и предложенные конструктивно-технологические решения оборудования по замачиванию, промывке и обработке жома перекисью водорода в совокупности с выбранным энергосберегающим оборудованием для аэродинамической подачи высушенного или гранулированного жома и сушки пищевых волокон, в т.ч. с использованием направленного ИК-излучения, позволяют снизить энергопотребление по сравнению с базовым вариантом в 2,7 раза (для высушенного и гранулированного жома) и в 3,3 раза (для свежего жома).

Практическая значимость результатов работы.

1. Разработана новая конструкция компактора для прессования свежего свекловичного жома.

2. Разработаны конструктивно-технологические схемы поточных линий для получения пищевых волокон из свежего, высушенного и гранулированного жома, позволяющие снизить энергозатраты при их производстве и являющиеся основой для выполнения проектов цехов по переработке жома в пищевые волокна.

3. Предложены новые технические решения установок для вихревого замачивания и перемешивания жома, его непрерывной конвейерной промывки и отбеливания раствором перекиси водорода.

4. Приведена методика расчета конструктивно-технологических параметров оборудования предложенных поточных линий.

5. Результаты проведенных исследований и научно-инженерных расчетов используются в учебном процессе по направлениям подготовки 15.03.02 – Технологические машины и оборудование, 19.03.02 – Продукты питания из растительного сырья и 19.03.04 – Технология продуктов общественного питания.

Методология и методы исследования. Теоретические и экспериментальные исследования проводились с использованием материальных средств лабораторной базы ПензГТУ в соответствии с принятой научной методологией. Для решения задач использовался математический аппарат физики, методы механики сплошных сред, векторной алгебры, численные методы, методы математического моделирования, дифференциальное и интегральное исчисление.

Обработка результатов экспериментов осуществлялась с применением методов математической статистики с помощью программных средств.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Результаты аналитического исследования процесса компактирования свежего свекловичного жома.
2. Научно-техническое решение процесса компактирования свекловичного жома и его аппаратное оформление.
3. Методика расчета технологических, кинематических и конструктивных параметров компактора.
4. Результаты исследования зависимости физико-механических показателей свекловичного жома от условий его прессования.
5. Научно-технические решения по интенсификации процессов обработки свежего, высушенного и гранулированного жома и их аппаратное оформление.
6. Результаты разработки вариантов машино-аппаратурных схем поточных линий для получения пищевых волокон из свежего, высушенного и гранулированного жома.
7. Результаты оценки эффективности производства пищевых волокон из свекловичного жома.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность результатов работы подтверждена согласованностью и непротиворечивостью с выводами ранее проведенных исследований и экспериментальной проверкой.

Основные положения работы доложены и обсуждены на ежегодных международных научно-практических конференциях «Пищевая промышленность и агропромышленный комплекс: достижения, проблемы, перспективы», (Пенза, Пензенский дом знаний, 2015-2019 гг.); ежегодных вузовских научно-практических конференциях «Современные технологии и оборудование пищевых производств и общественного питания» (Пенза, ПензГТУ, 2016-2018г.); XX международной научно-практической конференции «Современные технологии и оборудование пищевых производств» (Барнаул, АлтГТУ, 2019); XVI

международной научной конференции «Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК» (Брянск, БГСХА, 2019).

Основные положения и результаты исследований представлялись и обсуждались на Фестивале науки ПензГТУ «Научный салон» 19.10.2017 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 18 работ, в том числе 8 статей в изданиях, указанных в «Перечне ... ВАК» (3 статьи опубликованы без соавторов), 1 статья индексируется в базе данных Scopus. Общий объем опубликованных работ составляет 5,74 п.л., из которых автору принадлежит 2,89 п. л.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, 5 разделов, общих выводов, списка литературы из 188 наименований и приложений на 51 странице. Работа включает 176 страниц машинописного текста, содержит 50 рисунков и 26 таблиц.

1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ СВЕКЛОСАХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

1.1 Характеристика отходов свеклосахарного производства

При производстве сахара-песка в Российской Федерации основным сырьем является сахарная свекла, возделывание которой преимущественно сосредоточено в регионах Среднего Поволжья и Южного федерального округа (рисунок 1.1).

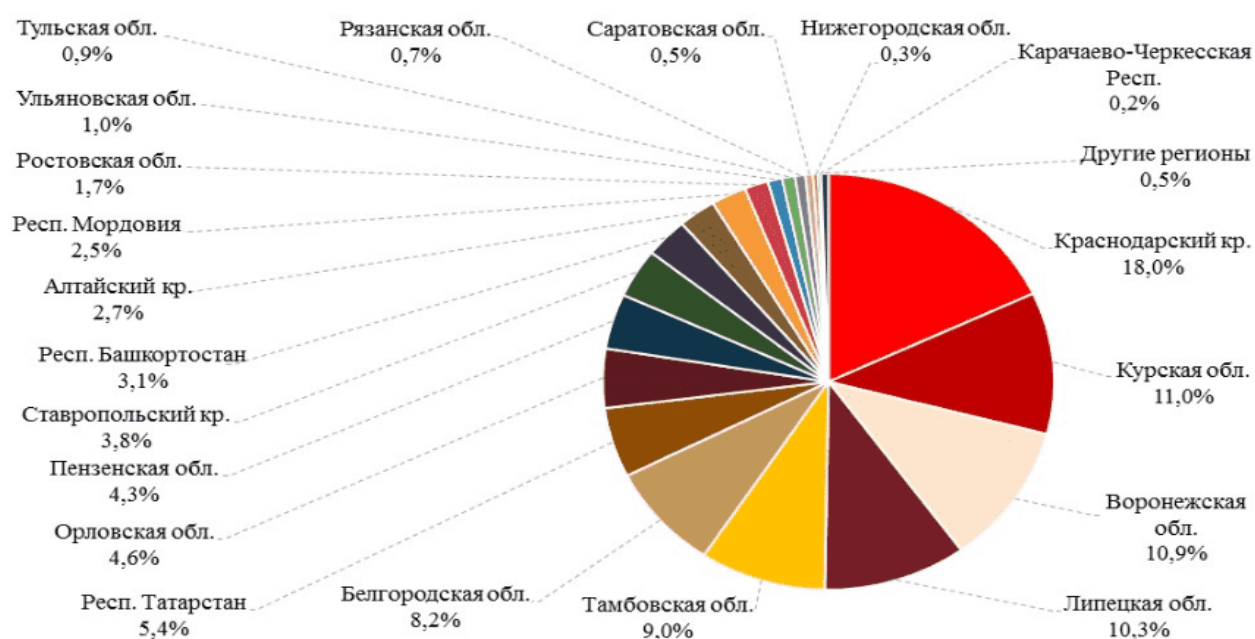


Рисунок 1.1 – Структура выращивания сахарной свеклы по регионам РФ . [125]

Отечественная свеклосахарная промышленность ежегодно перерабатывает более 40 млн. т. свеклы [74, 125, 138, 153]. В Среднем Поволжье наибольшее количество свеклы выращивается в Татарстане. Пензенская область занимает второе место в Поволжье: ежегодный урожай в зависимости от погодных условий в области составляет от 1,5 до 2 млн.т. [160].

Известно, что 100 кг свеклы содержат примерно 25 кг сухих веществ, из которых 16... 18 кг составляет сахароза. Из этой сахарозы получают около 13...15 кг сахара [145]. Оставшаяся часть сухих веществ относится к отходам производства [102, 146, 147]. Побочная продукция свеклосахарного производства

используется как корм для скота и как основное и вспомогательное сырье для следующих отраслей промышленности: спиртовая, дрожжевая, производство витаминов, антибиотиков, молочной, лимонной и винных кислот и др. [26, 162, 164, 171, 174, 175].

В таблице 1.1 приведена характеристика побочной продукции и основных отходов, получаемых при переработке сахарной свеклы [61, 146, 147].

Таблица 1.1 – Классификация основных вторичных ресурсов при производстве сахара из свеклы

Наименование ресурса	Характеристика и состав	Область использования	Сохраняемость
Ботва свекловичная	СВ 15...20%, белки углеводы клетчатка витамины	Корм для животных	Быстро портится
Жом свекловичный	Представляет собой обессахаренную стружку. СВ 6...8% Состав жома: целлюлоза, гемицеллюлоза, сахароза, белки, аминокислоты, лигнин, сапонин, пектиновые вещества, микроэлементы	Производство пищевых волокон Производство пектина Корм для животных	Свежий жом быстро портится
Меласса свекловичная	Представляет собой оттек. СВ 76..85, сахароза 46...51, азот 1,5...2; бетаин 4...7; раффиноза 0,6...1,4; молочная кислота 4...6; зола 6...11%; вязкость 4...8 Па·с (при 40 °С), рН 6...8	Производство спирта, дрожжей, пищевых кислот, Обогащение высушенного жома, Добавка к кормам животных.	Хранение в закрытых емкостях
Патока рафинадная	Представляет густую вязкую жидкость СВ 72%, сахароза не менее 49%; рН не менее 5,5	Хлебопекарная промышленность Производство пищевых Кислот	Хранение в закрытых емкостях

К другим видам отходов свеклосахарного производства относятся фильтрационный и транспортерно-мочный осадок, отсев известнякового камня, недопал и пережог известнякового камня, промышленные сточные воды,

некоторые из которых после дополнительной обработки используются в отраслях АПК РФ при рекультивации земель, в качестве удобрений и др. [61, 133, 141]. К отходам можно отнести также пластиковую тару и упаковку готовой продукции свеклосахарного производства, которая после ее использования в большинстве случаев утилизируется, а не направляется на повторную переработку [69, 150, 172].

Наибольшее количество отходов приходится на долю свекловичного жома, который является ценным ресурсом [29, 43, 44, 63, 65, 66, 111, 120].

Свекловичный жом в соответствии с определением ГОСТ 26884-2002 представляет собой обессахаренную свекловичную стружку, содержащую 6 - 8% сухих веществ и 0,2...0,4% сахара [55].

Различают следующие разновидности жома (рисунок 1.2) [63, 121, 186]:

- свежий, вышедший из диффузионного аппарата и сохраняющийся без потери качественных показателей не более суток (рисунок 1.3);
- кислый, получаемый после хранения более трех суток в хранилище;
- отжатый, содержащий 10-12% сухих веществ (СВ);
- прессованный, содержащий 15-25 % СВ;
- сухой жом, содержащий 86...93 СВ;
- гранулированный жом (рисунок 1.3).

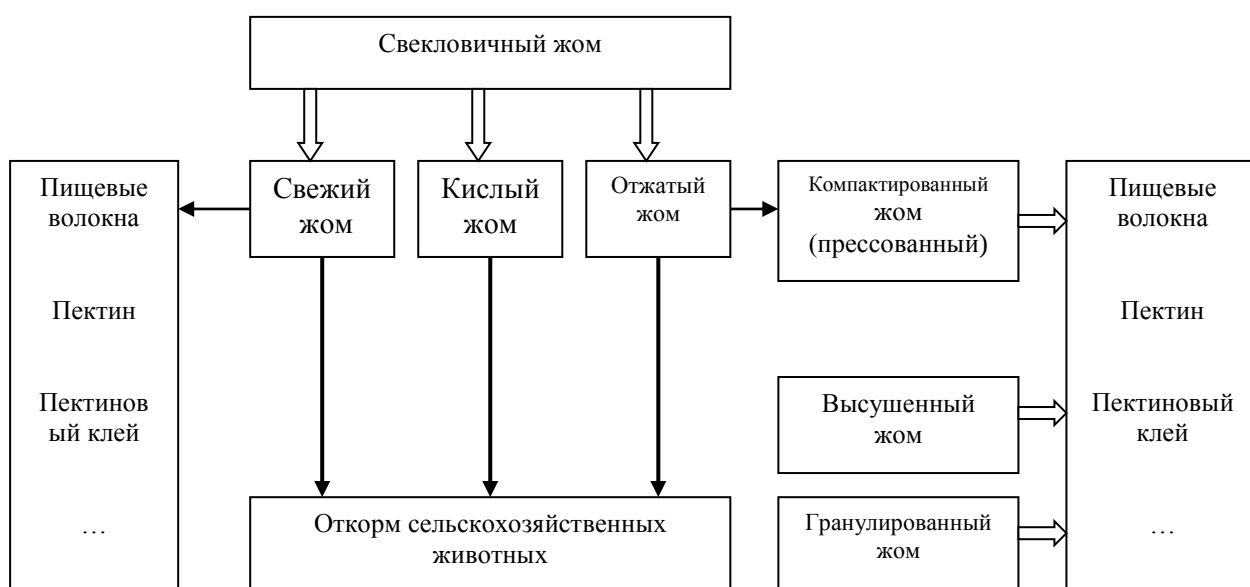


Рисунок 1.2 – Блок- схема видов жома и получаемых из него продуктов



а) свежий

б) гранулированный

Рисунок 1.3 – Свекловичный жом

Выход жома составляет 70...90% от веса переработанной свеклы. В жоме содержится 0,5% белка; 0,3% золы; 1,3 % клетчатки; 2% гемицеллюлозы; 2,7% пектиновых веществ [183].

Существуют следующие направления переработки свекловичного жома [9,34,35,36,40,119,144,163,173,176,177,178,179,180,181,184,187,188].

- производство высушенного или гранулированного жома;
- силосование жома;
- производство пектина и пектинового клея;
- производство пищевых волокон;
- переработка жома в биогумус для биоудобрений;
- производство биоферментных высокобелковых кормовых добавок;
- получение биогаза путем метанового «брожения»;
- получение биоэтанола;
- производство бумаги и картона;
- производство биополимеров и биокompозитов.

По данным Минсельхоза РФ общий объём сырого свекловичного жома при производстве сахара в РФ составляет более 31 млн. тонн. Из них около 18 млн. тонн получают на заводах Центрального федерального округа, что составляет 55,7%, а также Южного федерального округа – более 8млн. тонн (25,4%) и в Приволжском федеральном округе около 5 млн. тонн (15,1%) [141].

В пересчёте на сухое вещество высушенный свекловичный жом составляет 30,2% от всего получаемого объема жома. Из этого объема 43,7% идет на откорм

сельскохозяйственных животных в свежем (отжатом), либо консервированном виде и 26,1% не используется.

Объем производства гранулированного жома составляет 97,6% от высушенного жома, т.е. практически весь высушенный свекловичный жом гранулируется. При этом около 48% гранулированного жома отправляется на экспорт [119].

Основным недостатком свежего жома является большое содержание в нем воды (93-94%) и при его транспортировании возникают определенные трудности, особенно в зимнее время. Поэтому свежий жом при поставке подвергают прессованию [108, 142]. При прессовании из свежего свекловичного жома удаляется примерно 35% воды, а содержание сухих веществ повышается до 14,0...20,0%.

Длительное хранение свежего жома в открытых жомовых ямах практически невозможно [124, 170]. Под влиянием микроорганизмов в жоме происходят ферментативные процессы, в результате которых жом быстро закисает. Сахара, белки, пектиновые вещества при этом разлагаются, и образуется молочная, масляная и уксусная кислоты. Мясяно-кислое брожение ухудшает вкусовые качества свекловичного жома, придает ему неприятный запах. Ценные питательные вещества переходят в жомовую воду. Поэтому использование жомовых ям для хранения свежего свекловичного жома является недопустимым.

Для консервирования жома его силосуют с предварительным отжимом на прессе до влажности 70...75%, добавляют грубые корма и серную кислоту для увеличения срока хранения [32, 92, 142].

Содержание ингредиентов в свежем, отжатом и кислом жоме представлено в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Состав жома [142].

Показатели	Свежий жом	Отжатый жом	Кислый жом
1	2	3	4
СВ	6,0...8,0	14,0...20,0	11,0...15,0
Влага	91,0...94,0	80,0	85,0...89,0
Протеин	1,2...1,5	1,7...1,9	1,3...2,6
Клетчатка	3,5...4,5	5,0...7,0	2,8...4,2

Продолжение таблицы 1.2

1	2	3	4
Жир	0,4...0,7	0,6...0,9	0,7...1,0
Безазотистые экстрактивные вещества	4,3...6,0	8,5...10,0	2,7...5,8
Зола	0,6...1,0	1,1...1,4	0,7...1,8

Сырой протеин представляет собой нативный комплекс клеточной ткани сахарной свеклы, содержащий вещества белковой природы и сопутствующие азотистые соединения [56].

Поставка потребителям свежего свекловичного жома без предварительного отжима и высушивания требует значительных затрат. То же характерно и для кислого жома из залитых водой жомовых ям [57, 59].

При хранении жома в жомовых ямах происходит его деструктуризация с образованием жомовой воды, которая, как и диффузионная вода, является основным видом сбросовых вод сахарного производства. Количество кислых жомовых вод составляет в среднем 25—30% от массы жома, загружаемого в ямы.

Хранение свекловичного жома в высушенном виде и в закрытых помещениях позволяет избежать потерь ценных веществ, поскольку при высушивании коллоидные частицы коагулируются и уменьшается объем материала вследствие удаления влаги [141]. Влажность высушенного жома составляет 12...14%. Пересушенный жом (с влажностью менее 10%) является хрупким и образует много мелких частиц и пыли, а также плохо гранулируется и очень гигроскопичен.

Высушенный жом представляет собой грубодисперсную систему, содержащую частицы различных размеров и формы (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Физико-механические показатели сушеного и гранулированного жома [142].

Массовая доля, %				
Влаги	безазотистых экстрактивных веществ	клетчатки	примесей	негранулированного жома
12...14	59,3...61,2	17,6...20,5	1,3...1,5	8...10

Свеклоперерабатывающие заводы организуют на своей территории жомосушильные цехи [46, 57, 77, 139]. Технология сушки включает следующие операции: отжим жома, сушку и брикетирование. Отжим осуществляется на жомоотжимных прессах, на которых удаляется $2/3$ содержащейся влаги, в результате чего содержание сухих веществ в жоме увеличивается до 20...25%.

Процесс получения сушеного жома состоит из следующих этапов:

1. Сырой жом, предварительно отжатый до максимально возможного содержания сухих веществ, поступает в шнековый смеситель.
2. Далее жом направляется в сушильный барабан, теплоносителем в котором является твердое, жидкое и газообразное топливо, сжигаемое в теплогенераторах с различной теплопроводностью.
3. В барабане жом перемещается с одного конца в другой благодаря лопаткам, которые закреплены на стенках барабана по винтовой линии.
4. Передвигаясь прямооток, например, вместе с дымовыми газами, жом высушивается до содержания в нем влаги 12-14% [8].

Существенным недостатком используемых в промышленности барабанных сушилок, при их высокой производительности, является значительная металлоемкость, сложность регулирования и поддержания оптимальной температуры сушки во всем пространстве сушильного барабана, большие энергозатраты.

Транспортировка и использование высушенного дисперсного жома являются трудоемкими процессами, так как он занимает много места из-за небольшой объемной массы и требует значительных площадей для хранения. [126]. Решением данной проблемы является гранулирование жома, которое позволяет увеличить его объемную массу в 2-3 раза, значительно сократить потери при погрузочно-разгрузочных работах, облегчить механизацию раздачи корма на фермах. Насыпная плотность гранул составляет $0,6-0,65 \text{ т/м}^3$.

1.2 Анализ технологии первичной переработки свекловичного жома и используемого оборудования

Жом представляет собой ценный вторичный материальный ресурс для получения различных полезных продуктов, таких как пищевые волокна, пектин, пектиновый клей и др. Для производства этих продуктов в основном используется предварительно отжатый и высушенный гранулированный жом.

Прессование жома. Технологическая схема процесса прессования жома представлена на рисунке 1.4 [20,72,108].

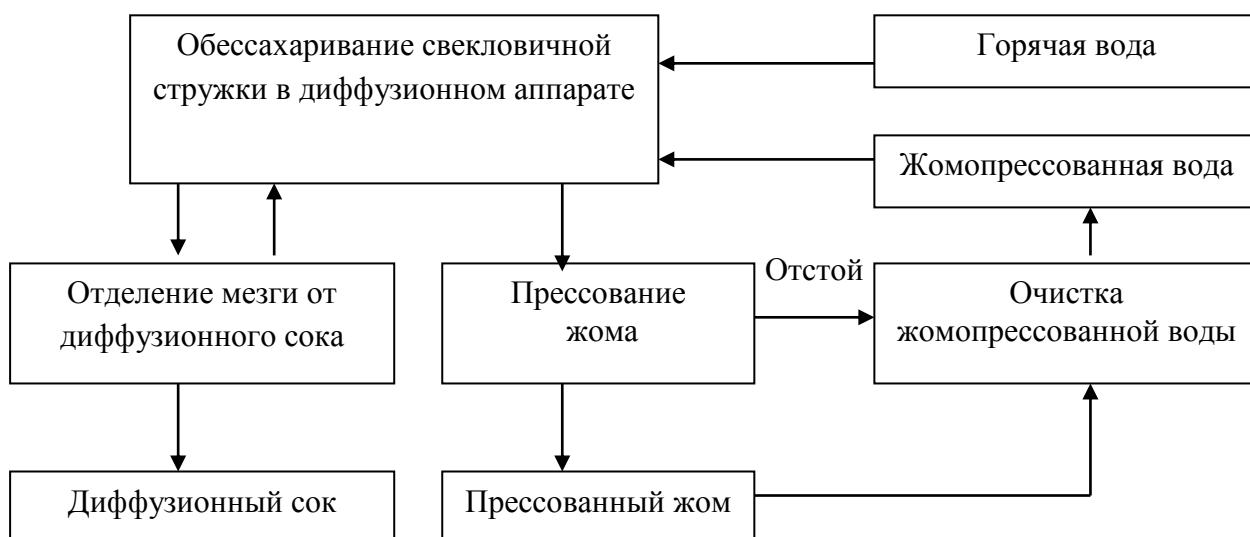


Рисунок 1.4 – Блок-схема технологического процесса прессования свежего жома после диффузионного аппарата

Предварительное удаление влаги перед окончательным высушиванием жомовой массы осуществляется без изменения ее агрегатного состояния. Для этого могут использоваться следующие способы: фильтрация, центрифугование и прессование [12, 41, 68, 72, 149]. Первые два способа в силу присущих им особенностей не используются при обезвоживании свежего свекольного жома.

Для прессования влагосодержащих материалов растительного происхождения, в том числе и отходов, к которым относится свекловичный жом, в перерабатывающих отраслях используются различные виды прессов (таблица 1.4) [20, 21, 24, 39, 53, 108, 137].

Таблица 1.4 – Прессовое оборудование для отжима свежего жома

Признак классификации	Технические характеристики прессов
Принцип действия	Прессы периодического действия Прессы непрерывного действия
Исполнение прессующего органа пресса	Поршень-цилиндр Пресс - плита Металлические вальцы с регулируемым зазором Барабаны с эластичным покрытием цилиндрической поверхности Шнековый движитель Ленточный механизм Матрица Механизмы изменения поперечного сечения отверстия на выходе пресса
Степень отжима жома	Прессы низкого отжима (содержание СВ до 12-14%) Прессы среднего отжима (содержание СВ до 14-22%) Прессы глубокого отжима (содержание СВ 22-35%)
Количество шнеков в шнековых прессах	Одношнековый Двухшнековый
Вид шнекового движителя	Цилиндрический с постоянным шагом и углом наклона витков Цилиндрический с переменным шагом и углом наклона витков Конический с переменным шагом и углом наклона витков Сплошной С перфорированным несущим корпусом
Удаление жидкой фракции из жома	Через ситовую поверхность Через перфорированную поверхность Через прессующий орган
Компоновка прессов	Горизонтальная Наклонная Вертикальная
Форма выходной матрицы (фильеры) пресса	Круглая Прямоугольная Щелевидная Переменного сечения Отсутствует
Регулирование степени отжима	Изменение скорости перемещения материала в зоне прессования Изменение положения в пространстве прессующего органа

Российские свеклоперерабатывающие предприятия прессуют жом преимущественно до содержания 14-18 СВ, зарубежные же предприятия отжимают жом до 30–35% СВ. Анализ показывает, что основной причиной этого отставания являются конструктивно-технологические недостатки используемого на свеклоперерабатывающих предприятиях жомопрессового оборудования.

На современных сахарных заводах используют прессы предварительного отжима жома, которые на выходе получают жом с содержанием СВ 10–12%. Часть заводов оснащена прессами модели ГХ-2, обеспечивающими после отжима жом с содержанием СВ 14–18% [20]. Объемная масса прессованного жома (при СВ более 18%) составляет примерно 550 кг/м³. Часть заводов оснащена прессами глубокого отжима, что даёт возможность получить прессованный жом с содержанием СВ 25–30% более высокой плотности.

К биокомпакторам пищевых отходов периодического действия относятся выпускаемая в РФ унифицированная серия компакторов моделей PSR с маятниковой пресс-плитой [39]. В таблице 1.5 приведены технические характеристики компакторов.

Таблица 1.5 – Технические параметры прессов серии PSR [39].

Параметры	Модель пресса			
	PSR 8	PSR 10	PSR 16	PSR 20
Объем контейнера, м ³	8	10	16	20
Загрузочное отверстие, мм	1200 x 1430			
Удельное усилие прессования, кН/м ²	280			
Длина хода поршня, мм	20			
Установленная мощность, кВт	5,5			
Размеры поршня пресса, мм	295x1430			
Габариты пресса, мм	3830x2040x2500	4330x2040x2500	5540x2420x2600	6190x2420x2600
Масса пресса. Кг	2750	2900	4150	4350

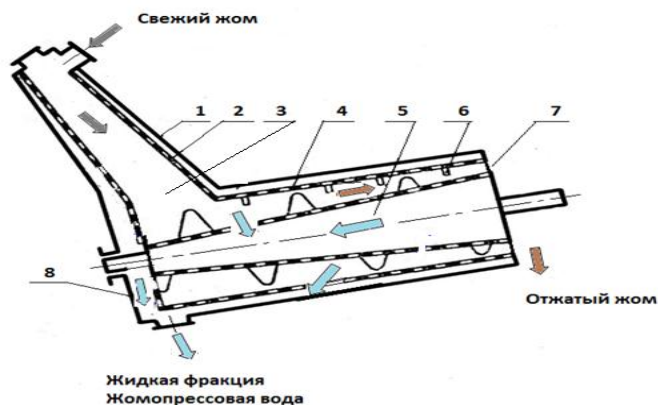
Биокомпакторы данной серии просты по устройству и отличаются надежностью в работе. К их недостаткам можно отнести периодичность цикла прессования, значительные габариты и массу.

Для прессования свежего жома в промышленности в основном используются прессы со шнековыми движителями, преимущество которых по сравнению с поршневыми прессами и прессами с прессующими плитами является непрерывность процесса прессования, что позволяет легко их встраивать в поточные линии для более глубокой переработки жома [33, 75, 128].

При прессовании жома на шнековых прессах возможны три случая пространственного расположения оси шнекового движителя: горизонтальное, наклонное под каким-то углом к горизонту и вертикальное [104, 142].

Характерным примером пресса с горизонтальным расположением шнека является известный механизм для отжима сока из овощей и фруктов [41]. Существенным недостатком данного пресса является его малая производительность, ограниченная площадь поверхности для удаления жидкой фракции и неэффективное регулирование степени отжима путем уменьшения площади сечения выходного отверстия пресса с помощью винта. Для получения сока в работе [155] предложен способ двухстадийной обработки свеклы путем ее прессования и экстракции, что увеличивает время процесса обработки свеклы.

Схема наклонного одношнекового пресса приведена на рисунке 1.5 [141].



- 1- приемное устройство, 2 – сито, 3 – камера, 4 – сито цилиндрическое, 5 – шнек, 6 – планки отбойные, 7 – кольцевое выходное отверстие, 8 – камера

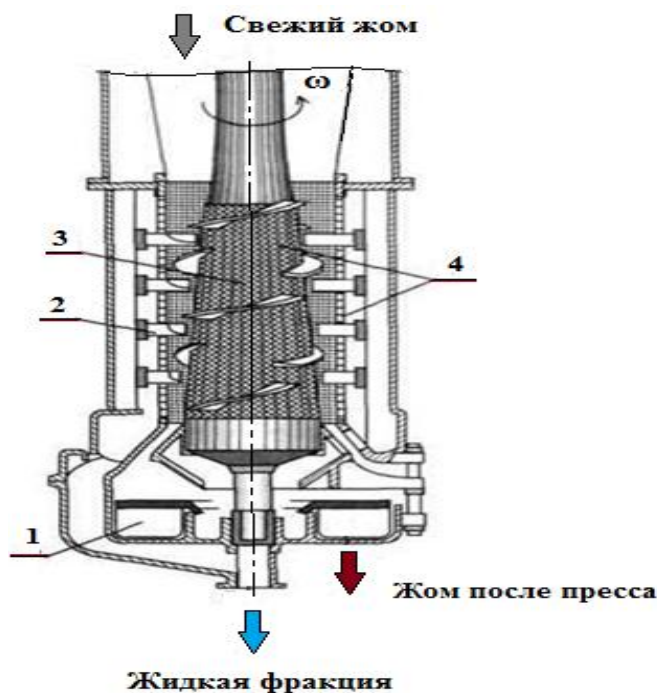
Рисунок 1.5 – Схема наклонного пресса низкого отжима

Свежий жом через приемное устройство 1 и камеру 3 поступает в зону шнека 5, который перемещает его к выходу из пресса. Жом в камере 3 теряет

часть влаги, которая удаляется через ситовую поверхность 2. По мере продвижения в зоне шнека отжимаемая влага через отверстия обечайки шнека и сито 4 удаляется из пресса через патрубок камеры 8. Отпрессованный жом выводится из пресса через кольцевой зазор 7.

Недостатком данного конструктивно-технологического решения является нерациональное пространственное расположение конического шнека в сочетании с цилиндрическим ситом, вследствие чего невозможно обеспечить эффективное прессование жома из-за разного приложения действующих на жом сил и ограниченной площади ситовой поверхности для сбора влаги. Влага может удаляться через перфорированную поверхность шнека и цилиндрического сита только в их нижней части. Кроме того, регулирование степени прессования путем изменения ширины кольцевого зазора за счет осевого перемещения шнека (поз.5, рисунок 1.5) относительно сита (поз.4, рисунок 1.5) также является малоэффективным и технически нерациональным.

Для среднего отжима жома используются прессы с вертикальной компоновкой [20, 104, 141]. Схема пресса с вертикальным расположением шнека модели ПЖ-800 приведена на рисунке 1.6.



1 – лопасти; 2 – направляющие элементы, 3 – шнек, 4 – сита

Рисунок 1.6 – Схема пресса модели ПЖ-800

Поступающий сырой жом из приемного устройства захватывается шнеком 3 и транспортируется им в нижнюю часть пресса. По ходу движения жома к выходу из пресса содержащаяся в нем жидкая фракция удаляется через ситовые поверхности 4. Для удаления отпрессованного жома служат лопасти 1. Отпрессованный жом с помощью лопастей у сита 4, а отжатый жом выводится из пресса лопастями 1. Направляющие элементы 2 служат для равномерного движения жома в зоне прессования.

Недостатком данной конструкции является нерациональность технического решения по регулированию степени отжима путем перемещения ситового конуса, что требует дополнительной настройки и затрат труда на подналадку. Необходимым условием работы пресса является поддержание температуры около 60°C.

Технические параметры пресса модели ПЖ-800 приведены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Технические параметры пресса ПЖ-800 [141].

Параметры	Значения
Производительность по свекле, т/сутки	500
Содержание сухих веществ (СВ) в отжатом жоме, %	До 20
Диаметр шнека по виткам, мм	800
Частота вращения шнека, мин ⁻¹	37
Установленная мощность пресса, кВт	4
Габариты пресса, мм	1600x1600x5930
Масса, кг	8500

Можно видеть, что данная модель при достаточно высокой расчетной производительности является металло- и энергоемкой и отличается, значительной высотой, что с позиций технического обслуживания и ремонта может вызвать определенные трудности.

Более глубокий отжим жома (СВ до 30...35%) обеспечивают прессы фирмы «ВМА» (Германия) с вертикальной компоновкой и двухшнековые горизонтальные прессы фирмы «Atlas-Stord» (Норвегия») [20].

Анализ известных способов прессования жома и конструкций применяемого в промышленности жомопрессового оборудования показывает, что, несмотря на отдельные удачные технические решения и достигнутые выходные параметры, требуется проведение дополнительных исследований по совершенствованию, как технологии непрерывного прессования жома с целью увеличения степени его уплотнения, так и созданию менее металло- и энергоемких прессов, позволяющих использовать их в комплекте с высокопроизводительными и менее энергозатратными сушильными установками [134].

Сушка свекловичного жома. В соответствии с требованиями «Ведомственных норм технологического проектирования свеклосахарных заводов» [45]: техническая производительность сушильных аппаратов по сушеному жому должна определяться по формуле 1.1.

$$Q_{сжс} = \frac{24(\sum V)W (CB_{нжс}) \cdot (100 - R_c)}{1000 Q_{в} CB_{сжс}}, \text{ т/сут}, \quad (1.1)$$

где $(\sum V)$ – общий объем жомосушильных аппаратов, м³; W – влагонапряжение единицы объема аппаратов, кг/м³·ч; $CB_{нжс}$ – содержание СВ в прессованном жоме, % к массе прессованного жома; $CB_{сжс}$ – содержание СВ в сушеном жоме, % к массе сушеного жома; R_c – потери СВ при сушении, % к СВ прессованного жома, $Q_{в}$ – количество воды, испаряемой при сушении жома, % к массе прессованного жома,

$$Q_{в} = \frac{CB_{сжс} - CB_{нжс}}{CB_{сжс}} 100, \text{ т/сут}, \quad (1.2)$$

В таблице 1.7 приведены нормативы для сушительных аппаратов по ВНТП 03-91 [45].

Таблица 1.7 – Нормативы для сушильных аппаратов

Диаметр жомосушильного аппарата, м	Влагонапряжение аппарата, кг/м ³ ·ч	Потери сухих веществ при сушке, % к СВ прессованного жома	Содержание СВ в сушеном жоме, %
2,4	170	3	88
3,0	160		
3,5	150		
4,0	140		

В [141] приведена условная классификация границ обезвоживания жома по процентному содержанию сухих веществ на операциях отжима, среднего и глубокого прессования и высушивания:

- низкий отжим: 10...14% СВ;
- среднее прессование: 18...22% СВ;
- глубокое прессование: 22...35% СВ;
- сушка жома после прессования: до 88...90% СВ.

Наиболее энергозатратной операцией первичной обработки жома является сушка [143].

Практика применения в производстве прессов модели ГХ-2, которые обеспечивают содержание СВ в отпрессованном жоме 14%, показывает, что расход топлива на последующую сушку составляет 69,6% к массе высушенного жома, а при содержании СВ 18% соответственно 50,8%, т.е., увеличив степень отжима жома на 4% расход топлива на сушку можно снизить на 18,8%. Если же применить прессы глубокого отжима, обеспечивающие содержание СВ в жоме на уровне 25...27%, то расходы топлива составят 28,2...24,1% [142].

В соответствии с требованиями действующих ведомственных норм [45] на вновь проектируемых и строящихся заводах необходимо предусмотреть обязательную установку жомосушилок. При этом нормы предусматривают, что до 65 % получаемого жома должно высушиваться на жомосушилках, а остальной жом, отжатый до 9—11% сухих веществ, должен направляться в жомохранилища. Для свеклосахарных заводов мощностью 3...10 тыс.т/сут. необходимо предусматривать сушку всей получаемой массы жома.

Сушка пищевого растительного сырья представляет собой гетерогенный физико-химический процесс выделения из влажного материала под действием теплового потока парообразной влаги [16, 17, 23, 27, 30, 47, 51, 52, 82, 84, 114, 182].

Переход влаги в парообразное состояние требует затрат энергии, величина которых обусловлена видом связи влаги в высушиваемом материале [161].

Общие закономерности связи, распределения и удаления влаги при сушке капиллярно-пористых материалов, к которым относятся и свекловичный жом,

установлены в работах Ребиндера П.А., Лыкова А.В. Гинзбурга А.С. и других исследователей [18, 52, 93, 94, 95, 135, 169].

Для сушки жома до влажности 12...14% в сахарной промышленности применяются преимущественно барабанные и шахтные сушилки.

Технология сушки жома в барабанной сушилке включает в себя следующие операции:

- подачу сырого жома в цех сушки;
- частичное обезвоживание жома в шнековом прессе;
- подачу отжатого жома в барабанную сушилку;
- сушку жома в барабанной сушилке;
- выгрузку жома из сушилки и транспортирование его на склад.

Следует отметить, что применяемая технология сушки в барабанных сушилках является весьма энергозатратным процессом, поэтому при существующих сегодня ценах на энергоносители она экономически не выгодна и реализация получаемого жома сахарными заводами в основном осуществляется в сыром виде.

Широкое распространение в промышленности получили низкоскоростные (число оборотов барабана 0,4...2 мин⁻¹) барабанные сушилки *Butner* (Германия), Топочные газа используются в качестве теплоносителя. Расход топлива, зависящий от степени отжима жома, находится в пределах 45...75 кг на 100 кг высушенного жома. Приведенные в литературе данные свидетельствуют, что использование отходящих газов заводских котельных сахарных заводов с температурой 300⁰С позволяет высушить до 35% получаемого жома, а если использовать шахтные сушилки Гюйярда, то половину всего жома [142].

Как показывает анализ затрат на энергоресурсы для производства 1 т сушёного гранулированного жома с учетом затрат на гранулирование при СВ отжатого жома менее 18% затраты на природный газ составляют 90% всех прямых затрат [142].

Отсюда следует, что перед сушкой жома необходимо обеспечить в первую очередь его возможно более полное обезвоживание прессованием, а также

использовать сушилки с энергосберегающими и более экономичными видами энергоносителей и способами их подвода к высушиваемому продукту.

Из практики использования в производстве сушилок барабанного типа известно, что для получения 1 кг высушенного жома расходуется около 0,6 кг условного топлива, при этом производительность барабанной сушилки ($L \times D = 12000 \times 2400$ мм), работающей с частотой вращения барабана 2 мин^{-1} при температуре теплоносителя 800°C , составляет 30 т высушенного жома в сутки. Это соответствует переработке примерно 50 т сахарной свеклы.

К существенным недостаткам барабанных сушилок, работающих на топочных газах, относятся большая занимаемая площадь и металлоемкость конструкции, невысокий тепловой КПД, невозможность точного поддержания заданной температуры в рабочем пространстве сушилки, низкая экологичность и др. [33, 64, 107, 141].

Кроме того, использование топочных газов при сушке жома не позволяет использовать, как сырье, для получения пищевых волокон из-за адсорбции продуктов сгорания.

Применение паровых сушилок, например, моделей «Империял» и др., с использованием вторичного пара от выпарной станции или пара под давлением от 1,1...2,12 МПа и более обеспечивают по данным проф. Головина П.В. более светлый и качественный продукт по сравнению с сушкой топочными газами (таблица 1.8) [97]. Однако расход теплоносителя на таких сушилках повышается на 35%.

Таблица 1.8 – Процентный состав ингредиентов в сушеном жоме в зависимости от вида применяемого теплоносителя [97].

Теплоноситель	Содержание ингредиентов в высушенном жоме, %					
	влаги	белка	жира	безазотистых экстрактивных веществ	клетчатки	золы
Топочные газы	12,58	6,54	–	56,59	18,57	6,02
Вторичный пар	9,21	8,03	9,21	59,26	19,5	3,79

Согласно исследованиям, проведенным Роджерсом и Михельсоном, в высушенном жоме установлено наличие: витаминов В₁ - 0,55; В₂ - 0,20; В₆ - 0,18

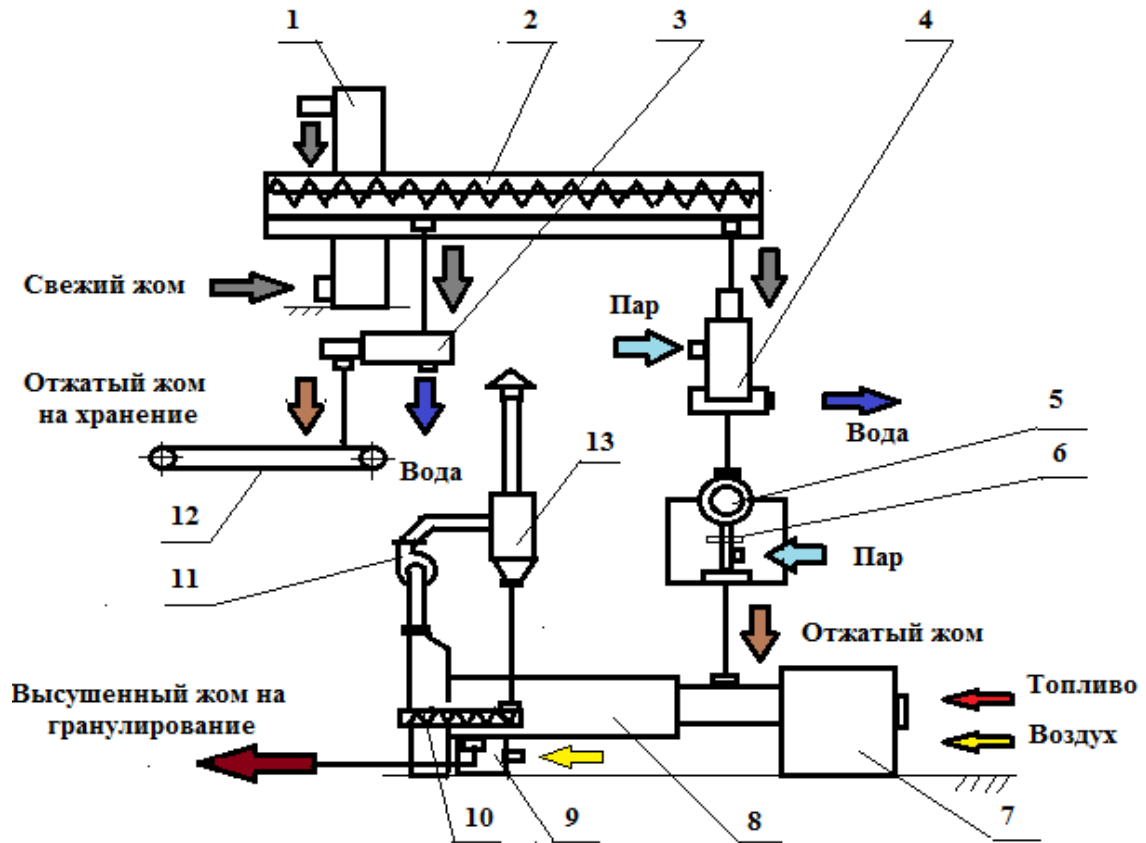
пантотеновой кислоты - 0,21 мг/кг, по исследованиям И.С.Попова в 1 кг сушеного жома содержится: кальция 4,7, фосфора 1,2г; перевариваемого белка 33 г. По результатам исследований кафедры технологии сахарного производства (Политехнический институт, г. Лодзь, Польша) состав сушеного жома: СВ – 88,8%; азотистые соединения – 8,1; жиры – 0,6; безазотистые экстрактивных вещества – 58,5; зола – 4,0; клетчатка – 17,6 [142].

В работе [47] предложен способ и устройство для сушки предварительно отпрессованного жома в сушилке с пятью перфорированными каскадными транспортерами, расположенными один над другим, и подачей противотоком вторичного теплоносителя от котельной с помощью вентилятора. Данное устройство по существу представляет собой ленточную ярусную сушилку, аналогичную по конструкции ленточным сушилкам, применяемым при сушке макаронных и других сыпучих продуктов растительного происхождения [17, 109]. При всех преимуществах по сравнению с барабанными сушилками ленточная сушилка с многоярусной компоновкой транспортеров один над другим обладает следующими недостатками:

- неравномерное температурное поле в каждой зоне отдельных транспортеров по высоте сушилки;
- беспорядочный разброс слоя материала по ширине ленты транспортера при переходе его с яруса на ярус.

Известен способ получения сушеного свекловичного жома [117], включающий стадии отжима, гранулирования, активного вентилирования и сушки. После отжима жом гранулируют, далее из гранул удаляют основную часть влаги активным вентилированием до влажности 20-25% и затем досушивают до влажности 12-14%. Отжим осуществляется на прессах глубокого отжима модели *PB32FS* фирмы «*Babbini*», гранулирование на ротационных прессах ПБ-5, активное вентилирование осуществляется при атмосферном давлении с использованием вентиляционной установки СВУ-63, сушка – на жомосушильных установках модели *ZUP-NYSA*.

На рисунке 1.7 в качестве примера приведена машинно-аппаратурная схема типовой линии для прессования и сушки жома [127], применяемая на ряде сахарных заводов мощностью по перерабатываемой свекле 2500 т/сутки.



1 – нория, 2 – шнековый питатель, 3 – наклонный пресс, 4 – вертикальный пресс, 5 – шнек, 6 – питатель 7 – топочная камера, 8 – барабанная сушилка, 9 – эжектор, 10 – шнек для сушеного жома, 11 – вентилятор, 12 – ленточный транспортер, 13 – циклон

Рисунок 1.7 – Машино-аппаратурная схема линии для прессования и сушки жома

Выходящий из диффузионного аппарата свежий жом норией 1 и шнековым питателем 2 подается к наклонным прессам 3, где осуществляется его отжим до содержания сухих веществ 12-14%, после чего жом ленточным транспортером 12 направляется на хранение.

Если жом предназначен для сушки и последующего гранулирования, то он поступает на вертикальные прессы 4, где осуществляется его прессование до содержания сухих веществ 18-25%. Жидкость из прессов 3 и 4 направляется в диффузионную установку [141].

Далее жом через шнек 5 и питатель 6 поступает в барабанную сушилку. Сушка жома осуществляется топочными газами при сжигании мазута в камере 7. Температура газов при сушке жома достигает 800-850°C. Смесь дымовых газов и паров воды удаляется из сушилки вентилятором и направляется в циклон 13 для улавливания частиц сушеного жома. Жом из циклона поступает в шнек 10 и вместе с высушенным в сушилке жомом направляется через эжектор в пневмотранспортную систему на склад или на гранулирование.

Проведенный анализ сушильного оборудования, применяемого для сушки жома, показывает, что наибольший интерес с позиций экономии энергии, снижения трудозатрат на обслуживание, возможности более точного регулирования и поддержания задаваемой температуры в зоне сушки могут представлять конвейерные туннельные сушилки с линейной секционной компоновкой [100, 101, 103]. Их преимущества по сравнению с барабанными, шахтными и многоярусными ленточными сушилками заключаются в более низкой металлоемкости, невысокой удельной энергоемкости, лучшей эргономике и возможности поддержания заданной температуры с точностью $\pm 1,5 - 2^{\circ}\text{C}$. Кроме того, при рациональном выборе источника энергии, как показано в [17], такие сушилки являются универсальными и могут использоваться для тепловой обработки широкого ассортимента сырья и продуктов питания, что особенно важно, поскольку сезон переработки сахарной свеклы составляет всего 90-100 суток.

При выборе рационального способа сушки, вида теплоносителя и конструкции сушильной установки для тепловой обработки отжатого в компакторе свекловичного жома руководствовались следующими критериями [135]:

- тепловая обработка жома при его непрерывном движении на конвейере туннельной сушилки;
- использование энергосберегающего способа сушки за счет подвода к продукту направленного инфракрасного излучения;

– обеспечение любого значения температуры в рабочем пространстве туннельной сушилки в диапазоне от 50 до 350⁰С с точностью автоматического поддержания задаваемой температуры $\pm 1,5 - 2^0$ С.

Анализ конвейерных сушильных установок показывает, что для сушки отжатого свекловичного жома наиболее пригодны секционные конвейерные туннельные сушилки с направленным инфракрасным подводом энергии [5, 16, 17, 115, 116].

В отраслях АПК широко используются линейные секционные конвейерные печи и сушилки, оснащенные термоэлектрическими инфракрасными нагревателями (ТЭНами). Основными способами передачи тепловой энергии в рабочую зону является их излучение, теплопроводность через стенку и конвекция.

Контакт ТЭНов с внутренней стенкой осуществляются по образующей линии, вследствие чего имеет место линейное соприкосновение со стенкой камеры, что совершенно неэффективно по теплоотдаче.

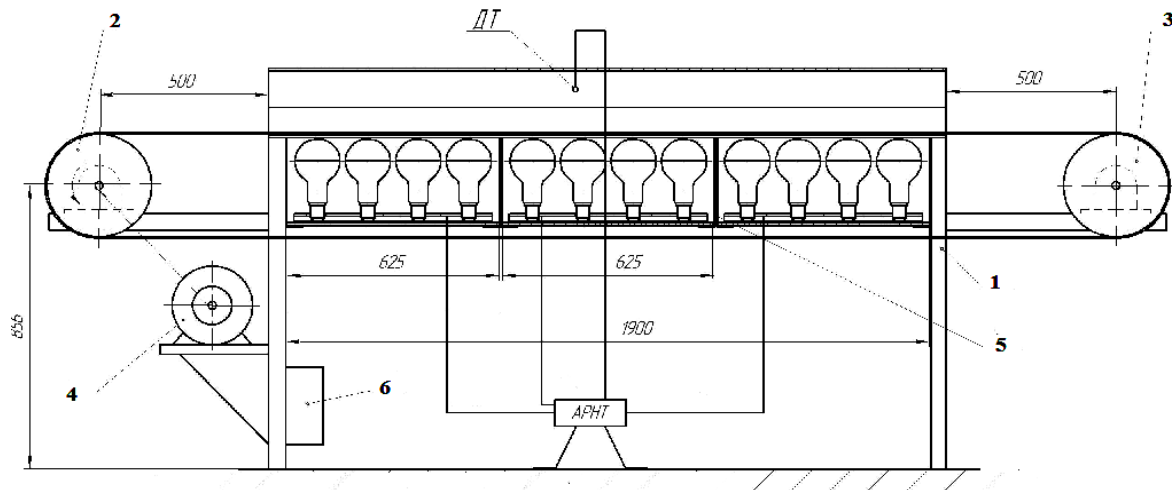
Существенным недостатком теплоподвода с помощью ТЭНов является повышенный расход электрической энергии на нагрев [17]. Высокая энергоёмкость обусловлена особенностями процесса нагрева и конструкцией нагревателя. ТЭНы, контактирующие с внутренней стенкой сушильной камеры, нагревают её теплопроводностью по линии контакта и за счет ИК -излучения. Следует отметить, что это излучение вследствие особенностей конструкции ТЭНа распространяется от его поверхности во всех направлениях. Поэтому на нагрев внутренней стенки секции сушилки расходуется только часть энергии, что вызывает необходимость окружать ТЭНы дополнительными параболическими отражателями.

Использование вместо ТЭНов направленного инфракрасного излучения, создаваемого зеркальными лампами, позволяет, как показано в [17] , уменьшить энергозатраты на сушку примерно в 4 раза по сравнению с ТЭНами и, кроме того, обеспечить универсальность сушилки за счет возможности обеспечения температур в рабочей зоне камеры от 40...60 до 300...350⁰С при высокой

точности ее поддержания. Такой расширенный диапазон рабочих температур позволяет превратить сушилку в универсальную сушилку-печь.

В работе [17] было обосновано, что в качестве источника тепла целесообразно применять инфракрасные зеркальные электролампы моделей ИКЗ-175, ИКЗ-250 с цоколем E27 и ИКЗ-500 номинальной мощностью 175, 250 и 500Вт ФУП РМ «ЛИСМА» (г. Саранск). По данным изготовителя эти лампы обеспечивают направленное ИК-излучение и способны преобразовать 90% потребляемой электроэнергии в энергию теплового излучения. :

На рисунке 1.8 приведена схема продольной компоновки секции туннельной конвейерной сушилки [97].



1 – рама; 2, 3 – барабаны конвейера, 4 – мотор-редуктор, 5 – шинный провод, 6 – частотный преобразователь, ДТ – датчик температуры, АРНТ – автоматический регулятор «напряжение-температура»

Рисунок 1.8 – Схема секции туннельной сушилки

Использование для управления необходимой температурой автоматического регулятора «напряжение –температура» (АРНТ) позволяет поднять температуру в рабочей зоне сушилки до 300...400⁰С за 8,5...14,5 мин затрачивая для ее поддержания не более 7 кВтч.

Таким образом, для сушки прессованного свекловичного жома целесообразно использовать конвейерную сушильную установку с направленным подводом ИК- излучения.

Данная установка способна обеспечить:

- значительное энергосбережение по сравнению с применяемыми в промышленности для сушки жома барабанными сушилками;
- непрерывный режим работы компактора и сушильной установки,
- конвейерную передачу выходящего из компактора жома на конвейер туннельной сушки
- точное поддержание температуры в зоне сушки при минимальном расходе электроэнергии.

В качестве альтернативы известным энергоемким барабанным сушилкам с обогревом топочными газами в поточной линии переработки жома может быть использована модульная энергосберегающая барабанная сушилка с регулируемым, как и в конвейерной туннельной сушилке, направленным подводом инфракрасного излучения [7, 116] или же более энергоемкие барабанные сушки со шнековыми движителями [78, 112].

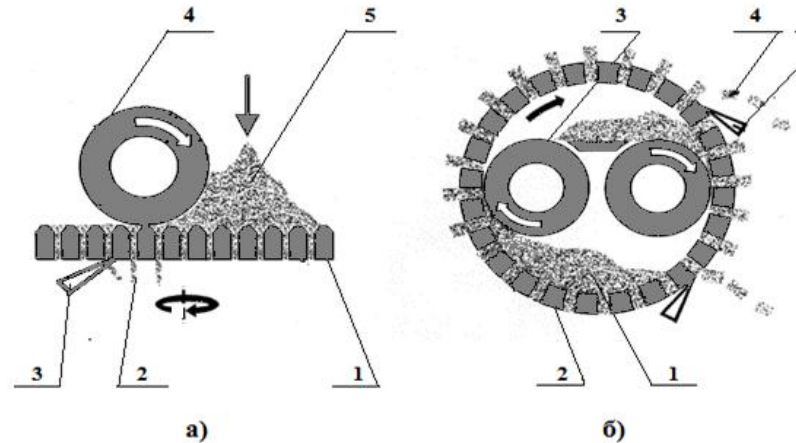
Гранулирование жома. Небольшая плотность рассыпного сушеного жома требует для хранения значительных складских площадей и увеличивает затраты на его транспортирование потребителям. Увеличение плотности высушенного жома достигается его гранулированием [22]. При этом жом приобретает цилиндрическую форму с размером отдельных гранул диаметром 25 мм и высотой до 40 мм и плотность порядка 600...800 кг/м³ (в отдельных случаях до 1225 кг/м³ [141] по сравнению с насыпной плотностью высушенного жома 250 кг/м³ (при длительном хранении плотность высушенного жома возрастает до 500 и более кг/м³).

Процесс гранулирования содержит следующие операции:

- подача сушеного жома в бункер-накопитель;
- взвешивание и дозирование жома;
- магнитная сепарация жома;
- смешивание жома с добавками (мелассой, карбамидом и др. при необходимости);
- гранулирование обогащенного жома в пресс-грануляторе;
- охлаждение гранул в охладителе;

- транспортирование и взвешивание гранул;
- складирование.

Типовые технологические схемы гранулирования жома представлены на рисунке 1.9 [141].



1 – матрица, 2(а), 4(б) – гранулы, 3(а), 5(б) – нож, 4(а), 3(б) – прессующие рифленые валки

Рисунок 1.9 – Технологические схемы гранулирования сушеного жома с плоской (а) и кольцевой матрицей (б)

Гранулирование сушёного жома осуществляется преимущественно на грануляторах типоразмерного ряда разной производительности, изготавливаемых в Нидерландах (*CPM*) и в Германии (*AMANDUS KAHN*). Например, гранулятор *CPM-7930-8* с вертикально расположенной прессующей матрицей обеспечивает производительность 10–12 т/ч гранулированного жома. Для просеивания гранул используется *CPM «Cryloc 46-01-D»* с вращающимся ситом диаметром 1400 мм. Далее гранулы взвешиваются и направляются на склад для хранения.

Таким образом, существующие технологии и оборудование позволяют получить из свежего свекловичного жома, вышедшего после обессахаривания свекловичной стружки в диффузионных аппаратах полуфабрикаты в виде отпрессованного, высушенного и гранулированного жома, которые используются для различных целей в зависимости от назначения. Эти полуфабрикаты служат исходным сырьем для получения готовой продукции: пищевых волокон, пектина, пектинового клея, компонентов премиксов и кормовых добавок и др.

1.3 Анализ технологии и оборудования для получения готовой продукции из свекловичного жома

Пектин. Известно, что в сахарной свекле, так и в жоме, содержится пектин в количестве 12...24%, представляющий собой смесь углеводов и относящийся к желирующим веществам, таким как агар, желатин и фулцеллан [91]. Желирующие свойства пектина обуславливают его применение в кондитерской отрасли при производстве джемов, мармелада и в других продуктах.

Отечественная промышленность использует для производства продукции в основном импортный пектин, получаемый из яблок и цитрусовых. Однако многими исследованиями было установлено, что по своим качественным показателям пектин, получаемый из свекловичного жома, не уступает импортному пектину. Высокое качество получаемого пектина обеспечивается соответствующими температурными режимами оборудования линии [167].

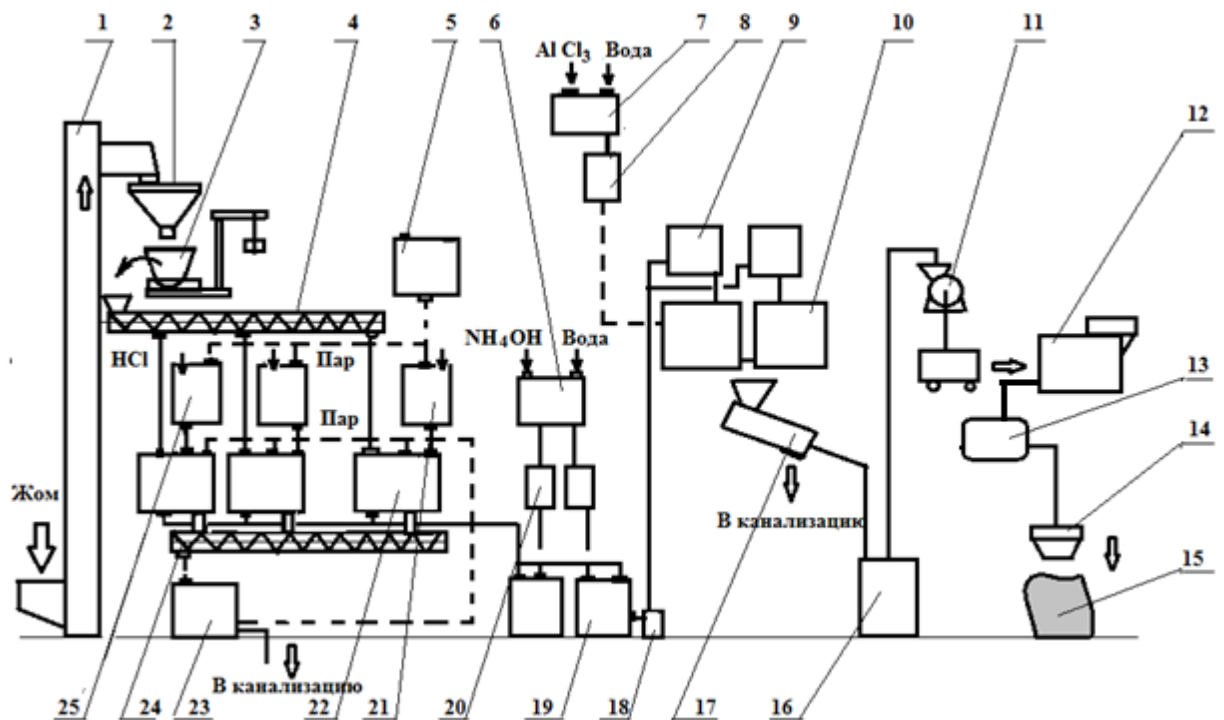
Известно несколько способов получения пектина из свекловичного жома [118, 142, 151].

По технологии Киевского технологического института (рисунок 1.10) [141] высушенный свекловичный жом предварительно измельчают и далее гидролизуют раствором HCl при температуре 70°C в течение 2,5 ч. Готовый пектин осаждают хлористым алюминием при добавлении NH₄OH. После чего коагулят обезвоживают спиртом и очищают в четыре этапа водно-спиртовыми растворами.

Выход пектина по данной технологии составляет около 15% по весу сухого жома. Чтобы получить 1000 кг пектина требуется затратить 10500 кг технической соляной кислоты, 10500 кг хлористого алюминия; 2400 кг спирта-ректификата и 6000 кг 25-процентного аммиака

Высушенный жом норией 1 подается в приемный бункер 2, далее взвешивается на весах 3 и питателем 4 направляется в гидролизаторы 22, в

которые также подается вода, раствор соляной кислоты и пар для подогрева, Процесс гидролиза продолжается в течение 2-3 часов.



1 – нория; 2 – приемный бункер; 3 – весы; 4 – шнековый питатель; 5 – сборник холодной воды; 6 – сборник раствора аммиака; 7 – сборник раствора треххлористого алюминия 8 – дозатор раствора, 9 – фильтрпресс; 10 – танк-осадитель, 11 – измельчитель, 12 – сушилка; 13 – шаровая мельница; 14 – бункер, 15 – мягкая тара для сухого пектина, 16 – гидропресс, 17 – сито, 18 – насос гидролизата, 19 – нейтрализатор, 20 – дозатор раствора аммиака, 21 – мерник-нагреватель воды, 22 – гидролизатор, 23 – промывочная емкость, 24 – шнек, 25 – мерник-нагреватель

Рисунок 1.10 – Схема производства пищевого пектина из высушенного жома по технологии КТИ

Далее полученный экстракт направляется емкости 19 для нейтрализации кислоты, а остаток жома питателем 24 направляется в промывочную емкость 23. Нейтрализованный экстракт через фильтрпрессы 9 направляется в танки 10 для осаждения пектина, куда добавляется из сборника 7 и дозатора 8 раствор хлористого алюминия.

После промывки коагулят дополнительно промывается еще раз на барабанном сите 17 и поступает в гидропресс 16 для прессования. Затем отпрессованный пектин измельчается в измельчителе 11 и направляется в

камерную сушилку 12, после которой поступает в шаровую мельницу 14 для тонкого измельчения. Готовый продукт упаковывается в мягкую тару 15.

По технологии, разработанной ВНИИКП, полученный из фильтрата коагулят обезвоживают и очищают. В отличие от метода КТИ процесс очистки включает четыре фазы: первые две заключаются в промывке водно-спиртовым раствором, последние – в обработке 70%-ным спиртом в смеси с 4%-ой соляной кислотой. После этого проводится раскисление продукта 5%-ным раствором спирта со щелочью и последующая его сушка при 80°C.

К недостаткам рассмотренных выше технологий можно отнести сравнительно невысокий выход пектина и повышенный расход реагентов [131].

Известен также способ получения пектина из прессованного жома, основанный на применении раствора перекиси водорода для гидролиза протопектина, экстракции пектина из осветленных перекисью волокон, концентрирования экстракта под вакуумом и сушки пектина при температуре 60°C (рисунок 1.11).

Данная технология содержит меньшее число операций, необходимых для получения пектина, в результате чего поточная линия для его получения будет менее энергзатратной и металлоемкой

На рисунке 1.12 представлена более сложная технологическая схема двухпоточной линии, позволяющей получать и свежего жома пектин и пищевые волокна. Эта технология использует в качестве реагентов поваренную соль и этиловый спирт

Из проведенного анализа следует, что для получения пектина можно использовать все виды жома: от свежего и прессованного до высушенного и гранулированного. Выбор исходного полуфабриката для получения пектина, технологии его обработки и вариантов компоновки оборудования будет определяться, главным образом, удаленностью производства пектина от источников сырья.

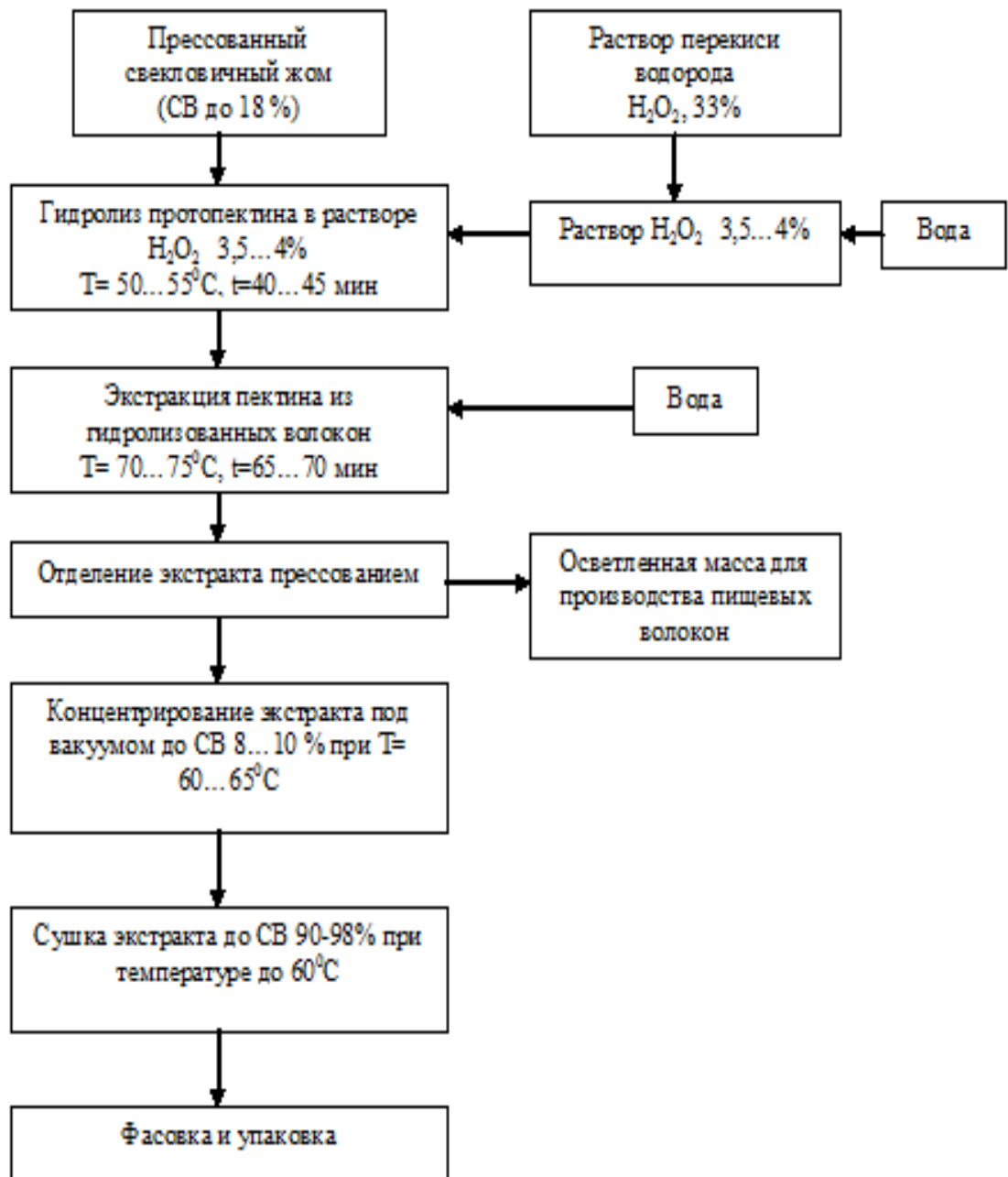


Рисунок 1.11 – Технологическая схема получения пектина с использованием перекиси водорода

Пектиновый клей. Типовая технология получения пектинового клея содержит следующие операции [86,142].

- промывка свежего жома в воде для извлечения остатков сахара;
- отделение воды в промывочном шнеке;
- прессование промытого жома до содержания СВ 12...15%;

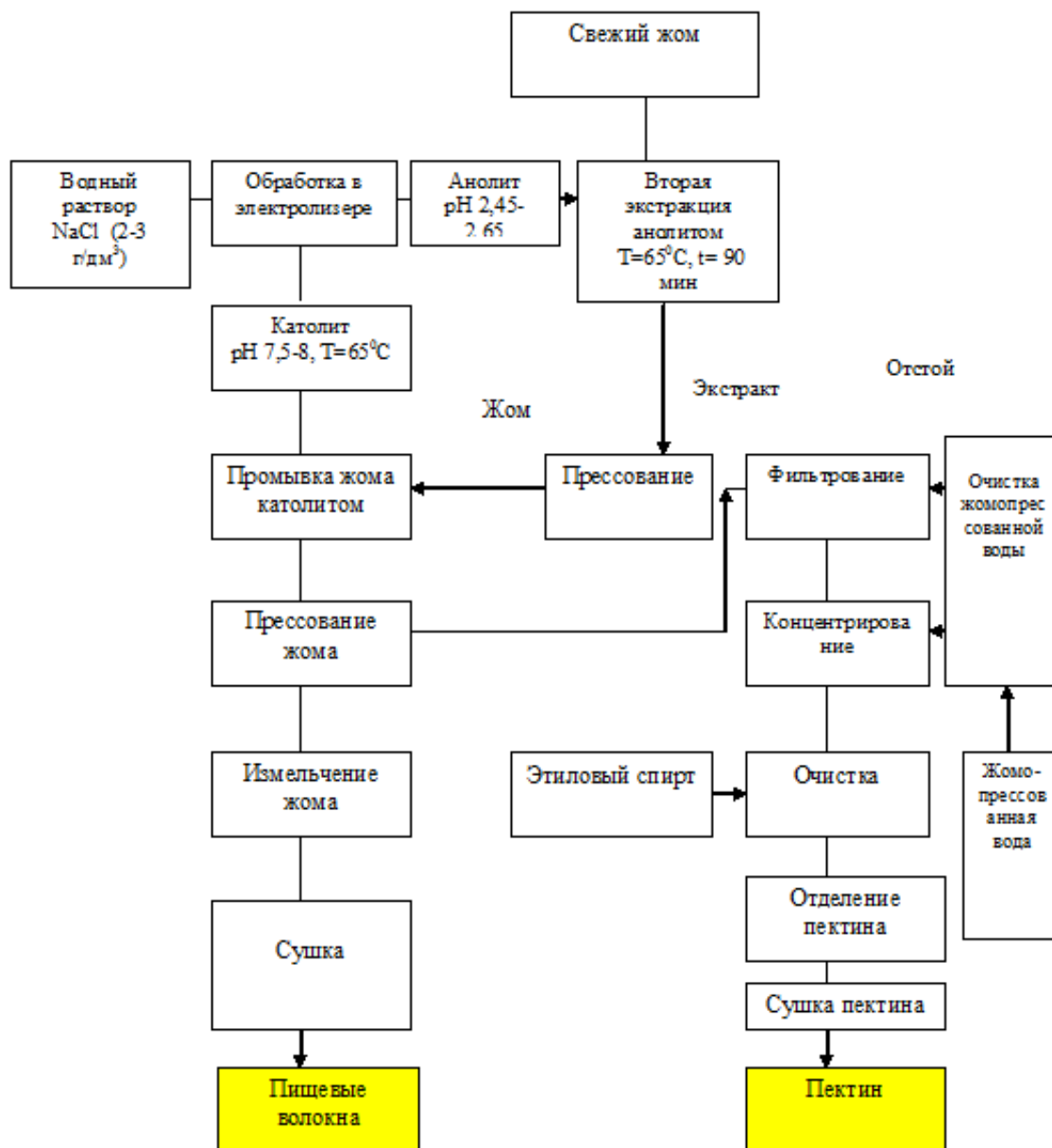


Рисунок 1.12 – Технологическая схема двухпоточной линии для получения пектина и пищевых волокон

- тепловая обработка отпрессованного жома в автоклаве при температуре 120...130°C течение 30...40 мин;
- экстракция растворенных пектиновых веществ из разваренного жома;
- фильтрация экстракта;
- сгущение экстракта в выпарной установке и вакуум-аппарате до содержания 40...50%СВ.

Выход пектинового клея составляет от 2,5 до 3% от массы переработанного свежего жома, т.е. будет являться энергозатратным процессом при значительной в нем потребности.

Пищевые волокна. Пищевые волокна представляют собой не перевариваемые организмом человека части растений. Суточная норма потребления пищевых волокон для взрослого человека составляет от 25 до 38 г [32, 91].

Как отмечается в технической литературе, отсутствует единая классификация пищевых волокон. Некоторые основные признаки, позволяющие провести классификацию волокон, были предприняты в работе [73] (рисунок 1.13).

Многочисленными исследованиями было установлено, что в рационах питания людей обязательно должны присутствовать пищевые волокна, содержащие не перевариваемую клетчатку и оказывающие благотворное влияние на здоровье человека [31, 86, 147, 185]. Клетчатка в смеси с гемицеллюлозой усиливает перистальтику кишечника, нормализует продвижение пищи по желудочно-кишечному тракту, стабилизирует холестериновый обмен, связывая жирные кислоты, улучшает микрофлору кишечника и восстанавливает функцию печени [127].

Свекловичный пектин, входящий в состав волокон, по своим физико-химическим свойствам является природным адсорбентом по отношению к тяжелым металлам, радионуклидам, остаточным пестицидам и по этому показателю относится к незаменимым веществам в производстве пищевых продуктов функционального назначения.

Несмотря большие объемы производства и низкую стоимость свекловичного жома, пектиносодержащие комплексы, как и пектин из него, в широких промышленных масштабах в нашей стране не производятся, что сдерживает выпуск биологически активных добавок и продуктов функционального назначения с их использованием [15, 79].

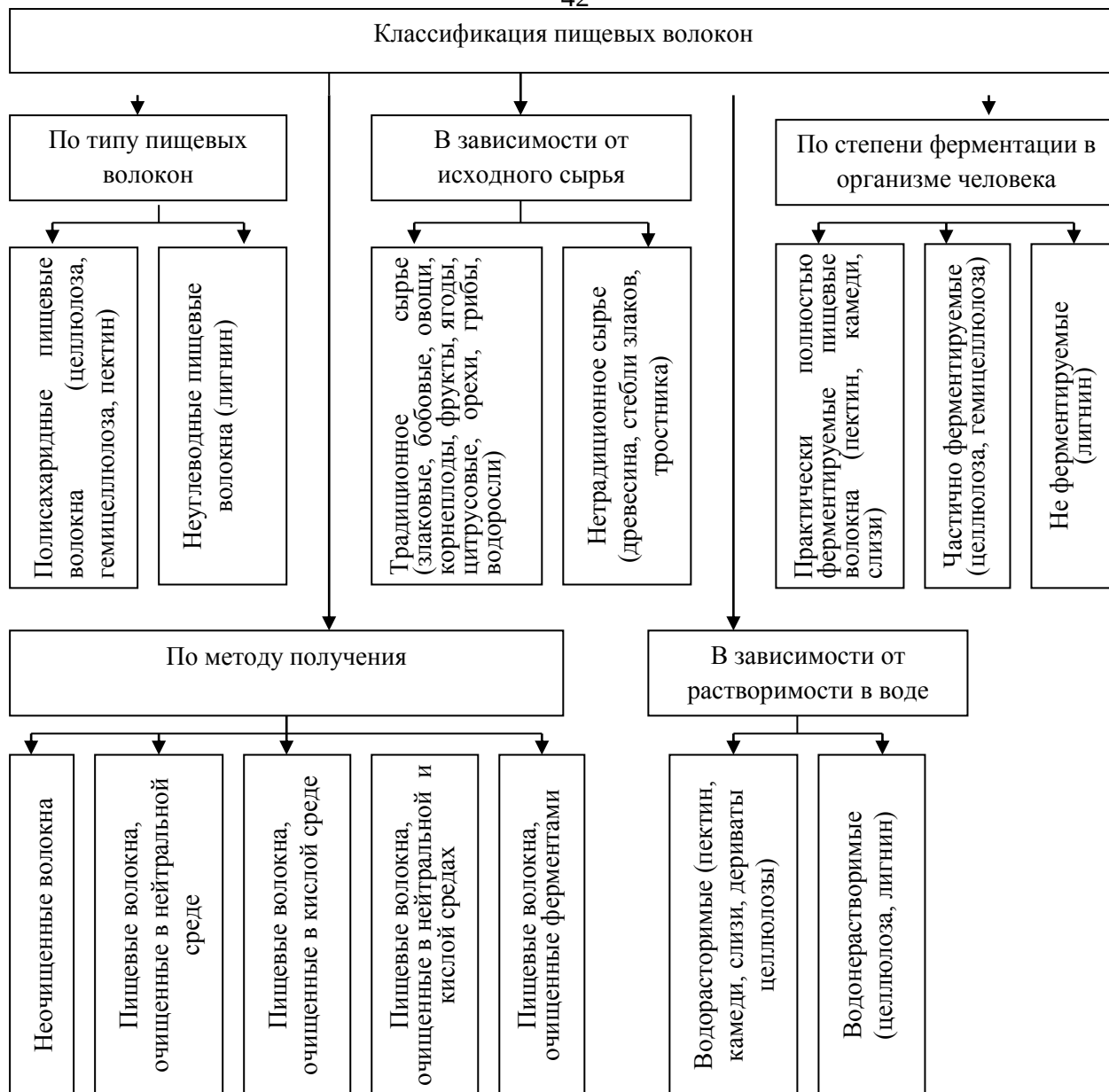


Рисунок 1.13 – Классификация пищевых волокон

В настоящее время производимая пищевая продукция способна удовлетворить потребность населения в пищевых волокнах лишь на 30...35 %. Поэтому создание промышленных технологий получения пищевых свекловичных волокон и широкое использование их в производстве продуктов функционального назначения является актуальной задачей [54, 79, 80, 81, 90, 96, 118, 156].

Перспективным направлением использования свекловичных волокон является применение их в виде функциональной добавки в различные продукты питания. Так, например, по заключению ВНИИ мясной промышленности производство вареных колбас, рубленых полуфабрикатов, пельменей может использовать пищевые свекловичные волокна с сохранением вкусовых

достоинств продукции и увеличением ее биологической ценности. При этом гидратированные волокна заменяют до 10 % мясного сырья [127].

В приложении А приведен разработанный проект технических условий на производство мясных рубленых быстрозамороженных полуфабрикатов с добавлением пищевых волокон, полученных из свекловичного жома, и технологическая инструкция их приготовления [136].

Пищевые свекловичные волокна также могут найти широкое применение в молочной промышленности при выпуске творожных паст и кисломолочных напитков, в кондитерской промышленности при производстве конфетных масс, в виде термостабильных начинок [60, 80, 96].

При производстве хлебобулочных изделий, особенно профилактического назначения, разнообразных готовых блюд, горчицы, соусов, супов, кетчупа, изделий консервной и рыбной промышленности также можно использовать свекловичные волокна.

Наиболее значимыми достоинствами пищевых волокон являются:

- способствование подавлению аппетита;
- увеличение чувства насыщения;
- снижение потребления энергии;
- снижение уровня холестерина;
- снижение внутриполостного давления;
- способствование редукции инсулярного выброса, так как проявляют толерантность к глюкозе;
- невысокая энергетическая ценность (54...63 Ккал) из отсутствия в составе крахмала и клейковины [142].

В таблице 1.9 приведены показатели пищевых свекловичных волокон (по данным Северо-Кавказского НИИ сахарной свеклы и сахара) [3, 127, 142].

Таблица 1.9 – Показатели свекловичных пищевых волокон

Наименование показателя	Значения
1	2
Сухих вещества, %	88-90

Продолжение таблицы 1.9

1	2
Содержание влаги, % не более	10-12
Содержание пищевых волокон, % не менее	70
Содержание клетчатки, %	23-28
Содержание пектиновых веществ, %, в т.ч.:	20
- доля водорастворимых веществ, %	10-12
- доля водонерастворимых веществ, %	8-10
Целлюлоза, %	25
Белки, %	7-8
Минеральные веществ, %	3,5-5,0
(К – 0,2%; Na – 0,4%; Са –0,8%; Mg – 0,4%; Р – 0,25 %)	
Коэффициент водосвязывающей способности	5-5,5
Коэффициент жиросвязывающей способности	1,4-1,5
pH водной вытяжки из волокон	4,3-4,6
Органолептические показатели:	
- запах	нет
- вкус	кисловатый
- цвет	светло-коричневый
Средний размер частиц, мм	0,120
Аминокислоты (аланин, валин, лейцин и др.)	следы
Энергетическая ценность	55-60 Ккал/100 г
Токсичные вещества, пестициды, нитраты	Нет

Блок-схема получения пищевых волокон по технологии КубГТУ (г.Краснодар) приведена на рисунке 1.14 [105].

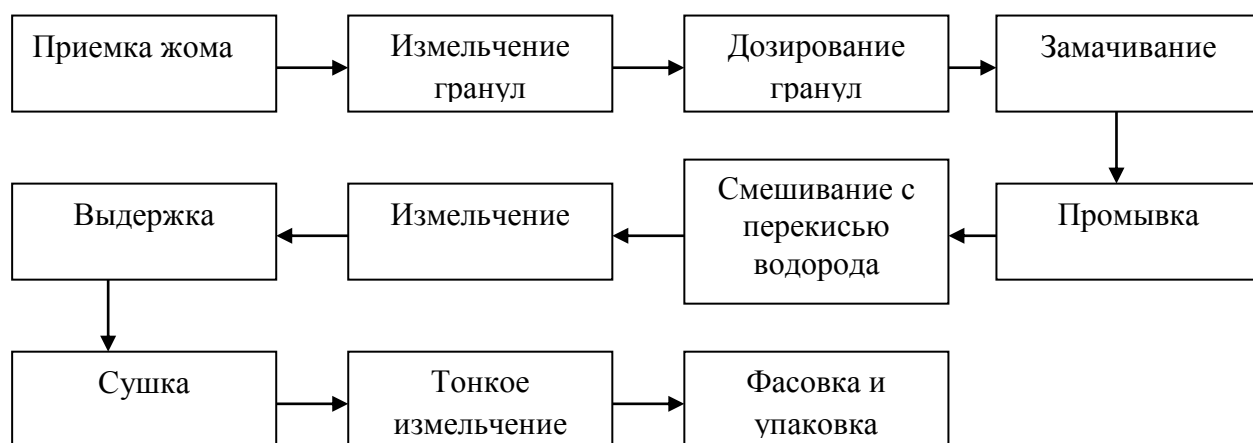


Рисунок 1.14 – Блок-схема процесса получения пищевых волокон из гранулированного свекловичного жома

Данная технология выполняется в следующей последовательности. Доставляемый любым видом транспорта гранулированный свекловичный жом разгружается в бетонированную завальную яму

При помощи конвейеров сырье выгружается из завальной ямы и подаются в нории, которые загружает сырье в силосы временного хранения через клапан-распределитель. Контроль степени заполнения силосов осуществляется датчиками уровня.

Перед замачиванием гранулы подвергают измельчению. Для этого гранулы из силосов отбираются конвейерами и подаются норией в измельчитель с дозирующим устройством, из которого измельченное сырье попадает в бункер для замачивания. Несмотря на то, что измельчение гранул в какой-то степени является недостатком данной технологии, однако эта операция необходима и обуславливается тем, что замачивание гранул без их измельчения потребует большего времени и затрат. Учитывая, что линия по производству волокон может быть установлена на предприятии, находящемся далеко от свеклосахарного завода, то поставка гранулированного жома позволяет существенно снизить потери при транспортировании и тем самым издержки производства.

Замачиватель оснащен двумя центробежными насосами рецикла замоченного сырья для интенсивного перемешивания смеси.

Далее замоченное сырье насосом по трубопроводу подается в первую зону для промывки, где сбрасывается по трубопроводу отделенная грязная вода. Во второй зоне промывателя жом промывается чистой водой. Вода из второй зоны самотеком поступает в танк оборотной воды. В третьей зоне промывателя сырье отделяется от воды за счет инерционных сил и смешивается с трехпроцентным раствором перекиси водорода, подаваемым кулачковым насосом из соответствующего танка. Расход раствора перекиси контролируется расходомером. Далее сырье поступает в измельчитель, где перетирается жерновами до размера частиц 1-2 мм и шнеком подается в дозатор временного хранения, в котором оно выдерживается не менее 1,5 часов для обесцвечивания. Из дозатора сырье поступает в камеру сушки. Сушка происходит горячим

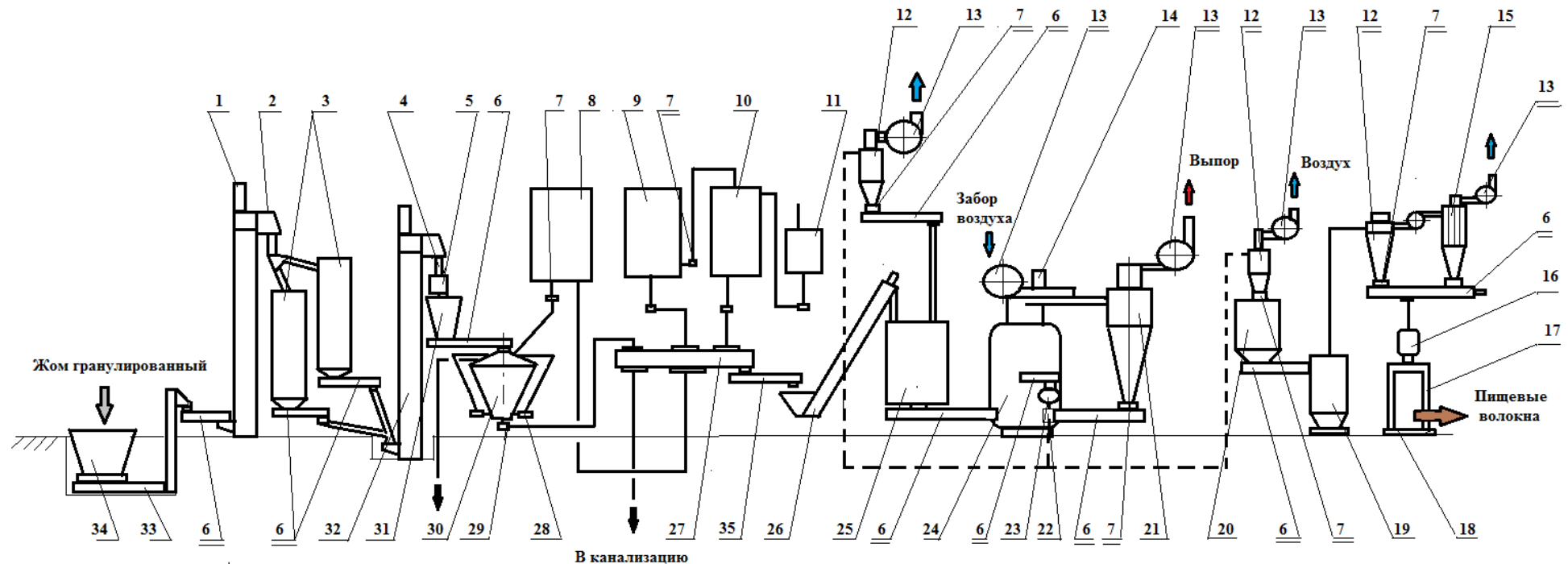
воздухом, нагреваемым газовой горелкой. Высушенная смесь попадает в вакуумный продуктопровод и транспортируется в отделение тонкого помола. Аспирационная пыль после циклона, проходя через шлюзовый затвор, возвращается в сушильную камеру по шнековому конвейеру.

Высушенный продукт поступает в вибропитатель трапецеидальной мельницы, в которой происходит тонкое измельчение продукта до размера частиц 100... 500 мкм. Измельченный продукт через циклоны и рукавный фильтр транспортируется шнековыми конвейерами в питатель фасовочной установки, где фасуется в мешки.

На рисунке 1.15 приведена машино-аппаратурная схема поточной линии КубГТУ (г.Краснодар), а в таблице 1.10 - ее технические параметры.

Таблица 1.10 – Технические параметры поточной линии [105].

Параметры	Значения
Производительность кг/ч	650 (10-20т/сутки).
Режим непрерывной работы, ч	16
Число рабочих в смену, чел	6
Количество сырья, кг/ч	800
Энергозатраты, кВтч	350
Средний расход газового топлива, м ³ /ч	400
Средний расход воды, м ³ /ч	12000
Расход 37% раствора перекиси водорода, л/ч	250
Объем канализационных стоков	9000
Производительность упаковочной машины, мешков/ч	50



1 – нория с локальным фильтром, 2 – башмак нории, 3 – силосы временного хранения жома, 4 – магнитный уловитель, 5 – измельчитель гранул, 6 – шнековый питатель, 7 – насос кулачковый, 8 – танк оборотной воды, 9 – танк чистой воды, 10 – танк с 3-ех% раствором перекиси водорода, 11 – танк с 37-и % раствором перекиси водорода, 12 – циклон, 13 – центробежный вентилятор, 14 – горелка газовая, 15 – фильтр рукавный, 16 – питатель пищевых волокон, 17 – установка для упаковки волокон в мешки, 18 – ленточный конвейер, 19 – мельница, 20 – вибропитатель мельницы, 21 – циклон сушилки, 22 – пневмопровод, 23 – затвор шлюзовой, 24 – сушильная камера, 25 – дозатор многовальный, 26 – наклонный винтовой конвейер, 27 – шнековый промыватель жома, 28 – насос центробежный, 29 – насос кулачковый, 30 – замачиватель жома, 31 – бункер-дозатор, 32 – нория, 33 – шнековый питатель, 34 – приемный бункер, 35 – измельчитель влажного сырья.

Рисунок 1.15– Машино-аппаратурная схема линии по производству пищевых волокон из гранулированного свекловичного жома

В таблице 1.11 приведено основное оборудование линии и его основные характеристики [105].

Таблица 1.11 – Оборудование поточной линии по производству пищевых волокон из гранулированного свекловичного жома

№ поз.	Наименование оборудования линии	Кол.	Характеристики
1	2	3	4
34	Бункер приемный	1	Объем $V = 25 \text{ м}^3$
33	Конвейер шнековый	1	Пропускная способность $Q = 25 \text{ м}^3/\text{ч}$, Длина $L = 8 \text{ м}$
	Мотор-редуктор марки 4МПЦ2С-100	1	Установленная мощность $N = 5,5 \text{ кВт}$
6	Конвейер шнековый	1	Пропускная способность $Q = 25 \text{ м}^3/\text{ч}$, Длина $L = 12 \text{ м}$
	Мотор-редуктор марки 4МПЦ2С-100	1	Мощность $N = 7,5 \text{ кВт}$
1	Нория	1	Объемная производительность $Q = 25 \text{ м}^3/\text{ч}$
	Электродвигатель	1	Установленная мощность $N = 3 \text{ кВт}$
	Фильтр локальный	1	Расход воздуха $Q = 3000 \text{ м}^3/\text{ч}$
3	Силос гранул	2	Объем $V = 50 \text{ м}^3$
6	Конвейер шнековый подачи жома из силосов	9	Пропускная способность $Q = 10 \text{ м}^3/\text{ч}$, Длина $L = 4 \text{ м}$
	Мотор-редуктор марки 4МПЦ2С-60	2	Установленная мощность $N = 2,2 \text{ кВт}$
4	Сепаратор магнитный	1	Пропускная способность $Q = 20 \text{ м}^3/\text{ч}$
5	Измельчитель гранул	1	Производительность $Q = 10 \text{ м}^3/\text{ч}$, Установленная мощность $N = 7,5 \text{ кВт}$ (2 эл.двиг.)
6	Дозатор шнековый	1	Производительность $Q = 5 \text{ м}^3/\text{ч}$
	Мотор-редуктор марки 4МПЦ2С-100	1	$N = 2,2 \text{ кВт}$
7	Насос кулачковый	5	Пропускная способность $Q = 10 \text{ м}^3/\text{ч}$, Установленная мощность $N = 2,2 \text{ кВт}$ (5 эл.двиг.)
8	Танк оборотной воды	1	Объем $V = 10 \text{ м}^3$
9	Танк чистой воды	1	Объем $V = 5 \text{ м}^3$
10	Танк H_2O_2 (37%)	1	Объем $V = 5 \text{ м}^3$
11	Танк H_2O_2 (37%)	1	Объем $V = 2 \text{ м}^3$

Продолжение таблицы 1.11

1	2	3	4
12	Циклон- разгрузитель	3	Пропускная способность $Q = 5000 \text{ м}^3/\text{ч}$
13	Вентилятор центробежный	3	Расход воздуха $Q = 4000 \text{ м}^3/\text{ч}$, Установленная мощность $N = 11 \text{ кВт}$ (1 эл.двиг.)
13	Вентилятор центробежный для подачи воздуха в сушилку и в циклон сушилки	2	Расход воздуха $Q = 60000 \text{ м}^3/\text{ч}$, Установленная мощность $N = 132 \text{ кВт}$ (1 эл.двиг.)
14	Горелка газовая WH6-52/1-A-65	1	Тепловая мощность $Q = 8000 \text{ кВт}$, Установленная мощность $N = 16 \text{ кВт}$ (1 эл.двиг.)
15	Фильтр рукавный	1	Расход воздуха $Q = 10000 \text{ м}^3/\text{ч}$
16	Питатель пищевых волокон	1	Объем $V = 1 \text{ м}^3/\text{ч}$
17	Станция фасовки с мотор-редуктором марки 4МПЦ	1	Производительность $Q = 300 \text{ мешков}/\text{ч}$, Установленная мощность $N = 10 \text{ кВт}$
18	Конвейер ленточный с мотор-редуктором марки 4МПЦ2С-80	1	Установленная мощность $N = 2,2 \text{ кВт}$, Длина ленты $L = 4 \text{ м}$
19	Мельница трапецеидальная	1	Производительность $Q = 4 \text{ м}^3/\text{ч}$, Установленная мощность $N = 22 \text{ кВт}$ (1 эл.двиг.)
20	Вибропитатель мельницы	1	Пропускная способность $V = 2 \text{ м}^3/\text{ч}$
21	Циклон	1	Расход воздуха $Q = 60000 \text{ м}^3/\text{ч}$
23	Затвор шлюзовой	1	Пропускная способность $Q = 60 \text{ м}^3/\text{ч}$, Установленная мощность $N = 1,5 \text{ кВт}$
24	Сушильная камера	1	Пропускная способность $Q = 5000 \text{ л}/\text{ч}$,
	Электродвигатель	1	Установленная мощность $N = 11 \text{ кВт}$
25	Дозатор многовальный	1	Пропускная способность $Q = 25 \text{ м}^3/\text{ч}$,
26	Конвейер винтовой наклонный	1	Пропускная способность $Q = 10 \text{ м}^3/\text{ч}$, Длина $L = 4 \text{ м}$
27	Шнековый промыватель жома	1	Пропускная способность $Q = 10 \text{ м}^3/\text{ч}$

Продолжение таблицы 1.11

1	2	3	4
28	Насос центробежный	2	Пропускная способность $Q = 25\text{м}^3/\text{ч}$
29	Насос кулачковый	1	Пропускная способность $Q = 10\text{м}^3/\text{ч}$, Установленная мощность $N = 2,2\text{ кВт}$
30	Замачиватель жома	1	Производительность $Q = 10\text{м}^3/\text{ч}$
31	Бункер-дозатор	1	Пропускная способность $V = 10\text{м}^3/\text{ч}$
32	Нория	1	Объемная производительность $Q = 25\text{м}^3/\text{ч}$
	Электродвигатель	1	Установленная мощность $N = 3\text{ кВт}$
35	Измельчитель влажного сырья	1	Производительность $Q = 10\text{м}^3/\text{ч}$ Установленная мощность $N = 30\text{ кВт}$ (1 эл.двиг.)

В настоящее время данную технологию планируется реализовать в автоматизированной поточной линии в одном из районов Пензенской области [105]. Положительным моментом является оснащение линии оборудованием с непрерывным принципом действия, а также различными датчиками и средствами механизации и автоматизации, такими как датчики уровня, температуры, давления, автоматические расходомеры сырья и др., что позволяет обслуживающему линию персоналу выполнять только контрольные функции и проводить регламентное техническое обслуживание.

В тоже время следует отметить несколько важных на наш взгляд недостатков по компоновке линии, использования и конструкции отдельных видов технологического оборудования линии.

— линия по составу входящего оборудования не является рациональной с позиций структуры материальных потоков и энергозатрат. Так, на участке сырья для отбора жома из приемного бункера и загрузки силосов установлены два горизонтальных, один вертикальный шнековый конвейер и две нории, что технически нецелесообразно. Для разгрузки транспорта и загрузки силосов сухим гранулированным жомом, на наш взгляд, более экономичным было бы использование пневмотранспортной системы, что позволило бы сократить

номенклатуру оборудования линии на участке разгрузки сырья и его подачи и благодаря этому снизить энергозатраты, поскольку как нагнетающая, так и всасывающая пневмосистемы используют всего одну воздуходувку с одним электродвигателем в качестве источника движения;

— на участке для промывания жома используется замачиватель с двумя центробежными насосами для перемешивания суспензии в емкости (поз.30, рисунок 1.15). Такое решение не обеспечивает высокое качество перемешивания, так как подающие жидкость патрубки от насосов врезаны в емкость в ее верхней части, поэтому энергия струи не используется полностью;

— для промывки и осветления жома в линии установлен шнековый промыватель, разделенный на три зоны (поз.27, рисунок 1.15). Такое техническое решение с позиций полноты промывания жома чистой водой и его осветления перекисью водорода технологически малоэффективно, так как струи жидкости из танков (поз.9 и 10, рисунок 1.15) попадают сначала на сетку, окружающую шнек, и затем на плотную массу жома, перемещаемую в межвитковом пространстве. Поэтому время данной операции должно быть увеличено, для чего скорость шнека должна быть минимальной. В результате пропускная способность аппарата будет не достаточной, и потребуются устанавливать батарею подобных промывателей. Более целесообразным решением было бы вместо шнекового аппарата использовать простой и удобный в обслуживании ленточный конвейер, на котором не составляет трудностей равномерно распределить слой обрабатываемого жома по всей ширине ленты и обеспечить изолированные зоны, как для промывания, так и для осветления жома;

— для сушки и измельчения осветленного жома в линии используется энергозатратная и металлоемкая вертикальная сушилка с газовым нагревом (поз. 24, рисунок 1.15) и трапецеидальная мельница (поз.19, рисунок 1.15);

— для подачи готовых волокон из циклона-разгрузителя (поз.12, рисунок 1.15) и рукавного фильтра (поз.15, рисунок 1.15) в бункер фасовочной станции

используется шнековый конвейер (поз.6, рисунок 1.15), в котором смешиваются пищевые волокна, имеющие разный гранулометрический состав, что нежелательно. Волокна, задерживаемые рукавным фильтром имеют высокую степень дисперсности частиц (50 и менее мкм), а волокна после циклона-разгрузителя являются более крупными и их целесообразно фасовать отдельно.

Отмеченные выше недостатки потребуют проведения дополнительных исследований и разработки новых компоновок более совершенного оборудования.

Выводы

1. Проведенный анализ отходов свеклосахарного производства показывает, что из всех отходов, получаемых при переработке сахарной свеклы, свекловичный жом является основным и относится к наиболее ценным вторичным материальным ресурсам. Жом в свежем виде или после предварительного прессования, сушки и гранулирования может рассматриваться в качестве полуфабриката для производства готовой продукции в различных отраслях промышленности: биоэтанола, биополимеров и композитов, биогаза, кормовых и пищевых добавок, пищевых волокон, пектина и пектинового клея.

2. Анализ информации в области прессования свежего жома показывает, что наиболее распространенными являются прессы непрерывного действия со шнековыми двигателями, которые обеспечивают низкий или близкий к среднему уровень влагоотделения. Повышение степени отжима жома приводит к значительному увеличению габаритов, металлоемкости и энергопотребления, подтверждением чему служит используемое в отрасли прессующее оборудование. Одним из возможных решений является оснащение шнековых прессов

дополнительными выходными компактирующими механизмами, позволяющими обеспечить большую степень отжима жома при меньших габаритах установки, удельной металло- и энергоемкости.

3. Для высушивания отпрессованного жома в сахарной промышленности преимущественно используются крупногабаритные барабанные сушилки, которые характеризуются большим расходом жидкого топлива, а также трудностью поддержания в рабочем пространстве точного температурного режима. Одним из перспективных энергосберегающих способов сушки жома может явиться использование направленного ИК подвода энергии, который целесообразно применять для высушивания отпрессованного свекловичного жома на туннельных конвейерных или барабанных сушилках, оборудованных ИК излучателями.

4. Анализ способов получения пищевых волокон из свекловичного жома показывает, что в качестве сырья может использоваться не только гранулированный и сухой жом, но свежий жом с повышенным содержанием влаги. В промышленности для получения пищевых волокон используется исключительно сухой или гранулированный жом, который затем вновь замачивается, измельчается, осветляется химическими реактивами, сушится и упаковывается, что увеличивает число операций технологического процесса и номенклатуру оборудования в поточных линиях и в конечном итоге ведет к удорожанию готовой продукции.

5. В связи с этим необходимо проведение исследований по обоснованию и совершенствованию процесса более эффективного компактирования свежего жома с повышенной степенью его уплотнения, интенсификации сушки на основе применения энергосберегающих видов теплоносителей и совершенствованию технологии производства пищевых волокон за счет повышения индекса гибкости по виду обрабатываемого жома и созданию на базе этих процессов рациональных конструкций жомопрессовых и сушильных установок, а также компактных поточных линий для производства пищевых волокон.

2 АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОМПАКТИРОВАНИЯ СВЕЖЕГО СВЕКЛОВИЧНОГО ЖОМА

Анализ информации жомопрессового оборудования со шнековыми движителями показывает, что имеется возможность увеличения степени прессования свежего жома за счет использования дополнительных статических уплотняющих устройств на выходе жома из последнего витка шнека и выходного отверстия компактора. Эта возможность вытекает из анализа известной технологии экструдирования пищевых материалов и конструктивно-технологических схем эксплуатирующихся в промышленности экструдеров, которые можно рассматривать, как прямые аналоги жомопрессового оборудования со шнековыми движителями. В экструдерах для формирования экструдатов дополнительно на выходе шнека устанавливаются матрицы, фильеры которых могут иметь круглую, овальную, прямоугольную и другие формы выходного отверстия [4,13, 22, 37, 87, 88, 110].

Нетрудно убедиться, что фильера матрицы создает дополнительное сопротивление движению материала на выходе, хотя ее основное назначение заключается в придании определенной формы поперечному сечению выходящего продукта.

Отсюда можно сделать вывод о целесообразности оснащения компактора свекловичного жома устройством, которое бы способствовало дополнительному уплотнению жома в межвитковом пространстве шнекового движителя, благодаря чему влагоотделение из свежего жома будет увеличиваться. Прямое использование для этого матрицы с постоянными размерами и формой, на наш взгляд, малоэффективно, поскольку коэффициент заполнения витков жомом является переменной величиной, и масса жома в межвитковом пространстве шнека также будет переменной, что вызовет колебательные процессы.

Для решения задачи более эффективного уплотнения жома в компакторе со шнековым движителем нами выдвинута идея оснастить вертикальный шнековый компактор с переменным шагом витков и углов наклона винтовой линии шнека упругой многолепестковой диафрагмой, прогиб лепестков которой будет зависеть от величины давления жома, подаваемого шнеком.

В этом случае давление жома будет возрастать постепенно до тех пор, пока не превысит предел упругости материала лепестков диафрагмы, и они не начнут деформироваться все вместе, пропуская отжатый жом на конвейер компактора.

Постановка задачи. Задача компактирования свежего влагосодержащего свекловичного жома в межвитковом пространстве шнекового движителя и в зоне упругой многолепестковой диафрагмы компактора и выделения из жома жидкой фракции нами рассматривается как задача о движении сплошной среды под действием приложенных сил. Условия движения жома в межвитковом пространстве шнекового движителя и в зоне действия многолепестковой пружины диафрагмы, а также степень его уплотнения и влагоотделение, будут зависеть не только от конструктивных особенностей и пространственного расположения шнекового движителя и диафрагмы, но и от режимных параметров компактора: скорости вращения шнека, скорости подачи жома в зону шнека, объема удаления жидкой фракции из зоны шнека в единицу времени.

Данная задача включает ряд подзадач теоретического характера:

- исследование условий движения жома в межвитковом пространстве шнекового движителя;
- анализ условий взаимодействия жома при его контакте со стенкой перфорированной вставки компактора;
- исследование процесса отделения влаги из жома в зоне шнекового движителя и перфорированной вставки;
- определение размеров диафрагмы и величины прогиба ее лепестков при давлении жома;

- определение степени уплотнения жома в межвитковом пространстве компактора;
- оценку теоретической производительности компактора.

2.1 Исследование условий движения свежего свекловичного жома в зоне шнека

Рассмотрим модель движения частицы жома, находящейся на краю i -ого витка конического шнека 2 и контактирующей с конической перфорированной вставкой 1, окружающей шнек по всей его высоте H (рисунок 2.1). Это движение будет обусловлено действием на частицу следующих сил: силы трения частицы о поверхность витка шнека, силы трения частицы о внутреннюю поверхность конусной обечайки, силы тяжести частицы, центробежных сил инерции в переносном и относительном движениях частицы, возникающих от вращения шнека, силы Кориолиса и аксиальной силы инерции [10, 19, 78, 112]. Из-за низкой частоты вращения шнека силой сопротивления воздуха, действующей на частицу, можно пренебречь.

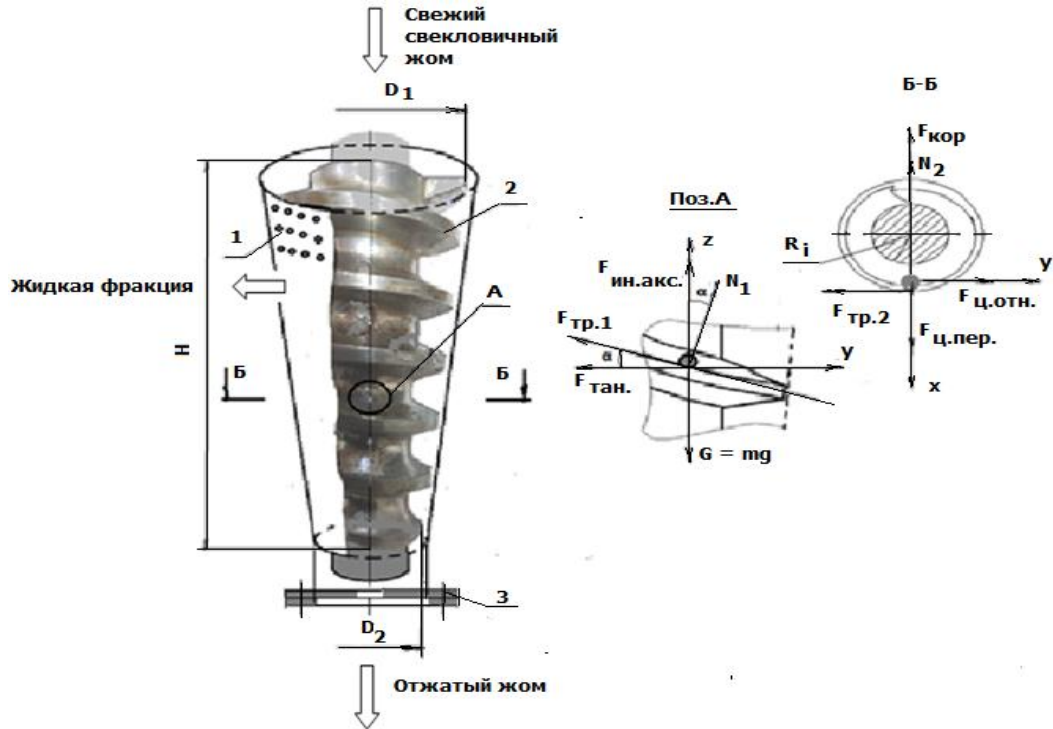
На рисунке 2.1 (поз. А) и в сечении Б-Б показан частный случай положения частицы. Для описания движения в случае произвольного положения частицы на витках шнекового движителя нужно учесть углы между действующими на частицу силами и углом поворота шнека, как функцию времени [6].

Уравнение движения частицы в зоне шнека

$$\sum \bar{F}_i - \frac{d(mv)}{dt} = [\bar{F}_{тр.1} + \bar{F}_{тр.2} + \bar{G} + F_m + \bar{F}_{ц.пер.} + \bar{F}_{ц.отн.} + \bar{F}_{ин.акс.} + \bar{F}_k] - \frac{d(mv)}{dt} = 0, \quad (2.1)$$

где $\bar{F}_{тр.1}$ – сила трения частицы о поверхность витка; $\bar{F}_{тр.2}$ – сила трения частицы о поверхность обечайки, $\bar{G}$ – сила тяжести частицы, $\bar{F}_{ц.пер.}$ – центробежная сила инерции частицы в переносном движении, $\bar{F}_{ц.отн.}$ – центробежная сила инерции

частицы в относительном движении, $\bar{F}_{ин.акс.}$ – аксиальная сила инерции, $\bar{F}_k$ – сила Кориолиса, m – масса частицы, v – абсолютная скорость частицы.



1 – перфорированная вставка компактора, 2 – конический шнек компактора с переменным шагом и углом наклона витков, 3 – упругая диафрагма
Рисунок 2.1 – Схема сил, действующих на частицу материала в зоне шнека компактора

В проекциях на оси координат уравнение (2.1) с учетом произвольного положения частицы на том или ином витке шнека будет иметь вид

$$\begin{cases} N_1 \cos \alpha_i - F_{тр1} \sin \alpha_i - F_{ин.акс} - F_{тр2} \sin \beta = 0 \\ F_{тр2} \cos \beta - F_{тр1} \cos \alpha_i - N_1 \sin \alpha_i - F_m = 0, \\ G \cos \gamma + F_{с.от} + F_{с.пер} - N_2 - F_{кор} = 0 \end{cases} \quad (2.2)$$

где N_1 – сила реакции от поверхности витка, Н; α_i – угол наклона витков шнека в i -ом сечении, $\alpha_i = \arctg \frac{S_i}{2\pi R_i}$, град.; S_i – шаг витков шнека в i -ом сечении, м; R_i – наружный радиус шнека в i -ом сечении, м; $F_{тр1} = f_1 N_1$ – сила трения частицы о виток шнека, Н; f_1 – коэффициент трения между материалом частицы о поверхность витка шнека; $F_{ин.акс.} = m(R_i \operatorname{tg} \alpha_i) w$ – аксиальная сила инерции, Н;

$w = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$ – угловое ускорение относительного движения частицы; φ – угол отклонения частицы при вращении шнека с постоянной скоростью $\omega_{\text{шн}}$, $\varphi = f(t)$; t – время, с; $F_{\text{тр}2} = f_2 N_2$ – сила трения частицы о поверхность вставки, Н; f_2 – коэффициент трения между материалом частицы о поверхность вставки; N_2 – сила реакции от поверхности вставки, Н; β – угол между векторами переносной и абсолютной скоростей частицы, град; $\sin\beta = \frac{R_i \cdot \tan\alpha_i}{v} \frac{d}{dt}$; v – абсолютная скорость частицы, м/с; $\cos\beta = \frac{R}{v} \left(\omega_{\text{шн}} - \frac{d}{dt} \right)$; $F_m = m R_i w$ – тангенциальная сила инерции, Н; $G = mg$ – сила тяжести частицы, Н; $F_{\text{ц.пер.}} = m R_i \omega_{\text{шн}}^2$ – центробежная сила инерции в переносном движении, Н; $F_{\text{ц.отн.}} = m R_i \omega^2$ – центробежная сила инерции в относительном движении, Н; $\omega_{\text{ш}} = \frac{\pi n}{30}$ – угловая скорость шнека, с⁻¹; n – число оборотов шнека, об/мин; $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$ – угловая скорость относительного движения частицы, с⁻¹; $F_{\text{кор}} = 2m R_i \omega_{\text{шн}} \frac{d\varphi}{dt}$ – сила Кориолиса, Н; $\gamma = \delta - \varphi$ – угол, определяющий положение частицы относительно вертикальной плоскости, град.; $\delta = \omega_{\text{шн}} t$ – угол поворота шнека за время t , град.

Для изображенного на рисунке 3.1 положения частицы система уравнений может быть записана в более простом виде

$$\begin{cases} m\omega_{\text{шн}}^2 R_i - N_2 - 2m R_i \omega_{\text{шн}} v \cos\beta = 0 \\ m R_i \omega^2 + N_1 \sin\alpha_i - f_1 N_1 \cos\alpha_i - m R_i \frac{d^2\varphi}{dt^2} = 0 \\ N_1 \cos\alpha_i + m R_i \tan\alpha_i \frac{d^2\varphi}{dt^2} - mg = 0 \end{cases} \quad (2.3)$$

Если принять $\omega = \text{const}$, тогда $\frac{d^2\varphi}{dt^2} = 0$. В этом случае система может быть представлена алгебраическими уравнениями

$$\begin{cases} m\omega_{\text{шн}}^2 R_i - N_2 - 2m R_i \omega_{\text{шн}} v \cos\beta = 0 \\ m R_i \omega^2 + N_1 (\sin\alpha_i - f_1 \cos\alpha_i) = 0 \\ N_1 \cos\alpha_i - mg = 0 \end{cases} \quad (2.4)$$

где $\omega_{\text{шн}}$ – угловая частота вращения шнека, с^{-1} ; R_i – радиус витка шнека, м; N_2 – сила реакции со стороны вставки, Н; v – скорость движения частицы, м/с; β – угол между векторами абсолютной и переносной скоростями частицы, град; ω – угловая частота вращения частицы, с^{-1} ; N_1 – сила реакции от поверхности витка, Н; α_i – угол наклона витка, град; f_1 – коэффициент трения между материалом частицы и поверхностью витка.

Из этой системы можно определить значения всех сил, действующих на частицу жома в зоне ее движения по виткам шнека.

Вектор абсолютной скорости движения частицы равен $\bar{v} = \bar{v}_{\text{пер.}} + \bar{v}_{\text{отн.}}$ или $\bar{v} = \bar{v}_1 + \bar{v}_2$, где $v_1 = v \sin \beta$ – осевая компонента абсолютной скорости (скорость скольжения частицы по стенке перфорированной обечайки); $v_2 = v \cos \beta$ – тангенциальная компонента скорости (окружная скорость частицы в абсолютном вращательном движении). Угловая скорость абсолютного вращательного движения частицы материала $\omega = \frac{v \cos \beta}{R_i}$.

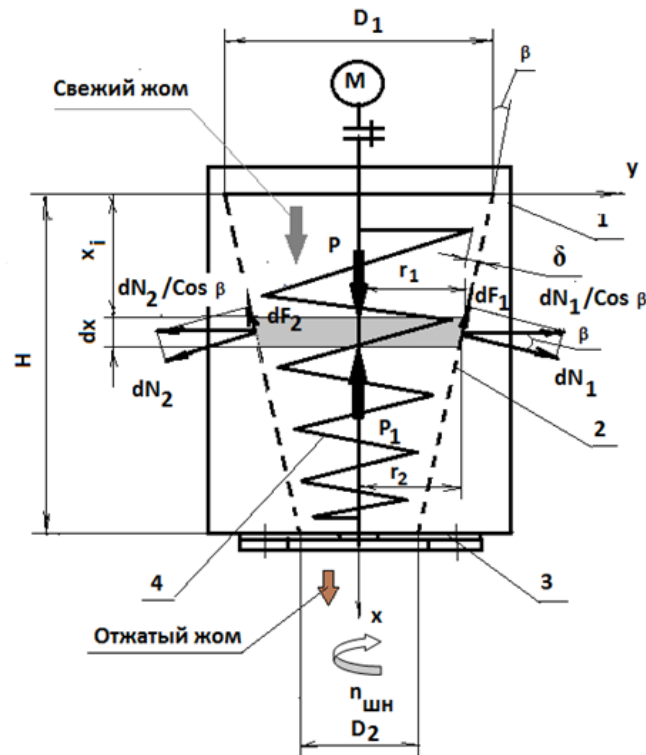
Можно видеть, что движение материала в межвитковой зоне шнека до момента контакта материала с упругой диафрагмой зависит от числа и радиусов витков, шага между ними, угла наклона витков, угловой скорости шнека и сил трения материала о поверхность витков и перфорированной вставки. Эти факторы, кроме угловой скорости шнека, являются конструктивными факторами и их численные значения определяются на стадии разработки конструкции компактора.

2.2 Анализ условий взаимодействия жома при его контакте со стенкой перфорированной вставки компактора

Рассмотрим модель движения элемента жома в шнековой зоне и его взаимодействие со стенкой конической перфорированной вставки (рисунок 2.2).

При перемещении жома, вызываемого вращением витков шнека, кроме действующих на него осевых усилий, возникающих вследствие уменьшения шага витков и углов их наклона, будут возникать боковые усилия на стенки вставки.

Для установления аналитической зависимости характера изменения осевого давления жома по высоте шнека воспользуемся методикой расчета, приведенной в работе [14], в которой рассматривалось изменение давления сыпучих материалов в емкости прямоугольного сечения под действием воздушного потока.



1 – корпус компактора, 2 – перфорированная вставка, 3 – многолепестковая упругая диафрагма, 4 – конический шнек

Рисунок 2.2 – Силы, действующие на выделенный элемент жомы в зоне шнека

Отличия от рассмотренной в работе [14] задачи будут состоять в том, что осевое давление на перемещаемый жом создается витками шнека, и его величина будет зависеть от зазора между наружными диаметрами витков и диаметрами конической перфорированной вставки, охватывающей шнек.

Внутренние стенки перфорированной вставки также будут испытывать давление со стороны перемещаемого жомы и его величина может быть выражена как

$$q = kp, \quad (2.5)$$

где p – величина осевого давления материала, Па; k – коэффициент, учитывающий долю осевого давления жомовой массы передаваемого на стенки перфорированной вставки. Величина бокового давления принимается в пределах от 40 до 60% от величины осевого давления.

Определим зависимость, характеризующую изменение давления по высоте шнековой зоны.

Для этого рассмотрим элементарный слой жома высотой dx , находящийся на расстоянии x_i от начала координат. Этот элемент является усеченным конусом с верхним диаметром d_1 и нижним d_2 и высотой dx [89].

На выделенный элемент будут действовать следующие силы:

– сила осевого давления p от витка шнека, с поверхностью s_1 которого контактирует выделенный элемент, Н

$$P = ps_1 = p \cdot \pi r_1^2, \quad (2.6)$$

где r_1 – радиус окружности верхнего основания выделенного элемента, м;

– сила реакции, Н

$$P_1 = (P + dP)s_2 = (p + dp)\pi r_2^2, \quad (2.7)$$

где s_2 – площадь нижнего основания выделенного элемента, м²; r_2 – радиус окружности нижнего основания выделенного элемента, м;

– силы нормального давления на стенку вставки от боковой поверхности, выделенного элемента, Н

$$dN = kp \cos \beta ds_3, \quad (2.8)$$

где ds_3 – площадь боковой поверхности выделенного элемента, м;

– силы трения между материалом и стенкой вставки, Н

$$dF = fkp ds_3, \quad (2.9)$$

где f – коэффициент трения между жомом и материалом перфорированной вставки;

– сила тяжести, Н

$$G = mg = \rho Vg = \rho g \frac{(ds_1 + \sqrt{ds_1 ds_2} + ds_2)}{3} dx, \quad (2.10)$$

где ρ – плотность жома, кг/м³; s_1 – площадь верхнего основания выделенного элемента, м²; V – объем выделенного элемента (усеченного конуса), м³; $h = dx$, м.

Дифференциальное уравнение равновесия элемента под действием приложенных сил относительно оси x запишется как

$$\begin{aligned} P - P_1 + dN - dF + G = 0 \text{ или} \\ p \cdot \pi r_1^2 - (p + dp)\pi r_2^2 + kp \cos \beta ds_3 - fkp ds_3 + \\ + \rho g \frac{(ds_1 + \sqrt{ds_1 ds_2} + ds_2)}{3} dx = 0. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Если принять, что $dx \rightarrow 0$, то выделенный элемент с допустимой погрешностью можно считать круговым цилиндром с одинаковыми диаметрами оснований $d_1 = d_2$. В этом случае $dN_1 = dN_2 = kp ds$ и $dF_1 = dF_2 = fkp ds$, где ds – площадь новой боковой поверхности выделенного элемента материала, м².

При таком допущении уравнение (2.11) запишется в более простом виде

$$p \cdot \pi r_1^2 - (p + dp)\pi r_2^2 + kp ds - fkp ds + \pi r_1^2 \rho g dx = 0. \quad (2.12)$$

Решением данного уравнения будет

$$p_x = p_o \exp\left(-\frac{2xfk(r_1 - r_{\text{в}})}{\pi r_1^2}\right), \quad (2.13)$$

где $r_{\text{в}}$ – радиус вала шнека, м, p_o – величина начального давления жома, подаваемого в зону шнека, Па

При $x = H$ будем иметь

$$p = \exp(-\theta H) + m, \quad (2.14)$$

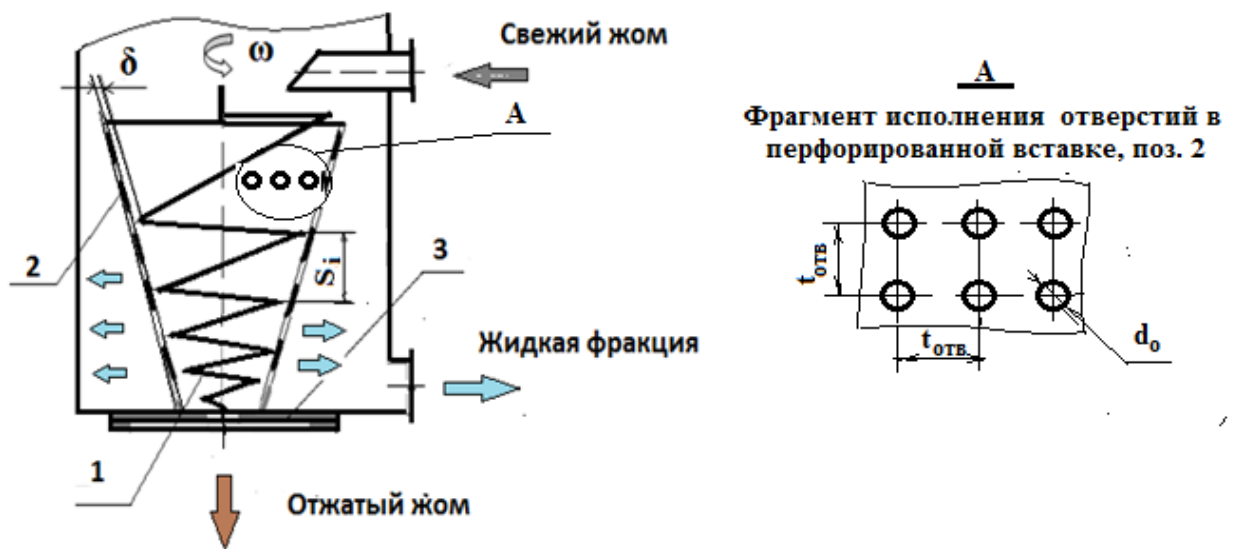
где H – высота перфорированной вставки, м; $\theta = \frac{2fk(r_1 - r_{\text{в}})}{\pi r_1^2}$, m – масса жома в шнековом пространстве.

Можно видеть, что величина давления на жомовую массу по высоте конического шнекового движителя изменяется в шнековом пространстве по экспоненциальной зависимости и определяется конструктивными параметрами

шнека и качеством обработки его поверхности, характеризующим условия продвижения жомовой массы.

2.3 Исследование процесса отделения влаги из жома в зоне шнекового движителя

Рассмотрим модель удаления жидкой фракции из прессуемого жома. На рисунке 2.3 приведена схема, иллюстрирующая процесс отжима в зоне шнека и в зоне диафрагмы.



1 – шнек, 2 – вставка, 3 – диафрагма

Рисунок 2.3 – Схема отделения влаги из жома

Жомовая масса из продуктопровода, попадая в шнековую зону при вращении шнека и движении ее вниз, начнет уплотняться из-за постепенно уменьшающегося расстояния между витками и углов наклона винтовой линии.

Коэффициент уплотнения жома в межвитковом пространстве можно выразить через отношение максимального и минимального шага витков шнека.

$$K_{\text{упл.}} = S_{\text{max}} / S_{\text{min}}, \quad (2.15)$$

где $K_{\text{упл.}}$ – показатель уплотнения жомовой массы; $S_{\text{max}}, S_{\text{min}}$ – максимальный и минимальный шаг между витками, м.

Осевое усилие, развиваемое шнеком можно выразить через крутящий момент, средний диаметр шнека и угол наклона витков, Па

$$F_{oc} = \frac{M_{kp}}{\frac{\bar{D}}{2} \tan(\varphi + \alpha_i)}, \quad (2.16)$$

где $\bar{D}$ – средний диаметр шнека, м.

Осевое давление, развиваемое шнеком, Па

$$p_{oc} = \frac{F_{oc}}{s_n} K_{\text{упл.}}, \quad (2.17)$$

где s_n – площадь, занимаемая жомом, находящимся на последнем витке шнека, м².

Диаметр продуктопровода для подачи свежего жома, м

$$d_{TP} = \sqrt{4Q/\pi\rho v_n}, \quad (2.18)$$

где Q – пропускная способность шнека, кг/с; ρ – плотность свежего жома, кг/м³; v_n – скорость транспортирования жомовой массы в трубопроводе (0,5...1,0 м/с).

Живое сечение перфорированной вставки (при круглых отверстиях)

$$\theta = d_o^2/t_{отв}^2, \quad (2.19)$$

где d_o – диаметр отверстия вставки, м; $t_{отв}$ – шаг между отверстиями вставки, м.

Безразмерная пропускная способность

$$q = 0,0905Q/[\theta\rho(R_{\text{max}}^2 - R_{\text{min}}^2)\sqrt{R_{\text{min}}g}], \quad (2.20)$$

Длина зоны активного отделения жидкой фракции при прессовании жома, м

$$l_{ak} = R_{\text{min}} 30,4 q^{0,29} F_r^{-0,53} z^{0,31}, \quad (2.21)$$

где F_r – фактор разделения фракций ($F_r = 200...300$); z – число витков шнека.

Пропускная способность перфорированной вставки, кг/с

$$Q = F_0 v_0 \rho \varphi, \quad (2.22)$$

где $F_0 = \frac{\pi d_0^2 z_0}{4}$ – суммарная площадь отверстий в перфорированной вставке, м²; z_0 – число отверстий в вставке; φ – коэффициент заполнения отверстий вставки, $\varphi = 0,7 - 0,85$.

Скорость течения жидкой фракции через отверстия вставки, м/с

$$v_0 = \frac{\pi n}{60} (r_H + r_{BH}) k_B \operatorname{tg} \beta_n, \quad (2.23)$$

где r_H, r_{BH} – наружный и внутренний радиусы последнего витка шнека, м; k_B – коэффициент объемной подачи жидкой фракции (0,34...0,4); β_n – угол наклона последнего витка шнека.

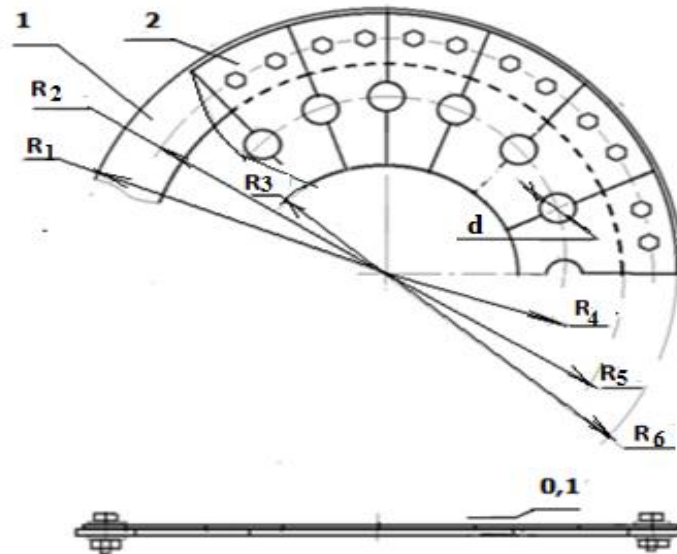
Таким образом, полученные зависимости позволяют определить основные закономерности и параметры удаления жидкой фракции через перфорированную вставку при прессовании свекловичного жома в зоне шнека, которые будут использованы при разработке компоновки вертикального компактора отходов:

- осевое усилие и давление на жомовую массу, развиваемое вращающимся шнеком;
- диаметр трубопровода для подачи жома в компактор;
- живое сечение перфорированной вставки, окружающей конический шнек, ее пропускную способность и скорость течения жидкой фракции через отверстия вставки.

2.4 Определение размеров диафрагмы и величины прогиба ее лепестков при давлении жома

Многолепестковая упругая диафрагма компактора содержит ряд отдельных плоских пружинящих лепестков (поз.2, рисунок 2.4), закрепленных на кольцевом

основании (поз.1, рисунок 2.4) корпуса компактора под коническим шнеком. Количество лепестков 16. Отверстия диаметром d введены для снижения силы трения по граням лепестков, возникающего при их изгибе, и обеспечения более плавной изгибной характеристики (величины прогиба) лепестков.



1 – основание , 2 – плоская пружина (лепесток)

Рисунок 2.4 – Многолепестковая упругая диафрагма компактора

Свекловичный жом, предварительно уплотненный в межвитковом пространстве конического шнека, подается последним его витком к диафрагме и оказывает давление на ее лепестки. Сопротивление изгибу упругих лепестков способствует большему отделению из жома жидкой фракции. При определенной величине давления, превышающей суммарную жесткость лепестков, последние начнут прогибаться, в результате чего кольцевой зазор между валом шнека и отверстием диафрагмы будет постепенно увеличиваться. Через этот зазор отпрессованный жом будет выходить из компактора и далее может поступать на конвейер сушильной установки [10, 121, 122, 131].

Постановка задачи. Требуется оценить расчетную величину прогибов лепестков диафрагмы компактора от давления подаваемой шнеком жомовой массы,

поскольку величина сопротивления прогибу диафрагмы в существенной степени определяет количество удаляемой из прессуемого жома жидкой фракции.

Для определения опорных реакций проведем расчет отдельного лепестка диафрагмы, представив его как консольную жестко закрепленную балку длиной 170 мм при коэффициенте перегрузки $n = 1,2$ и сопротивлении материала 20 МПа (рисунок 2.5а). Длина лепестка выбрана из конструктивных соображений с учетом принятого диаметра корпуса компактора, равного 500 мм.

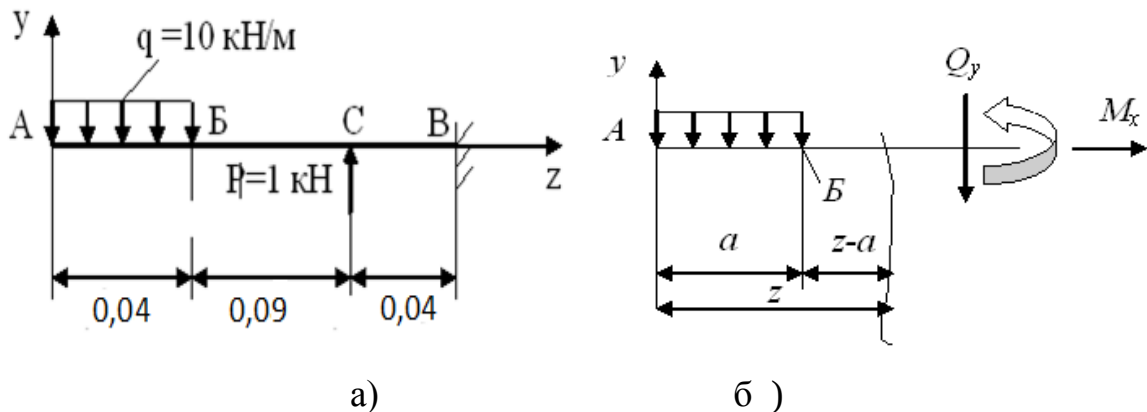


Рисунок 2.5 – Расчетная схема лепестка диафрагмы

Значения распределенной нагрузки q на лепесток со стороны подаваемого шнеком жома и реакции P в точке C, где лепесток касается края опорного кольца 1 (радиуса R_4 , рисунок 2.4), указанные на рисунке 2.5а, носят предварительный характер для определения ожидаемой величины прогиба лепестка и приняты с учетом максимально возможной пропускной способности компактора. Реальные величины нагрузки должны быть уточнены при испытаниях экспериментального образца компактора после его изготовления. Длины плеч лепестка определены с учетом диаметра выходного конца вала шнека и принятой общей длины лепестка (рисунок 2.5а).

Для определения значений опорных реакций используем метод сечений, для чего отбросим заделку и заменим ее тремя опорными усилиями: m_B , R_B и N_B . В результате незакрепленная система под действием этих воздействий будет находиться в равновесии под действием приложенных к ней внешних и внутренних

сил. Уравновешивает систему от правой отброшенной части внутренняя сила Q_y и момент M_x (рисунок 2.5 б) [38].

Из условия общего равновесия найдем значения m_B , R_B и N_B :

$$\sum z = 0; \quad N_B = 0$$

$$\sum y = 0; \quad -q \cdot 0,04 + P + R_B = 0, \quad R_B = q \cdot a - P = 10 \cdot 0,04 - 1 = -0,6 \text{ кН}.$$

$$\sum m = 0; \quad q \cdot 0,04 \cdot 0,04 / 2 - P(0,04 + 0,09) - m_B - R_B(0,04 + 0,09 + 0,04) = 0$$

$$m_B = -0,02 \text{ кНм}.$$

Для определения значений M_x , Q_y , а также установления зависимости этих величин от ординаты z используем метод сечений, для чего разобьем систему на участки. В данном случае имеем три участка АБ, БС и СВ. Примем за начало ординаты точку А.

$$\text{Уравнения равновесия } \sum y = 0; \quad -q \cdot z - Q_y = 0. \quad \sum m_a = 0; \quad -q \cdot z \cdot z / 2 - M_x = 0.$$

Выражения Q_y , M_x на участке АБ

$$Q_y = -qz. \quad (2.24)$$

$$M_x = -\frac{qz^2}{2}. \quad (2.25)$$

Уравнения равновесия

$$\sum y = 0; \quad -q \cdot a - Q_y = 0.$$

$$\sum M_B = 0; \quad -qa \times ((z - a) + a/2) - M_x = 0.$$

Откуда

$$Q_y = -qa. \quad (2.26)$$

$$M_x = -qa[(z - a) + a/2]. \quad (2.27)$$

Точка А (участок АБ, $z = 0$)

Из (24) $Q_y = -qz = 0$.

Из (25) $M_x = -qz^2 / 2 = 0$.

Точка посередине участка АБ ($z = 0,02$ м).

Из (24) $Q_y = -qa / 2 = -10 \cdot 0,02 = -0,2$ кН.

Из (25) $M_x = -qz^2 / 2 = -10 \cdot 0,0016 / 2 = -0,008$ кНм.

Точка Б на участке АБ ($z = 0,04$ м).

Из (24) $Q_y = -qa = -10 \cdot 0,04 = -0,4$ кН.

Из (25) $M_x = -qz^2 / 2 = -0,008$ кНм.

Точка Б на участке БС ($z = 0,04$ м).

$Q_y = -0,4$ кН, $M_x = -0,008$ кНм.

Точка С на участке БС ($z = 0,13$ м).

$Q_y = P - qa = 1 - 10 \cdot 0,04 = -0,6$ кН.

$M_x = P \times (z - a) - qa(z - a / 2) = 1(0,13 - 0,04) - 10 \cdot 0,04(0,13 - 0,02) = 0,046$ кНм.

Точка С на участке СВ ($z = 0,13$ м).

$Q_y = -0,6$ кН, $M_x = 0,046$ кНм.

Точка В на участке СВ ($z = 0,17$ м).

$Q_y = -0,6$ кН, $M_x = P \times (z - a) - qa(z - a / 2) = 1(0,17 - 0,04) - 10 \cdot 0,04(0,17 - 0,02) = 0,07$ кНм.

Допустимые размеры отдельного лепестка диафрагмы находятся при максимальном расчетном моменте $|M_x|_{MAX} = 0,07$ кНм из условия, что прочность

лепестка в сечении **В** сохраняется при условии $\sigma_p = n|\sigma|_{MAX} = n \frac{|M_x|_{MAX}}{W_x} \leq R$ и моменте

сопротивления $W_x = bh^2 / 6$. При заданных конструктивных размерах диафрагмы ее

толщина определяется из выражения

$$h \geq \sqrt{\frac{6n|M_x|}{bR}}, \text{мм.} \quad (2.28)$$

Определим прогиб единичного лепестка диафрагмы с одной жестко закрепленной гранью, находящейся под действием равномерно распределенной нагрузки P , приложенной по оси симметрии этой пластинки, если ее длина равна $2a$, а ширина $2b$.

Предположим, что линейная нагрузка равномерно распределена на узкой полоске $|x| < \varepsilon, |y| < b$, тогда задача может быть сведена к интегрированию уравнения Пуассона

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = -\frac{q(x,t)}{T} = \begin{cases} -\frac{P}{2\varepsilon T} & (|x| < \varepsilon) \\ 0 & (|x| > \varepsilon) \end{cases}. \quad (2.29)$$

При граничных условиях $u = 0$ при $x = \pm a$ и $y = \pm b$ с дальнейшим переходом к пределу при $\varepsilon \rightarrow 0$. Здесь q – нагрузка, приходящаяся на единицу площади, Н/м²; T – распределенная нагрузка на единицу длины контура мембраны, Н/м.

Решение дифференциального уравнения (2.29) имеет вид

$$u(x, y) = \frac{4Pb}{\pi^2 T} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(2n+1)^2} \frac{\operatorname{sh} \frac{2n+1}{2a} \pi(a-|x|)}{\operatorname{ch} \frac{2n+1}{2b} \pi b} \cos \frac{2n+1}{2b} \pi y. \quad (2.30)$$

Предположим, что лепестки диафрагмы находятся под действием распределенной нагрузки q от подаваемого шнеком жома, которая может изменяться во времени. Примем допущение, что нагрузка изменяется по синусоидальной зависимости $A \sin(\omega t + \varphi)$, вызываемой пульсациями в работе подающего жом насоса. В этом случае форма вынужденных колебаний, если нагрузка диафрагмы непостоянна, может быть описана зависимостью

$$\theta(r, t) = -\frac{q}{\rho\omega^2} \left[1 - \frac{J_0\left(\frac{\omega r}{a}\right)}{J_0\left(\frac{\omega R}{a}\right)} \right] \sin(\omega t + \varphi), \quad (2.31)$$

где $a = \sqrt{\frac{T}{\rho}}$; ρ – плотность материала диафрагмы, кг/м³; $J_0(x)$ – функция Бесселя первого рода нулевого порядка [83].

Задача определения прогиба диафрагмы в зависимости от давления, оказываемого выходящим из шнека жомом, относится к задачам теории упругости и формулируется в виде функционала энергии и вариационного принципа Лагранжа [42, 83]. Решение задачи в вариационной постановке предполагает, что искомая энергия, например, функция перемещений u , участвующая в приращении энергии $\mathcal{E}(u)$, сообщит этому выражению самое малое значение из всех его возможных значений.

Применим для решения задачи определения прогиба диафрагмы численный метод Ритца [122].

Искомую функцию $u(x)$ можно представить как линейную комбинацию известных функций $\psi_1(x), \psi_2(x), \dots$,

$$u(x) = \alpha_1\psi_1(x) + \alpha_2\psi_2(x) + \dots \text{ или } u_x = \sum_{j=1}^{\infty} \alpha_j\psi_j(x), \quad (2.32)$$

которые должны быть независимы и удовлетворять граничным условиям задачи.

Решение задачи заключается в расчете значений коэффициентов α_j (которые обеспечат справедливость равенства (2.32) и минимум формулы энергии).

Равенство (2.32) выполняется точно, если количество членов этого ряда бесконечно. На практике ограничиваются первыми n слагаемыми ряда

$$u(x_0) = \sum_{j=1}^n \alpha_j \psi_j(x) \quad (2.33)$$

Значения коэффициентов α_j определяются из условий стационарности функционала энергии.

Условие экстремума функционала энергии

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \mathcal{E}(\alpha)}{\partial \alpha_1} = 0 \\ \frac{\partial \mathcal{E}(\alpha)}{\partial \alpha_2} = 0 \\ \vdots \\ \frac{\partial \mathcal{E}(\alpha)}{\partial \alpha_n} = 0 \end{array} \right. \quad (2.34)$$

или в виде линейных уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} a_{11}\alpha_1 + a_{12}\alpha_2 + \dots + a_{1n}\alpha_n + b_1 = 0 \\ a_{21}\alpha_1 + a_{22}\alpha_2 + \dots + a_{2n}\alpha_n + b_2 = 0. \\ \dots\dots\dots \end{array} \right. \quad (2.35)$$

Решив систему уравнений (2.35), можно найти значения коэффициентов α_j .

Выражение приращения энергии изгибаемого единичного лепестка диафрагмы в перемещениях выражается известной формулой

$$\mathcal{E}(w) = \int_0^a \left(\frac{1}{2} EI \left(\frac{d^2 w}{dz^2} \right)^2 - qw \right) dz. \quad (2.36)$$

Для данной компоновки компактора и вида нагрузки на диафрагму эта формула будет иметь вид

$$\mathcal{E}(w) = \int_0^a \left(\frac{1}{2} EI \left(\frac{d^2 w}{dz^2} \right)^2 - qw_{z=\frac{a}{2}} \right) dz. \quad (2.37)$$

Для диафрагмы в целом

$$\mathcal{E}(w) = \oint_{\frac{a}{2}} \left(\frac{1}{2} EI \left(\frac{d^2 w}{dz^2} \right)^2 - qw_{z=\frac{a}{2}} \right) dz. \quad (2.38)$$

Решение может быть представлено в виде членов тригонометрического ряда

$$\sum_{j=1}^{\infty} \alpha_j \sin \frac{j\pi z}{a} :$$

$$w = \alpha_1 \sin \frac{\pi z}{a} + \alpha_2 \sin \frac{2\pi z}{a} + \alpha_3 \sin \frac{3\pi z}{a}. \quad (2.39)$$

$$w_{z=\frac{a}{2}} = \alpha_1 \sin \frac{\pi a}{a2} + \alpha_2 \sin \frac{2\pi a}{a2} + \alpha_3 \sin \frac{3\pi a}{a2} = \alpha_1 \cdot 1 + \alpha_2 \cdot 0 + \alpha_3 \cdot (-1) = \alpha_1 - \alpha_3. \quad (2.40)$$

Функции $\sin \frac{j\pi z}{a}$, ($j = 1, 2, 3$) независимы и каждая из них соответствует условиям $w = 0$ при $z = 0$.

Таким образом, задача о поиске функции w , приносящей минимальное значение функционалу (2.38) сводится к определению трех чисел α_j , ($j = 1, 2, 3$), при которых функция обеспечит минимум.

Подставим (2.40) в выражение энергии (2.37).

Условием экстремума является равенство нулю производных по параметрам α_j , ($j = 1, 2, 3$).

Условия минимума формулы $\mathfrak{E}(\alpha)$

$$\begin{cases} \frac{\partial \mathfrak{E}(\alpha)}{\partial \alpha_1} = \pi^4 EI \alpha_1 / 2a^3 - q = 0 \\ \frac{\partial \mathfrak{E}(\alpha)}{\partial \alpha_2} = 8\pi^4 EI \alpha_2 = 0 \\ \frac{\partial \mathfrak{E}(\alpha)}{\partial \alpha_3} = 81\pi^4 EI \alpha_3 / + q = 0 \end{cases}. \quad (2.41)$$

Откуда

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{2qa^3}{EI\pi^4} \\ \alpha_2 &= 0 \\ \alpha_3 &= \frac{2qa^3}{81EI\pi^4} \end{aligned}. \quad (2.42)$$

Подставив найденные коэффициенты в (2.39), получим окончательное решение задачи

$$w = \frac{2qa^3}{EI\pi^4} \left(\sin \frac{\pi}{a} z - \frac{1}{81} \sin \frac{3\pi}{a} z \right). \quad (2.43)$$

Формула для определения внутренних изгибающих моментов

$$M = \frac{2q \cdot a}{\pi^2} \left(\sin \frac{\pi a}{z} - \frac{1}{9} \sin \frac{3\pi}{a} z \right). \quad (2.44)$$

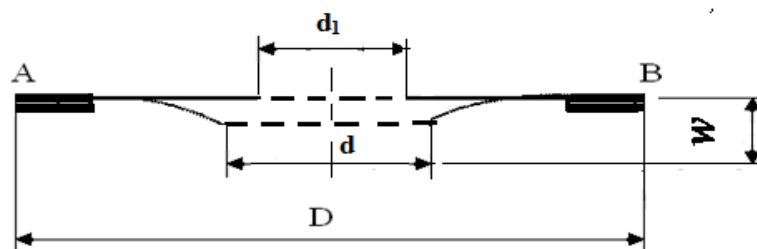


Рисунок 2.6 – Схема прогиба диафрагмы от давления жома, подаваемого шнеком

Величина прогиба определится как $w = qa^3/48EI$, где момент инерции $I = 0,05d^4(1-c)^4$, $c = d_1/d$.

При заданных конструктивно геометрических размерах диафрагмы и прочностных характеристиках материала ее лепестков можно определить величину их прогиба под действием подаваемого шнеком жома [122].

2.5 Определение степени уплотнения жома в межвитковом пространстве шнека компактора

Процессу прессования продуктов сахарного производства, в частности прессованию рафинадной кашки при производстве сахара-рафинада, посвящены исследования Степанова А.Н., Демчинского Ф.А., Зеликмана И.Ф. и др., в которых определены факторы, наиболее сильно влияющие на плотность и другие показатели прессованного рафинада [58, 76].

Основным фактором, обуславливающим плотность продукта, является степень уплотнения при прессовании сырья, которая может быть использована для оценки его качества [25].

Руководствуясь приведенной в [25] методологией оценки степени уплотнения, рассмотрим параметры прессования свежего свекловичного жома в компакторе с вертикально установленным шнеком и с уплотняющей многолепестковой диафрагмой [10].

Перед прессованием (компактированием) влагосодержащего свежего свекловичного жома объем промежутков между частицами дисперсной фазы (свекловичной стружки) в процентах от общего занимаемого свекловичным жомом объема может быть выражен как

$$\gamma = \frac{V_0 - V_c}{V_0} \cdot 100\%, \quad (2.45)$$

где γ – показатель пористости жома, %; V_0 – начальный объем жома, м³; V_c – объем дисперсной фазы (свекловичной стружки) в жоме, м³.

Очевидно, что при прессовании жома его пористость будет уменьшаться, а объемная масса и прочность будут возрастать [8].

Степень уплотнения жома при его прессовании в компакторе является суперпозицией двух последовательных стадий уплотнения: сначала в зоне конического шнека β_1 , затем в зоне входа в многолепестковую пружинную диафрагму β_2 .

$$\beta = \beta_1 + \beta_2. \quad (2.46)$$

Для первой стадии уплотнения в зоне шнека имеем

$$\beta_1 = \frac{V_0 - V_{ш}}{V_0}, \quad (2.47)$$

где $V_{ш}$ – объем жома на выходе из зоны шнека, м³.

Для второй стадии

$$\beta_2 = \frac{V_{ш} - V_k}{V_{ш}}, \quad (2.48)$$

где V_k – объем жома на выходе из диафрагмы компактора, м³.

Отсюда степень уплотнения жома в компакторе определится как

$$\beta = \frac{V_0 - V_{\text{ш}}}{V_0} + \frac{V_{\text{ш}} - V_k}{V_{\text{ш}}}, \quad (2.49)$$

$$\text{Объем жома на выходе из компактора } V_k = V_0(1 - \beta). \quad (2.50)$$

Поскольку масса жома в процессе прессования остается неизменной, можно записать соотношение

$$\frac{\rho_k}{\rho_0} = \frac{V_0}{V_k}, \quad (2.51)$$

где ρ_0 – начальная плотность жома, кг/м³; ρ_k – плотность жома на выходе из компактора, кг/м³;

Подставив значение V_k из (2.50) в (2.51), получим

$$\rho_k = \frac{\rho_0}{1 - \beta}. \quad (2.52)$$

Из (2.52) можно видеть, что плотность жома на выходе из шнекового компактора во многом зависит от исходной плотности свекловичного жома и степени его уплотнения в рабочих зонах шнекового компактора.

2.6 Оценка производительности компактора

Рассмотрим модель движения прессуемой массы жома в шнековом канале с коническим шнеком и переменным шагом витков. За базу примем зависимости, характерные для шнекового движителя с постоянным диаметром шнека.

Пропускная способность шнекового движителя с переменным диаметром шнека и толщиной витков при перемещении вязкой свекловичной массы определится как

$$P_{\text{ш.д.}} = 0,78n \left(\frac{D_1^2 - D_2^2}{2} - d^2 \right) [(H_{\text{max}} - H_{\text{min}}) - (S_{B\text{max}} - S_{B\text{min}})] \varphi k, \quad (2.53)$$

где n – частота вращения шнека, мин^{-1} ; D_1, D_2 – максимальный и минимальный диаметры шнека, м; d – диаметр вала шнека, м; H_{max}, H_{min} – максимальный и минимальный шаг витков шнека, м; S_{Bmax}, S_{Bmin} – максимальная и минимальная толщина витка шнека, м; φ – коэффициент заполнения объема витков шнека, k – коэффициент подачи.

Поскольку на выходе шнека в компакторе установлена диафрагма, то шнековый движитель может работать с противодавлением, и его производительность выразится как

$$P_{ш.д.} = P_1 - P_2 - P_3, \quad (2.54)$$

где P_1 – значение массового расхода материала в единицу времени при движении жома в винтовой полости шнека по направлению к диафрагме, кг/ч ; P_2 – значение массового расхода жома при его обратном потоке в полости шнека от противодавления со стороны диафрагмы, кг/ч ; P_3 – значение массового расхода жома при его обратном потоке в зазоре между шнеком и перфорированной вставкой, кг/ч .

Если принять, что поток прессуемого жома в шнековом движителе стационарен и материал изотропен, то производительность компактора может быть выражена через постоянные, характеризующие прямой и обратный потоки материала [70].

$$P_{шн} = K_1 n - K_2 \left(\frac{\Delta P_{max}}{\mu} \right) - K_3 \left(\frac{\Delta P_{max}}{\mu} \right), \quad (2.55)$$

где K_1 – постоянная для прямого потока; h_{max}, h_{min} – максимальная и минимальная глубина межвиткового пространства, м; K_2 – постоянная для обратного потока в полости шнека; L – рабочая высота шнека, м; K_3 – постоянная для обратного потока в зазоре между шнеком и вставкой; ΔP_{max} – перепад давления между входным и выходным витками шнека по его высоте, Па; μ – вязкость материала, $\text{Па}\cdot\text{с}$.

$$K_1 = \frac{\pi^2 (D_1 - D_2) (h_{max} - h_{min})^2 \sin \beta \cos \beta}{2}.$$

$$K_2 = \frac{\pi(D_1 - D_2)(h_{max} - h_{min})^2 \sin^2 \beta}{12L}, \quad (2.56)$$

$$K_3 = \frac{\pi^2(D_1 - D_2)^2 \Delta x \operatorname{tg} \beta}{12L(s_{h\max} - s_{h\min})}.$$

Задавая исходные геометрические характеристики шнека можно определить величину давления, развиваемую при вращении шнека и перемещении свекловичного жома от зоны подачи его в компактор до зоны формования в пластинчатой диафрагме.

Шаг витков в шнековых движителях, используемых в различном по назначению технологическом оборудовании, изменяется в широких пределах. Эти пределы обуславливаются не только физико-механическими свойствами перемещаемых материалов, но и различными конструктивными соображениями при проектировании шнековых движителей [70].

Для цилиндрических транспортирующих шнеков одинаковый шаг витков обосновывается с позиций обеспечения максимально возможной пропускной способности, что подразумевает и максимально возможную скорость перемещения материала в шнековом канале. Для напорных шнеков, особенно конических с разным шагом витков, работу шнека целесообразно дополнительно оценивать с позиций энергопотребления.

Рассмотрим модель движения материала в шнековой зоне с позиций изменения удельных энергозатрат, равных отношению потребляемой мощности к пропускной способности шнеков в зависимости от угла подъема винтовой линии.

Основные энергозатраты в шнековой зоне определяются затрачиваемой мощностью на преодоление момента сопротивления, вызываемого перемещением материала.

Рассматривая отдельные участки шнека по его высоте, можно записать момент сопротивления на i -ом участке как

$$M_i = F_{i\text{ос}} \frac{\bar{D}_i}{2} \operatorname{tg}(\varphi + \alpha_i), \quad (2.57)$$

где $F_{i\text{ос}}$ – требуемое осевое усилие для перемещения материала на участке, МПа; $i = 1 \dots n$; $\bar{D}_i$ – средний диаметр шнека на рассматриваемом участке; $\varphi = \arctg f$ – угол трения, град.; f – коэффициент трения; α_i – угол наклона витков шнека на участке, град.

Момент сопротивления перемещению материала равен сумме моментов по рассматриваемым участкам $M = \sum M_i$.

Умножая (2.57) на угловую скорость шнека $\omega = \frac{\pi n}{30}$ и выражая осевое усилие через величину давления p_i и площадь поперечного сечения шнека как $S_i = \frac{\pi(D_i^2 - d^2)}{4}$, можно определить потребляемую шнеком мощность.

$$N = \sum p_i \frac{\pi}{4} \sum (D_i^2 - d^2) \frac{\sum D_i}{2} \omega \operatorname{tg}(\varphi + \alpha_i). \quad (2.58)$$

Пропускная способность шнека, компрессора ограничена размерами последних его витков, которые имеют минимальный шаг и межвитковое пространство для жома.

С учетом (2.56) и (2.57) получим

$$P_{\text{шн}} = v_{\text{ос}} \frac{S_{\min} h_{\min} \rho \psi k_v}{\sin \alpha_{\min}}, \quad (2.59)$$

где $v_{\text{ос}}$ – скорость движения жома вдоль оси шнека, $v_{\text{ос}} = \frac{(D_{\min} - h_{\min}) \omega \sin \alpha_{\min}}{4}$, м/с; $S_{\min}$ – шаг между двумя последними витками шнека; м; $h_{\min}$ – глубина витка внизу конуса шнека, м; $\rho = 250 \text{ кг/м}^3$ – плотность свежего свекловичного жома; ψ – коэффициент заполнения межвиткового пространства. Можно принять $\psi = 1$, поскольку из-за уменьшения шага витков по длине шнека межвитковое пространство в нижней части шнека будет заполнено материалом полностью; k_v – коэффициент осевой скорости материала.

$$k_v = \frac{\cos \alpha \cos(\varphi + \alpha)}{\cos \varphi}. \quad (2.60)$$

Очевидно, что пропускная способность шнека будет также зависеть от коэффициентов трения перемещаемого материала о поверхность шнека и

перфорированной вставки, окружающей шнек. Величина этих коэффициентов будет определяться механическими свойствами поверхностей контакта и их температурой.

Удельные затраты энергии при транспортировании и прессовании свекловичного жома определяются отношением затрачиваемой мощности к его пропускной способности

$$E_{уд} = \frac{N}{P_{шн}} = \frac{\sum p_i \frac{\pi}{4} \sum (D_i^2 - d^2) \frac{\sum D_i}{2} \omega t g(\varphi + \alpha_i)}{v_{oc} \frac{s_{min} h_{min} \rho \psi k_v}{\sin \alpha_{min}}}. \quad (2.61)$$

При известном коэффициенте трения шаг винта можно найти, продифференцировав выражение для шага винта по углу подъема винтовой линии.

Известно, что одним из показателей, используемых для определения рациональных конструктивно-технологических параметров экструзионного оборудования со шнековыми движителями и формующей головкой, является расчет его расходно-напорных характеристик [159]. Производительность шнековых экструдеров во многом зависит от взаимодействия нагнетателя, которым является шнек и формующей головки, фильера которой может иметь различную форму и размеры. Для построения расходно-напорных характеристик экструдера, по которым можно оценить его производительность, используются выражения для коэффициентов, характеризующих геометрические параметры шнекового нагнетателя и формующей головки [85, 110].

Конструктивные элементы компактора свекловичного жома с упругой многолепестковой диафрагмой во многом схожи с аналогичными элементами выпускаемых промышленностью одношнековых экструдеров. Отличия касаются пространственного расположения осей шнеков, их формы, размеров, угла наклона витков, отсутствия элементов нагрева корпуса, особенностей зоны выхода продукции.

Производительность шнекового компактора свекловичного жома определяется взаимодействием шнека и многолепестковой диафрагмы, точно также как и в одношнековом экструдере – взаимодействием нагнетателя и формующей головки.

Поэтому для оценки производительности компактора можно использовать аналитические зависимости расхода материала в зонах его нагнетания и формования, полученные для экструдирования [110], с учетом изменений в элементах конструкции шнекового движителя компактора и его упругой диафрагмы.

Многолепестковая уплотняющая диафрагма устанавливается под шнеком и ее отверстие в статическом положении имеет диаметр равный диаметру вала шнека. При работе компактора лепестки диафрагмы, являющиеся плоскими пружинами, под действием давления, создаваемого поступающим из шнековой зоны жомом, будут прогибаться, образуя в зависимости от величины давления переменный кольцевой зазор. При установившемся режиме компактирования жома можно допустить, что размеры этого зазора будут практически постоянны и их колебания не окажут существенного влияния на производительность компактора.

Расходно-напорная характеристика шнека выражает зависимость расхода материала Q от создаваемого на выходе противодействия Δp , и для формующей части компактора будет иметь вид

$$Q_D = \frac{k_D}{\mu} \Delta p \cdot 10^{-9}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.62)$$

где k_D – коэффициент, характеризующий геометрические параметры многолепестковой диафрагмы, м^3 ; μ – динамическая вязкость свежего свекловичного жома, $\text{Па} \cdot \text{с}$; Δp – перепад давления, создаваемый компактором, Па .

Коэффициент k_D для кольцевого зазора между валом шнека и отверстием диафрагмы

$$k_D = \frac{(\pi D + b) b^3 10^{-9}}{12h}, \quad (2.63)$$

где D – средний диаметр кольцевого отверстия в диафрагме, $D = 2R - b$, м ; b – ширина кольцевого зазора, $b = R - r$, м ; R, r – наружный и внутренний радиусы кольцевого зазора в диафрагме, м ; h – толщина лепестка диафрагмы, м .

Скорость вертикального перемещения жома по винтовому каналу конического шнека, $\text{м}/\text{с}$

$$v_z = \frac{\Delta p}{4\mu L} (\bar{R}^2 - r_{\text{в}}^2), \quad (2.64)$$

где L – рабочая длина шнека, м; $\bar{R}$ – средний радиус наружных витков шнека, $\bar{R} = \frac{R_{\text{max}} - R_{\text{min}}}{2}$, м; $r_{\text{в}}$ – диаметр вала шнека, м.

Перепад давления при прессовании жома, Па

$$\Delta p = \frac{k_{\text{ш1}}}{k_{\text{ш1}} + k_D} \mu \omega_{\text{шн}}, \quad (2.65)$$

где $k_{\text{ш1}}$ – коэффициент геометрии шнекового нагнетателя, м³; $\omega_{\text{шн}}$ – угловая скорость вращения шнека, рад/с.

$$k_{\text{ш1}} = 10^{-9} \pi \bar{D}_{\text{с}} \frac{\bar{B} \bar{H}}{2} \cos \alpha, \quad (2.66)$$

где $\bar{B}$ – средняя ширина шнекового канала, м; $\bar{H}$ – средняя высота шнекового канала, м; $\bar{D}_{\text{с}}$ – средний внутренний диаметр перфорированной вставки, м.

Расходно-напорная характеристика шнекового нагнетателя, м³/с

$$Q_{\text{шн}} = \left(k_{\text{ш1}} \omega - \frac{k_{\text{ш2}}}{\mu} \Delta p \right) 10^{-9}, \quad (2.67)$$

где $k_{\text{ш2}}$ – коэффициент геометрии шнекового нагнетателя, м³.

$$k_{\text{ш1}} = 10^{-9} \frac{\bar{B} \bar{H}^3}{12L}. \quad (2.68)$$

Производительность компактора по коэффициентам геометрии шнекового движителя и многолепестковой диафрагмы, м³/с

$$P_{\text{ком}} = \frac{k_{\text{ш1}} k_D}{k_{\text{ш1}} + k_D} \omega. \quad (2.69)$$

Приемлемую для практики оценку производительности компактора можно получить, используя более простые зависимости

$$P_{\text{шн}} = S_o v_d \rho_1 k_s, \quad (2.70)$$

где S_o – площадь кольцевого зазора многолепестковой диафрагмы, м²; v_d – скорость движения жома через кольцевой зазор отверстие диафрагмы, м/с; ρ_1 – плотность жома на выходе из последнего витка шнека, кг/м³; k_s – коэффициент использования площади кольцевого зазора, $k_s = 0,8 - 0,95$.

Скорость движения жома через кольцевой зазор диафрагмы можно определить по аналогии с определением скорости перемещения гайки относительно винта вдоль его оси

$$v_d = \frac{\pi n}{60} (r_H - r_B) k_o \operatorname{tg} \alpha_n, \quad (2.71)$$

где n – число оборотов шнека, мин^{-1} ; r_H, r_B – наружный и внутренний радиусы последнего витка шнека, м; k_o – коэффициент объемной подачи жома, α_n – угол наклона последнего витка шнека, град.

Коэффициент объемной подачи жома

$$k_o = \frac{\omega_{\text{шн}} - \omega}{\omega_{\text{шн}}}, \quad (2.72)$$

где ω – угловая скорость продукта.

Выводы

1. Полученные математические модели и аналитические зависимости отражают условия движения влагосодержащего свекловичного жома в межвитковом пространстве шнекового движителя компактора отходов и в зоне дополнительного его прессования упругими лепестками круглой диафрагмы.

2. Перемещение материала в межвитковой зоне шнека под действием приложенных сил до момента контакта материала с упругой диафрагмой зависит от числа и радиусов витков, шага между ними, угла наклона витков, угловой скорости шнека и сил трения материала о поверхность витков и перфорированной вставки.

3. Установлено, что изменение давления на материал, находящийся в межвитковом пространстве шнека с учетом действующих на него сил изменяется по экспоненциальному закону и зависит главным образом от соотношения радиусов конического шнека.

4. Получена модель удаления жидкой фракции через перфорированные отверстия вставки, окружающей шнек, при прессовании жома в межвитковом

пространстве шнека, позволяющая определить коэффициент уплотнения материала, живое сечение отверстий вставки, ее пропускную способность по влаге, скорость течения жидкой фракции и длину зоны ее активного удаления.

5. Получены аналитические зависимости, определяющие прогиб упругих лепестков диафрагмы от величины давления, оказываемого выходящим из шнека жомом с учетом модуля упругости материала лепестков и момента инерции.

6. Определена зависимость изменения плотности жома на выходе из компактора с учетом его исходной объемной массы и степени уплотнения в межвитковом пространстве шнека.

7. Получены аналитические зависимости, позволяющие оценить пропускную способность конического шнека компактора и удельные затраты энергии на прессование жома.

3 РАЗРАБОТКА КОМПОНОВКИ КОМПАКТОРА И КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ЛИНИЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН ИЗ СВЕКЛОВИЧНОГО ЖОМА

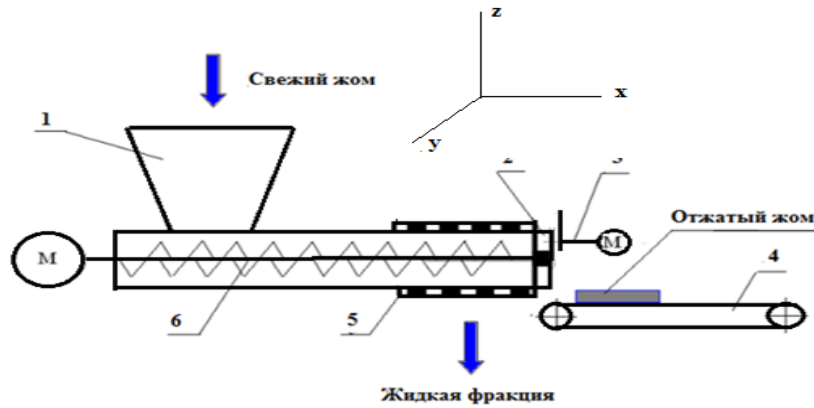
3.1 Разработка конструктивно-технологических схем и компоновки компактора

Известно, что отжим влаги из влагосодержащих материалов может осуществляться как непрерывным, так и периодическим способом. Последний реализуется в большинстве случаев на поршневых прессах. При непрерывном способе отжима преимущественно используются шнековые движители, а дополнительное сопротивление движению прессуемого материала увеличивается установкой дополнительных элементов, например фильеры с выходным отверстием определенных размеров и формы [122].

Пространственное расположение оси шнека в прессующих устройствах может быть горизонтальным, наклонным или вертикальным [141], что собственно и определяет вариант компоновки компактора.

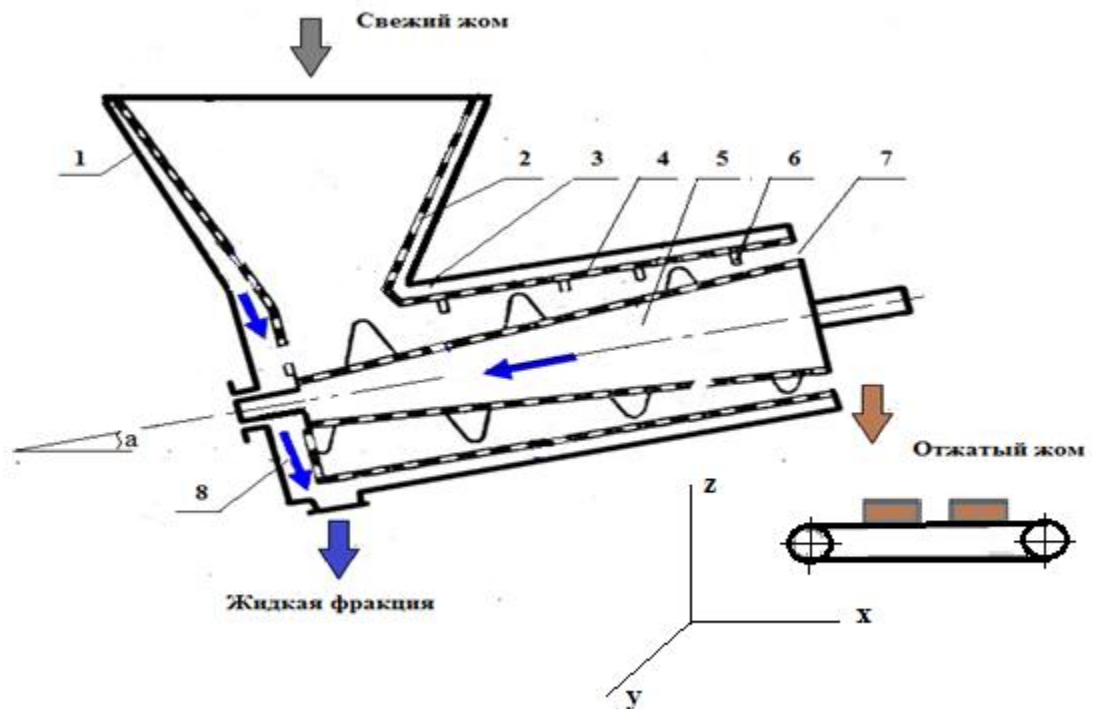
На рисунках 3.1 и 3.2 приведены схемы компактора с горизонтальным и наклонным расположением прессующего шнека.

При анализе ветвей компоновок данных схем воспользуемся методом координатно-структурного кодирования [1, 2, 49, 67, 165, 166], позволяющего записать компоновку будущего изделия в цифровом коде, что позволит проводить анализ синтезируемых вариантов компоновок на ЭВМ и выбирать рациональный вариант компоновки по задаваемым критериям.



1 – приемный бункер, 2 – выходная фильера, 3 – устройство для отрезки, 4 – отводящий конвейер, 5 – участок корпуса для удаления отжимаемой из материала жидкости

Рисунок 3.1 – Схема координатных движений звеньев компактора с горизонтальным расположением шнека



1 – приемный бункер, 2 – сито, 3 – корпус, 4 – цилиндрическое сито, 5 – шнек, 6 – вставки, 7 – регулируемый кольцевой зазор для выхода жомов, 8 – камера приема жидкой фракции

Рисунок 3.2 – Схема координатных движений звеньев компактора с наклонным расположением шнека

При кодировании используется единая система координат на всех стадиях компоновки будущего изделия. Для характеристики подвижных блоков компоновки используется 7 цифр $k_j = a_1, \dots, a_7$, определяющих: вид перемещения элемента, ось его перемещения или вращения, направление нормали к плоскости стыка, информацию о положении стыка в пространстве, вид движения подвижного стыка, переход через стык и форму элемента.

Стационарный элемент компоновки записывается семью нулями.

Перед разработкой компоновки принимается ряд ограничений, определяющих технологические и конструктивные решения проектируемого изделия.

Для создаваемого компактора были приняты следующие ограничительные требования:

- компактор должен осуществлять два процесса: непрерывный режим отделения жидкой фракции из влагосодержащего свежего жома и формование отжатого жома в виде брикетов;
- осуществление подачи отжимаемого материала в зону компактора через продуктопровод;
- отжим влагосодержащего жома коническим шнеком с переменным шагом витков и углами их наклона к оси шнека;
- окончательный отжим и формование отжатого жома с помощью многолепестковой диафрагмы, устанавливаемой на выходе шнека;
- конвейер для отвода отжатого и сформированного жома

Для проработки выделяются следующие ветви компоновки компактора:

- ветвь подачи свежего жома в рабочую полость шнека;
- ветвь предварительного отжима в зоне шнека;
- ветвь окончательного прессования в зоне диафрагмы и формования брикетов или жгута отжатого жома (при отсутствии отрезного устройства).

Для компактора с горизонтальной установкой шнекового движителя (рисунок 3.1) ветвь подачи свежего жома в рабочую полость шнека состоит из одного

элемента – приемного бункера, из которого жом движется к зоне шнека под действием гравитации [122].

Координатно-структурный код ветви предварительного отжима в зоне горизонтально установленного шнека записывается как: 2110222 0000000.

Для горизонтальной компоновки компактора существуют два варианта исполнения прессующего органа – поршень-цилиндр или шнек.

Для исполнения «поршень-цилиндр» координатно-структурный код имеет вид: 1120122 0000000.

Код ветви окончательного прессования и формования жгута отжатого жима: 2110211 0000000.

При наклонном расположении оси шнека (рисунок 3.2) ветвь подачи свежего жома одинакова со схемой рисунка 3.1.

Код ветви отжима влаги из свежего жома в наклонно установленном шнековом движителе имеет вид: 2111212 0000000.

Отжим и формование выходящего жома осуществляется перемещением шнека (поз.5, рисунок 3.2) относительно цилиндрического сита (поз.4, рисунок 3.2).

Код ветви формования отжатого жома: 1111113 0000000.

Анализ кодов ветвей компоновок показывает, что, несмотря на выполнение ограничительных требований обе вышеприведенные конструктивно-технологические схемы не являются рациональными в силу следующих причин.

Во-первых, горизонтальное расположение шнека не обеспечивает необходимый объем удаления влаги, так как зона для удаления ее через ситовую поверхность может быть расположена только внизу шнека и, следовательно, ограничена небольшой площадью. Во-вторых, при введении второй зоны прессования жома на выходе из шнека путем установки фильеры может привести к появлению противотока продукта в шнековом движителе, что снижает производительность компактора. В-третьих, горизонтальная компоновка компактора предопределяет значительную занимаемую площадь.

Те же аргументы можно привести и для наклонной компоновки, которая несколько предпочтительней по возможности более быстрого удаления влаги из зоны прессования жома, однако регулирование степени отжима путем перемещения шнека вдоль его продольной оси нельзя признать удачным техническим решением.

Кроме того, силовые воздействия при прессовании жома на элементы конструкции и стыки подвижных блоков при горизонтальном или наклонном расположении шнека не являются рациональными.

Поэтому данные компоновки компакторов способны обеспечить только низкую степень отжима, не более 7-12%, что и подтверждается практикой использования их в промышленности [20, 108].

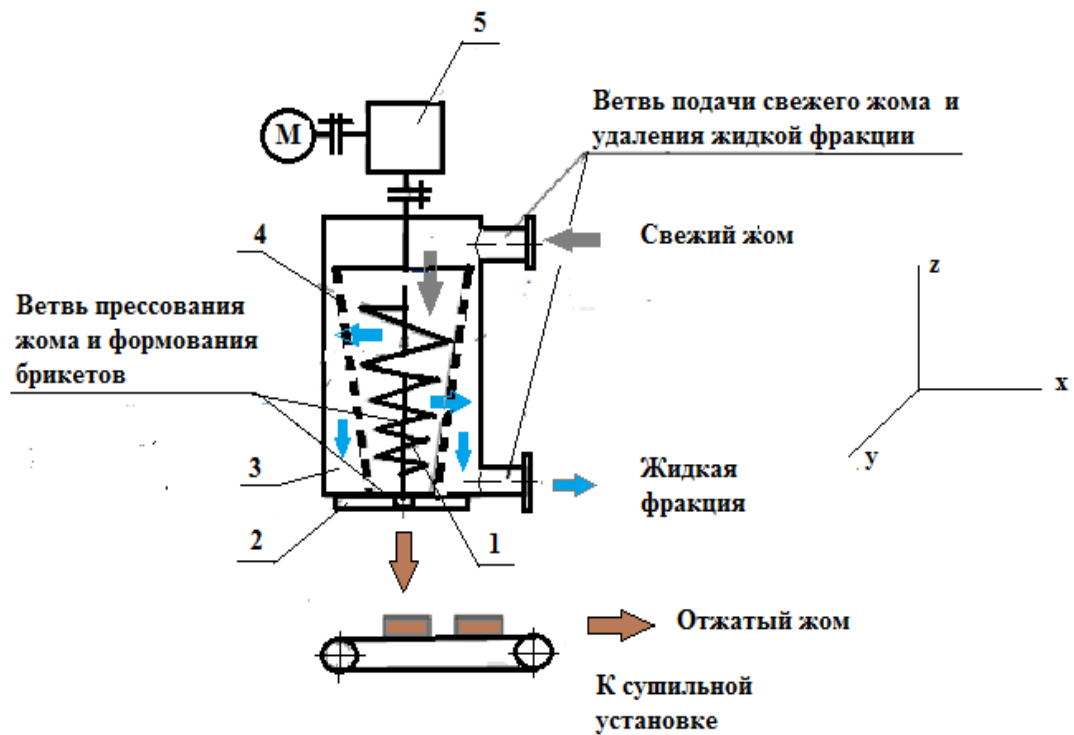
Синтез компоновки компактора выполняется поэтапно: на первом этапе рассматриваются возможные варианты исполнения подвижных блоков, на следующих этапах разрабатывается компоновка ветвей исполнительных органов.

К сформулированным выше ограничительным требованиям введем дополнительные ограничения [71, 123]:

- транспортирующе-прессующий шнек должен иметь форму усеченного конуса с переменным шагом витков и уменьшающимися к выходу углами их наклона;
- конический шнек должна окружать коническая перфорированная вставка с гарантированным зазором между наружной поверхностью шнека и внутренней поверхностью вставки;
- использование для окончательного отжима жома многолепестковой упругой диафрагмы, устанавливаемой на выходе жома из шнека и обеспечивающей большие усилия прессования по сравнению с фильерой постоянного сечения

Разработанная конструктивно-технологическая схема компоновки компактора с вертикальным шнеком и многолепестковой упругой диафрагмой приведена на рисунке 3.3.

Координатно-структурный код основной ветви отжима свежего жома в шнековой зоне и его окончательного прессования и формирования диафрагмой на выходе из компактора в принятой системе координат может быть записан как 2330223 3330124 0000000.



1 – шнек, 2 – диафрагма, 3 – корпус, 4 – вставка перфорированная, 5 – привод шнека

Рисунок 3.3 – Схема разработанной компоновки компактора с вертикальной установкой шнека

Оценка компоновок с горизонтальным, наклонным и вертикальным расположением шнеков проводилась с учетом величины и направления нагрузки, взаимодействия рабочих элементов, возможных деформаций в стыках, влияния погрешностей изготовления и сборки и других факторов в соответствии с методологией, приведенной в [49, 165, 166].

Для конструктивной разработки и дальнейшего проведения исследований был выбран вариант компактора с вертикальным расположением, как обеспечивающий

минимальную занимаемую площадь, равномерное распределение поверхностных и массовых сил по всей площади витков относительно вертикальной оси шнека. При такой компоновке, что немало важно, сила тяжести также способствует лучшему перемещению жома в рабочих зонах компактора.

Разработанная конструктивно-технологическая схема [122, 132] содержит конический шнек с переменным шагом витков. Многолепестковая диафрагма представляет собой концентрично установленные на кольцевом основании упругие лепестки и имеет выходное отверстие равное диаметру вала шнека. В перфорированной вставке, окружающей конический шнек и служащей для удаления жидкости из прессуемого жома, для увеличения жесткости дополнительно установлены продольные усиливающие элементы.

3.2 Разработка технологической и параметрической схем компактора

На этапе эскизного проектирования компактора в соответствии с требованиями ЕСКД были проработаны вопросы оформления внешнего вида изделия и его основных узлов, осуществлено описание устройства и его принципа действия, выполнив предварительные расчеты для оценки работоспособности.

В соответствии с [106] осуществлена:

- технологическая оценка компактора, включающая разработку параметрической схемы процесса с указанием параметров, оказывающих влияние на процесс;
- структурная проработка машины, предусматривающая определение основных составных частей, их назначение и взаимодействие;
- эскизная компоновка основных составных частей машины.

Конкретизация эскизного проекта обеспечивалась прочерчиванием базовых деталей, общих видов и вариантов схем, которые потом должны уточняться в техническом и рабочем проектах.

Для компактирования свекловичного жома разработана следующая технология, иллюстрируемая блок-схемой (рисунок 3.4).

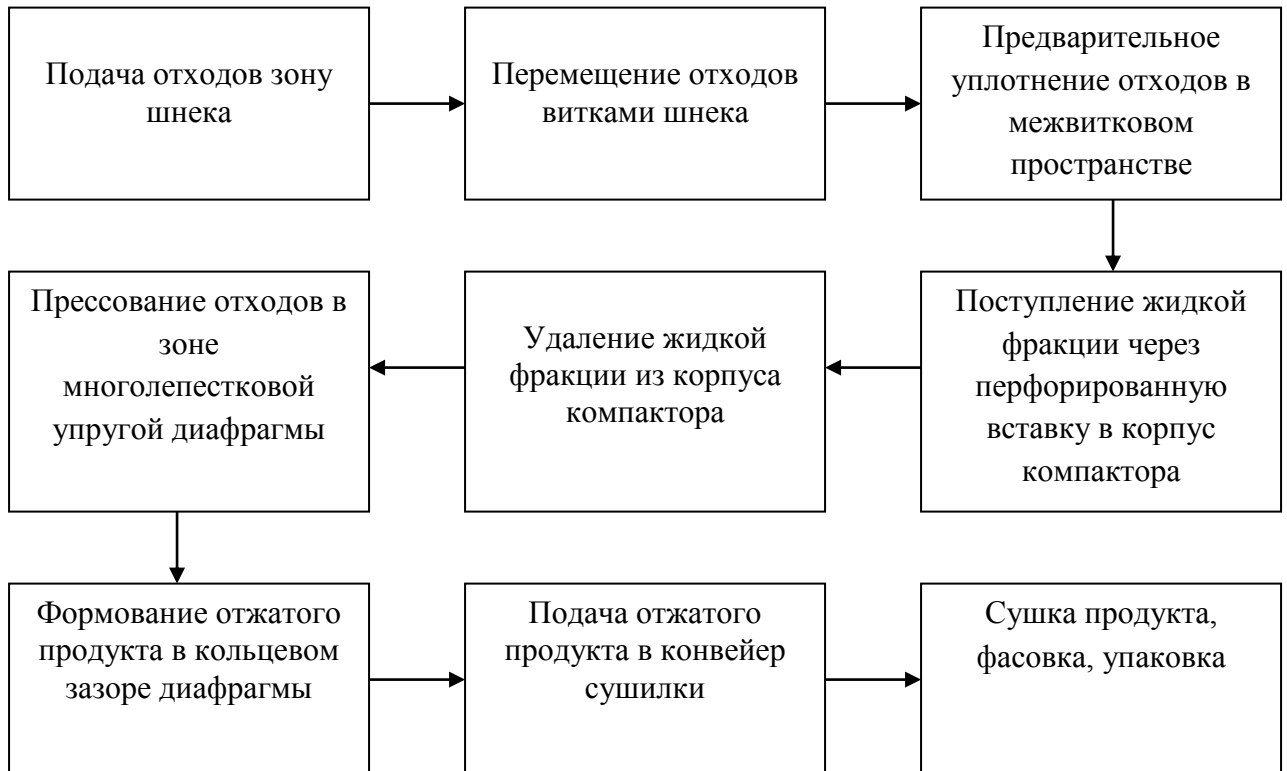


Рисунок 3.4 – Блок-схема процесса компактирования влажосодержащих отходов в вертикальном компакторе со шнековым движителем и многолепестковой диафрагмой

Для определения входных факторов была составлена параметрическая схема процесса компактирования свежего жома, характеризующая взаимосвязь показателей, определяющих вход, состояние и выход технологического процесса компактирования [62].

Факторы и параметры, входящие в параметрическую схему процесса, согласно [62] подразделяются управляющие, управляемые, возмущающие, наблюдаемые или измеряемые.

Все параметры по направленности действия на технологический процесс можно разбить на две группы: входные – управляющие и возмущающие; и выходные – управляемые и наблюдаемые.

Входные параметры принято называть входными факторами, которые могут быть управляющими, т.е. задаваемыми и контролируруемыми исследователем (обозначаются буквой X), и возмущающими, т.е. случайными и неконтролируемыми исследователем (обозначаются буквой E).

Среди ряда выходных управляемых параметров исследуемого объекта выделяют главный выходной параметр, по которому ведут оптимизацию технологического процесса и который называют функцией отклика объекта, целевой функцией, параметром оптимизации или критерием эффективности (обозначается буквой Y).

К возмущающим параметрам относят параметры, например, такие как: качество и состав компонентов используемого сырья и его качественные показатели, дрейф температуры, атмосферного давления и влажности, степень износа узлов и деталей оборудования и др.).

К управляющим параметрам относятся, например, используемые ресурсы расход тепло- и энергоносителей, время цикла, скоростные параметры исполнительных органов машины и др.

Наблюдаемые, как измеряемые, так и рассчитываемые параметры характеризуют показатели хода процесса и выходящей конечной продукции.

На рисунке 3.5 приведена параметрическая схема процесса компактирования свежего свекловичного жома с основными входными факторами и выходными параметрами (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Наименование и обозначения параметров схемы процесса компактирования свежего свекловичного жома

№ п/п	Наименования параметров	Обозначения параметров		
		Возмущающие (Входные неконтролируемые факторы)	Управляющие (Входные контролируемые факторы)	Наблюдаемые (Управляемые выходные параметры)
1	2	3	4	5
1	Изменения температурно-влажностных условий в процессе компактирования	<i>ИТВС</i>		
2	Изменения реологических свойств жома в процессе компактирования	<i>ИРС</i>		
3	Технологические отклонения, влияющие на стабильность процесса компактирования	<i>ТО</i>		
4	Частота вращения шнека		$n_{ин.}$	
5	Влажность жома на входе		$W_{вх}$	
6	Время работы компактора		t_k	
7	Количество подаваемого в компактор жома		$Q_{вх}$	
8	Количество выделившейся из жома жидкой фракции			$Q_{ж.ф}$
9	Содержание СВ в жоме на выходе из компактора			<i>СВ</i>
10	Эффективная вязкость жома на выходе			μ
11	Плотность жома на выходе			ρ
12	Влажность жома на выходе			$W_{вых}$
13	Количество отжатого жома на выходе			$Q_{от.ж.}$

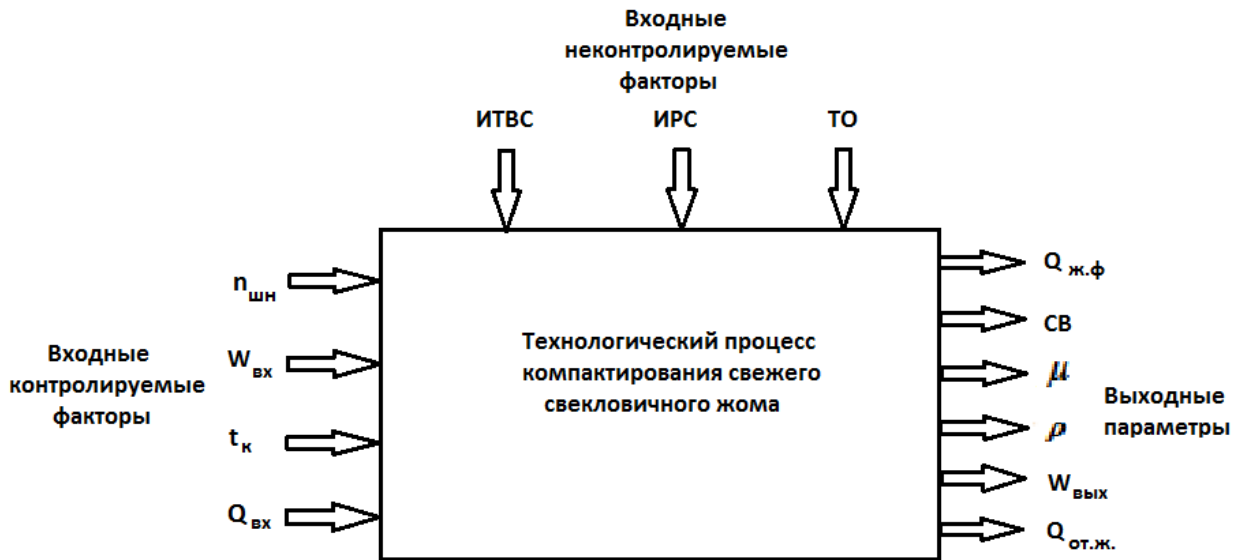


Рисунок 3.5 – Параметрическая схема процесса компактирования свекловичного жома

3.3 Предварительная оценка технических параметров компактора

Предварительный расчет пропускной способности компактора и выбор двигателя привода шнека при принятых размерах ведем, придерживаясь методики, изложенной в [4, 13, 22, 78, 87, 88, 110, 112, 152].

Теоретическая пропускная способность шнека

$$Q_T = 0,25\pi[(D_{max} - D_{min})^2 - d^2] \frac{S_{max} + S_{min}}{2} n, \text{ об/мин}, \quad (3.1)$$

где D_{max} , D_{min} – максимальный и минимальный диаметры шнека, м; d – диаметр вала шнека, м; S_{max} , S_{min} – максимальный и минимальный шаг витков шнека, м; n – частота вращения шнека, с^{-1} .

Значения геометрических размеров конического шнека назначаем, исходя из следующих соображений:

- обеспечение теоретической пропускной способности шнека в пределах от 1000 до 3000 кг/ч в зависимости от числа его оборотов;
- принятого внутреннего диаметра корпуса компактора, равного 500 мм;
- обеспечения рациональных габаритов компактора с позиций удобства обслуживания и ремонта.

При $D_{max} = 0,36$ м, $D_{min} = 0,16$ м, $d = 0,09$ м, $S_{max} = 0,09$ м, $S_{min} = 0,065$ м и $n = 1\text{с}^{-1}$ теоретическая производительность компактора будет равна:

$Q_T = 0,8944$ кг/с при частоте вращения шнека 60 об/мин;

$Q_T = 0,2978$ кг/с при частоте вращения шнека 20 об/мин;

Фактическая производительность компактора (Q_Φ) будет меньше теоретической на 15-30%, поскольку будет зависеть от коэффициента заполнения межвиткового пространства материалом.

Скорость осевого перемещения жома в зоне шнекового движителя

$$v = \frac{Q_\Phi}{900\pi[(D_{max}-D_{min})^2-d^2]\varphi\rho_H k_0}, \text{ м/с}, \quad (3.2)$$

где φ – коэффициент заполнения межвиткового пространства материалом, $\varphi = 0,85 \dots 0,7$; ρ_H – насыпная плотность жома; $\rho_H = 1,23$ т/м³; k_0 – коэффициент, учитывающий осыпание жома через зазоры между перфорированной вставкой и наружной поверхностью шнека, $k_0 = 1,1 \dots 1,05$

$$v = \frac{3,22 \cdot 0,85}{900 \cdot 3,14 \cdot 0,0319 \cdot 0,85 \cdot 1,23 \cdot 1,1} = 0,026 \text{ м/с}.$$

Мощность, расходуемая на преодоление сил инерции, кВт

$$N_1 = 0,28 Q_\Phi v^2 10^{-3} = 0,0005 \cdot 10^{-3} \text{ кВт}$$

Мощность на преодоление сил трения материала, кВт

$$N_2 = F_{тр} v 10^{-3}. \quad (3.3)$$

Сила трения жома о поверхность вставки, Н

$$F_{\text{тр}} = fG \cos \varphi_1, \quad (3.4)$$

где f – коэффициент трения жома о поверхность вставки, $f = 0,14$; G – вес материала в зоне шнекового движителя, Н; φ_1 – угол поворота слоя жома в сторону вращения шнека, $\varphi_1 \approx 2^\circ$.

$G = 2,725 Q_{\phi} L / v$, где $L = 0,5$ м – принятая рабочая длина шнека.

$$\varphi_1 = \arctg [f t g(\alpha + \beta)], \quad (3.5)$$

где $\alpha = \arctg \frac{\bar{s}}{\pi \bar{D}}$ – угол подъема винтовой линии по наружной кромке шнека, $\bar{s}$ – среднее значение шага между витками, $\bar{s} = \frac{s_{\max} - s_{\min}}{2}$; $\bar{D} = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{2}$; $\beta = \arctg f_1$ – угол трения жома по поверхности шнека, $f_1 \approx f$;

При $G = 143,43$ Н; $\alpha = 18^\circ$; $\beta = 8^\circ$; $\varphi_1 = 2^\circ$ $F_{\text{тр}} = 20,06$ Н, вычисленным по приведенным выше формулам, мощность на преодоление сил трения материала равна $N_2 = 0,5 \cdot 10^{-3}$ кВт.

Мощность на перемещение жома вдоль оси шнека, кВт

$$N_3 = P_{\text{окр}} \bar{D} \omega \cdot 10^{-3}, \quad (3.6)$$

где $P_{\text{окр}} = F_{\text{тр}} \sin \theta t g(\alpha + \beta)$ – окружная сила на наружной кромке шнека, Н, θ – угол подъема винтовой линии витков, $\theta = 30^\circ$. $P_{\text{окр}} = 4,89$ Н. Угловая скорость шнека $\omega = \frac{\pi n}{30} = 0,1$ рад/с.

$$N_3 = 0,13 \cdot 10^{-3} \text{ кВт.}$$

Мощность на валу шнека, кВт

$$N_0 = \frac{k(N_1 + N_2 + N_3)}{\eta}, \quad (3.7)$$

где $k = 1,2 \dots 1,5$ – коэффициент, учитывающий защемление жома. Принимаем $k = 1,3$;

$\eta = 0,97 \dots 0,99$ – к.п.д. подшипников вала шнека.

$$N_0 = \frac{1,3 \cdot 10^{-3} (0,0005 + 0,5 + 0,13)}{0,97} = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ кВт}$$

Мощность, снимаемая с вала двигателя, кВт

$$N_d = k_3 \frac{N_0}{\eta_{\text{пр}}}, \quad (3.8)$$

где k_3 – коэффициент запаса мощности, $k_3 = 1,5$; $\eta_{\text{пр}} = 0,6$ – к.п.д. редуктора.

$$N_d = 2 \cdot 10^{-3} = \text{кВт.}$$

Мощность, требуемая на преодоление силы упругости многолепестковой диафрагмы

$P_{\text{диаф}}$, кВт

$$N_{\text{упр}} = P_{\text{диаф}} d \omega \cdot 10^{-3}$$

При $P_{\text{диаф.}} \longrightarrow \text{max } 10 \text{ кН}$

$$N_{\text{упр}} = 90 \cdot 10^{-3} \text{ кВт.}$$

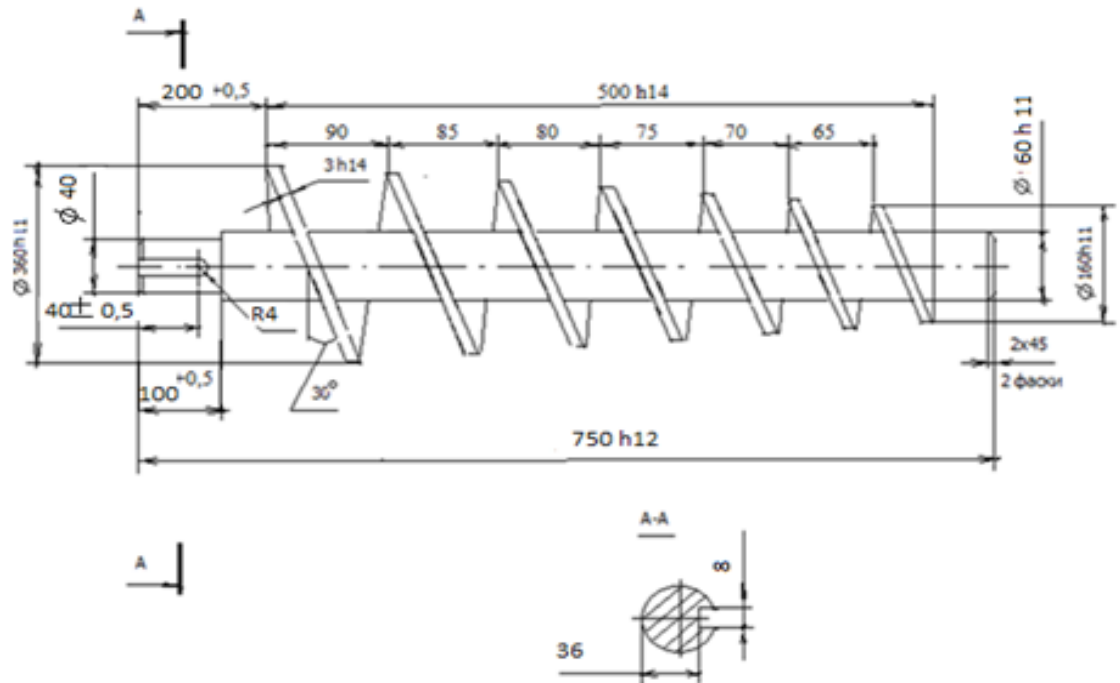
Принимаем для привода шнека трехфазный асинхронный двигатель серии 4А 4А80В6УЗ ГОСТ 19523-74 мощностью 1,1 кВт, число оборотов 1000 мин^{-1} [28].

3.4 Разработка эскизов базовых деталей и элементов компактора

Разрабатываемые на стадии эскизного проектирования технические решения основных деталей и узлов компактора являются основой для выполнения технического и в дальнейшем рабочего проекта экспериментального образца. Приведенные ниже эскизы определяют начальные отправные размеры и соотношения элементов, конкретизируемые и уточняемые при разработке рабочих чертежей.

Шнек конический с переменным шагом витков (рисунок 3.6). Посадочный диаметр левой шейки шнека, его длина и размеры шпоночного паза определяются

после выбора и проверочного расчета соединительной муфты при выполнении рабочего проекта компактора.



- 1.Отливка по ГОСТ 53464-2009.
- 2 Размеры для справок
- 3.Неуказанные допуски по IT 14/2
4. Размеры левого конца шнека под муфту уточняются при разработке рабочего проекта компактора

Рисунок 3.6 – Эскиз конического шнека компактора

Вставка перфорированная (вариант исполнения) (рисунок 3.7)

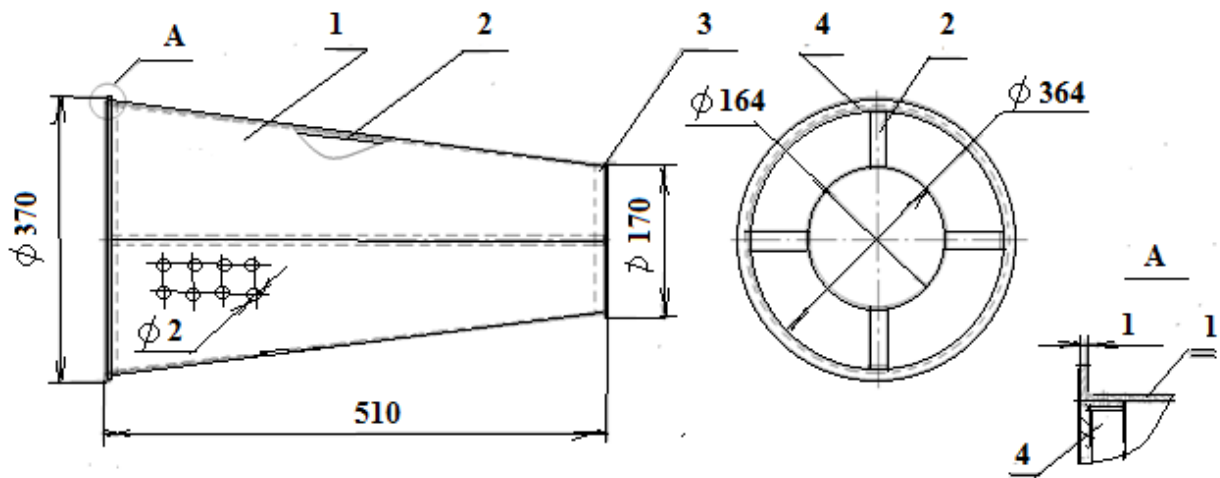
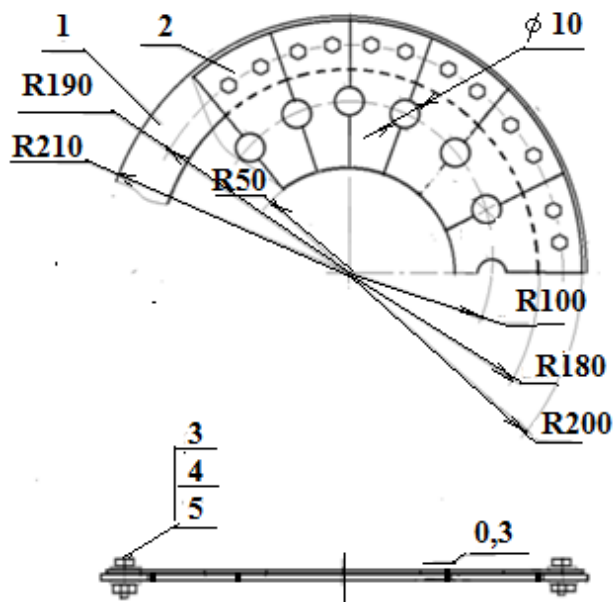


Рисунок 3.7 – Эскиз перфорированной вставки

Диафрагма многолепестковая (вариант исполнения) (рисунок 3.8). При сборке диафрагмы выходное отверстие, образуемое отдельными лепестками, должно представлять собой концентрическую окружность. Допускаемое отклонение от концентричности не более 0,5...1 мм. Проверку осуществлять с помощью штангенциркуля.



1. Размеры для справок
 2. Заусенцы на гранях лепестков не допускаются
 3. Материал лепестков: сталь инструментальная углеродистая У8А ГОСТ 1435-74, полосовая, горячекатанная по ГОСТ 4405-75

Поз.	Наименование	Кол.	Примечание
1	Кольцо	1	S = 5 мм
2	Лепесток	16	S = 1...2 мм
3	Болт М16х16	32	ГОСТ 7798-70
4	Гайка М6хН7	32	ГОСТ 5915-70
5	Шайба 6	64	ГОСТ 6958-68

Рисунок 3.8 – Эскиз многолепестковой диафрагмы компактора

Корпус компактора (вариант исполнения) (рисунок 3.9). Корпус изготавливается из легированной хромоникелевой стали, широко применяемой в пищевой промышленности, марки 12X18H10T ГОСТ 5949-75. При проверке корпуса на герметичность гибочный шов допускается проварить снаружи электродуговой сваркой.

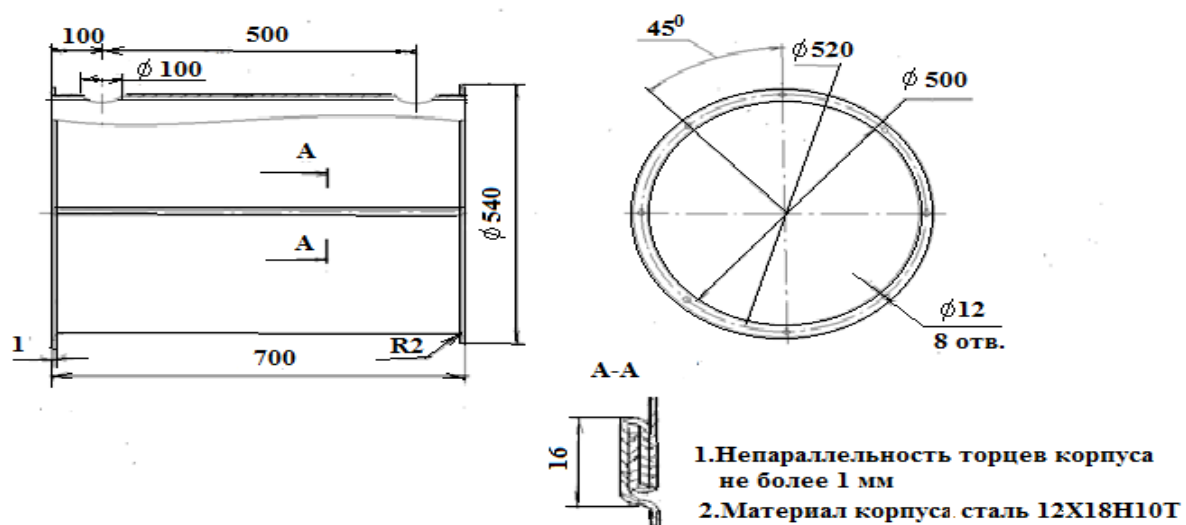


Рисунок 3.9 – Эскиз корпуса компактора

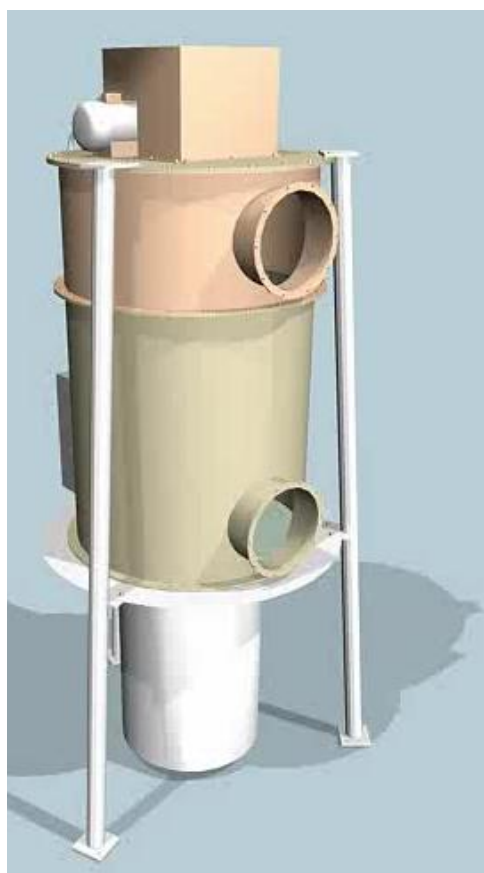
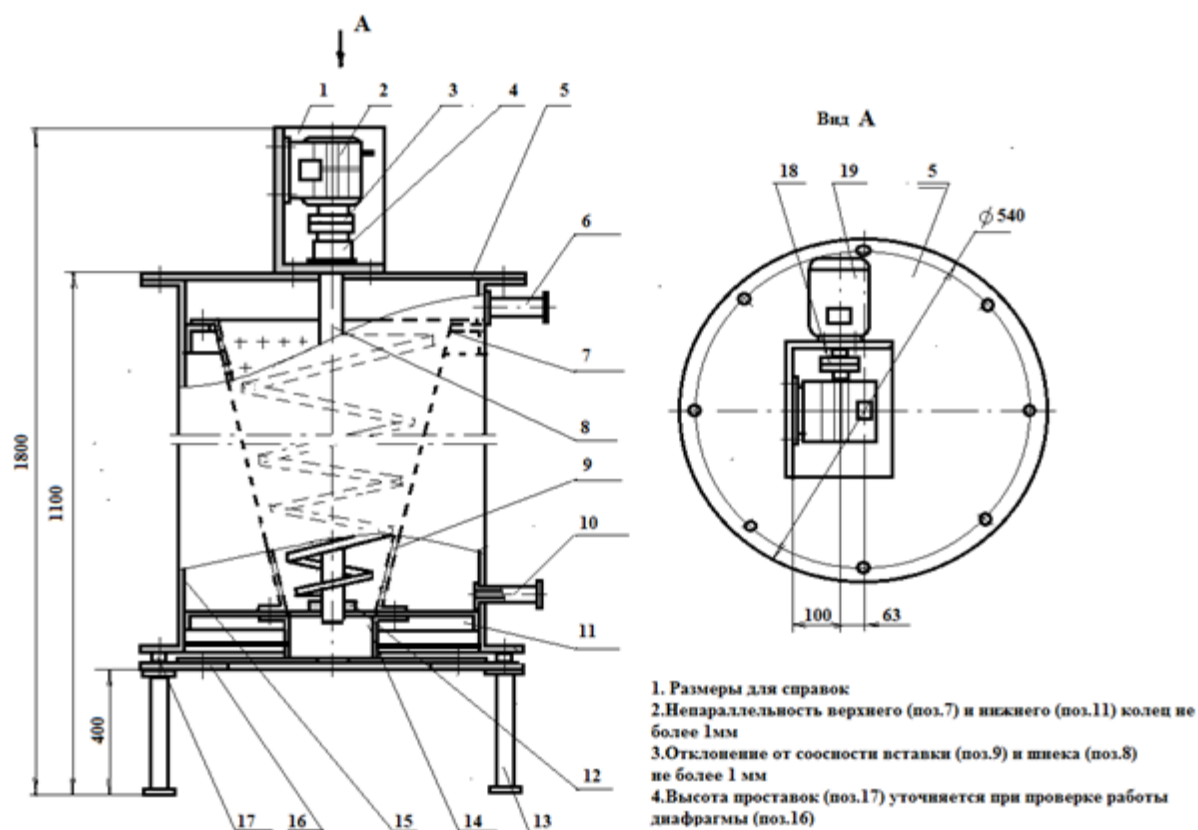


Рисунок 3.10 – 3D модель компактора с вертикальной компоновкой



1 – кронштейн, 2 – редуктор червячный, 3 – муфта втулочно-пальцевая, 4 – корпус подшипника, 5 – крышка верхняя, 6 – трубопровод верхний, 7 – кольцо верхнее, 8 – шнек конический, 9 – вставка перфорированная, 10 – трубопровод нижний, 11 – кольцо нижнее, 12 – подшипник нижний, 13 – подставка, 14 – вставка, 15 – корпус компактора, 16 – диафрагма многолепестковая, 17 – втулка опорная, 18 – муфта втулочно-пальцевая, 19 – электродвигатель

Рисунок 3.11 – Общий вид рабочей компоновки компактора

Таблица 3.2 – Спецификация основных сборочных единиц и деталей компактора

№ поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
1	2	3	4	5
		<i>Сборочные единицы</i>		
1	K.00.01.000	Кронштейн	1	
6	K.00.02.000	Трубопровод верхний	1	
9	K.00.03.000	Вставка перфорированная	1	
10	K.00.04.000	Трубопровод нижний	1	

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5
12	К.00.05.000	Подшипник нижний	1	Подшипник скольжения
13	К.00.06.000	Подставка	1	
15	К.00.06.000	Корпус	1	
16	К.00.07.000	Мембрана многолепестковая	1	
		<i>Детали</i>		
4	К.00.00.001	Корпус подшипника	1	Подшипник роликовый конический однорядный 7208А ГОСТ27365-87 D = 80 мм, d = 40мм, B18мм, C = 16мм
5	К.00.00.002	Крышка верхняя	1	
7	К.00.00.003	Кольцо верхнее	1	
8	К.00.00.004	Шнек конический	1	
11	К.00.00.005	Кольцо нижнее	1	
14	К.00.00.006	Вставка	1	
17	К.00.00.008	Проставка	8	
		<i>Комплектующие изделия</i>		
2	ГОСТ 13563-68	Редуктор червячный	1	Тип РЧУ-63-12,5-2-3-1 Универсальный червячный редуктор с межосевым расстоянием 63 мм, передаточным числом $u = 12,5$; схема сборки 2; расположение червячной пары 3 (с боковым червяком), без лап (исп.1)

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5
3	ГОСТ 21424-93	Муфта втулочно-пальцевая	1	Муфта 63-22-1-22-3-У3
18	ГОСТ 21424-93	Муфта втулочно-пальцевая	1	Муфта 125-25-1-40-4-У3
19	ГОСТ 19523-74	Электродвигатель	1	Тип 4А80ВУ3, исполнение М200 (фланцевое крепление), $U = 380В$, $N = 1,1$ кВт, $n = 1000\text{мин}^{-1}$

Универсальный червячный редуктор (поз.2, рисунок 3.11):

— Быстроходный конец вала червячного редуктора модели РЧУ-63-12,5-2-3-1 имеет размеры: диаметр $d = 22\text{мм}$, конусность 1:10, $l = 50$ (с резьбовым концом М12х1,25; $l_1 = 38\text{мм}$, ширина шпоночного паза 6мм.

— Тихоходный конец вала $d = 25\text{мм}$, $l = 42$ мм, ширина шпоночного паза 8мм.

— Допускаемые нагрузки при непрерывной работе до 12 часов в сутки для $A = 63$ мм и $u = 12,5$: мощность на валу червяка 1,0-1,2 кВт, момент на валу червячного колеса 10,4 кгс·м .

— КПД редуктора при $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$, $A = 63\text{мм}$, $u = 12,5$ равен 0,85 (табл. 29, стр.502, т.3 [21].

— Вместо червячного редуктора общего назначения РЧУ по ГОСТ 13563-68 допускается применять червячный одноступенчатый универсальный редуктор Ч-63 по ТУ2-656-1-32-75 с соответствующей припасовкой сопрягаемых размеров.

Трехфазный асинхронный электродвигатель серии 4А (поз.19, рисунок 3.11):

— Предназначен для длительной работы от сети переменного тока с частотой 50 Гц.

— Диаметр выходного конца вала 22мм, длина 50мм, масса двигателя исполнением М200 равна 21,5 кг, ширина шпоночного паза 6мм.

— Средний срок службы не менее 15 лет.

Муфта упругая втулочно-пальцевая (поз.3, рисунок 3.11).

— В компакторе используются две такие муфты: одна соединяет выходной конец вала двигателя с быстроходным коническим концом червячного редуктора (поз.18 рисунок 3.11), вторая служит для соединения выходного тихоходного конца вала червячного колеса редуктора с коническим шнеком компактора (поз.3, рисунок 3.11).

— Данные муфты используются для соединения соосных валов при передаче крутящего момента до 16 тыс. Нм. Полумуфты изготавливают в следующих исполнениях: с цилиндрическими отверстиями по ГОСТ 12080-66 или с коническими посадочными отверстиями по ГОСТ 12081-72.

— Муфта для соединения двигателя и редуктора (поз 3): номинальный вращающий момент 63Нм, диаметр отверстия полумуфты для вала двигателя 22мм, длина отверстия полумуфты 50 мм (исп.1). Диаметр отверстия второй полумуфты для быстроходного конического вала редуктора 22мм, конусность 1:10, длина полумуфты 50 (исп. 3). Наружный диаметр муфты 100 мм, масса 2,04 кг, общая длина муфты 104мм (табл. 5, стр.314, т.2 [28]).

— Муфта для соединения редуктора и конического шнека (поз 18): номинальный вращающий момент 125 Нм, диаметр отверстия полумуфты для тихоходного вала редуктора 25мм, длина отверстия полумуфты 60 мм (исп.1). Диаметр отверстия второй полумуфты для шейки вала шнека 40мм, длина полумуфты 56 (исп. 4). Наружный диаметр муфты 140 мм, масса 6,63 кг, общая длина муфты 169мм (табл. 5, стр.314, т.2 [28]).

3.5 Разработка вариантов конструктивно-технологических схем ресурсосберегающих поточных линий и основного оборудования для производства пищевых волокон из свекловичного жома

Структура поточной линии для производства пищевых волокон из гранулированного свекловичного жома по технологии КубГТУ (рисунок 1.15) включает следующие основные участки:

- участок приема и хранения сырья;
- участок дозирования и замачивания жома;
- участок промывки и отбеливания жома перекисью водорода;
- участок измельчения и механического обезвоживания;
- участок сушки и измельчения пищевых волокон, фасовки и упаковки [105].

Анализ структуры линии и входящего в нее оборудования показывает, что имеются критические точки, оказывающие наиболее существенное влияние на производительность линии и качественные показатели готовой продукции. Это, прежде всего, относится к оборудованию для приемки и кратковременного хранения гранулированного жома (поз.1-4,6,33,34, рисунок 1.15), конструкции замачивателя жома (поз.30, рисунок 1.15), шнекового промывателя (поз.27, рисунок 1.15), сушилki (поз.24, рисунок 1.15) и мельницы для измельчения волокон (поз.19, рисунок 1.15), недостатки которых рассмотрены выше и которые с позиций энергопотребления и эффективности обработки жома требуют поиска новых более рациональных решений.

Поэтому цель совершенствования данной линии для производства пищевых волокон заключалась в разработке и выборе более эффективных инженерных решений по энергосбережению, компактности и повышению индекса гибкости по видам обрабатываемого сырья (возможность обработки на линии свежего,

высушенного или гранулированного жома в зависимости от условий его поставки) [140].

Для достижения указанной цели были решены следующие задачи:

- совершенствование системы для приема, хранения и транспортирования сырья к технологическому оборудованию (для варианта использования в линии свежего или сухого жома), расчет и выбор оборудования;
- разработка конструктивно-технологической схемы замачивателя гранулированного или сухого жома со струйным или механическим перемешиванием суспензии и ее подогревом;
- разработка и расчет параметров конвейерного секционного устройства для промывки и отбеливания жома;
- обоснование и выбор для сушки и измельчения пищевых волокон энергосберегающей конструкции и мельницы для тонкого диспергирования волокон;
- разработка вариантов исполнения машино-аппаратурных схем линий;
- выбор и расчет технических параметров оборудования линий (приложение Б).

3.5.1 Разработка и выбор оборудования для поточных линий по переработке свекловичного жома

Оборудование участка линии для приема и кратковременного хранения сырья перед его обработкой. При выходной мощности цеха по готовому продукту 4000 кг в сутки при двухсменной работе часовая производительность линии составит 250 кг. При этом часовое потребление сухого или гранулированного жома будет равно 310 кг, суточное потребление (при двухсменной работе линии) – 4960 кг.

1 вариант – насыпное напольное складирование и хранение высушенного или гранулированного жома с его отбором и транспортированием конвейерами. Полезная площадь помещения для хранения высушенного или гранулированного свекловичного жома может быть определена по нагрузке приходящейся на 1 м² грузовой площади склада [105].

$$F = \frac{G\tau}{q} \beta, \quad (3.9)$$

где G – суточная потребность в гранулированном жоме, кг; τ – срок хранения, сут., (принимается $\tau = 5$); β – коэффициент увеличения площади на проходы, ($\beta = 1,6 \dots 2,2$); q – удельная нагрузка на единицу грузовой площади пола, кг, ($q = 2400$ кг/м² [35]).

В таблицы 3.3 дана характеристика норм нагрузки на 1 м² для гранулированного жома.

Таблица 3.3 – Норма нагрузки для гранулированного жома

Наименование	Емкость склада	Оборудование склада	Специальные требования
Склад для сухого или гранулированного жома	Емкость склада рекомендуется принимать для хранения 30 % сезонной выработки жома. Нагрузку на 1 м ³ общей площади склада допускается принимать из условия хранения 2,4 т при укладке насыпью высотой 12 м	Стационарные, передвижные, ленточные конвейеры, автопогрузчики и другие механизмы. Количество оборудования – в зависимости от местных условий и фронта погрузки.	Должны быть предусмотрены отдельные площадки для складирования

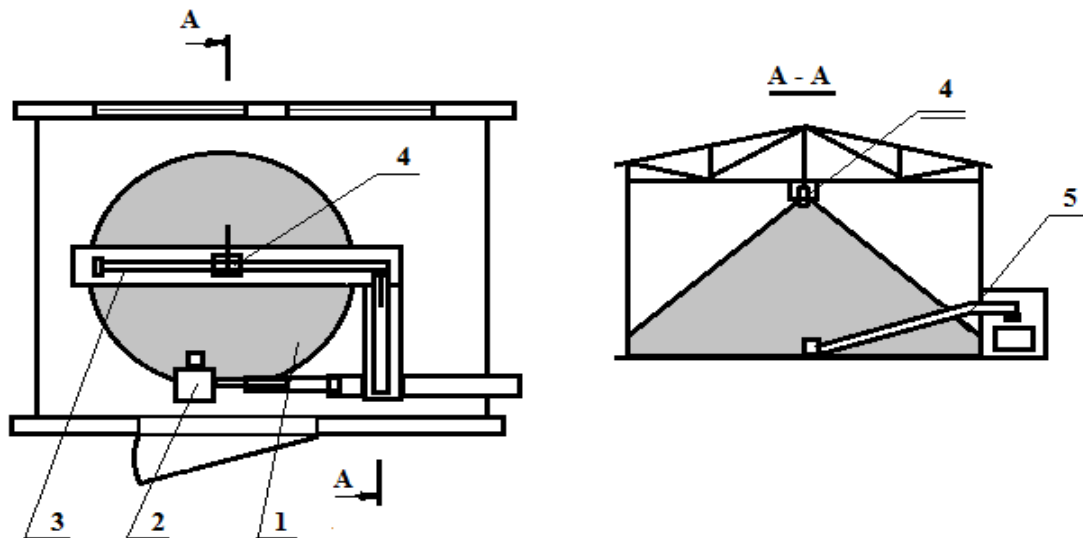
Принимаем 36 м².

На рисунке 3.12 показана схема хранения сухого или гранулированного жома насыпью [141].

Для загрузки склада жомом используется ленточный конвейер 3. Для равномерности загрузки применяется передвижная разгрузочная тележка 4 конвейера. Жом образует бург в виде прямоугольной пирамиды, стороны которой

имеют угол естественного откоса. Подача жома в производство осуществляется ковшовым шнековым погрузчиком 2 и стационарным наклонно-горизонтальным ленточным транспортером 5.

Вместимость такого склада составляет примерно 24,8т или 41м³ (при насыпной плотности сухого или гранулированного жома 500...600 кг/м³).



1 – бурт сухого или гранулированного жома, 2 – ковшовый шнековый конвейер, 3 – загрузочный ленточный конвейер, 4 - передвижная разгрузочная тележка, 5 – отгрузочный ленточный конвейер

Рисунок 3.12 – Вариант хранения и отгрузки сухого или гранулированного жома насыпью

Преимуществом такой системы хранения и подачи жома к технологическому оборудованию линии являются относительно невысокие затраты на оборудование. К недостаткам можно отнести низкий коэффициент использования всего объема склада. Однако такой вариант по сравнению с исходным вариантом позволяет снизить энергозатраты при подаче жома к технологическому оборудованию за счет исключения завальной ямы, автомобилеразгрузчика, шнековых питателей, норий и силосов и средств их оснащения.

2 вариант – насыпное напольное складирование и хранение высушенного или гранулированного жома с его отбором и транспортированием с помощью пневмосистемы.

Современный способ механизации и автоматизации перемещения насыпных грузов — это использование пневмотранспорта. Достоинства пневмотранспорта:

- рациональное использование площадей;
- отсутствие потерь перемещаемого продукта;
- соблюдение санитарно-гигиенических условий;
- легкость монтажа и обслуживания;
- гибкость в эксплуатации;
- возможность автоматизации управления.

При величине гранул перемещаемого материала 10...15 мм пневмотранспорт по сравнению с другими транспортными системами является наиболее предпочтительным.

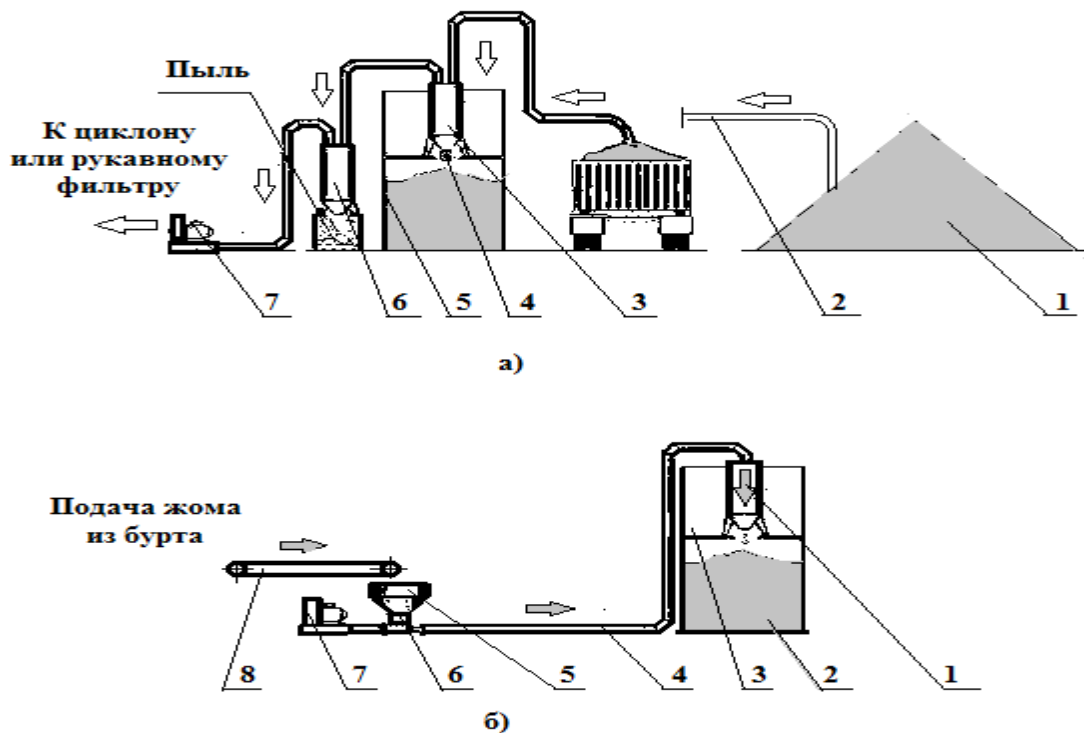
К недостаткам пневмотранспортирования можно отнести несколько повышенные энергозатраты на единицу массы перемещаемого материала по сравнению с транспортированием ленточными конвейерами, необходимость оснащения пневмоустановок оборудованием для отработанного воздуха.

Основными параметрами, характеризующими пневмотранспортную систему, являются производительность, длина трассы и высота подъема, концентрация транспортируемого материала, величина начального и остаточного давления (разрежения) для пневмоустановок нагнетающего или всасывающего действия [154].

По принципу действия и характеру движения воздушного потока пневмотранспортные установки делятся на всасывающие, нагнетающие и комбинированные (всасывающе-нагнетающие) (рисунок 3.13).

Всасывающие установки выпускаются промышленностью в вариантном исполнении в зависимости от величины остаточного давления: установки с низким остаточным давлением (до 0,01 МПа), средним (до 0,03 МПа) и высоким (до 0,09 МПа). Большая величина остаточного давления приводит к увеличению расхода воздуха и снижению его плотности и несущей способности. Положительным

моментом использования всасывающих установок является отсутствие пылевыведения.



(а): 1 – бургт сухого жома, 2 – заборник жома с гибким рукавом, 3- циклон-разгрузитель, 4 – шлюзовой затвор, 5 – силос, 6 – циклон-разгрузитель, 7 – воздуходувка

(б): циклон-разгрузитель, 2 – жом, 3 – силос, 4 – продуктопровод, 5 – загрузочный бункер, 6 – эжектор, 7 – воздуходувка, 8 - конвейер

Рисунок 3.13 – Схемы всасывающей (а) и нагнетающей (б) пневмотранспортных установок для сухого или гранулированного жома

Более высокая массовая концентрация транспортируемых материалов .при применении всасывающих установках может быть обеспечена на небольшой протяженности продуктопроводов, поэтому для транспортирования дисперсных материалов со средней и высокой концентрацией по протяженным продуктопроводам целесообразно использовать установки нагнетающего действия, низкого давления (до 0,11 МПа), среднего (до 0,2 МПа) или высокого (до 0,9 Па) давления.

Пневмотранспортные системы содержат питатели, систему воздухопроводов и материалопроводов, циклоны-разгрузители, воздухоудвные машины и приемники материала.

Питатели. Питатель всасывающей установки выполняет функцию загрузочного устройства, а питатель нагнетающей установки создает аэросмесь определенной концентрации. Распространенным загрузочным устройством являются всасывающие сопла.

Питатели нагнетающих установок более разнообразны по конструкции. В отраслях промышленности в установках низкого давления используются эжекторные, рукавные питатели, шлюзовые и шахтные затворы. В установках среднего и высокого давления устанавливают шлюзовые питатели, камерные пневмонасосы

Разгрузочные устройства служат для выделения из пневмопотока транспортируемых материалов или пыли.

Материалопроводы. Материалопроводы должны быть герметичны, обладать повышенной износостойкостью, иметь внутреннюю поверхность, обеспечивающую минимальное сопротивление транспортируемому материалу.. Практика эксплуатации пневмосистем показывает, что к нарушению режима, возникновению вихрей и образованию затворов в трубах чаще всего приводят смещения торцов труб в местах стыков.

Воздуходувные машины. В пневмотранспортных установках могут использоваться различные по исполнению и принципу действия воздухоудвные машины: от широко применяемых центробежных вентиляторов до поршневых компрессоров. Выбор исполнения воздухоудвной машины определяется количеством транспортируемого материала и расчетным давлением.

Расчет пневмотранспортной установки ведется по методикам [48, 50, 157, 158]. При расчете определяются расчетная нагрузка и скорость воздушного потока воздуха, диаметр материалопровода и воздуховода, потери давления, размеры

шлюзовых затворов и циклонов-разгрузителей, подача и давление воздуха, создаваемое вентилятором, мощность двигателя вентилятора и другие параметры.

Проведем прикидочный расчет пневмосистемы для транспортирования сухого жома к технологическому оборудованию поточной линии для производству пищевых волокон.

1. Расчетная нагрузка, кг

$$G_i = G_c I k_{зан} \quad (3.10)$$

где $k_3 = 1.15 \dots 1,2$ – коэффициент запаса; G_c – суточная производительность, т/сутки; I = нагрузка по балансу, %.

Суточный расход (при работе в две смены) жома 4,96 т/сутки.

Нагрузка по балансу 15%

Расчетная нагрузка $G_i = 0,104$ кг/с

2. Расчетная скорость воздуха в материалопроводе по данным ВНИИЗ [50], м/с

$$V_{возд} = k(10,5 + 0,57V_{вит}), \quad (3.11)$$

где $V_{вит}$ – скорость витания гранул, м/с; $k = 1,5$ – коэффициент устойчивого транспортирования гранул. При средней скорости витания гранул жома $V_{вит} = 2,8$ м/с.

$$V_{возд} = 18,1 \text{ м/с.}$$

3. Диаметр материалопровода, м

Материалопровод при разгрузке жома из автомобиля или при заборе из бурта и подачи его в силос состоит из двух участков горизонтального и вертикального. Учитывая, что участки материалопровода с углом наклона к горизонту менее или равные 45° включаются в расчет как горизонтальные, находим диаметр горизонтального участка.

$$D_1 = 10^{-2} G_i^{0,33} V_{вит}^{-0,28} L_i^{0,035} V_{возд} = 0,01 \cdot 0,47 \cdot 0,75 \cdot 1,1 \cdot 18,1 = 0,070 \text{ м.}$$

При изменении L_i от 2 до 50м величина $L_i^{0,035}$ изменяется незначительно, поэтому можно принять $L_i^{0,035} = 1.1$. Диаметр материалопровода D_2 на вертикальном участке принимаем равным D_1 .

$$D_1 = 70 \text{ мм.}$$

$$D_2 = 70 + 10 = 80 \text{ мм.}$$

4. Фактическая скорость на участках и фактический расход воздуха

$$V_{2\text{факт}} = \frac{D_2}{1,1 \cdot 0,01 G_i^{0,33} V_{\text{внт}}^{-0,28}} = \frac{0,08}{1,1 \cdot 0,01 \cdot 0,47 \cdot 0,75} = 20,5 \text{ м/с.}$$

$$Q_{\text{факт}} = \frac{\pi D_2^2}{4} V_{2\text{факт}} = \frac{3,14 \cdot 0,08^2}{4} 20,5 = 0,103 \text{ м}^3/\text{с.}$$

$$V_{1\text{факт}} = \frac{4 Q_{\text{факт}}}{\pi D_1^2} = 26,7 \text{ м/с.}$$

5. Плотность воздуха, входящего в приемное устройство

$$\rho_{\text{возд}} = P_{\text{атм}} / RT, \quad (3.12)$$

где $R = 288$ – газовая постоянная, Дж/(кг·К); T – температура в градусах Кельвина, $T = 273 + t^0$, $t = 20^0\text{C}$; $P_{\text{атм}} = 1,01 \cdot 10^5$ – атмосферное давление, Па.

$$\rho_{\text{возд}} = 1,196 \text{ кг/м}^3.$$

6. Фактическая весовая концентрация аэросмеси, кг/кг $\mu_{\text{факт}} = G_i / (\rho_{\text{возд}} Q_{\text{факт}})$

$$\mu_{\text{факт}} = 0,104 / 1,196 \cdot 0,103 = 0,845 \text{ кг/кг.}$$

7. Потери давления на горизонтальном участке материалопровода, Па

$$H_{\text{з.ч.1}} = 1,2 \cdot 0,01 L_1 V_{1\text{факт}}^{1,75} D_1^{-1,25} = 1,2 \cdot 0,01 \cdot 10 \cdot 313,6 \cdot 27,77 = 1045,0 \text{ Па,}$$

где L_1 – длина горизонтального участка. Принимаем в первом приближении $L_i = 10 \text{ м.}$

$$K_{\text{з1}} = \frac{A_z D_1}{V_{\text{факт1}}^{1,25}} = 110 \cdot 0,07 / 60,7 = 0,13.$$

$A_z = 110$ – поправочный коэффициент

$$H_{\text{з.1}} = H_{\text{з.ч.1}} (1 + K_{\text{з1}} \mu_{\text{факт}}) = 1045,0 (1 + 0,13 \cdot 0,845) = 1160,0 \text{ Па.}$$

8. Потери давления в отводе на второй силос (в случае использования двух силосов), Па

$$L_{отс} = \frac{\pi r \alpha}{180}, \quad (3.13)$$

где $r = 3,5$ м – радиус отвода; α – угол отвода, $\alpha = 60^\circ$.

$$L_{отс} = 3,66 \text{ м.}$$

$$K_{p1,2} = E \left(\frac{r}{D_2} \right)^{-m} = 0,99(3,5/0,07)^{-0,15} = 0,55,$$

где $m = 0,15$; $E = 0,99$ – эмпирические коэффициенты.

$$K_{отс,1,2} = \frac{\dot{B} D_2}{V_{факт,2}^{1,25} \left(\frac{r}{D_2} \right)^m} = \frac{500 \cdot 0,08}{20,5^{1,25} \cdot 43,75^{0,15}} = 0,52,$$

где $\dot{B} = 500$ – эмпирический коэффициент.

$$H_{отс,ч.2} = 1,2 \cdot 0,01 L_{отс} V_{факт2}^{1,75} D_2^{-1,25} = 1,2 \cdot 0,01 \cdot 3,66 \cdot 197,5 \cdot 23,5 = 203,8 \text{ Па.}$$

$$H_{отс,2} = H_{отс,ч.2} (1 + K_{отс,2} \mu_{факт}) + \beta K_{p1,2} \frac{\rho_{воз} V_{факт2}^2}{2} \mu_{факт} = 203,8 \cdot (1 + 0,52 \cdot 0,845) + 0,85 \cdot 0,55 \frac{1,196 \cdot 20,5^2}{2} 0,845 = 392,6 \text{ Па,}$$

где $\beta = 0,85$ – эмпирический коэффициент

9. Потери давления на вертикальном участке материалопровода, Па

$$W_2 = 0,18 G_i^{0,067} L_{i2}^{0,25} D_2^{-0,317} V_{сум}^{-0,2} V_{факт2} = 0,18 \cdot 0,104^{0,067} \cdot 5^{0,25} \cdot 0,232^{-0,317} \cdot 2,8^{-0,2} \cdot 17,85 = 0,18 \cdot 0,86 \cdot 1,5 \cdot 2,23 \cdot 0,81 \cdot 20,5 = 8,6 \text{ м/с,}$$

где W_2 – средняя скорость гранул, м/с; L_{i2} – длина вертикального участка.

Принимаем 5м.

10. Потери давления при перемещении материала, Па

$$H_{м2} = G_i (1,59 W_2 D_2^{-2} + 12,5 L_{i2} D_2^{-2} W_2^{-1} + 5,35 \cdot 10^{-3} L_{i2} D_2^{-3} W_2) = 0,104 (1,59 \cdot 8,6 \cdot 156,25 + 12,5 \cdot 5 \cdot 156,25 \cdot 0,12 + 5,35 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 1953,1 \cdot 8,6) = 353,4 \text{ Па}$$

11. Потери давления при перемещении чистого воздуха, Па.

$$H_{сч2} = 1,2 \cdot 10^{-2} L_{i2} V_{факт2}^{1,75} D_2^{-1,25} = 1,2 \cdot 0,01 \cdot 5 \cdot 197,5 \cdot 23,5 = 278,5 \text{ Па.}$$

12. Потери давления на вертикальном участке

$$H_{с2} = H_{сч2} + H_{м2} = 278,5 + 353,4 = 631,9 \text{ Па.}$$

13. Потери давления в материалопроводе

$$H_{\text{мт}} = H_{\text{нр}} + H_{\text{з1}} + H_{\text{з2}} + H_{\text{отс}}, \quad (3.14)$$

где $H_{\text{нр}}$ – потери давления в приемном устройстве, Па; $H_{\text{з1}}, H_{\text{з2}}$ – потери давления на горизонтальном и вертикальном участках материалопровода соответственно, Па; $H_{\text{отс}}$ – потери давления в отводе, Па.

$$H_{\text{нр}} = \frac{\zeta_{\text{нр}} \rho_{\text{возд}} V_{\text{факт1}}^2}{2} = \frac{(1,8 \cdot 1,196 \cdot 26,7^2)}{2} = 767,3 \text{ Па},$$

где $\zeta_{\text{нр}} = 1,8$ при заборе продукта из насыпи

$$H_{\text{мт}} = 767,3 + 1160,0 + 631,9 + 392,6 = 2951,8 \text{ Па}.$$

Таким образом, потери давления в пневмосистеме $H_{\text{мт}}$ не превышают лимита по давлению равного 9,5 кПа.

Таким образом, из проведенных расчетов можно сделать вывод, что при комплектовании начального участка линии по приему хранению и транспортированию сухого или гранулированного жома могут быть использованы как транспортерная, так и пневматическая системы. Пневматическую систему нагнетательного действия для транспортирования жома рационально использовать, если предприятие, планирующее наладить производства пищевых волокон из жома, оборудовано центральной компрессорной станцией, в этом случае расходы на ее внедрение снижаются.

3 вариант – участок хранения и транспортирования свежего влажосодержащего жома.

Применение данного варианта непосредственной переработки свежего жома после его выхода из диффузионного аппарата в линии по производству пищевых волокон целесообразно лишь в том случае, если планируется ее создание непосредственно на сахарном заводе. В этом случае жом может направляться в силосы, где будет не только храниться, но и может подвергаться предварительной промывке, компактированию на выходе из силосов для удаления жидкой фракции и далее поступать к основному технологическому оборудованию для получения из него пищевых волокон.

На рисунке 3.14 приведена схема одного из возможных вариантов компоновки участка подготовки свежего жома.

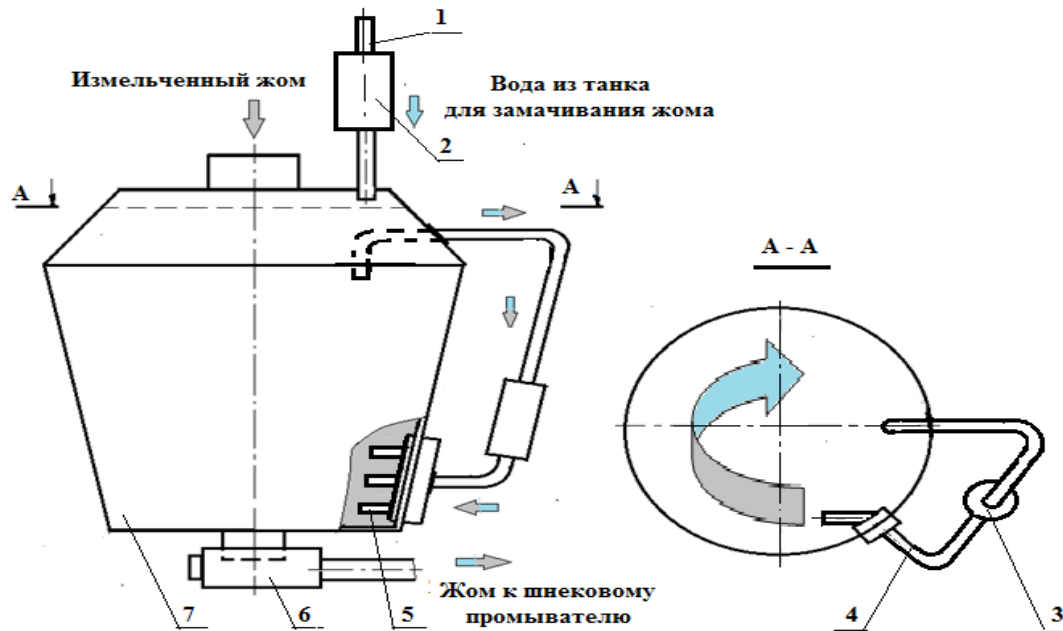
Замачиватель гранулированного жома. В линии (рисунок 1.15) для замачивания жома используется танк конусообразной формы (поз.30) емкостью 5 м^3 с установленными на наружных трубопроводах двумя центробежными насосами (поз.28), служащими для циркуляции воды в процессе замачивания. Жом подается в танк из измельчителя гранул (поз.5) через дозатор (поз.31) и шнековый питатель (поз.6), а вода для замачивания – из танка оборотной воды (поз.8). Далее жом с помощью кулачкового насоса (поз.29) по трубопроводу поступает в трехзонный шнековый промыватель (поз.27). Данное решение имеет следующие недостатки:

— забор жидкости осуществляется центробежными насосами по диаметру танка в нижней части, и она под давлением подается в его верхнюю часть. Такое исполнение с позиции эффективного смешивания воды и сухого жома не является рациональным, поскольку не обеспечивается циркуляция потока по всему объему танка. Одним из решений, на наш взгляд, было бы тангенциальное расположение труб для выхода струй в нижней части танка с диаметральной забором жидкости сверху, а оптимальным вариантом – использование всего одного насоса с тангенциальной нижней подачей воды через несколько сопел, направленных под разными углами;

— замачивание жома осуществляется водой при ее температуре равной 20°C . Для интенсификации процесса замачивания целесообразно использовать теплую воду с температурой $50\text{--}60^{\circ}\text{C}$, для чего требуется доработка танка-замачивателя по его оснащению проходным подогревателем или дополнительной рубашкой, или, как более простой вариант, использовать типовой реактор с лопастной мешалкой и косвенным подогревом корпуса замачивателя через рубашку реактора.

На рисунке 3.15 приведен вариант исполнения модернизированного узла подачи струй воды, обеспечивающих интенсивную циркуляцию водной суспензии

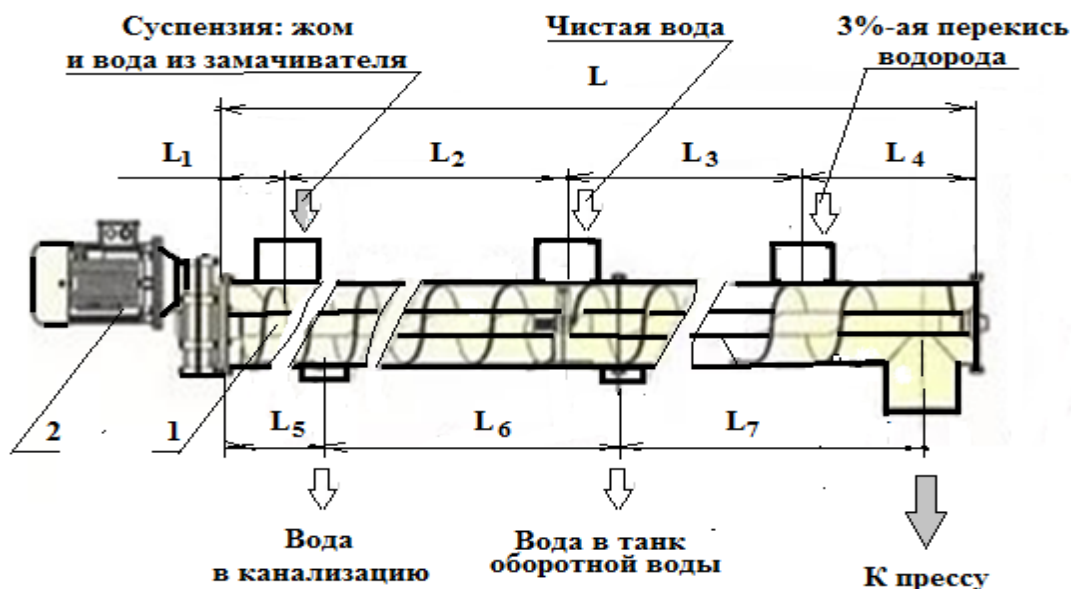
жома по всему объему замачивателя с установкой на циркуляционной трубе проходного подогревателя воды, поступающей из танка оборотной воды.



1 – трубопровод, 2 – насос кулачковый, 3 – проходной подогреватель, 4 – трубопровод циркуляционный, 5 – сопла, 6 – насос кулачковый, 7 – танк-замачиватель жома

Рисунок 3.15 – Схема модернизированного танка-замачивателя жома с тангенциальным движением струй воды и их подогревом

Шнековый промыватель жома. В исходной линии для промывания и обработки замоченного жома перекисью водорода используется промыватель (поз.27 рисунок 1.15), изготовленный на базе серийно выпускаемого винтового конвейера длиной 4м и содержащий две зоны промывки и удаления промывочной воды и зону отбеливания. Обработанный перекисью водорода жом из третьей зоны поступает в измельчитель (рисунок 3.16). Корпус винтового конвейера дополнительно оснащен тремя входными и выходными патрубками для подачи и удаления воды и перекиси водорода из соответствующих танков. Длина первой предварительной зоны промывки составляет 1000мм, второй – 1200мм и зоны отбеливания – 1000мм.



1 – шнековый движитель, 2 – мотор-редуктор

Рисунок 3.16 – Схема шнекового трехзонного промывателя жома

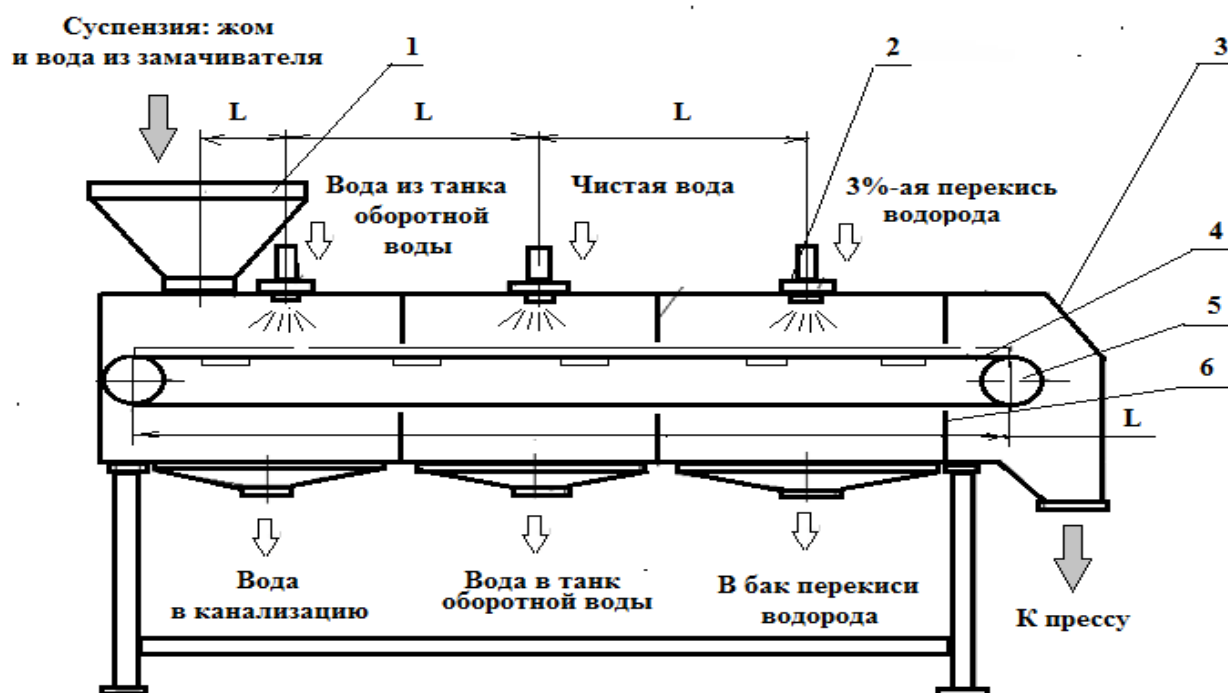
Для привода шнека используется двухступенчатый мотор-редуктор: тип 4МЦ2С-100-35,5-3-Г320-Ц У3 мощностью 3 кВт и частотой вращения $35,5 \text{ мин}^{-1}$.

Основным недостатком данной конструкции промывателя является недостаточная эффективность промывки и отбеливания жома, поскольку в межвитковом пространстве шнека жом неизбежно уплотняется и вследствие этого не обеспечивается равномерное проникновение влаги по всему объему материала. Поэтому для качественной промывки и отбеливания перекисью водорода может потребоваться увеличение времени движения жома по зонам, обеспечиваемое снижением частоты вращения шнека за счет дополнительного оснащения мотор-редуктора тиристорным преобразователем частоты, а это негативно скажется на пропускной способности промывателя.

На наш взгляд, наиболее рациональным решением может явиться использование промывателя разработанного на базе ленточного транспортера с сетчатой транспортной лентой и рядами форсунок в каждой рабочей зоне промывателя. При таком исполнении промывателя достигаются следующие положительные результаты:

- жом распределяется равномерным слоем по всей ширине ленты и при транспортировании не уплотняется;
- разбрызгивающие устройства в виде форсунок захватывают всю ширину ленты и дают факел по всей зоне обработки;
- между зонами легко выполнить разграничительные перегородки, не допускающие смешивания потоков подаваемых жидкостей;
- возможность регулирования в широких пределах скорости ленты.

Предлагаемая схема промывателя приведена на рисунок 3.17.



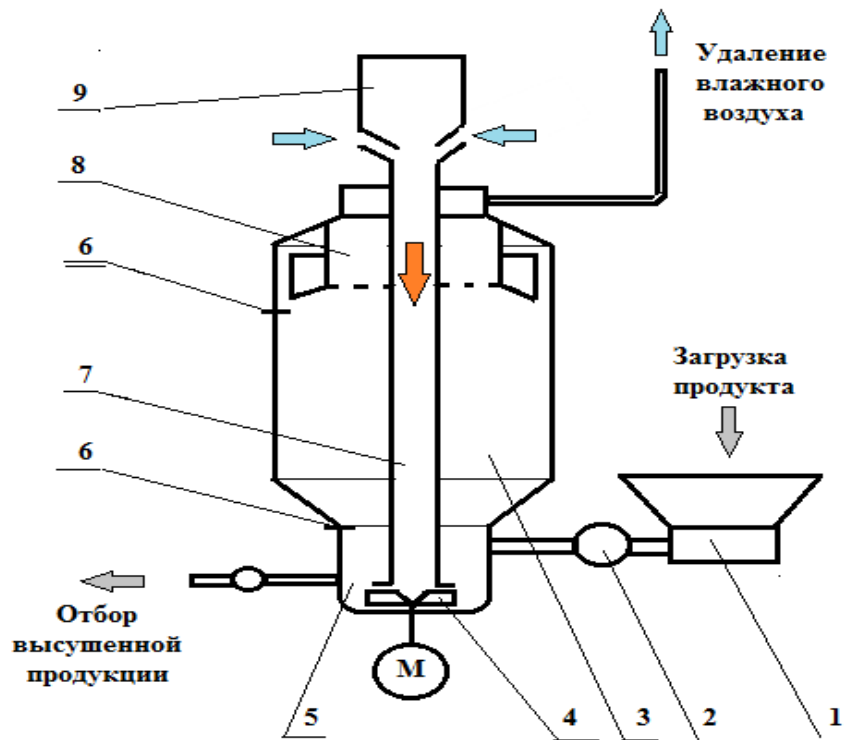
1 – бункер для загрузки жома, 2 – форсунки, 3 – ограждение, 4 – сетчатая лента, 5 – ленточный транспортер, 6 –перегородки отсеков орошения.

Рисунок 3.17 – Схема промывателя с ленточным транспортером

Сушильная установка. В линии для сушки влагосодержащих пищевых волокон, полученных из обработанного жома, установлена прямоточная аэродинамическая сушильная установка с газовым горелкой «Циклон-2000СА» фирмы «Агрокомсервис» (г.Калуга) выходной мощностью 5000 кг/ч и расходом газа на сушку 400 м³/ч. Данная сушилка представляет собой сложный комплекс,

содержащий несколько функциональных устройств со своими приводами: шнековые дозаторы, сепараторы пыли, воздухопроводы, теплогенератор, газовую горелку, дезинтегратор, выгрузной шнек, вентиляторы, циклон, охладитель продукта.

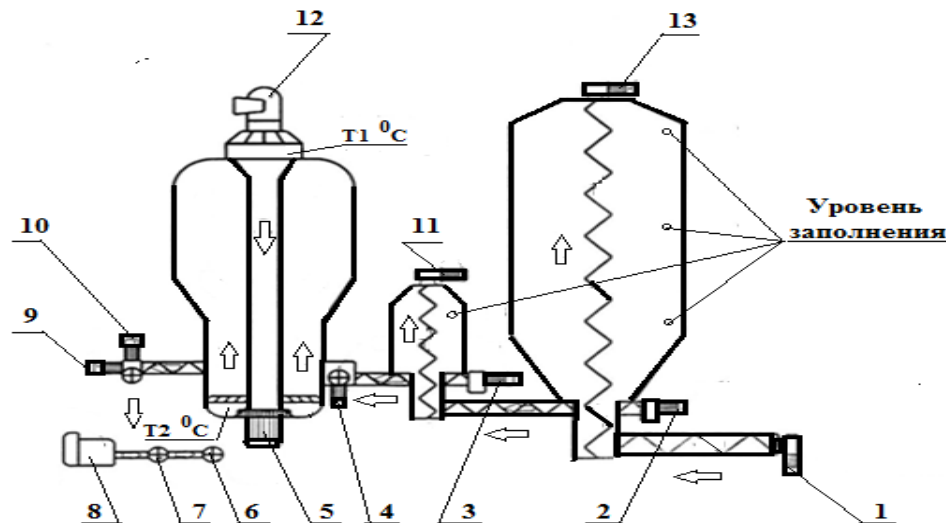
Схема сушильной установки и ее исполнительных органов приведена на рисунках 3.18 и 3.19.



1 – дозатор, 2 – дезинтегратор, 3 – ресивер, 4 – вентилятор, 5 – сушильная камера, 6 – датчик температуры, 7 – воздухопровод, 8 – сепаратор, 9 – теплогенератор

Рисунок 3.18 – Схема сушильной установки

Основным условием при разработке создании линейных поточных линий в соответствии с теорией технологического потока [113] является обеспечение сопряженности по пропускной способности и производительности входящего в линию оборудования. В противном случае в линии неизбежны участки с параллельными расходящимися и сходящимися потоками и, как результат, установка дублирующих машин и аппаратов.



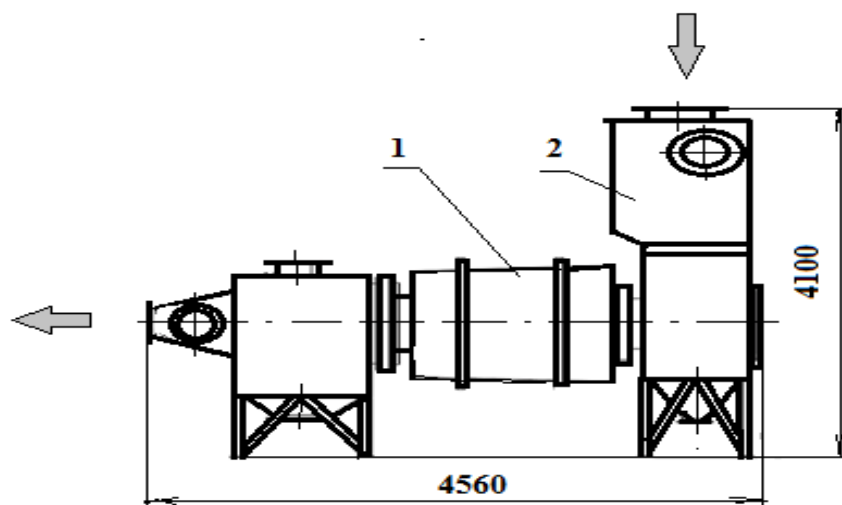
1 – электродвигатель подачи влажного сырья в буфер (2,2 кВт); 2 – электродвигатель привода питателя для подачи влажного сырья в дозатор (1,5 кВт); 3 – электродвигатель привода питателя для подачи влажного сырья в сушилку (0,75 кВт); 4 – электродвигатель дезинтегратора (3 кВт); 5 – электродвигатель вентилятора (45кВт); 6, 7 – электродвигатель шлюзового затвора (0,55 кВт); 8 – электродвигатель воздуходувки (7,5 кВт); 9 – электродвигатель механизма отбора готовой продукции (0,37 кВт); 10 – электродвигатель шлюзового затвора (0,28 кВт); 11 – электродвигатель дозатора (1,5 кВт); 12 – электродвигатель газовой горелки (4 кВт); 13 – электродвигатель буфера (3,5 кВт)

Рисунок 3.19 – Схема сушильного агрегата и привода исполнительных органов

Сушильная установка, предусмотренная в исходной линии, имеет большую производительность, которую не может обеспечить отдельное предшествующее ей оборудование и его придется дублировать. Это приведет к существенному усложнению линии.

Данная сушилка характеризуется многодвигательным приводом входящих в нее исполнительных элементов, высоким расходом энергоресурсов, большими размерами и металлоемкостью, что приведет к увеличению затрат на ее техническое обслуживание. Кроме того, стоимость данного агрегата вместе с газовой горелкой составляет 7,6 млн. руб. [105], поэтому ее применение может быть экономически оправдано при значительно большей производительности линии, чем это заявлено.

Для сушки измельченного полуфабриката жома целесообразно использовать более дешевую и менее энергоемкую барабанную сушилку модели СБТ 3000 фирмы «Строймеханика» (рисунок 3.20).



1 – сушильный барабан, 2 – приемное устройство

Рисунок 3.20 – Схема барабанной сушилки модели СБТ-3000

Технические данные сушилки СБТ 3000 приведены в таблице 3.4[142].

Таблица 3.4 – Технические параметры барабанной сушилки СБТ-3000

Наименование параметров	Значения
1	2
Объем рабочего пространства, м ³	3,2
Размеры сушильного барабана, D x L, м	1,6 x 1,65
Количество скоростей барабана, шт.	3
Скорость вращения барабана, мин ⁻¹	5, 10, 15
Режим работы	непрерывный
Производительность по сухому материалу, т/ч	до 3
Относительная влажность материала: - на входе, % - на выходе, %	12-14 не более 5
Удельный расход тепла на 1 кг испаренной влаги, кДж	4605

1	2
Теплоноситель и его теплотворная способность,	Природный газ, 92 МДж/м ³
Тип горелки	ПИБ-450А
Расход теплоносителя, м ³ /ч	15
Количество потребляемого воздуха, нм ³ /ч	4760
Давление газа, кг/см ² - перед сушильным барабаном - перед горелкой	300 150
Давление воздуха, кг/см ² - перед сушильным барабаном - перед горелкой	450 150
Установленная мощность, кВт	18,6
Содержание окислов азота в отходящих газах, мг/м ³	95

Одним из вариантов для комплектования линии в зависимости от ее выходной мощности может стать применение серийно выпускаемой и положительно зарекомендовавшей себя в эксплуатации газовой конвейерной туннельной установки на три или пять секций модели А2-ШБГ Шебекинского машиностроительного завода.

Однако более рациональными вариантами, на наш взгляд, является использование в линии для сушки пищевых волокон универсальной конвейерной или модульной барабанной сушилок с направленным подводом инфракрасного излучения, собираемых в зависимости от требуемой производительности линии из отдельных секций-модулей [5, 17, 116]. Данные установки позволяют снизить энергозатраты на сушку в 4,5-9 раз по сравнению с использованием других теплоносителей и обеспечивают регулирование заданной температуры в рабочей зоне сушилки в диапазоне от 50 до 400⁰С с точностью $\pm 1,5^0$ С.

3.5.2 Разработка вариантов конструктивно-технологических схем поточных линий

Разработку новых вариантов конструктивно-технологических схем поточных линий для производства пищевых волокон будем вести для сухого, гранулированного и свежего жома с использованием рассмотренных выше предложений по основному оборудованию.

Одними из основных требований при разработке вариантов являлось:

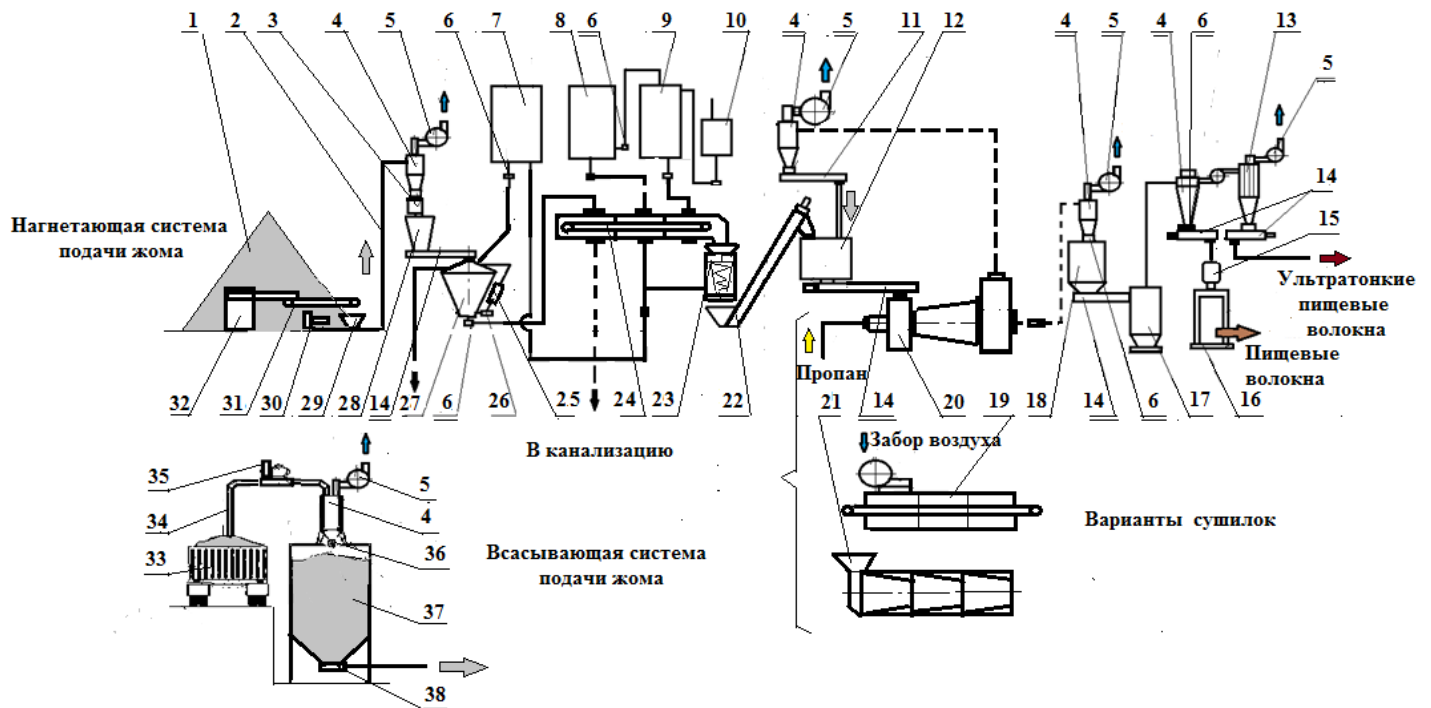
- обеспечение максимальной степени унификации линий при выборе технологического оборудования линии;
- различия в структуре линий должны учитывать особенности их месторасположения с позиций сокращения издержек при реализации;
- линия должна быть в максимальной степени оснащена устройствами контроля и регулирования технологического процесса получения волокон.

При разработке конструктивно-технологической схемы обращалось внимание на то, что при производстве пищевых волокон из свежего жома, получаемого сразу после выхода из диффузионных аппаратов, линию целесообразно использовать на самом сахарном заводе. Линии, использующие в качестве сырья сухой или гранулированный жом, к месту получения жома практически не привязаны.

Вариант машино-аппаратурной схемы поточной линии для производства пищевых волокон из сухого или гранулированного жома (рисунок 3.21)

В данном варианте компоновки по сравнению с исходной схемой линии используются следующие новые конструктивно-технологические решения:

- пневматическая система подачи сухого или гранулированного жома к технологическому оборудованию, позволяющая сократить номенклатуру и количество механического транспортного оборудования (во всасывающем или нагнетающем исполнении по заказу);



1 – борт жома, 2 – трубопровод нагнетающей системы, 3 – измельчитель гранул (устанавливается для гранулированного жома), 4 – циклон-разгрузитель, 5 – центробежный вентилятор, 6 – насос кулачковый, 7 – танк оборотной воды, 8 – танк чистой воды, 9 – танк с 3-ех% раствором перекиси водорода, 10 – танк с 37-и% раствором перекиси водорода, 11 – питатель шнековый, 12 – дозатор многовальневый, 13 – фильтр рукавевый, 14 – питатель шнековый, 15 – бункер-накопитель, 16 – станция упаковки с ленточным транспортером, 17 – мельница; 18 – вибропитатель мельницы, 19 – туннельная секционная сушилка с направленным подводом ИК излучения, 20 – газовая барабанная сушилка СБТ -3000, 21 – модульная барабанная сушилка с направленным подводом кия, 22 – наклонный винтовой конвейер, 23 – компактор шнековый с многолепестковой диафрагмой, 24 – ленточный промыватель жома, 25 – проточный нагреватель, 26 – насос центробежный, 27 – танк-замачиватель жома, 28 – бункер-дозатор, 29 – загрузочный бункер с эжектором, 30 – воздуходувка, 31 – транспортер ленточный, 32 – транспортер ковшовый, 33 – автомобиль с жомом, 34 – трубопровод всасывающей системы, 35 – воздуходувка, 36 –эжектор, 37 – силос для хранения жома, 38 – затвор шлюзовой

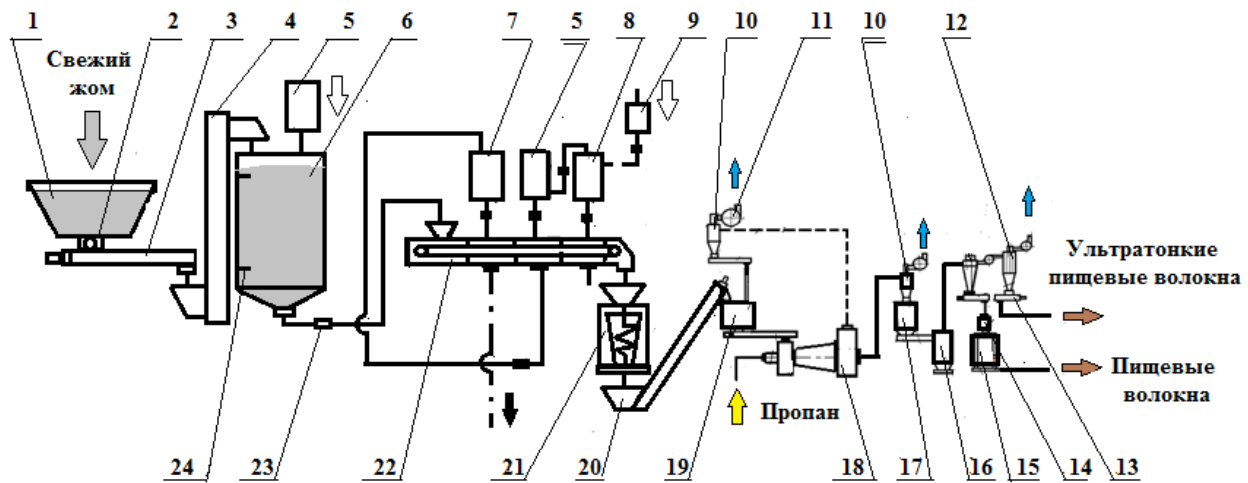
Рисунок 3.21 – Машино-аппаратурная схема поточной линии для получения пищевых волокон из сухого и гранулированного жома

- танк-замачиватель жома, обеспечивающий интенсивную циркуляцию суспензии за счет ее тангенциального движения и подогрева;
- трехсекционный ленточный промыватель жома, обеспечивающий равномерное распределение промываемого слоя жома на ленте транспортера, интенсивное форсуночное распыление воды и перекиси водорода и более надежное разделение секций перегородками;
- вертикальный шнековый компактор с коническим шнеком и многолепестковой упругой диафрагмой, позволяющий осуществлять эффективный отжим промытого жома перед его сушкой;
- энергосберегающие компактные высокопроизводительные барабанные или ленточные сушилки с газовой или инфракрасной сушкой пищевых волокон;
- техническая развязка потоков готовой продукции на выходе циклона-разгрузителя и рукавного фильтра по гранулометрическому составу частиц пищевых волокон за счет использования двух шнековых питателей вместо одного общего.

Параметры линии:

— производительность линии по готовому продукту, кг/ч	650 (10-20т/сутки).
— режим работы линии, ч	2 смены по 8 часов
— число рабочих в смену, чел	6
— потребление исходного жома, кг/ч	800
— потребление электроэнергии, кВтч	129,6
— потребление природного газа, м ³ /ч	30 (среднее значение)
— потребление воды, м ³ /ч	12000(среднее значение)
— потребление H ₂ O ₂ ,(37%), л/ч	250
— канализационные стоки, л/ч	9000
— производительность упаковочной машины, мешков/ч	50

Вариант машино-аппаратурной схемы поточной линии для производства пищевых волокон из свежего жома (рисунок 3.22)



1 – приемный бункер; 2,3, 13 – шнековый питатель, 4 – нория, 5 – танк чистой воды, 6 – силос, 7 – танк с водой первой промывки, 8 - танк с 3-ех% раствором перекиси водорода, 9 - танк с 37-и% раствором перекиси водорода, 10 – циклон-разгрузитель, 11 – центробежный вентилятор, 12 – рукавный фильтр, 14 – бункер-накопитель, 15 - станция упаковки с ленточным транспортером, 16 – мельница, 17 – вибропитатель мельницы, 18 - газовая барабанная сушилка СБТ -3000, 19 – дозатор многовальный, 20 – наклонный винтовой конвейер, 21 - компактор шнековый с многолепестковой диафрагмой, 22 – ленточный промыватель жома, 23 – насос кулачковый, 24 – датчик уровня

Рисунок 3.22 – Машино-аппаратурная схема поточной линии для получения пищевых волокон из свежего жома

Свежий жом разгружается в приемный бункер 1, из которого отбирается шнековыми питателями 2 и 3, подающими жом в норию 4. Далее жом поступает в силос 6, куда добавляется чистая вода из танка 5 для получения суспензии. Уровень заполнения силоса контролируется датчиками 24. Из силоса с помощью кулачкового насоса 23 суспензия поступает в ленточный трехсекционный промыватель 22, последовательно обрабатывается чистой водой и перекисью водорода из танков 5,7,8. Из промывателя обработанный перекисью жом прессуется в вертикальном шнековом компакторе с многолепестковой упругой диафрагмой 21 и из него через наклонный винтовой питатель 20 поступает в многовальный дозатор 19, где происходит окончательное отбеливание жома. Из дозатора через шнековый питатель

жом направляется в сушилку 18. После сушки высушенные пищевые волокна направляются в циклон-разгрузитель 10 и далее в вибропитатель 17 мельницы тонкого помола 16. Измельченные волокна воздушным потоком подаются в последовательно установленные циклон-разгрузитель и рукавный фильтр 12, из которых волокна, рассортированные по гранулометрическому составу, через шнековые питатели направляются в бункер-накопитель 14 и далее на станцию упаковки 15.

Параметры линии:

— производительность линии по готовому продукту, кг/ч	650 (10-20т/сутки).
— режим работы линии, ч	2 смены по 8 часов
— число рабочих в смену, чел	6
— потребление исходного жома, кг/ч	800
— потребление электроэнергии, кВтч	107,1
— потребление природного газа, м ³ /ч	30 (среднее значение)
— потребление воды, м ³ /ч	12000(среднее значение)
— потребление H ₂ O ₂ ,(37%), л/ч	250
— канализационные стоки, л/ч	9000
— производительность упаковочной машины, мешков/ч	50

Данный вариант компоновки линии отличается компактностью и меньшим количеством наименований применяемого оборудования вследствие исключения участка для замачивания жома.

Выбор оборудования и средств управления процессом получения пищевых волокон из свекловичного жома приведен в приложении Б.

Выводы

1. С применением метода структурного кодирования разработаны варианты компоновок компактора свежего свекловичного жома, обеспечивающего повышенную степень его уплотнения и большее влагоотделение. С учетом выбранных критериев обоснован и рекомендован вариант компоновки с вертикальным расположением шнекового движителя с переменным шагом витков и углов наклона винтовой линии с дополнительной установкой упругой многолепестковой диафрагмы на выходе компактора.

2. Разработаны технологическая, параметрическая схемы компактора, определена его пропускная способность, разработаны эскизы базовых деталей и узлов для экспериментального образца компактора. Разработан вариант компоновки экспериментального образца компактора.

3. Разработаны варианты конструктивно-технологических схем ресурсосберегающих автоматизированных поточных линий производства пищевых волокон из свежего, высушенного или гранулированного жома.

4. Обоснованы и разработаны рациональные с позиций энергосбережения схемы машин для замачивания сухого или гранулированного жома, трехсекционного конвейера для его промывания и отбеливания.

Проведен выбор рациональных с позиций энергосбережения, пропускной способности и занимаемых площадей вариантов сушильных установок для сушки пищевых волокон конвейерного и барабанного типов с конвективным нагревом продукта и направленным, регулируемым по мощности и температуре, подводом к инфракрасного излучения высушиваемому продукту.

5. Обосновано и предложено использование взамен механических питателей пневмосистем нагнетающего или всасывающего типов для подачи сухого или

гранулированного жома к основному технологическому оборудованию поточной линии для производства пищевых волокон из свекловичного жома.

4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА КОМПАКТИРОВАНИЯ ЖОМА И ЕГО РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

4.1 Методика проведения испытаний

Экспериментальные исследования отделения влаги из свежего жома на действующей модели вели по следующей методике [129]:

1. Приготовление навесок свежеприготовленного жома массой 100 г.
2. Проведение однофакторного эксперимента при различных значениях фактора x_i ($i = A, B, C, D$) в двух повторностях при каждом значении фактора, оказывающего влияние на степень отжима в лабораторной модельной установке.
3. Дисперсионный анализ результатов эксперимента [11, 62].
4. Заключение о работоспособности экспериментальной модели и возможности ее использования в качестве базы для разработки компоновки экспериментального образца компактора.

За параметр оптимизации было принято количество жидкой фракции по каждому варианту испытаний, характеризующее степень отжима свекловичного жома.

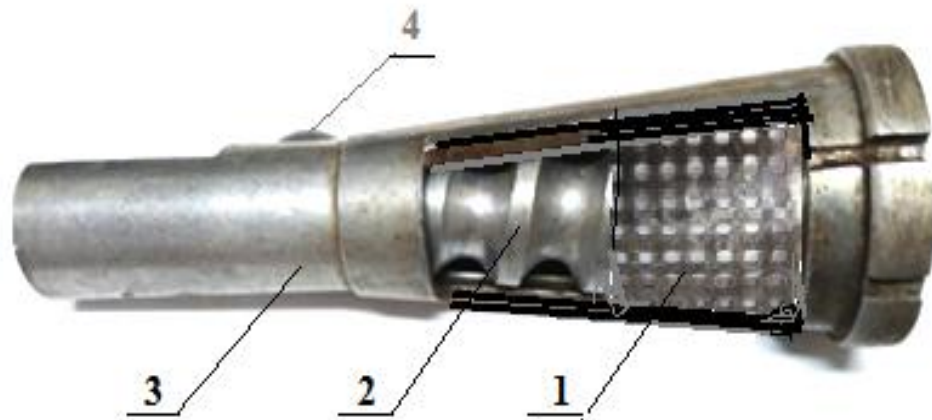
Для проведения экспериментальных исследований процесса компактирования был приготовлен свекловичный жом из корнеплодов сахарной свеклы. Для этого из корнеплодов при помощи терки вручную получили стружку длиной 20-30 мм и толщиной 1..1,5 мм, аналогичную свекловичной стружке, получаемой на сахарных заводах промышленным способом. Затем стружку подвергли тепловой обработке в течение 30 мин. В результате диффузионного тепломассообмена содержащийся в стружке сахар частично перешел в раствор, а оставшийся влагосодержащий остаток представлял собой свежий свекловичный жом светло-серого цвета .

Влажность жома определялась как

$$\omega = \frac{m_{\text{св}} - m_{\text{вс}}}{m_{\text{св}}} \times 100\%, \quad \%, \quad (4.1)$$

где $m_{\text{св}}$ – масса свежего жома, кг, $m_{\text{вс}}$ – масса высушенного жома, кг.

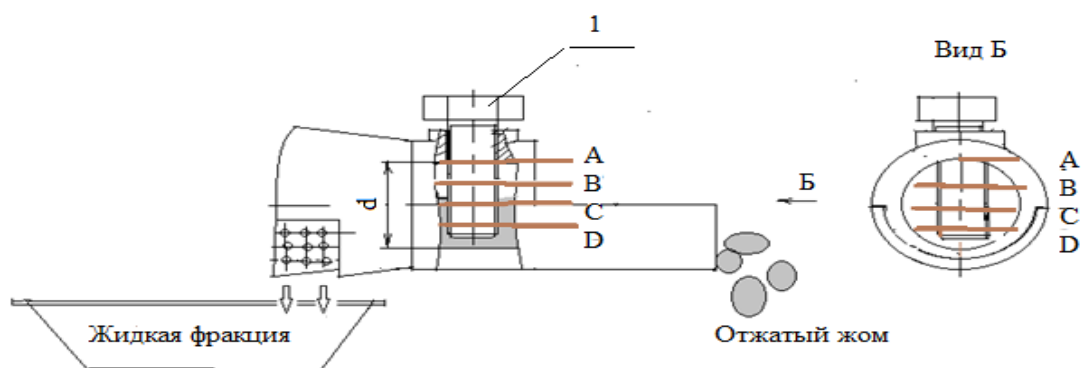
Общий вид действующей экспериментальной модели для лабораторных испытаний приведен на рисунке 4.1.



1 – перфорированная вставка, 2 – конический шнек, 3 – корпус, 4 – пластик с резьбовым отверстием под регулировочный винт

Рисунок 4.1 – Экспериментальная модель для лабораторных испытаний жома

Привод модели осуществлялся от механизма ПУ-0,6 [41]. Для увеличения степени прессования в модели использовали регулировочный винт, перекрывающий поперечное сечение выходного отверстия корпуса и играющий роль фильеры или диафрагмы, увеличивающей сопротивление движению материала на выходе из компактора (рисунок 4.2).



Положение регулировочного винта (поз.1) - фактор x_i

- A - выходное отверстие полностью открыто
- B - выходное отверстие перекрыто на 1/4 высоты
- C - выходное отверстие перекрыто на 1/2 высоты
- D - выходное отверстие перекрыто на 2/3 высоты

Рисунок 4.2 – Положения винта (поз.1) при отжиме жома на экспериментальной модели

4.2 Проведение однофакторного эксперимента по прессованию жома

В качестве исследуемого фактора в эксперименте принята величина перекрытия выходного отверстия корпуса модели.

Матрица эксперимента приведена в табл. 4.1.

Таблица 4.1 – Матрица однофакторного эксперимента

Уровни варьирования фактора x	Повторные опыты	
	1	2
A	y_{A1}	y_{A2}
B	y_{B1}	y_{B2}
C	y_{C1}	y_{C2}
D	y_{D1}	y_{D2}

В ячейках указаны значения y_{ij} , являющихся в эксперименте параметром оптимизации (y_{ij} – масса отделяемой жидкой фракции, г).

Результаты однофакторного эксперимента представлены в табл.4.2

Таблица 4.2 – Обработка результатов эксперимента

Уровень варьирования фактора; $j = 1, \dots, u$	Значение параметра оптимизации в повторных опытах		Среднее арифметическое параметра оптимизации $\bar{y}$	Сумма наблюдений $\sum y_i$	Квадрат наблюдений y_i^2		$\frac{\sum y^2}{m}$
	1	2			1	2	
A	3,23	3,44	3,335	6,67	10,4329	11,8336	22,24445
B	7,96	8,31	8,135	16,27	63,3616	69,0561	132,35645
C	15,87	16,94	16,405	32,81	251,8569	286,9636	538,24805
D	36,54	34,83	35,685	71,37	1335,1716	1213,1289	2546,83845
Сумма				127,12	1660,823	1580,9822	3239,6874

Имеем

$$Q_1 = 1660,823 + 1580,9822 = 3241,8052$$

$$Q_2 = 3239,6874$$

$$Q_3 = 127,12^2/8 = 2019,9368$$

$$S_0 = Q_1 - Q_3 = 1221,8684$$

$$S_1 = Q_1 - Q_2 = 2,1178$$

$$S_2 = Q_2 - Q_3 = 1219,7506$$

Дисперсия воспроизводимости по всем um наблюдениям с числом степеней свободы $f_0 = um - 1 = 8 - 1 = 7$

$$S_0^2 = 1221,8684/7 = 174,55.$$

Остаточная оценка дисперсии

$$S_1^2 = 2,1178/4 = 0,53$$

$$f_1 = u(m-1) = 4$$

Оценка дисперсии рассеивания между сериями опытов

$$S_2^2 = 1219,7506/3 = 406,58$$

$$f_2 = u-1 = 3$$

Влияние фактора x признается существенным, если оценки дисперсий S_1^2 и S_2^2 будут значимо отличаться друг от друга

Для проверки используем критерий Фишера

$$F_p = S_2^2 / S_1^2 = 406,58 / 0,53 = 767,13$$

Табличное значение критерия при уровне значимости 0,95 и числе степеней свободы 3 и 4 равно $F_T = 6,59$ [11].

$$F_p > F_T.$$

Таким образом, эксперимент показал, что положение регулировочного винта, перекрывающего поперечное сечение выходного отверстия корпуса шнека, оказывает существенное влияние (с доверительной вероятностью 0,95) на степень прессования и выход жидкой фракции.

Максимальная доля отпрессованной из жома влаги получена для уровня фактора D и составляет 34 ± 2 г. По сравнению с вариантом A влагоотделение увеличилось в 10,7 раза.

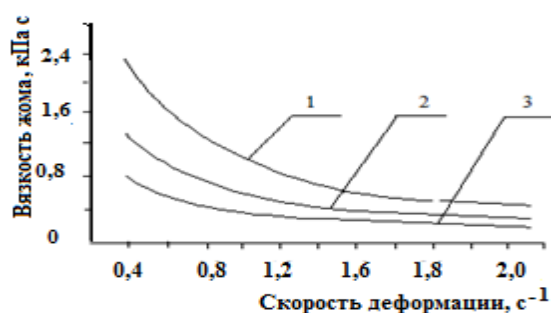
На экспериментальном образце компактора с многолепестковой упругой диафрагмой следует ожидать более высоких результатов по отделению влаги из жома по сравнению с испытанной моделью, поскольку диафрагма в отличие от регулировочного винта оказывает большее сопротивление прохождению жома в силу ее жесткости и упругого сопротивления изгибу, а перфорированная вставка полностью охватывающая конический шнек по всей его высоте, способствует лучшему отделению влаги.

4.3 Экспериментальные исследования реологических показателей свекловичного жома

При проведении экспериментальных исследований процесса прессования жома был проведен также анализ некоторых его реологических показателей, в частности, эффективной вязкости в зависимости от влагосодержания, плотности, величины адгезии и гранулометрического состава.

По гранулометрическому составу отпрессованный свекловичный жом относится к грубодисперсным капиллярно-пористым системам. По физико-механическим показателям отпрессованный жом обладает в области малых деформаций свойствами упругости и при увеличении нагрузки (при превышении предела текучести) в жоме наблюдается явление ползучести, что характеризует его вязкостно-пластические свойства.

На рисунке 4.3 приведены экспериментальные кривые, характеризующие изменение эффективной вязкости жома в зависимости от его скорости деформации при различном влагосодержании.



1 – жом с содержанием влаги 70%, 2 – жом с содержанием влаги до 85%, 3 – жом с содержанием влаги 92%.

Рисунок 4.3 – Кривые изменения эффективной вязкости свекловичного жома в зависимости от скорости деформации

Известно, что вязкость среды зависит от многих факторов, таких как, ее структура, температура, концентрационное содержание компонентов в системе и др.

В данном случае при экспериментальных исследованиях нас интересовало течение свекловичного жома в зависимости от его влагосодержания. При низких напряжениях сдвига вязко-пластичный свежий свекловичный жом не проявляет свойства текучести. С увеличением сдвиговых напряжений (выше предела текучести σ_T) свежий жом начинает течь и транспортироваться как и любая другая жидкость.

Реологическое поведение вязко-пластичной среды может быть описано рядом моделей, к которым относятся, например, известные уравнения Бингама, Кэссона, Хершеля-Балкли [11].

Из уравнения Хершеля-Балкли $\sigma = \sigma_T + K\dot{\gamma}^n$, где σ_T - предел текучести; $\dot{\gamma}$ – скорость деформации; K, n - экспериментально определяемые параметры, может быть получена модель вязко-пластичной среды

$$\eta = \begin{cases} \infty & \text{при } \sigma < \sigma_T \\ k\dot{\gamma}^{n-1} & \text{при } \sigma > \sigma_T \end{cases} \quad (4.2)$$

Если провести экстраполяцию экспериментальных кривых (рисунок 4.3), выбрав на них ряд точек при разных диапазонах скоростей деформации и найти значения предела текучести, основываясь на линейном уравнении Бингама $\sigma = \sigma_T + \eta_p \dot{\gamma}$, где η_p - пластическая вязкость, то эти значения будут существенно различаться, т.е. зависеть от конкретно взятых для линейаризации точек на кривой. Поэтому полученная при этом оценка предела текучести будет носить условный характер.

Методика проведения эксперимента. Для определения вязкости свежего жома в зависимости от скорости его деформации были подготовлены три образца жома с различным влагосодержанием 70, 85 и 92 %. Проверку влажности проб жома осуществляли на лабораторном влагомере.

Для определения скорости деформации в эксперименте использовали ротационный вискозиметр модели ВКР Бакинского машзавода с размерами внутреннего вращающегося рифленого цилиндра $d_{нар.} \times h = 40 \times 60$ мм и наружного

неподвижного цилиндра $d_{\text{вн.}} \times h = 56 \times 105$ мм при числе оборотов внутреннего цилиндра, равной 200 мин^{-1} .

Учитывая, что вязкое сопротивление жома определяется скоростью сдвига, в общем случае, согласно [38], можно записать $\dot{\gamma} = r \frac{d\omega}{dr} = f(\sigma)$.

Так как отношение $\frac{M_{kp}}{2\pi h} = \text{const}$, где M_{kp} - крутящий момент, действующий на внутренний цилиндр вискозиметра, то $\frac{dr}{r} = \frac{d\sigma}{2\sigma}$ и $d\omega = f(\sigma) \frac{d\sigma}{2\sigma}$.

Если наружный цилиндр неподвижен ($\omega = 0$ при $r = R_{\text{нар}}$), а внутренний вращается ($\omega = \Omega$ при $r = R_{\text{вн}}$), где $R_{\text{нар}}$, $R_{\text{вн}}$ - радиусы наружного и внутреннего цилиндра вискозиметра, то имеет место следующее уравнение $\Omega = \frac{1}{2} \int_{\sigma_i}^0 \frac{f(\sigma)}{\sigma} d\sigma$. Интегрируя это уравнение по σ_i , получим выражение для скорости деформации $\dot{\gamma} = f(\sigma) = -2 \frac{d\Omega}{d \ln \sigma_i}$.

Отсюда можно построить зависимость $\dot{\gamma} = f(\sigma)$, сначала построив предварительную зависимость Ω от $\ln \sigma_i$, затем, взяв производную, найти $\dot{\gamma} = f(\sigma)$ и построить кривые изменения скорости деформации от напряжения сдвига или от величины эффективной вязкости в зависимости от влагосодержания жома

Проведем обработку полученных кривых изменения вязкости. Можно видеть, что в диапазоне скоростей сдвига $0,4 \dots 2,4 \text{ с}^{-1}$ с увеличением содержания влаги в жоме происходит снижение эффективной вязкости примерно в 3 раза.

Проведем обработку полученных кривых изменения вязкости, используя для этого преобразование переменных и приведение кривых к аналитическому виду.

Нелинейные модели, используемые для описания результатов исследований, могут быть линеаризованы по известным методикам путем преобразования переменных (таблица 4.3) [11].

Таблица 4.3 – Обработка моделей для их линеаризации

№ мод.	Модель	Преобразование переменных	Уравнение линейной функции	Координаты промежуточных точек исходных переменных	
				X_{np}	Y_{np}
1	Степенная $Y = a_0 X^{a_1}$	$Y_L = \lg Y$ $X_L = \lg X$ $a_{0L} = \lg a_0$	$Y_L = a_{0L} + a_1 X_L$	$\sqrt{X_1 X_N}$	$\sqrt{Y_1 Y_N}$
2	Показательная $Y = a_0 a_1^X$	$Y_L = \lg Y$ $a_{0L} = \lg a_0$ $a_{1L} = \lg a_1$	$Y_L = a_{0L} + a_{1L} X_L$	$\frac{X_1 + X_N}{2}$	$\sqrt{Y_1 Y_N}$
3	Показательная $Y = a_0 e^{a_1 X}$	$Y_L = \lg Y$ $a_{0L} = \lg a_0$ $a_{1L} = a_1 \lg e$	$Y_L = a_{0L} + a_{1L} X$	$\frac{X_1 + X_N}{2}$	$\sqrt{Y_1 Y_N}$
4	Логарифмическая $Y = a_0 + a_1 \lg X$	$X_L = \lg X$	$Y = a_0 + a_1 X_L$	$\sqrt{X_1 X_N}$	$\frac{Y_1 + Y_N}{2}$
5	Гиперболическая $Y = 1/(a_0 + a_1 X)$	$Y_L = 1/Y$	$Y_L = a_0 + a_1 X$	$\frac{X_1 + X_N}{2}$	$\frac{2Y_1 Y_N}{Y_1 + Y_N}$

Используемый алгоритм выбора необходимо вида модели представлена на рисунке 4.4.

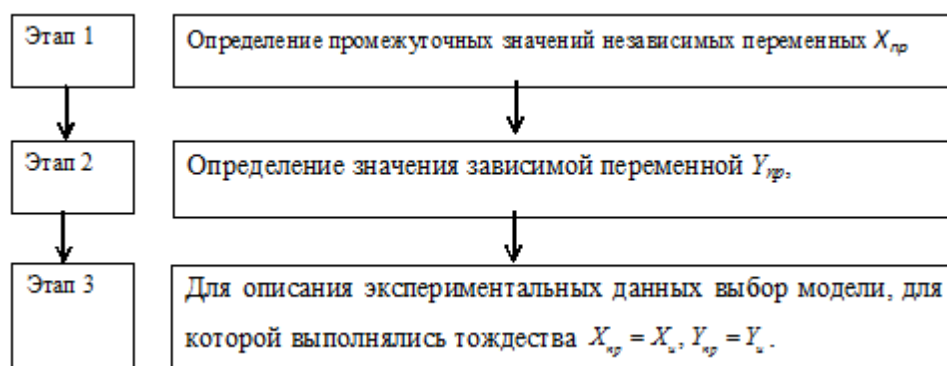


Рисунок 4.4 –Алгоритм выбора вида модели

При $X_u \neq X_{np}$ использовали линейную интерполяцию и определяли промежуточное экспериментальное значение $Y_{np.э.}$, соответствующее X_{np} по формуле

$$Y_{np.э.}(X_{np}) = Y_u + (Y_{u+1} - Y_u) \frac{X_{np} - X_u}{X_{u+1} - X_u}.$$

Коэффициенты в линеаризованном уравнении $Y_{RL} = d_{0L} + d_{1L}(X_L - \bar{X}_L)$ определяли методом наименьших квадратов

$$d_{0L} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N Y_{uL} = \bar{Y}_L,$$

$$d_{1L} = \frac{\sum_{u=1}^N (X_{uL} - \bar{X}_L)}{\sum_{u=1}^N (X_{uL} - \bar{X}_L)^2}.$$

Таблица 4.4 – Данные числовой обработки (рисунок 4.3)

X_u - скорость деформации, с ⁻¹	Кривая по рисунку 4.3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
Y_u - вязкость, мПа	1	2,33	1,81	1,32	1,14	0,96	0,84	0,72	0,63	0,62	0,61	0,60
	2	1,21	1,04	0,72	0,64	0,55	0,52	0,48	0,46	0,42	0,41	0,40
	3	0,82	0,52	0,48	0,41	0,38	0,36	0,34	0,33	0,31	0,30	0,28

1. Расчет промежуточных переменных $X_{np}, Y_{np}, Y_{pэ} |\Delta| = |Y_{np} - Y_{э}(X_{np})|$ представлен в таблицу 4.5.

Можно видеть, что наименьшее значение $|\Delta|$ получается для варианта № 1, поэтому следует принять для расчета степенную модель, которая после линеаризации будет иметь вид $Y_{RL} = a_{0L} + a_1 X_L$ или $Y_{RL} = d_{0L} + d_1 (X_L - \bar{X}_L)$.

Таблица 4.5 – Промежуточные значения переменных

№ мод.	X_{np}	Y_{np}	$Y_{\varphi}(X_{np})$ или $Y_{p\varphi}(X_{np})$	$ \Delta $
1	2	3	4	5
1	$\sqrt{0,4 \cdot 2,4} = 0,979$	$\sqrt{2,38 \cdot 0,6} = 1,195$ $\sqrt{1,2 \cdot 0,4} = 0,693$ $\sqrt{0,82 \cdot 0,28} = 0,479$	$1,32 + (1,14 - 1,32) \frac{0,979 - 0,8}{1,0 - 0,8} = 1,16$ $0,72 + (0,64 - 0,72) \frac{0,979 - 0,8}{1,0 - 0,8} = 0,64$ $0,52 + (0,48 - 0,52) \frac{0,979 - 0,6}{0,8 - 0,6} = 0,44$	0,035 0,044 0,034
2	$\frac{0,4 + 2,4}{2} = 1,4$	$\sqrt{2,38 \cdot 0,6} = 1,195$ $\sqrt{1,2 \cdot 0,4} = 0,693$ $\sqrt{0,82 \cdot 0,28} = 0,479$	0,84 0,52 0,36	0,355 0,173 0,119
3	$\frac{0,4 + 2,4}{2} = 1,4$	$\sqrt{2,38 \cdot 0,6} = 1,195$ $\sqrt{1,2 \cdot 0,4} = 0,693$ $\sqrt{0,82 \cdot 0,28} = 0,479$	0,84 0,52 0,36	0,355 0,173 0,119
4	$\sqrt{0,4 \cdot 2,4} = 0,979$	$\frac{2,38 + 0,6}{2} = 1,49$ $\frac{1,2 + 0,4}{2} = 0,8$ $\frac{0,82 + 0,28}{2} = 0,55$	$1,81 + (1,32 - 1,81) \frac{0,979 - 0,6}{0,8 - 0,6} = 0,89$ $0,72 + (0,64 - 0,72) \frac{0,979 - 0,8}{1,0 - 0,8} = 0,64$ $0,52 + (0,48 - 0,52) \frac{0,979 - 0,6}{0,8 - 0,6} = 0,44$	0,6 0,16 0,11
5	$\frac{0,4 + 2,4}{2} = 1,4$	$\frac{2 \cdot 2,38 \cdot 0,6}{2,38 + 0,6} = 0,958$ $\frac{2 \cdot 1,2 \cdot 0,4}{1,2 + 0,4} = 0,6$ $\frac{2 \cdot 0,82 \cdot 0,28}{0,82 + 0,28} = 0,417$	0,84 0,52 0,36	0,118 0,08 0,057

2. Промежуточные результаты сведены в таблицу 4.6.

Средний уровень линеаризованного фактора $\bar{X}_L = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N X_{uL} = 0,99166/12 = 0,08264$.

Таблица 4.6 – Промежуточные результаты

u	$X_{uL} = \lg X_u$	$X_{uL} - \bar{X}_L$	$(X_{uL} - \bar{X}_L)^2$	$Y_{uL} = \lg Y_u$			$(X_{uL} - \bar{X}_L)Y_{uL}$		
				1	2	3	1	2	3
1	-0,39794	-0,4806	0,2309	0,3673	0,0827	-0,0862	-0,1765	-0,0397	0,0414
2	-0,22185	-0,3045	0,0927	0,2576	0,0170	-0,2839	-0,0784	-0,0051	0,0864
3	-0,09691	-0,1795	0,0322	0,1205	-0,1426	-0,3187	-0,0216	0,0255	0,0572
4	0	-0,0826	0,0068	0,0569	-0,1938	-0,3872	-0,0046	0,0006	0,0319
5	0,07918	0,0034	0	-0,0177	-0,2596	-0,4202	0	-0,0008	-0,0014
6	0,14613	0,0635	0,0040	-0,0757	-0,2840	-0,4437	-0,0048	-0,0180	-0,0281
7	0,20412	0,1215	0,0147	-0,1426	-0,3187	-0,4685	-0,0173	-0,0387	-0,0569
8	0,25527	0,1726	0,0297	-0,2006	-0,3372	-0,4815	-0,0346	-0,0582	-0,0831
9	0,30103	0,2184	0,0476	-0,2076	-0,3767	-0,5086	-0,0453	-0,0822	-0,1110
10	0,34242	0,2598	0,0674	-0,2146	-0,3872	-0,5228	-0,0557	-0,1005	-0,1358
11	0,38021	0,2975	0,0885	-0,2218	-0,3979	-0,5528	-0,0659	-0,1183	-0,1644
$\sum_{u=1}^N$	0,99166	-	0,6145	-0,2661	-2,598	-4,4741	-0,5047	-0,4354	-0,3638

По данным таблицы находим

Кривая 1:

$$d_{0L} = \bar{Y}_{L1} = -0,2661/12 = -0,022175$$

$$d_1 = -\frac{-0,5047}{0,6145} = 0,82132.$$

$$Y_{RL} = -0,0221765 - 0,821320(X_L - \bar{X}_L). \text{ Или } Y_{RL} = 0,79915 - 0,8213X_L.$$

$$Y_R = 6,2975X^{-0,8213}.$$

Кривая 2:

$$d_{0L} = \bar{Y}_{L1} = -2,598/12 = -0,2165$$

$$d_1 = -\frac{-0,4354}{0,6145} = 0,708543.$$

$$Y_{RL} = -0,2165 - 0,708543(X_L - \bar{X}_L) \text{ или } Y_{RL} = 0,492083 - 0,7085X_L.$$

$$Y_R = 3,1052X^{-0,7085}.$$

Кривая 3:

$$d_{0L} = \bar{Y}_{L1} = -4,4741/12 = -0,37284$$

$$d_1 = -\frac{-0,3638}{0,6145} = 0,59202.$$

$$Y_{RL} = -0,37284 - 0,59202(X_L - \bar{X}_L) \text{ или } Y_{RL} = 0,21918 - 0,59202X_L.$$

$$Y_R = 1,6566X^{-0,5920}.$$

Результаты изменения величины осевого давления на жом в зависимости от площади сечения выходного отверстия компактора и его влияния на количество отжимаемой из жома жидкой фракции представлены на рисунках 4.5 и 4.6.

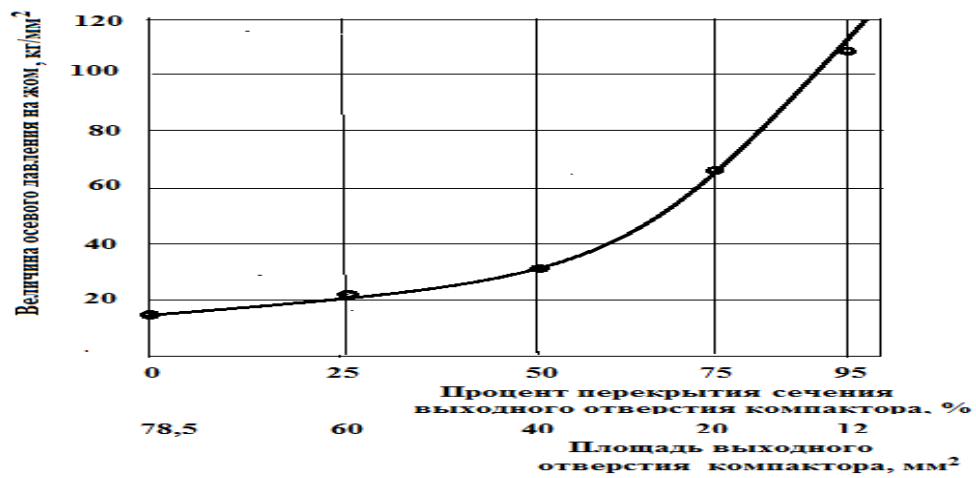


Рисунок 4.5 – Зависимость осевого давления на жом от площади выходного отверстия компактора

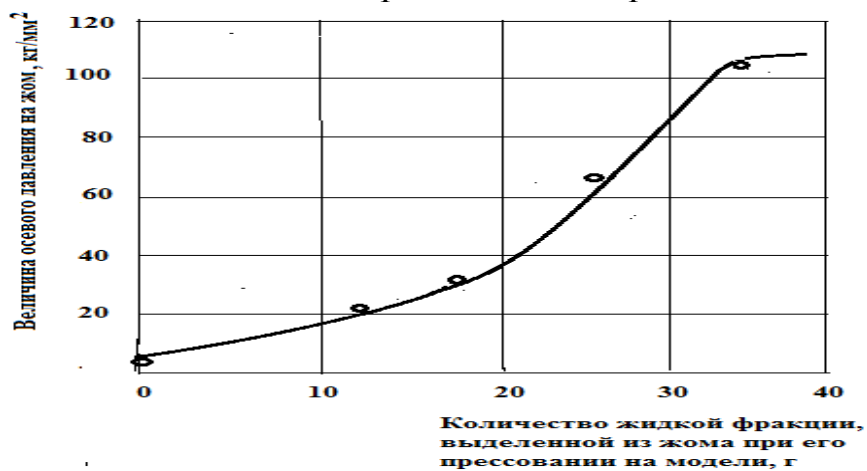
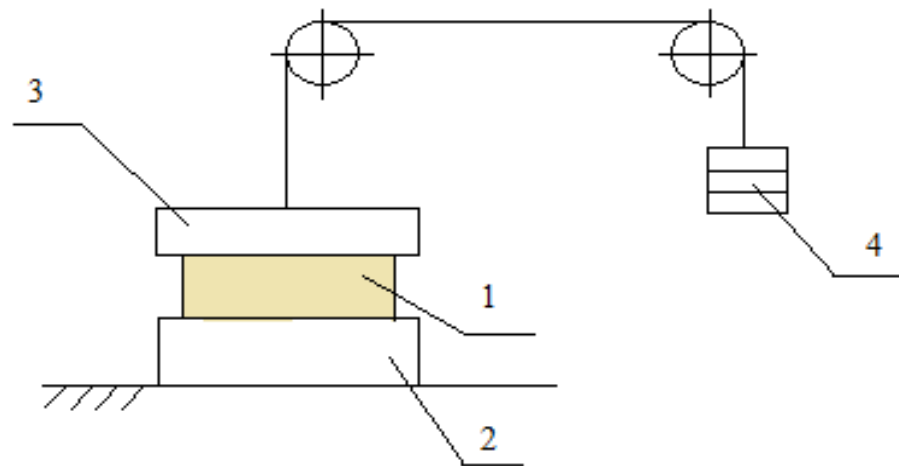


Рисунок 4.6 – Зависимость количества отжима жидкости от осевого давления на жом

Для оценки величины адгезии свекловичного жома был изготовлен лабораторный стенд, схема которого приведена на рисунке 4.7.



1 – образец жома, 2 – нижняя пластина (основание), 3 – верхняя подвижная пластина,
4 – набор сменных грузов

Рисунок 4.7 – Схема лабораторной установки для оценки адгезии свекловичного жома

Стенд содержит две пластинки, на одну из которых укладывается свекловичный жом и сверху на него накладывается вторая пластинка под определенной нагрузкой. Верхняя пластинка через блочно-тросовую систему соединена с навеской грузов. Добавляя определенный вес груза, фиксируют момент отрыва верхней пластинки от испытываемого материала и определяют величину адгезии жома к материалу пластинки.

Достоверность измерений значений отрыва зависит от допуска на неплоскостность пластин, величины шероховатости контактирующих с жомом поверхностей и параллельности пластин с жомом, установленных на основании.

Условия проведения испытаний:

— влажность жома, %	85
— размеры образца жома, мм	150x60 x50
— размер верхней и нижней пластин, мм	160 x70 x1
— материал пластины и основания	сталь 15X25T ГОСТ 5832-72

— шероховатость поверхности пластин,	
— контактирующих с жомом, R_z , мкм	0,16
— неплоскостность нижней и верхней пластин, мм, не более	0,05
— непараллельность пластин с образцом жома, мм не более	0,08
— масса груза, г	набор лабораторных грузов 500мг...50г
— температура, °C	20

Методика проведения испытаний.

На первом этапе подготовили образец прессованного свекловичного жома. На втором этапе измерили содержание влаги в образце. При необходимости доводили ее содержание до 85%. На третьем этапе пластины свекловичного жома обезжиривали и высушивали. Далее образец свекловичного жома выкладывали на нижнюю пластину, выравнивали и формовали в виде параллелепипеда размерами 150х60х50 мм, накрывали образец верхней пластинкой и на нее помещали груз массой 50г. Время выдержки образца под грузом составляло одну минуту. Далее с пластины снимался груз, проверялась непараллельность пластин. В процессе испытаний стремились к величине не более 0,08 мм. На заключительном этапе на грузодержатель добавляли груз, начиная с 500 мг, и отмечали момент отрыва от образца верхней пластинки. Эксперимент повторяли 3 раза, каждый раз с новым образцом свекловичного жома.

Сила взаимодействия на границе контакта верхней пластинки и свекловичного жома рассчитывали по формуле

$$P = f(N + p_0 S), \quad (4.3)$$

где f – коэффициент трения на границе контакта, N – сила нормального давления, Н; p_0 – величина давление при предварительной нагрузке образца, Н/м²; S – площадь контакта между верхней пластинкой и образцом жома, м².

В таблице 4.7 приведены данные обработки результатов эксперимента.

Таблица 4.7 – Среднее значение силы отрыва по трем опытам

Образец свекловичного жома	Среднее значение силы отрыва по трем повторностям, Н	Выборочная дисперсия, Н	Среднее квадратичное отклонение, Н
В виде параллелепипеда отпрессованного жома размерами 150х60х50 мм и влажностью 75%	15,8	0,33	0,58

На величину силы отрыва верхней пластинки в данном случае оказывает решающее влияние межмолекулярное сцепление материалов на поверхности их контакта.

Результаты экспериментальных исследований, проведенных на модели, с допустимой погрешностью можно экстраполировать на полноразмерный экспериментальный образец компактора, так как коэффициенты геометрического подобия и конусности шнеков, как на модели, так и на компакторе одинаковы:

$$K_1 = \frac{L_{\text{шн.}}}{L_{\text{мод.}}} = \frac{500}{100} = \frac{S_{\text{шн.мак.}}}{S_{\text{мод.мак.}}} = \frac{90}{18} = \frac{S_{\text{шн.мин.}}}{S_{\text{мод.мин.}}} = \frac{65}{13} = 5;$$

$$K_2 = \frac{R_{\text{шн.мак.}} - R_{\text{шн.мин.}}}{L_{\text{шн.}}} = \frac{R_{\text{мод.мак.}} - R_{\text{мод.мин.}}}{L_{\text{мод.}}} = \frac{180 - 80}{500} = \frac{40 - 20}{100} = 0,2$$

где K_1 - коэффициент подобия размеров, K_2 - коэффициент подобия конусности; $L_{\text{шн.}}$, $L_{\text{мод.}}$ - рабочая длина шнеков компактора и его модели, мм; $S_{\text{шн.}}$, $S_{\text{мод.}}$ - шаг шнеков компактора и его модели, мм; $R_{\text{шн.}}$, $R_{\text{мод.}}$ радиусы витков шнеков компактора и его модели соответственно, мм.

Выводы

1. Для проверки способа и эффективности компактирования свежего свекловичного жома изготовлены детали и подготовлен к испытаниям действующая модель компактора с горизонтальным расположением конического шнека с переменным шагом витков, перфорированной вставкой для отбора жидкой фракции и регулировочным винтом для регулирования степени прессования свекловичного жома.

2. Проведены испытания по установлению величины радиального биения шнека на измерительном стенде, которые показали, что в области рабочих частот вращения величина радиального биения не превышает 0,1-0,25 мм и является допустимой.

3. Подготовлены для испытаний образцы свекловичного жома и приведен однофакторный эксперимент на четырех уровнях перекрытия поперечного сечения выходного отверстия действующей модели компактора.

Установлено, что при уменьшении площади выходного отверстия действующей модели компактора на 60% с 20 до 12 мм² осевое давление на жом увеличивается с 60 до 100 кг/мм², а количество отжимаемой из жома влаги в диапазоне давлений от 60 до 100 кг/мм² возрастает при этом на 62,5 %

4. Построены кривые изменения вязкости жома при прессовании в зависимости от скорости деформации и влагосодержания. Математическая обработка полученных кривых позволила получить аналитические зависимости степенного вида, описывающие изменение вязкости в зависимости от влагосодержания.

5. Разработан и изготовлен стенд для оценки величины адгезии свекловичного жома. Проведенные испытания на стенде позволили получить оценку силы отрыва стальной пластинки от поверхности свекловичного жома, что позволит назначать

рациональные допуски и шероховатость поверхностей элементов, контактирующих с жомом и обеспечивающих минимальную адгезию.

5 ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШНЕКОВОГО КОМПАКТОРА ЖОМА И ПРОИЗВОДСТВА ИЗ ЖОМА ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН

5.1 Оценка себестоимости изготовления компактора

Себестоимость изготовления компактора зависит от стоимости материалов и комплектующих, фонда заработной платы производственных рабочих, отчислений на социальные нужды, амортизационными отчислениями и прочих расходов.

Оценка предварительной стоимости изготовления компактора

$$C_c = \Phi_{з.п.} + (C_m + C_k) + O_{с.н.} + C_э. + Ам, \quad (5.1)$$

где $\Phi_{з.п.}$ – фонд заработной платы, C_m – стоимость материалов, C_k – стоимость комплектующих изделий, $O_{с.н.}$ – отчисления на социальные нужды, $Ам$ – амортизационные отчисления.

Примем фонд заработной платы производственных рабочих в месяц (5 чел.) 250,0 тыс. руб.

Стоимость комплектующих изделий и материалов:

- электродвигатель 4А80В6У3 ГОСТ 19523-74; 1,1 кВт; 1000 мин⁻¹ – 6,3 т.р.;
- редуктор червячный РЧУ-63-12,5-2-3-1 ГОСТ 13563-68 – 4,5 тыс. руб.;
- муфта втулочно-пальцевая 63-22-1-22-3-У3 ГОСТ 21424-93 – 0,8 т.р.;
- муфта втулочно-пальцевая 125-25-1-40-4-У3 ГОСТ 21424-93 – 1,1 т.р.;
- подшипник роликовый конический однорядный 7208А ГОСТ 27365-87 – 0,4 т.р.;
- сталь инструментальная углеродистая У8А ГОСТ 1435-74, пружинная лента 1 мм по ГОСТ 2288-69 – 0,5 т.р.;

— листовая холоднокатаная высоколегированная сталь марки 12X18H10T – ГОСТ 5632-72, 1000x1100x1,0 (1,5) 140 руб. лист – 1,66 т.р.;

— листовая холоднокатаная высоколегированная сталь марки 12X18H10T ГОСТ 5632-72, лист 5 мм – 0,7 т.р.;

— листовая углеродистая сталь обыкновенного качества марки по ГОСТ 14637-69, лист 8 x700 ГОСТ 19903 -74 – 0,32 т.р.;

— сплав алюминиевый литейный по ГОСТ 2685-75 марки АЛ-9 для отливки шнека – 12 т.р.;

— прокат 100 кг стоимостью 32 руб. за 1 кг – 3,2 т.р.;

— электроды сварочные 0,5 кг; 35 руб. за 1 кг – 0,018 т.р.

Стоимость материалов и комплектующих 31,5 т.р.

Затраты на энергию при стоимости кВтч 2,88 руб.. 2,88 руб. x 1500 = за кВтч, всего 4,32 тыс. руб.

Для изготовления компактора используется токарные, фрезерные и сверлильные станки, сварочный аппарат для дуговой сварки, вырубной штамп, слесарные верстаки. С учетом норм на ускоренную амортизацию отчисления составят 0,32 тыс. руб. в месяц.

Ожидаемая себестоимость изготовления образца компактора при нормативном сроке изготовления 160 часов (1 месяц):

$$C_c = 250,0 + 31,5 + 4,32 + 0,32 = 286,14 \text{ тыс. руб.}$$

5.2 Оценка экономической эффективности производства пищевых волокон из жома на поточной линии

Оценка экономической эффективности производства пищевых волокон на поточной линии.

Ожидаемая экономическая эффективность производства пищевых волокон из гранулированного свекловичного жома определялась по принятой методике оценки экономической эффективности [98, 99, 168] предприятия, специализирующегося на производстве и реализации потребителям пищевых волокон.

Товарооборот по продукции собственного производства рассчитывается с учетом продажной стоимости произведенной продукции, в данном случае пищевых волокон, с учетом издержек производства и стоимости используемого сырья и других издержек производства

Стоимость гранулированного жома при его часовом расходе на работающей поточной линии составляет 800 кг (таблица 5.1).

Таблица 5.1– Стоимость гранулированного жома при работе поточной линии в две смены

Наименование продукта	Стоимость сырья при работе линии в две смены, т. р.
Гранулированный свекловичный жом	162,56

Примечание: Средняя отпускная стоимость гранулированного жома в 2019г составляет 12,7 руб. [160].

Наценка на сырье может составлять от 75 до 115% и выше. Примем величину наценки равную 95%, налог на добавленную стоимость 18% (от величины наценки), налог с продаж 5% (с товарооборота). В этом случае товарооборот предприятия равен сумме стоимости сырья и величины наценки на него, а валовой доход – разнице между величиной наценки и суммой налогов (таблица 5.2).

Таблица 5.2–Товарооборот и ожидаемый валовой доход за день работы предприятия

Стоимость сырья, т. р.	Наценка т. р.	Товарооборот за один день т. р.	НДС, тыс. руб.	Налоги с продаж, т. р.	Валовой доход, т. р.
162,56	154,43	317,00	27,79	15,85	110,79

Товарооборот и валовой доход предприятия за месяц и за год работы (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Сводные данные по товарообороту и валовому доходу

Наименование	За день, т. р.	За месяц, т. р.	За год, т. р.
Товарооборот	317,00	9510,00	114120,00
Валовой доход	110,79	3323,70	39884,40

Для предварительной оценки ожидаемой прибыли от реализации пищевых волокон примем издержки производства и обращения в размере 60% от валового дохода, которая равна разности между годовым валовым доходом и издержками производства.

По данным каталогов производителей технологического оборудования поточной линии, средств ее автоматизации и контроля процесса производства волокон примерная стоимость оборудования и средств оснащения составит примерно 9 млн. руб.

Ожидаемая годовая прибыль предприятия от выпуска и реализации пищевых волокон в объеме 600 кг/ч (табл. 5.4).

Таблица 5.4 – Ожидаемая прибыль предприятия, специализирующегося на выпуске пищевых волокон из свекловичного жома

Показатели	Сумма, тыс. руб.
Годовой товарооборот	114120,00
Годовой валовой доход	39884,40
Издержки производства и обращения	23930,64
Ожидаемая прибыль от реализации пищевых волокон	19953,46
Налог на прибыль (24%)	4788,83
Ожидаемая чистая прибыль	15164,53

Выводы

1. Результаты предварительной оценки экономической эффективности производства пищевых волокон из свекловичного жома свидетельствуют о том, что ожидаемая прибыль предприятия от реализации продукции может составить 15164,53 тыс. руб. в год при двух сменной работе поточной линии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана конструкция вертикального компактора свежего свекловичного жома с коническим шнековым движителем и упругой многолепестковой диафрагмой, обеспечивающая непрерывный процесс прессования жома с повышенной степенью извлечения из него влаги.

Разработаны технологическая, параметрическая схемы компактора, определена его пропускная способность, разработаны эскизы базовых деталей и узлов для экспериментального образца компактора. Разработан вариант компоновки экспериментального образца компактора.

2. Разработаны и исследованы модели условий движения жома в зоне конического шнека и многолепестковой упругой диафрагмы, на основе которых получены аналитические зависимости, характеризующие процесс влагоотделения в межвитковом пространстве шнекового движителя и в зоне дополнительного его прессования лепестками диафрагмы.

Получена модель удаления жидкой фракции через перфорированные отверстия вставки, окружающей шнек, позволяющая определить коэффициент уплотнения материала, живое сечение отверстий вставки, ее пропускную способность по влаге, скорость течения жидкой фракции и длину зоны ее активного удаления.

Получены аналитические зависимости, определяющие прогиб упругих лепестков диафрагмы от величины давления, оказываемого выходящим из шнека жомом с учетом модуля упругости материала лепестков и момента инерции.

3. Выполнен анализ физико-механических показателей свекловичного жома, обрабатываемого в компакторе. Получены зависимости изменения вязкости жома при прессовании в зависимости от скорости его деформации и влагосодержания. Показано, что наименьшее значение вязкости в зависимости от влагосодержания

жома в диапазоне 70 ... 92% составляет 0,2 кПа при скорости деформации 1,8...2,0 с⁻¹.

Установлено, что при уменьшении площади выходного отверстия действующей модели компактора на 60% с 20 до 12 мм² осевое давление на жом увеличивается с 60 до 100 кг/мм², а количество отжимаемой из жома влаги в диапазоне давлений от 60 до 100 кг/мм² возрастает при этом на 62,5 %

4. Разработаны варианты конструктивно-технологических схем ресурсосберегающих автоматизированных поточных линий производства пищевых волокон из свежего, высушенного или гранулированного жома.

Обоснованы и разработаны рациональные с позиций энергосбережения схемы машин для замачивания сухого или гранулированного жома и трехсекционного конвейера для его промывания и отбеливания.

5. Результаты предварительной оценки экономической эффективности производства пищевых волокон из свекловичного жома свидетельствуют о том, что ожидаемая прибыль предприятия от реализации продукции может составить 15164,53 тыс. руб. в год при двух сменной работе поточной линии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авраамов, А.А. Станочное оборудование автоматизированного производства. Т.1. Под редакцией В.В. Бушуева. / А.А. Авраамов, В.В. Бушуев, Н.Н. Верейкин, А.А., Гаврюшин и др. – М.: Станкин, 1993. – 584с.
2. Авроров, В.А. Анализ и синтез компоновок тестораскатывающих машин с использованием метода структурного кодирования /В.А. Авроров, Е.А. Александрова, Н.С. Елисеева // Пищевая промышленность АПК: достижения, проблемы, перспективы: материалы IV междуународной научно-практической конференции. – Пенза: ПДЗ, 2010. – С. 70-73.
3. Авроров, В.А. Анализ технологии производства пищевых волокон из гранулированного свекловичного жома // Актуальные вопросы современной науки: теория и практика научных исследований: Сборник научных трудов всероссийской научно-практической конференции. – Пенза ПензГТУ, 2017. – С. 230-236.
4. Авроров, В.А. Анализ условий движения обрабатываемого материала в модернизированном одношнековом экструдере /В.А. Авроров, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, П.К. Воронина, В.В. Ловцева // Сборник статей VIII Международной научно-практической конференции «Пищевая промышленность: и агропромышленный комплекс: достижения, проблемы, перспективы». – Пенза: ПДЗ, 2014. – С.9-16.
5. Авроров, В.А. Выбор оптимального источника инфракрасного излучения в ближней инфракрасной области / В.А. Авроров, Г.Д. Лузгин, Г.В. Авроров, А.В. Зайцев // Пищевая промышленность и агропромышленный комплекс: достижения, проблемы, перспективы: материалы VII междунар. научн. практ. конф. – Пенза: ПДЗ, 2013. – С. 9-12.
6. Авроров, В.А. Моделирование процесса компактирования влагосодержащих отходов растительного происхождения на примере свежего свекловичного жома /

- В.А. Авроров, М.А. Редченко. // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс.– Пенза: ПензГТУ– 2019. –№2(46). – С. 145-150.
7. Авроров, В.А. Модульная барабанная сушилка с ИК нагревом продукта / В.А. Авроров, А.П. Смольянова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс – Пенза: ПензГТУ. – 2017.– № 02(36)03(37). – С. 3-13.
8. Авроров, В.А. О компактировании свежего свекловичного жома на вертикальном шнековом компакторе с многолепестковой уплотняющей диафрагмой / В.А. Авроров, М.А. Редченко, О.А. Мурашкина, Е.А. Сарафанкина // Сборник материалов XVI Международной научной конференции «Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК» – Брянск: БГСХА, 2019. – С. 983-993.
9. Авроров, В.А. О новой энергосберегающей технологии приготовления корма для кормления животных, птиц и рыб / Г.Д. Лузгин, Г.В. Авроров, В.В. Ловцева, М.А. Польшаева // Состояние и перспективы развития современной науки: социально-экономические, естественнонаучные исследования: материалы междунар. науч. практ. конф. – Пенза: ПДЗ, 2016. – С.110-115.
10. Авроров, В.А. О прессовании свежего свекловичного жома в компакторе со шнековым двигателем и упругой диафрагмой Е.А. / В.А. Авроров, М.А. Редченко, О.А. Мурашкина, Е.А. Сарафанкина // Современные технологии и оборудование пищевых производств: материалы XX международной научно-практической конференции. – Барнаул: АлтГТУ, 2019. – С. 48-54
11. Авроров, В.А. Основы проведения научных исследований. В 2-х книгах: учебное пособие / В.А. Авроров, Н.А. Жистин, Н.В. Моряхина. – Пенза: ПГТА, 2009. – 476 с.
12. Авроров, В.А. Основы проектирования технологического оборудования пищевых производств / В.А. Авроров. – Пенза: ПензГТУ, 2017. – 368 с.
13. Авроров, В.А. Теоретическое исследование условий движения обрабатываемого материала в одношнековом экструдере с модернизированной матрицей / В.А. Авроров, А.А. Курочкин, Д.И. Фролов, П.К. Воронина, В.В. Ловцева // Сборник статей VIII Международной научно-практической конференции «Пищевая

промышленность: и агропромышленный комплекс: достижения, проблемы, перспективы». – Пенза: ПДЗ, 2014. – С.3-8.

14. Авроров, Г.В. Моделирование и анализ операций обработки сырья и полуфабрикатов для мучных кондитерских изделий / Г.В. Авроров, В.В. Ловцева, В.А. Авроров, Н.Д. Тутов. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – 222 с.

15. Авроров, Г.В. Новые виды мучных изделий функционального назначения / Г.В. Авроров, Г.В. Шабурова, А.А. Курочкин, В.В. Ловцева, П.К. Воронина// XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс.– Пенза: ПензГТУ– 2017. – №2 (36)/03(73). –С.37-42.

16. Авроров, Г.В. Определение параметров энергосберегающей сушилки-печи с использованием направленного ИК энергоподвода /Г.В. Авроров, В.А. Авроров, Г.Д. Лузгин // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – Пенза: ПензГТУ. –2016. – №1(29). –С.42-46.

17. Авроров, Г.В. Сокращение энергетических затрат сушки капиллярно-пористых материалов растительного происхождения за счет направленного подвода инфракрасного излучения [Текст]: дис. ...канд. техн. наук: 05.20.01 / Авроров Глеб Валерьевич. – Пенза, 2014. – 181с.

18. Авроров, Г.В. Сравнительные исследования конвективного и лучистого нагрева при сушке твердых материалов / Г.В. Авроров, Е.А. Жистин // Пищевая промышленность и агропромышленный комплекс: достижения, проблемы, перспективы: материалы VI междунар. научн. практ. конф. – Пенза:ПДЗ, 2012. – С.37-41.

19. Агеев, О.В. Математическое моделирование течения рыбного фарша в формирующем устройстве/ О.В.Агеев, Ю.А. Фатыхов, А.Е. Ерыванов, Н.В. Самойлова//V Международный Балтийский форум. III Междунар.научн.конф. «Прогрессивные технологии, машины и механизмы в машиностроении и строительстве».Часть 5.-Калининград:Изд-во БГАРФ, 2017.- С.1250-1253

20. Агропромышленный портал России. Прессование жома [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <http://agro-portal24.ru>
21. Азрилевич, М.Я. Оборудование сахарных заводов / М.Я. Азрилевич. – М.: Агропромиздат, 1985.–318 с.
22. Алексанян, И.Ю. Выбор рациональных параметров экструдирования и гранулирования для оптимизации сушки пищевых и кормовых продуктов / И.Ю. Алексанян, С.В. Синяк // Прогрессивные технологии и оборудование для пищевой промышленности: материалы II междунар. научн. техн. конф., ч. II – Воронеж: ВГТА, 2004. – С.66-67.
23. Алексеев, Г.В. Возможности совершенствования распылительной сушки пищевых суспензий /Г.В. Алексеев, О.А. Егорова, Д.В. Молдованов, А.Н. Егоров // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49. № 1. – С. 70 -76.
24. Алексеев, Г.В. Исследование измельчения пищевого сырья в молотковой дробилке с помощью цифровой модели./ Г.В. Алексеев, Е.П. Башева, Д.В. Молдованов, А.П. Дмитриева // Вестник ВСГУТУ. – 2019. – № 1 (72). – С. 29-35.
25. Андреев, В.Г. Лабораторный практикум по технологическому оборудованию пищевых производств / В.Г. Андреев, А.И. Драгилев, В.А. Панфилов, М.Е. Чернов и др. – М.: МТИПП, 1990. – 79с.
26. Аничин, В.Л. Управление ресурсами в свеклосахарном производстве. / В.Л. Аничин. – Белгород: БГСХА, 2001. - С. 114-123.
27. Антипов, С.Т. Машины и аппараты пищевых производств / С.Т. Антипов, И.Т. Кретов. – М.: Высшая школа, 2001. – 231с.
28. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. – 9-е изд., перераб. и доп/ В.И. Анурьев. – М.: Машиностроение, 2006. –2816 с.
29. Апасов, И.В. Основные направления повышения эффективности свеклосахарного комплекса России в современных условиях /И.В. Апасов // Сахарная свекла. – 2012. – № 9. – С.12–13.

30. Арапов, В.М. Развитие теории сушки на основе законов химической кинетики / В.М. Арапов, И.Т. Кретов // Прогрессивные технологии и оборудование для пищевой промышленности: материалы II междунар. научн. техн. конф. – Воронеж: ВГТА, ч. II, 2004. – С.86-92.
31. Ардатская, М.Д. Метаболические эффекты пищевых волокон. /М.Д. Ардатская // Современные проблемы физиологии и патологии пищеварения. – 2001. – № 4. – С.91-102.
32. Афанасьев, П.И. Способы повышения качества свекловичного жома. / П.И. Афанасьев, В.С. Расторгуев, Ю.В. Калинин //Кормопроизводство.–2010.–№ 4.–С. 43–44
33. Бабенко, Д.С. Разработка способа обезвоживания свекловичного жома методом прессования в поле вибрационного воздействия: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12/ Бабенко Денис Сергеевич. – Воронеж: ВГУИТ, 2008. – 20с.
34. Бакай, С.М. Биотехнология обогащения кормов мицелиальным белком /С.М. Бакай. - Киев: Урожай, 1987. – 168с.
35. Белковые кормовые добавки грибного происхождения из отходов растительного сырья. – Минск: Минсельсоз БССР, 1980. – 36с.
36. Белоусова, Л.В. Эффективность использования отходов животноводства и растениеводства для производства биогаза / Л.В. Белоусова // Агроэкологические проблемы в сельском хозяйстве: сборник научных трудов. – Воронеж, 2005. – С. 290–296.
37. Беляев, Д. В. Анализ движения материала в пресс-экструдере / Д. В. Беляев, В. В. Успенский, В. К. Малышев // Материалы Всероссийской научно-практической конференции. — Ульяновск, ГСХА, 2008. — С. 17 — 22
38. Беляев, Н.М. Сопротивление материалов /Н.М. Беляев.—М.: Наука, 1976.— 608с.
39. Биокомпакторы «Ecopress» для пищевых отходов с маятниковой пресс-плитой [Электронный ресурс]. — 2019— Режим доступа: <http://www.crscompany.ru>.

40. Богатырев, А.Н. Приоритеты развития науки и научного обеспечения в пищевых отраслях АПК: механизмы формирования и реализации / А.Н. Богатырев – М.: Пищевая промышленность, 1995. – 176 с.
41. Ботов, М.И. Тепловое и механическое оборудование предприятий торговли и общественного питания /М.И. Ботов, В.Д. Елхина, О.М.Голованов. - М.: Академия, 2003. – 464с.
42. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – Л: Физматлит, 1986. – 608с.
43. Бугаенко, И.Ф. Принципы эффективного сахарного производства / И.Ф. Бугаенко – М.: Международная сахарная компания, 2003. – 286 с.
44. Булавин, С.А. Безотходная энергосберегающая технология переработки свекловичного жома /С.А. Булавин, К.В. Казаков, А.С. Колесников // Сахар. –2011. – №3. – С.36-40
45. Ведомственные нормы технологического проектирования свеклосахарных заводов. ВНТП 03-91. – М.: Гипросахпром. – 106с.
46. Верхола, Л.А. Автоматизированная система управления установки для сушки жома: новый подход / Л.А. Верхола, Ю.С. Гранковский, А.В. Скрыплев, П.Г. Иващенко // Сахар. –2000.–№2– С. 71–77
47. Ветров, В.А. Разработка энергосберегающей безотходной технологии сушки свекловичного жома с обоснованием параметров сушильной установки: дис. ...канд. техн. наук: 05.20.01 / Ветров Виталий Александрович – Белгород: БелГСХА, 2007. – 168с.
48. Волошин, З.С. Автоматизация сахарного производства / З.С. Волошин, Л.В. Макаренко, П.В. Янковский. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
49. Врагов, Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков. Основы компоновки / Ю.Д. Врагов.– М.: Машиностроение, 1978. – 208с.

50. Временная методика расчета пневмотранспортных и аспирационных установок мукомольных заводов на комплектном высокопроизводительном оборудовании. Утверждена 08.04.1981
51. Ганин, Е.В. Сушка как один из процессов при изготовлении комбикормов и кормовых добавок /Е.В. Ганин, Ю.И. Габзалилова // Пищевые технологии и биотехнологии: материалы IX междунар. конф. молодых ученых – Казань: КГТУ, 2008. – С.99.
52. Гинзбург, А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов / А.С.Гинзбург. – М.: Пищевая промышленность, 1973. -528с.
53. Голыбин, В.А. Технологическое оборудование сахарных заводов/ В.А. Голыбин, В.А. Федорук, Н.Г. Кульнева – Воронеж: ВГУИТ, 2012. –172 с.
54. Голыбин, В.А. Способ получения пищевых волокон из отхода свеклосахарного производства/ В.А. Голыбин, Н.А. Матвиенко, В.А. Федорук – Международный научный журнал «Инновационная наука». –2005. – № 10. –С. 58–59.
55. ГОСТ Р 54901-2012. Жом сушеный. Технические условия [Текст]. – Введ. 2013-07-01. – М.:СтандартИнформ, 2013. – 15с.
56. ГОСТ 26884 -2018 Продукты сахарной промышленности. Термины и определения [Текст]. – Введ. 2019-07-01. – М.:СтандартИнформ, 2013. – 20с.
57. Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 гг. [Электронный ресурс] — 2013. — Режим доступа <http://docs.cntd.ru/document/902361843>.
58. Гребенюк, С.М. Технологическое оборудование сахарных заводов/ С.М. Гребенюк. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 517с.
59. Гуляева, Т.И. Повышение эффективности свеклосахарного производства / Т.И. Гуляева, Т.А. Власова.– Орел:ОрелГАУ, 2011. – 236 с.

60. Давидович, Е.А. Пищевые свекловичные волокна: производство и использование. / Е.А. Давидович //Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал – 2009. –№ 1.– С. 232.
61. Денщиков, М.Т. Отходы пищевой промышленности и их использование/М.Т. Денщиков. –М.: Пищепромиздат, 1963. – 615с.
62. Дерканосова, Н.М. Моделирование и оптимизация технологических процессов пищевых производств. ПрактикуМ.: учебное пособие / Н.М. Дерканосова, А.А. Журавлев, И.А. Сорокина. – Воронеж: ВГТА, 2011. – 196с.
63. Донченко, Л.В. Возможность использования вторичных сырьевых ресурсов свеклосахарного производства для дальнейшей переработки /Л.В. Донченко, С.Е. Ковалева, Н.В. Демина. // Политехнический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета.– 2006. – №21. –С.438-446.
64. Дранников, А.В. Повышение эффективности процесса сушки свекловичного жома перегретым паром.: монография/ А.В. Дранников. – Воронеж: ВГТА, 2010.– 172с.
65. Егорова, М.И. Оценка экологичности технологий производства сахара/ М.И. Егорова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2009. – № 10. – С.8–11.
66. Егорова, М.И. Перспективы повышения эффективности свеклосахарного подкомплекса / М.И. Егорова, В.В. Списа, В.Д. Дудкин // Сахар. –2003. – № 2. – С.10–12.
67. Евстигнеев, В.Н. Оценка компоновок станков по критерию жесткости / В.Н. Евстигнеев, З.М. Левина // Станки и инструмент. – 1984. – №11. – С.6-8.
68. Елхина, В.Д. Механическое оборудование предприятий общественного питания / В.Д. Елхина. – М.: Академия, 2009. –336 с.
69. Житин, Ю.Н. Использование отходов свеклосахарного производства в сельском хозяйстве/ Ю.Н. Житин, О.В. Антименкова // Аграрная наука.–2007. –№9. – С. 16–17.

70. Зайцев, А.В. Моделирование и исследование операций непрерывного формирования вязкоупругих пищевых сред. /А.В. Зайцев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс.– Пенза: ПензГТУ– 2013. – №6 (10). –С.22-26.
71. Заявка №2019121389 на полезную модель «Шнековый пресс для извлечения влаги из растительного сырья [Текст] /М.А. Редченко, В.А. Авроров.– № 2019121389 (041811); заявл. 05.07.2019.
72. Исаев, Н.И. Механические процессы. Прессование / Н.И. Исаев. – СПб ТЭИ, 1994. – С.3–19.
73. Ипатова, Л.Г. Физиологические и технологические аспекты применения пищевых волокон / Л.Г. Ипатова// Пищевая промышленность. –2004. – № 1. –С.24-27.
74. Итоги работы отрасли растениеводства в 2017г. и задачи на 2018г. [Электронный ресурс]. – М.: Минсельхоз РФ, 2018. –Режим доступа: [http:// www. barley-malt.ru](http://www.barley-malt.ru).
75. Какимов, М.М. Шнековые прессы и их теоретические обоснования / М.М, Какимов, Б.М. Искаков, А. Толеугазыки // Материалы IV Международной научно-технической конференции – Воронеж: ВГУИТ, 2017. — С. 849-853.
76. Кацнельсон, М.У. Машины и оборудование для прессования в сахарной промышленности / М.У. Кацнельсон, А.Н.Степанов, Э.В. Островский, Ю.Ю. Дербенев. – М.: Машиностроение, 1980. – 239с.
77. Карамнова, Н.В. Методологические подходы к оценке эффективности развития интеграционных процессов в свеклосахарном производстве / Н.В, Караманова, И.П. Шаляпина // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета – 2012. – №01 ч. 2 – С. 24–27.
78. Карпенко, Г.В. Разработка и обоснование конструктивно-технологических параметров энергосберегающей установки для сушки зерна: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Карпенко Галина Владимировна. – Пенза: ПГСХА, 2005. – 203с.

79. Кокина, Т.Ю. Разработка технологии функционального кисломолочного биопродукта с пищевыми волокнами [Текст]: дис. ...канд. техн. наук: 05.18.04 / Кокина Татьяна Юрьевна. – Ставрополь, 2008. – 170с.
80. Колесников, В.А. Пищевые свекловичные волокна: производство и использование. / В.А. Колесников, Ю.И. Молотилин, А.И. Артемьев, М.В. Лукьяненко // Сахар – 2006. – № 4. – С. 58-61.
81. Колесников, В.А. Осветление свекловичного волокна: производство и применение / В.А. Колесников // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2002. – № 10. – С 5-8.
82. Копытин, А.А. Комбинированная сушилка свекловичного жома / А.А. Копытин // Сахарная промышленность. – 1993. – № 3. – С. 17–19.
83. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Изд. 5-е. / Г.Корн, Т.Корн. – М.: Наука, 1984. – 831с.
84. Кретов, И.Т. К вопросу об энергетической эффективности проведения процесса сушки свекловичного жома / И.Т. Кретов, А.В. Дранников // Прогрессивные технологии и оборудование для пищевой промышленности: материалы II междунар. научн. техн. конф. – Воронеж: Изд. ВГТА, ч.II, 2004.- С.186-188.
85. Кретов, И.Т. Технологическое оборудование предприятий пищекопцентратной промышленности / И.Т. Кретов, А.Н Остриков., В.М. Кравченко // – Воронеж: ВГУ, 1996. – 448с.
86. Кулишов, Б.А. Технические материалы на основе свекловичного жома / Б.А. Кулишов, Л.А. Зимагулова, Ле Ань Туан, А.В. Канарский // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – т.18. №23. – С.72-81.
87. Курочкин А.А. Обоснование рациональных параметров шнека пресс-экструдера в зоне загрузки / А.А. Курочкин, В.В. Новиков // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – Пенза: ПензГТУ. – 2013 г. – № 6(10). – С.123-127.
88. Курочкин, А.А. Получение экструдатов крахмалсодержащего зернового сырья с заданной пористостью / А.А. Курочкин, Г.В.Шабурова, Д.И.Фролов // XXI век: итоги

прошлого и проблемы настоящего плюс. – Пенза: ПензГТУ. –2014. – № 6(22).– С.109-114.

89. Ловцева, В.В. Моделирование условий движения сыпучих материалов /В.В. Ловцева, В.А. Авроров // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс.– Пенза: ПензГТУ– 2014. – №6 (22). –С.58-64.

90. Лосева, В.А. Изучение влияния рН и способа подготовки экстрагента на свойства пищевых волокон свекловичного жома/ В.А. Лосева // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2002. – № 8. –С 12-15.

91. Лосева, В.А. Получение пектина и пищевых волокон из растительного сырья с применением нанотехнологий / В.А. Лосева, А.А. Ефремов, Л.Н. Путилина, Н.А. Матвиенко // Вестник ВГТА. – Воронеж. – 2010. – № 3. – С. 33–35.

92. Лотош, В.Е. Переработка отходов природопользования / В. Е Лотош. – Екатеринбург: Полиграфист,2007– 503 с.

93. Лыков, А.В. Тепломассообмен. Справочник / А.В.Лыков. – М.: Энергия, 1978. - 480с.

94. Лыков, А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. - 512с.

95. Лыков, А.В. Явления переноса в капиллярно-пористых телах / А.В. Лыков. – М.: Госэнергоиздат, 1970. - 296с.

96. Магомедов, Г.М. Использование свекловичного порошка в производстве термостабильных начинок / М.Г. Магомедов, И.В. Плотникова, В.В. Трощенко // Кондитерское и хлебопекарное производство. – 2018. – №3-4. –С.27-30.

97. Мачихин, Ю.А. Современное оборудование в обработке пищевых материалов давлением/ Ю.А. Мачихин, Г.Г. Зарабшвили, С.Н. Панфилова.– М.: Изд-во ВЭПИ– 2008. – 306 с.

98. Методика определения экономической эффективности технологии и сельхозтехники. – М.: 1998. – 218с.

99. Методика определения экономической эффективности технологии и оборудования переработки сельскохозяйственной продукции. ч.1. – М.: 1998. – 210с.

100. Мурашкина, О.А. Об определении значений температур в слое отпрессованного свекловичного жома при его сушке/ О.А. Мурашкина, Ю.А. Фатыхов, Г.В. Авроров // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс.– Пенза: ПензГТУ. – 2019. – №3 (47). –С.177-180.
101. Мурашкина, О.А. О снижении энергозатрат при сушке свекловичного жома / О.А. Мурашкина, М.А. Редченко, В.А. Авроров. // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс.– Пенза: ПензГТУ– 2019. –№2(46). – С. 160-165.
102. Мхитарян, Г.А. Современные технологии переработки свекловичного жома / Г.А. Мхитарян, А.П. Леснов, В.М. Ткаченко // Сахарная свекла. – 2009. – №2. – С.33-35.
103. Наумов В.А. О выборе целевой функции при оптимизации параметров процесса сушки рыбы/В.А. Наумов, А.Э. Суслов, Ю.А. Фатыхов//Известия Калининградского гоуд.техн.ун-та. –2016. –№43. –С.132-142.
104. Оборудование для сахарной промышленности. Пресс жомовый ПЖ -800 [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <http://www.melagrosnab.ru>.
105. Организация производства пищевых волокон из свекловичного жома в цехе мощностью 4т готового продукта в сутки [Текст]: отчет о НИР: договор № 04/05-05-17 от 21.08.2017г. / Авроров В.А., Авроров Г.В., Редченко М.А., Мурашкина О.А. – Пенза: ПензГТУ, 2017. – 118 с.
106. Орлов, П.И. Основы конструирования. Справочно-методическое пособие в 3-х книгах. Кн. 1. Изд. 2-е, перераб. и доп./П.И. Орлов – М.: Машиностроение, 1977. – 623с.
107. Орлов, В.Д. Производство сушеного свекловичного жома / В.Д. Орлов, А.Ф. Забросин, С.Л. Яровой С.Л. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 113 с.
108. Осадчий Л.М. Прессование жома и использование жомопрессовой воды / Л.М. Осадчий, Н.В. Кульковец // Сахар. –2011. – №3. – С.22-34.
109. Остриков, А.Н. Каскадная установка с перфорированной лентой для сушки пищевого растительного сырья / А.Н. Остриков, С.А. Шевцов С.А. // Прогрессивные

технологии и оборудование для пищевой промышленности: материалы II междунар. научн. техн. конф. – Воронеж: Изд. ВГТА, ч. II, 2004. – С.246-247.

110. Остриков, А.Н. Практикум по курсу технологическое оборудование /А.Н. Остриков, М.Г. Парфенопуло, А.А. Шевцов. – Воронеж: ВГТА, 1999. – 424с.

111. Остриков, А.Н. Экструзия в пищевой технологии /А.Н. Остриков.–СПб:ГИОРД, 2004 – 288 с.

112. Павлушин, А.А. Разработка установки для тепловой обработки зерна с обоснованием конструктивных параметров и режимов работы: дис. ... канд. техн. наук:05.20.01 / Павлушин Андрей Александрович.– Пенза: ПГСХА, УГШСХА, 2008. – 231с.

113. Панфилов В.А. Технологические линии пищевых производств / В.А. Панфилов, О.А. Ураков - М.: Пищевая промышленность, 1996. – 472с.

114. Парфенопуло, М.Г. Термовлагопроводимость свекловичного жома / М.Г. Парфенопуло // Сахарная промышленность. –1979.– №4, С. 39–40.

115. Пат. 2457680 Российская Федерация, МПК А 21 В 1/48. Способ нагрева пищевых штучных полуфабрикатов на конвейере внутри туннельной печи [Текст] / В.А. Авроров, В.Б. Моисеев, Ю.С. Почивалов, Г.Д. Лузгин, Г.В. Авроров; заявитель и патентообладатель Пензенская государственная технологическая академия – № 2010138252; заявл. 15.09.2010; опубл. 10.08.2012, Бюл. № 22. –13 с.:ил.

116. Пат. 2465526 Российская Федерация. МПК F 26 В 3/30. Способ сушки материалов в движущемся внутри вращающего цилиндра потоке [Текст] / Г.В. Авроров, С.Р. Мкртчян, А.К. Лаврин, В.А. Авроров, Г.Д. Лузгин, Е.В. Вострокнутов; заявитель и патентообладатель Пензенская государственная технологическая академия – № 2010122989; заявл. 04.06.2010; опубл. 27.10.2012, Бюл. № 30. –23 с.:ил.

117. Пат. 2542530, Российская Федерация. МПК С 13 В 5/06 Способ получения сушеного свекловичного жома / А.М. Черников; заявитель и патентообладатель Черников А.М. –№ 2013137985/13, заявл. 13.08.2013; опубл. 20.02.2015, Бюл. № 5. –4 с.:ил.

118. Пат. 2340678 Российская Федерация. МПК С 13 С 3/00, А 23 L 1/214. Способ получения пищевого волокна из свекловичного жома / Лосева В.А., Путилина Л.Н., Матвиенко Н.А., Шестова С.М.; заявитель и патентообладатель Воронежская государственная технологическая академия. – № 2007117235; заявл. 08.05.2007; опубл. 10.12.2008, Бюл. № 34. – 5 с.:ил.
119. Перспективные технологии переработки свекловичного жома [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <http://www.Noo-center.ru>.
120. Петухов, А.В. Сравнительная характеристика свекловичного жома по содержанию пектиновых веществ / А.В. Петухов, В.А. Пискурева // Материалы XII международной научно-практической конференции «Химия и жизнь». – Новосибирск, 2013.
121. Польшяева, М.А. Об использовании вторичных ресурсов свеклосахарного производства / М.А. Польшяева // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – Пенза: ПензГТУ – 2016. – №1(29) – С. 92-94.
122. Польшяева, М.А. О технологии обработки влагосодержащих пищевых отходов / М.А. Польшяева // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – Пенза: ПензГТУ – 2016. – №1(29). – С. 79-84.
123. Польшяева, М.А. Разработка и исследование компактора для влагосодержащих пищевых материалов / М.А. Польшяева, В.А. Авроров // Современные информационные технологии: сборник научных трудов международной научно-технической конференции. – Пенза: ПензГТУ, 2016. — С.113-115.
124. Полянин, А.В. Оценка экологичности сахарной промышленности на основе техногенного воздействия используемых технологий / А.В. Полянин, М.Л. Мошкевич, Е.В. Карлова // Известия Юго-Западного государственного университета – 2012. – № 6. – С. 240–245.
125. Производство сахарной свеклы в России в 2016г. Минсельхоз РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.moneymaker factory. ru>.

126. Протасова, М.В. Перспективные направления использования отходов сахарного производства/ М.В. Протасова, С.Ю. Миронов, О.В. Лукьянчикова, Л.А. Бабкина//Auditorium.– 2016. – №2 (10). –С.32-41.
127. Прянишников, В.В. Пищевые волокна и белки в мясных технологиях / В.В. Прянишников, А.В. Ильтяков, Г.И. Касьянов. – Краснодар:Экоинвест, 2012. – 200 с.
128. Пятов, В. В. Методика проектирования шнековых машин для экструзии пластичных сред / В. В. Пятов, А. Н. Голубев, П. С. Ширяев // Вестник витебского государственного технологического университета. – 2017. – № 2(33). – С. 42–52.
129. Разработка компактора для влагосодержащих пищевых материалов: отчет о НИР договор № 11450ГУ/2017 от 10.05.2017/ Редченко М.А. –Пенза,2018. –37 с.
130. Ребиндер, П.А.Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика./ П.А. Ребиндер. – М.:Наука, 1979. – 386 с.
131. Редченко, М.А. Анализ технологии получения пектина из свекловичного жома /М.А. Редченко, В.А. Авроров // Актуальные вопросы современной науки: теория и практика научных исследований: Сборник научных трудов всероссийской научно-практической конференции. – Пенза:ПензГТУ, 2017. – С. 224 – 227.
132. Редченко, М.А. О компактировании свекловичного жома / М.А. Редченко // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс.– Пенза: ПензГТУ. – 2017. – №2 (36). –С.20-24.
133. Редченко, М.А. О направлениях переработки и использования отходов свеклосахарной промышленности в отраслях АПК /М.А. Редченко, Е.А. Сарафанкина // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс – Пенза: ПензГТУ. – 2019. – №1(45).т.8. – С.108-111.
134. Редченко, М.А. О прессовании свекловичного жома. /М.А. Редченко, В.А. Авроров // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс – Пенза: ПензГТУ. – 2019. – №2(46).т.8. – С.170-174.
135. Редченко, М.А. О сушке свежего свекловичного жома/М.А. Редченко, В.А. Авроров // Актуальные вопросы современной науки: теория и практика научных

исследований: Сборник научных трудов всероссийской научно-практической конференции. – Пенза: ПензГТУ, 2017. – С. 201-205.

136. Редченко, М.А. Технические условия (проект). Полуфабрикаты мясные рубленые быстрозамороженные с добавлением пищевых волокон. – Пенза: ПензГТУ, 2019. – 21 с.

137. Романчиков, С.А. Измельчение пищевого сырья нетрадиционными способами / С.А. Романчиков, Г.В. Алексеев, А.Г. Леу, Д.В. Карпачев. // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2017. – № 9. – С. 24-28.

138. Рынок сахара и сахарной свеклы: итоги 2017г. и перспективы на 2018г. [Электронный ресурс]. – М.: ИКАР, 2017. – Режим доступа: <http://www.sugar.ru/node/21564>.

139. Сапронов, А.Р. Технология сахарного производства/А.Р. Сапронов. – М.: Колос, 1998. – 495с.

140. Сарафанкина, Е.А. О совершенствовании технологии производства пектиносодержащих пищевых волокон из свекловичного жома./Е.А. Сарафанкина, Л.А. Авророва, М.А. Редченко, В.А. Авроров // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс.– Пенза: ПензГТУ– 2019. –№2(46). – С. 165-170.

141. Свекловичный жом [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <http://www.sugar.ru/node/14636>.

142. Свекловичный жом [Электронный ресурс]. –Режим доступа: http://www.sergey-osetrov.narod.ru/raw_material/beet_pulp.htm.

143. Седова, Н.А. Проблемы энергосбережения сахарных заводов/ Н.А. Седова// Сахарная промышленность.–1996.–№2.–С.18–21 .

144. Серегин, С.Н. Развитие сырьевой базы в условиях рыночной экономики/ С.Н. Серегин, О.Н. Каширина, К.В. Колончин // Сахар.– 2009. – №2 . –С.10-12.

145. Силин, П.М. Технология сахара/ П.М. Силин. –М.: Пищевая промышленность, 1967. – 625с.

146. Сищенко, А.А. Основные направления деятельности отделения хранения и переработки сельскохозяйственной продукции РАСХН по созданию мало и безотходных технологий/ А.А. Сищенко // Тезисы и доклады семинара «Отходы сахарного производства и охрана окружающей среды». – М.: 1994. – С.3-8.
147. Славянский, А.А. Отходы сахарного производства и их использование в сельском хозяйстве / А.А. Славянский, Л.В.Кирейчева, Л.В.Пузанова // Сахар. – 2009.– №10. –С.48-49.
148. Спичак, В.В. Эффективное использование вторичных ресурсов сахарного производства / В.В. Спичак // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2007. –№7. – С.73-76.
149. Стабников, В.Н. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: 1966. –635 с.
150. Степанова, И.А. Утилизация отходов агропромышленного комплекса / И.А, Степанова, А.С. Степанов– Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2009. – 164 с.
151. Степовой, А.В. Получение пищевого пектинового экстракта из свекловичного жома с использованием биотехнологических методов / А.В. Степанов, Л.В. Пономаренко, М.П. Коваленко // Молодой ученый. –Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ – 2015. – №15 (95). – С. 254 -258.
152. Сурашов, Н.Т. Расчет винтовых конвейеров/ Н.Т. Сурашов. – Алма-Ата: Казахский НТУ, 2014. –32с.
153. Сушков, М.Д. Современное состояние и перспективы развития свеклосахарного производства в России /М.Д. Сушков // Сахар. – 2010. –№ 2. – С. 53-59.
154. Тихонов, А.Ф. Расходомер сыпучих строительных материалов, транспортируемых по трубопроводам /А.Ф. Тихонов, Н.М. Плотников, В.Г. Гуляев // Механизация строительства.– 2011. – №2 (800). –С.16-18.
155. Торопцев, В.В. Разработка и исследование двухстадийного способа получения сока из сахарной свеклы на основе прессования и экстракции: автореф. дис. ... канд.

техн. наук: 05.18.12/ Торопцев Василий Владимирович.–Воронеж: ВГУИТ, 2013. - 24с.

156. Тупикова, О.А. перспективы развития свеклосахарного подкомплекса России в условиях модернизации производства и международной интеграции/ О.А. Тупикова// Научный журнал КубГАУ–Красодар: Изд. КубГАУ – 2013. – № 93(09) – С.1–15.

157. Указания к проектированию пневматического транспорта на зерноперерабатывающих предприятиях. Утверждены 28.07.1971.

158. Указания к проектированию пневматического транспорта на мельницах. Утверждены 20.10.1976.

159. Фатыхов, Ю.А. Экструзионные технологии пищевых производств. / Ю.А. Фатыхов, Л. Канопка. – Вильнюс: Техникак, 2007. – 88с.

160. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gks.ru/>.

161. Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике. т.3 и 4 / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. – М.: Либроком, 2015. - 496с.

162. Филипова, Л.В. Использование отходов свеклосахарного производства в кормлении сельскохозяйственных животных / Л.В. Филипова // Агро–Информ. – 2016. – №12 (218). – С.29-30.

163. Флейман П.Е. Свекловичный жом и его использование/П.Е. Флейман –М.: ЦИНТИПП, 1984. – С. 20-37.

164. Фудин К.П.. Перспективы переработки отходов свеклы для получения кормовой добавки / К.П. Фудин, А.П. Смольянова //XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего. – Пенза: ПензГТУ. – 2016. –№01(29).– С. 90–92.

165. Хомяков, В.С. Автоматизированное проектирование компоновок металлообрабатывающих станков / В.С. Хомяков, Н.Н. Давыдов // Станки и инструмент. – 1990. – №5. – С. 4-7.

166. Хомяков, В.С. Кодирование компоновок металлорежущих станков при их автоматизированном проектировании / В.С. Хомяков, Н.Н. Давыдов // Станки и инструмент. – 1989. – №9. – С. 8-11.
167. Хрундин, Д.В. Изучение влияния нагревания на свойства пектина / Д.В. Хрундин, Н.К. Романова, О.А. Решетник // Пищевые технологии и биотехнологии: материалы IX междунар. конф. молодых ученых – Казань: Изд. КГТУ, 2008. – С.63.
168. Шустер, А.И. Проблема экономической эффективности капвложений. Методы и практика определения эффективности капвложений и новой техники / А.И. Шустер. – М.: Наука. – 1967. – № 3. – С. 58.
169. Эккерт, Э.Р. Теория тепломассообмена / Э.Р. Эккерт, Р.М. Дрейк. – Л: Госэнергоиздат, 1953. –284с.
170. Andersson, V. Beet pulp drying using pressurized super-heated steam/ V. Andersson //Int.Sugar J.–1990.–V.108.– №1207.–P.340–344
171. Arslan, N. Filtration and sedimentation of sugar beet pulp acidified / N. Arslan //International Sugar Journal.–1999.–Vol.101.–№1203B.–P.157–160.
172. Avrorov, V.A. A plant for mincing plastic material and other industrial wastes / V.V. Lovtseva, M.A. Poldyaeva, N.D. Tutov // Chemical and Petroleum Engineering. –2017. –, № 4. – P.1- 6.
173. Brooks, L. Biogas from sugar beet press pulp as substitute of fossil fuel in sugar beet factories / L. Brooks, V. Parravicini, K. Svardal, H. Kroiss, L. Prendl // Water Sci Technol. – 2008. – № 58 (7) –P. 1497–1504.
174. Cooke, D.A. The sugar beet crop / D.A. Cooke, R.K. Scott. –London: Chapman & Hall, 1995 – P. 622–628.
175. Draycott, A. Sugar beet /A.P. Drycott. –Suffolk, UK: Blackwell. –515 p.
176. Gigac, J. / J. Gigac, M. Fiserova, S. Bohacek // International Sugar Journal. –2009. – № 11, 1321. - P. 20-26.
177. Eggleston, G. Future Sustainability of the Sugar and Sugar Ethanol industries / G/ Eggleston // American Chemical Society. –2010.

178. Fiserova, M. Cellulose Chemistry and Technology/ M. Fiserova, J.Gigac, S. Bohacek/ - 2007. – № 4, 6. – P. 283-289.
179. Fiserova, M. Wood Research/ M. Fiserova, J.Gigac, S. Bohacek. –2008. –№ 53, 3– P. 57-76.
180. Fiserova, M. Cellulose Chemistry and Technology/ M. Fiserova, J.Gigac, S. Bohacek. –2008. –№ 42. – P. 421-427.
181. Hutnan, M./ M. Hutnan, M.Drtil, J.Derco, L.Mrafkova, S.Mico // Polish Journal of Environmental Studies.-2001. - P.237-243.
182. Lenppi, J.L. Ensiling properties of wet sugarbeet pulp and the addition of dry feedstuffs / J. L. Lenppi, A. M. Encinias, M. L. Banerji, J. s. Caton, T. C. Gilberyt, J. Carison, G. P. Lardyl – Journal of Sugar beet research –2006. –Vol 43 – № 3– P.99–112.
183. McGinnis, R.A. Beet–sugar technology/ R.A. McGinnis.– USA, 2002.–885 p.
184. Michael, A. Polymer Reviews/ A. Michael, Shashan Huoa, A.Chad//. –2012. № 52, 3. –P. 259 -320.
185. Michel, F.. Preparation and characterisation of dietary fibre from sugar beet pulp./ F. Michel, J.-F Thibault, J. L Barry.//Journal of the Science of Food and Agriculture. –1998. –№ 42. –P. 77–85.
186. Norell, R.J. Ensiling pressed beet pulp/ R.J. Norell, M. Chahine, P. Beard–Idaho: College of Agricultural and Life Sciences – Bul 848– P.1–8
187. Oksman, K. Composites Science and Technology/ K. Oksman, M. Skrifvars, J.F. Selin//.–2003. –№ 63, 9. –. 1317-1324.
188. Wollerdorfer, M. / M. Wollerdorfer, H.Bader// Industrial Crops and Products. –1998. –№ 8, 2. – P. 105-112.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

92 1429

СОГЛАСОВАНОЦентр Госсанэпиднадзора по
Пензенской области

Главный Государственный санитарный врач

_____/_____/

МП

МП

«____» _____ 2019 г.

Группа Н 11
УТВЕРЖДАЮ

_____/_____/

«____» _____ 2019 г.

**ПОЛУФАБРИКАТЫ МЯСНЫЕ РУБЛЕННЫЕ
БЫСТРОЗАМОРОЖЕННЫЕ
С ДОБАВЛЕНИЕМ ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН****ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ****ТУ 9214-001-.....-2019****Проект****(вводятся впервые)**

2019 г

Настоящие технические условия (ТУ) распространяются на мясные рубленые полуфабрикаты быстрозамороженные с добавлением пищевых волокон (именуемые в дальнейшем полуфабрикаты), предназначенные для реализации.

Технические условия устанавливают обязательные требования к обеспечению качества продукции, безопасной для жизни и здоровья потребителей. ТУ, как нормативный документ, могут быть использованы для сертификации.

1. Виды

1.1 Полуфабрикаты вырабатывают следующих наименований:

— шбелокаменские;

1.2 Все виды полуфабрикатов допускается вырабатывать с использованием добавок: пищевых волокон, овощей (моркови, томатов, тыквы, картофеля, капусты, лука, чеснока, свеклы), круп (риса, гречки), хлеба, зелени, специй, как мелкорубленых сырых, обжаренных или отваренных, а также продуктов их переработки.

К наименованию полуфабрикатов с использованием добавок добавляется слово, характеризующее вид добавки, например, тефтели белокаменские с луком

1.3 Коды ОКП представлены в приложении А1.

2. Технические требования

2.1 Мясные рубленые полуфабрикаты должны вырабатываться по требованиям, установленным настоящими техническими условиями, согласно разработанной технологической инструкции в соответствии с требованиями санитарных правил для предприятий мясной промышленности, утвержденных в установленном порядке.

2.2 Требования к сырью:

2.2.1 Сырье, используемое для производства полуфабрикатов и в качестве добавок, должно соответствовать требованиям действующих стандартов и других нормативных документов.

2.2.2 Для выработки полуфабрикатов и в качестве добавок может применяться сырье отечественного производства по нормативной документации или зарубежного производства, разрешенное к использованию органами Госсанэпиднадзора РФ, далее по тексту – зарубежного производства, представленное в п.п.2.2.2.1-2.2.2.7.

2.2.2.1 Мясопродукты:

- говядина по ГОСТ 779-55, или в парном состоянии;
- свинина по ГОСТ 7724-77 или в парном состоянии;
- баранина по ГОСТ 1935-55 или в парном состоянии;
- говядина, свинина и баранина, разрешенные к применению органами Госсанэпиднадзора РФ и Департаментом Ветеринарии РФ;
- котлетное мясо говяжье и свиное по ОСТ 49 208-84;
- блоки замороженные из жилованной говядины высшего, первого сорта и жилованной полужирной и жирной свинины по ОСТ 10-02-01-04-86 или зарубежного производства;
- мясо птицы механической обвалки по ТУ 9211-040-23476484-99 или в блоках зарубежного производства;
- шкурка свиная по ГОСТ 7724-77;
- жилка говяжья по ГОСТ 779-55 и свиная по ГОСТ 7724-77;
- стабилизатор белковый зарубежного производства;
- белок соевый зарубежного производства;
- белок животный зарубежного производства.

2.2.2.2 Яйца куриные и яичные продукты

- яйца куриные пищевые по ГОСТ 27583-88;
- меланж яичный замороженный по ТУ 10.02.01.70-88;

2.2.2.3 Мука, крупы и продукты из них

- мука пшеничная хлебопекарная по ТУ 8 РФ 11-95-91, ГОСТ 26574-85 не ниже первого сорта;

- мука пшеничная зарубежного производства;
- мука соевая дезодорированная по ГОСТ 3898-56 или зарубежного производства;
- хлеб из пшеничной муки по ГОСТ 27842-88, ГОСТ 26987-86;
- сухари панировочные по ОСТ 18 255-75;
- крупа манная по ГОСТ 7022-97;
- рис по ГОСТ 6292-93 или рис зарубежного производства;

крупа гречневая по ГОСТ 5550-74.

2.2.2.4 Вкусовые и ароматические вещества

- перец черный или белый по ГОСТ 29050-91, ОСТ 18279-76;
- перец красный молотый по ГОСТ 29053-91;
- кориандр по ГОСТ 29055-91;
- экстракт перца черного по ТУ 18-35-13-76 или зарубежного производства;
- соль пищевая по ГОСТ 13830-97;
- эссенции ароматические пищевые по ОСТ 18 103;
- зелень (укроп, петрушка, сельдерей, кинза) свежую, сушеную и замороженную, разрешенную к применению органами Госсанэпиднадзора РФ.

2.2.2.5 Жиры

- жир-сырец говяжий по ГОСТ 779-55, бараний по ГОСТ 1935-55, свиной или обрезки шпика несоленые по ГОСТ 7724-77;
- шпик по ОСТ 49 38-85.

2.2.2.6 Овощи и продукты их переработки

- пищевые волокна, разрешенные к применению;
- капуста белокочанная свежая по ГОСТ 1724-85, ГОСТ 26768-85, ТУ 28-48-90 или замороженная по ТУ 111-4-35-85;
- капуста свежая или квашенная, разрешенная к применению;
- лук репчатый по ГОСТ 1723-86, ГОСТ 27166-86;

- экстракт лука и порошок луковый зарубежного производства;
- чеснок свежий по ГОСТ 7977-87, ГОСТ 27569-87;
- чеснок измельченный консервированный солью по ТУ 10 РСФСР 284-88;
- экстракт чеснока зарубежного производства;
- чеснок гранулированный или в виде хлопьев зарубежного производства;
- морковь столовая по ГОСТ 1721;
- томаты по ГОСТ 1725;
- свекла столовая по ГОСТ 1722;
- пюре и паста томатные несоленые высшего сорта по ГОСТ 3343;
- полуфабрикаты овощные быстрозамороженные по ТУ 9165-002-10127954;
- картофель свежий по ГОСТ 6014-68, ГОСТ 26832-86, ГОСТ 7176-85;
- картофельные хлопья или крупку, гранулы по ОСТ 18 261-76;
- пюре сухое молочно-картофельное по ТУ 49 717-80;
- пюре сухое картофельное зарубежного производства;
- тыква продовольственная по ГОСТ 7975-68;

2.2.2.7 Вода питьевая по ГОСТ Р 51232-98;

Примечание. Разрешается вместо перечисленного в п.п 2.2.2.1-2.2.2.7 сырья использовать аналогичное сырье, разрешенное к применению Госсанэпиднадзором РФ.

2.3 Характеристики

2.3.1 Мясные рубленые полуфабрикаты по органолептическим показателям должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 1.

Примечание: Допускается незначительная деформация отдельных полуфабрикатов.

2.3.2 Мясные рубленые полуфабрикаты по физико-химическим показателям должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 2.

Примечание. Допускается частичная замена мясного сырья на мясо птицы механической обвалки или белок соевый, хлеба и круп – на пищевые волокна, картофель, капусту и другие овощи, поименованные в п.п.2.2.2.6 настоящих технических условий, в пределах 20 % к массе готового продукта.

2.3.3 Температура в толще фарша полуфабрикатов при отпуске с предприятия-изготовителя должна быть не выше минус 10⁰С.

Таблица 1

Наименование показателя	Характеристика
Внешний вид: фарш	Однородная масса. Не допускаются кости, хрящи, сухожилия. кровяные сгустки и пленки .
бифштексы	Форма округло-приплюснутая, без разорванных и ломаных краев. В однородной массе допускается наличие кусочков шпика размером не более 4 мм.
котлеты	Форма округло-приплюснутая, без разорванных и ломаных краев. Фарш хорошо перемешан.
тефтели	Форма шарообразная. Масса однородная с включениями зерен крупы.
голубцы ленивые в капустной оболочке	Форма округло-приплюснутая. Масса однородная с включениями зерен крупы и кусочков капусты размером сторон не более 6 мм. Форма округло-приплюснутая, капустная оболочка без разрывов.
Запах	Запах свойственный свежим мясным рубленым полуфабрикатам. Фарш сочный, с ароматом добавок и пряностей, без посторонних запахов.

Таблица 2

Полуфабрикаты	Показатель и норма					
	Массовая доля, %					Масса единицы, г
	жира	влаги	соли	пищевых волокон	овощей (хлеба, круп)	
Фарш	50	70	-	5	-	п. 2.5.1.1
Бифштексы	25	70	1,0	2,5	-	250±5 125±5 100±5
Котлеты	30	70	1,7	8	20	100±5 75±5 50±5
Тефтели	25	70	1,5	8	20	100±5 75±5 50±5
Голубцы	30	70	1,5	5	20	100±10 75±7 50±5

2.3.4 Требования по микробиологическим показателям полуфабрикатов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Показатели	Норма
КМАФАнМ, КОЕ в 1 г продукта, не более	5×10^6
БГКП в 0,0001 г	Не допускаются
Сульфитредуцирующие клостеридии в 0,01 г	Не допускаются
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы, в 25 г	Не допускаются

2.3.6 Полуфабрикаты должны соответствовать требованиям Сан ПиН 2.3.2.560-96. Содержание токсичных элементов, микотоксинов, антибиотиков, пестицидов, нитрозоаминов и радионуклидов в полуфабрикатах регламентируется по сырью.

Гигиенические характеристики в полуфабрикатах представлены в табл. 4.

Таблица 4

Наименование	Показатели	Допустимые уровни, мг/кг, не более
Полуфабрикаты мясные рубленые: фарш белокаменный бифштексы белокаменные котлеты белокаменные тефтели белокаменные голубцы белокаменные	<u>Токсичные элементы:</u>	
	Свинец	0,5
	Мышьяк	0,1
	Кадмий	0,05
	Ртуть	0,03
	Медь	5,0
	Цинк	70,0
	<u>Нитрозоамины:</u>	
	Сумма НДМА и НДЭА	0,002
	<u>Антибиотики:</u>	
	Левомецитин	Не допускается
	Тетрациклиновая группа	Не допускается
	Гризин	Не допускается
	Бацилрацин	Не допускается
	<u>Пестициды:</u>	
	Гексахлорциклопексан (α, β, γ - изомеры)	0,1
	ДДТ и его метаболиты	0,1
	<u>Радионуклиды:</u>	
	Цезий-137	160
	Стронций-90	50

2.3.7 Дефростация полуфабрикатов и вторичное замораживание не допускается.

2.4 Маркировка

2.4.1 Каждая упаковочная единица продукта должна иметь маркировку в виде наклеенной этикетки со следующими обозначениями::

- наименование предприятия, его местонахождение;
- название продукта и его термическое состояние;
- состава продукта;
- рекомендации по кулинарной обработке продукта;
- массы нетто, г;
- даты выпуска;
- срока и условий хранения;
- пищевую и энергетическую ценность, рассчитанную на 100 г продукта;
- номер настоящих технических условий.

2.4.2 Маркировка также должна наноситься на торцевую сторону каждой единицы тары

- наименования предприятия и его местонахождения;
- название продукта и его термического состояния;
- количества упакованных в таре единиц (шт.) продукции, или их массы, кг;
- даты выпуска;
- срока и условий хранения продукта в торговой сети;
- обозначения настоящих технических условий.
- информации о сертификации.

Примечание. Если в транспортной таре находится фасованная продукция в потребительской таре, то маркировка, характеризующая фасованную продукцию, может наноситься на любую сторону каждой единицы транспортной тары.

2.4.3 Транспортная маркировка выполняется по ГОСТ 14192-96

2.5 Упаковка

2.5.1 Замороженные полуфабрикаты выпускают в следующем виде:

2.5.1.1 Фарш - в фасованном виде, массой нетто упаковочной единицы 0,25; 0,5 и 1 кг, и весовой, массой брутто упаковочной единицы не более 20 кг. Допускаемые отклонения массы нетто одной упаковочной единицы фасованного фарша при фасовании вручную:

- для массы нетто 0,25 и 0,5 кг - ± 14 г;
- для массы нетто 1 кг - ± 2 %.
- Допускаемое отклонение массы нетто упаковочной единицы для весового фарша - ± 1 %.

Примечание: Допускается фасовать фарш в полиэтиленовые пакеты нестандартной массой нетто от 0,25 до 1 кг.

2.5.1.2 Бифштексы, котлеты, тефтели массой каждой единицы продукта согласно таблицы 2. Упаковочная единица представляет собой лоток (полимерный, металлический или деревянный) с уложенными в один ряд (полунаклонно) полуфабрикатами, обернутый в полимерную пленку (оберточную бумагу, пергамент, подпергамент).

2.5.2 В качестве упаковки фасованных полуфабрикатов разрешается применять: картонные коробки по ОСТ 49 133-83, картон коробочный по ГОСТ 7933-89, , картон «хром-эрзац» для складных коробок по ТУ 13-0281020-77-89, , пленку полиэтиленовую по ГОСТ 25951-83, пленку полиамидполиэтиленовую по ТУ 6-19-371-87, пленку полиэтиленцеллофановую по ТУ 6-12-020-40-77-02-88, плёнку полипропиленовую по ТУ 2211-015-00203521, пленку полиэтиленовую пищевых марок по ГОСТ 10354-93, лакированный целлофан по ГОСТ 7730, пакеты из пленки поливинилиденхлоридной “Повиден” по ТУ 6-01-1087-82, пакеты из полимерных пленочных материалов по ТУ 63.102.115-90 и другие разрешенные упаковочные материалы

2.5.3 Упаковочные единицы полуфабрикатов и фарш укладывают в чистые сухие без постороннего запаха многооборотные ящики деревянные по ГОСТ 11354-82, полимерные по ОСТ 49 127-78 или ТУ 10.10.01-04-89, алюминиевые по ОСТ 49 123-78 или ТУ 10-10-541-87, коробки из гофрированного картона по ГОСТ 16535, ГОСТ 13511, ГОСТ 13512, ГОСТ 13513, ГОСТ 13516, или в другую разрешенную тару. Масса упаковочной единицы не более 20 кг.

2.5.4 Крышки ящиков разрешается накрывать пергаментом, подпергаментом, полиэтиленовой или целлофановой пленками. Коробки должны быть оклеены клеевой лентой на бумажной основе марки В по ГОСТ 18251-75, полиэтиленовой лентой с липким слоем по ГОСТ 20477, или обвязаны шпагатом по ГОСТ 17308.

3. Правила приемки

3.1 Полуфабрикаты принимают партиями. Партией считается любое количество замороженных полуфабрикатов одного наименования, одной даты выработки, изготовленное одним предприятием и оформленное одним документом, удостоверяющим качество продукции.

3.2 Каждая партия готовой продукции должна быть проверена службой технического контроля предприятия (лабораторией, либо другой соответствующей службой или уполномоченным на то лицом) предприятия-изготовителя либо другими уполномоченными лабораториями на соответствие продукции требованиям настоящих технических условий и оформлена соответствующими сопроводительными документами.

3.3 Для проверки соответствия качества выпускаемых предприятием полуфабрикатов требованиям, указанным в настоящих технических условиях осуществляется выборка продукции в количестве 10 % от объема партии, но не менее трех транспортных мест (коробок, ящиков).

Из выделенного количества транспортных мест отбирается разовая проба полуфабрикатов из разных мест каждой упаковочной единицы, с таким расчетом, чтобы общая масса разовых проб была не менее 3 кг.

3.4 При неудовлетворительных результатах контроля, хотя бы по одному из показателей, проводятся повторные испытания на удвоенной выборке, взятой от той же партии. Результаты повторных испытаний являются окончательными.

3.5 Периодичность контроля устанавливается предприятием по согласованию с территориальными органами Госсанэпиднадзора РФ .

3.6 Контроль содержания токсичных элементов, радионуклидов, пестицидов и микробиологических показателей в полуфабрикатах осуществляется в соответствии с порядком, установленным территориальными органами Госсанэпиднадзора РФ.

4 Методы испытаний

4.1 Отбор проб и подготовка их к испытанию – по п.3.3. настоящих технических условий.

Для определения физико-химических показателей из отобранного количества полуфабрикатов после тщательного перемешивания составляют объединенную пробу общей массой не менее 400 г. Физико-химические показатели голубцов в капустной оболочке определяют для фарша, для чего фаршевую часть отделяют от капустной оболочки, измельчают на мясорубке и тщательно перемешивают.

4.2 Определение внешнего вида осуществляется органолептически согласно п.2.3.1 настоящих технических условий.

4.3 Масса упаковочной единицы и штучных полуфабрикатов проверяется на весах для статического взвешивания по ГОСТ 23676-79 или ГОСТ 29329-92.

4.4 Используемые методы испытаний выбирают по ГОСТ 4288-76, ГОСТ 9957-73, ГОСТ 23042-86, ГОСТ 25011-81, ГОСТ 9959-91, ГОСТ Р 50454-92, ГОСТ Р 50480-93, ГОСТ Р 50474-93, ГОСТ Р 50455-92.

4.5 Содержание токсичных элементов определяют по ГОСТ 26927-86, ГОСТ 26930-86, ГОСТ 26934-86. Для определения содержания в продукции микотоксинов, антибиотиков, радионуклидов и пестицидов используют методики, утвержденные органами Госсанэпиднадзора РФ.

5 Транспортирование и хранение продукции

5.1 Перевозку замороженных полуфабрикатов проводят в автомобилях-рефрижераторах или автомобилях с изотермическими кузовами в условиях, обеспечивающих поддержание их температуры не выше минус 10⁰С.

5.2 Хранение полуфабрикатов осуществляют при температуре воздуха в камере не выше минус 10⁰С.

5.3 Общие сроки годности полуфабрикатов при определенных ниже условиях их хранения на предприятии-изготовителе, холодильниках оптовых баз или других предприятий и реализации в торговой сети не должны превышать:

1 месяца со дня выработки при температуре хранения не выше минус 10⁰С (для фарша и бифштексов), 20 суток со дня выработки при температуре хранения не выше минус 10⁰С (для котлет, тефтелей и голубцов),

2 суток после выпуска при температуре хранения не выше минус 5⁰С,

12 часов с момента окончания технологического процесса при температуре хранения от 2 до 6⁰С.

При более высоких температурах полуфабрикаты хранению и реализации не подлежат.

Для реализации полуфабрикатов с просроченным сроком годности необходимо разрешение органов Госсанэпиднадзора РФ.

Приложение А1
(обязательное)

Таблица А.1 - Коды ОКП

Вид полуфабрикатов	Код ОКП
фарш белокаменский	92 1429
бифштексы белокаменские	92 1429
котлеты белокаменские	92 1429
тефтели белокаменские	92 1429
голубцы белокаменские	92 1429

Приложение А2 (справочное)

Рекомендации по кулинарной обработке полуфабрикатов:

Фарш белокаменский – подвергается тепловой обработке в составе изделий: пельменей, котлет и т.п. в соответствии с технологией их приготовления.

Остальные полуфабрикаты обжаривают в течение 3-5 мин с двух сторон на сковороде или противне с жиром, разогретыми до температуры 150-160⁰С, до образования корочки. Обжаренные полуфабрикаты доводят до готовности:

— бифштексы белокаменские и котлеты белокаменские – в жарочном шкафу при температуре 250-280⁰С в течение 5-7 мин;

— тефтели белокаменские заливают соусом красным, томатным или сметанным с томатом с добавлением 10-20 г воды на порцию и тушат в течение 8-10 мин после закипания соуса при слабом нагреве;

— голубцы белокаменские заливают соусом сметанным или сметанным с томатом и запекают 15-30 мин в жарочном шкафу при температуре 250-280⁰С.

Признаки готовности полуфабрикатов:

— выделение бесцветного сока в месте прокола;

— серый цвет на разрезе.

Приложение А3 (справочное)

Пищевая и энергетическая ценность 100 г полуфабрикатов

Наименование полуфабрикатов	Белок, г	Жир, г	Калорийность, ккал
фарш белокаменский	14,0	33,5	370
бифштексы белокаменские	14,0	20,0	210
котлеты белокаменские	10,4	30,0	340
тефтели белокаменские	10,2	20,0	360
голубцы белокаменские	10,1	19,4	333

Пищевая и энергетическая ценность 100 г основного сырья и добавок

Наименование сырья	Белок, г	Жир, г	Калорийность, ккал
говядина	17,0	17,0	225
свинина жирная	11,0	50,0	515
мясо птицы	25,0	5,0	150
пищевые волокна	8,3	0,7	0
хлеб пшеничный	8,0	1,7	251
крупа рисовая	6,2	1,0	359
лук репчатый	0,9	0,0	23
свекла	1,8	0,0	44
капуста	1,7	0,0	15
морковь	0,7	0,0	23
картофель	1,4	0,0	80
белок соевый	90,0	0,0	160

УТВЕРЖДАЮ

_____/...../
«__»_____ 2019 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНСТРУКЦИЯ

**по производству полуфабрикатов
мясных рубленых замороженных
с добавлением пищевых волокон**

(вводится впервые)

Технологическая инструкция определяет технологию производства полуфабрикатов мясных рубленых замороженных с добавлением пищевых волокон (далее - полуфабрикатов), предназначенных для реализации.

1. Виды

1.1 Полуфабрикаты вырабатывают следующих наименований:

- фарш белокаменский
- бифштексы белокаменские
- котлеты белокаменские
- тефтели белокаменские
- голубцы белокаменские

1.2 Все виды полуфабрикатов допускается вырабатывать с использованием добавок: пищевых волокон, моркови, томатов, хлеба, картофеля, капусты, свеклы, тыквы, риса, гречки, лука, чеснока, зелени, специй (мелкорубленых сырых, обжаренных или отваренных), а также продуктов их переработки. К наименованию полуфабрикатов с использованием добавок добавляется слово, характеризующее вид добавки, например, тефтели белокаменские с луком.

2. Характеристика сырья и материалов

2.1 Для выработки полуфабрикатов применяют следующие виды сырья:

- говядина по ГОСТ 779-55 или в парном состоянии;
- свинина по ГОСТ 7724-77 или в парном состоянии;
- говядина и свинина, разрешенные к применению органами Госсанэпиднадзора РФ и Департаментом Ветеринарии РФ;
- котлетное мясо говяжье и свиное по ОСТ 49 208-84;
- блоки замороженные из жилованной говядины высшего, первого сорта и жилованной полужирной и жирной свинины по ОСТ 10-02-01-04-86 или зарубежного производства;

- мясо птицы механической обвалки по ТУ 9211-040-23476484-99 или в блоках зарубежного производства;
- жилка говяжья по ГОСТ 779-55 и свиная по ГОСТ 7724-77;
- стабилизатор белковый зарубежного производства;
- белок соевый зарубежного производства;
- белок животный зарубежного производства;
- жир-сырец говяжий, свиной или бараний, или обрезки шпика несоленые , полученные от разделки говядины по ГОСТ 779-55, свинины по ГОСТ 7724-77 или баранины по ГОСТ 1935-55;
- шпик боковой или колбасный несоленый по ОСТ 49 38-85;
- пшеничный белок ПРО 500 артикул № 5974, или другой аналогичный белок, разрешенный к применению Госсанэпидслужбой РФ;
- хлеб белый из пшеничной муки высшего и первого сорта по ГОСТ 26987-86;
- хлеб белый из пшеничной муки не ниже первого сорта по ГОСТ 27842-88;
- сухари панировочные по ОСТ 18 255-75;
- перец черный или белый по ГОСТ 29050-91;
- перец красный молотый по ГОСТ 29053-91;
- кориандр по ГОСТ 29055-91;
- экстракт перца черного по ТУ 18-35-13-76 или зарубежного производства;
- соль пищевая по ГОСТ 13830-97;
- вода питьевая по ГОСТ Р 51232-98;
- яйца куриные пищевые по ГОСТ 27583-88;
- меланж яичный замороженный по ТУ 10.02.01.70-88;
- порошок яичный по ГОСТ 30363-96;
- лук репчатый по ГОСТ 1723-86; ГОСТ 27166-86;
- лук репчатый сушеный по ГОСТ 7587-71;
- чеснок по ГОСТ 7977-87, ГОСТ 27569-87;

- чеснок сушеный по ГОСТ 16729-71;
- мука пшеничная хлебопекарная по ТУ 8 РФ 11-95-91, ГОСТ 26574-85 не ниже первого сорта;
- мука пшеничная зарубежного производства;
- крупа манная по ГОСТ 7022-97;
- крупа рисовая по ГОСТ 6292-93 или зарубежного производства;
- крупа гречневая по ГОСТ 5550-74;
- пищевые волокна, разрешенные к применению;
- капуста белокочанная по ГОСТ 1724-85, ГОСТ 26768-85, ТУ 28-48-90;
- капуста свежая и квашенная, разрешенная к применению органами Госсанэпиднадзора РФ;
- морковь столовая по ГОСТ 1721;
- томаты по ГОСТ 1725;
- свекла столовая по ГОСТ 1722;
- пюре и паста томатные несоленые высшего сорта по ГОСТ 3343;
- полуфабрикаты овощные быстрозамороженные по ТУ 9165-002-10127954;
- картофель по ГОСТ 6014-68, ГОСТ 26832-86, ГОСТ 7176-85;
- картофельные хлопья или крупку, гранулы по ОСТ 18 261-76;
- пюре сухое молочно-картофельное по ТУ 49 717-80;
- пюре сухое картофельное зарубежного производства;
- тыква продовольственная по ГОСТ 7975-68;
- зелень (укроп, петрушка, сельдерей, кинза) свежую. сушеную и замороженную, разрешенную к применению органами Госсанэпиднадзора РФ.
- мука соевая дезодорированная по ГОСТ 3898 или зарубежного производства.

Примечание. Взамен перечисленного в п 2.1 сырья допускается использование сырья, поименованного в п.2.2 ТУ 9214-001-.....-2019, а также аналогичного ему, разрешенного к применению органами Госсанэпиднадзора РФ

2.2. Для упаковки полуфабрикатов применяют материалы согласно п.2.5 ТУ 9214-001-.....-2019.

3.Рецептура

3.1 Рецептaра полуфабрикатов представлена в табл. 1.

Таблица 1.

Наименование сырья	Норма (в кг на 100 кг продукта без учета потерь)				
	Фарш	Бифштекс	Котлеты	Тефтели	Голубцы
Мясо котлетное говяжье	45	77,5	24,5	21,0	22,5
Свинина жирная	45	-	25,5	22,0	22,5
Шпик колбасный несоленый	-	12,0	-	-	-
Пищевые волокна	5	2,5	8	8	5
Хлеб	-	-	2,2	2,0	1,0
Лук репчатый	-	-	2,0	-	2,0
Меланж	-	0,1	-	0,1	-
Перец черный или белый молотый	-	1,2	0,1	1,2	0,1
Соль пищевая	-	6,7	1,2	17,7	1,2
Вода питьевая	-	-	20,0	4,0	4,7
Сухари панировочные	-	-	4,0	22,0	2,0
Рис	-	-	-	-	15,0
Капуста	-	-	-	-	24,0

Примечания:

1 Допускается замена до 10 % основного мясного сырья в фарше и бифштексах на белок соевый гидратированный. Гидратация соевого белка производится в соотношении белка и воды 1:3. Продолжительность гидратации 20-40 мин.

2. Допускается частичная (до 10 %) взаимозаменяемость говядины и свинины при изготовлении фарша .

3. Допускается замена до 20 % основного мясного сырья в фарше на мясо птицы механической обвалки.

4. Допускается замена мяса котлетного говяжьего на говядину или фарш белокаменский.

5. Норма мяса котлетного говяжьего приведена без учета добавок. При введении добавок массовая доля его уменьшается в соответствии с нормой добавки. В качестве добавок используются зелень, чеснок и специи, поименованные в п.2.1

настоящей инструкции, в количестве до 0,2 % от массовой доли мяса котлетного говяжьего.

6. Допускается замена сухарей панировочных на муку пшеничную или крупу манную.

7. Допускается замена до 50 % хлеба и риса на овощи, поименованные в п.2.1 настоящей инструкции.

8. Допускается полная или частичная замена риса на крупы, поименованные в п.2.1 настоящей инструкции.

9. Допускается применять яичный порошок в количестве 274 г и 726 г воды или 1кг (24 шт.) куриных яиц взамен 1 кг меланжа.

4. Характеристика изготавливаемой продукции

4.1 По органолептическим показателям полуфабрикаты должны соответствовать требованиям, указанным в табл.2.

Таблица 2

Показатели	Характеристика
Внешний вид : фарш	Однородная масса без хрящей, сухожилий, грубой соединительной ткани.
бифштексы	Форма округло-приплюснутая, без разорванных и ломаных краев. Масса однородная.. Допускается включение кусочков шпика размером не более 4 мм.
котлеты	Форма округло-приплюснутая, без разорванных и ломаных краев. Фарш хорошо перемешан.
тефтели	Форма шарообразная. Масса однородная с включениями зерен крупы.
голубцы ленивые в капустной оболочке	Форма округло-приплюснутая. Масса однородная с включениями зерен крупы и кусочков капусты размером не более 6 мм. Форма округло-приплюснутая, капустная оболочка без разрывов.
Вкус и запах	Характерные для данного вида продукта.. Фарш сочный, с ароматом лука, пряностей, без посторонних привкуса и запаха.

Примечание: Допускается незначительная деформация отдельных полуфабрикатов

4.2 Микробиологические показатели должны соответствовать требованиям таблицы 3

Таблица 3

Показатели	Норма
Количество мезофильных аэробных и факультативно-аэробных микроорганизмов, КОЕ в 1 г продукта, не более	1×10^6
Сульфитредуцирующие клостеридии в 0,01 г	Не допускаются
Бактерии группы кишечных палочек в 0,0001 г	Не допускаются
Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы, в 25 г	Не допускаются

4.3 Содержание токсичных элементов, микотоксинов, антибиотиков, радионуклидов, пестицидов и нитрозаминов в полуфабрикатах регламентируется по сырью и не должно превышать допустимых уровней, установленных «Гигиеническими требованиями к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов» (Сан ПиН 2.3.2.560).

5 Технологический процесс

5.1 Производство полуфабрикатов мясных рубленых должно осуществляться в соответствии с требованиями технологической инструкции с соблюдением санитарных правил и инструкций по мойке и дезинфекции для предприятий мясной промышленности; инструкций по санитарной обработке технологического оборудования и инвентаря на мясокомбинатах, утвержденных в установленном порядке.

5.2 Технологический процесс производства полуфабрикатов должен содержать следующие операции:

- подготовка мясного сырья;
- подготовка соевых белков;
- подготовка пищевых волокон;
- подготовка дополнительного сырья и добавок;
- приготовление фарша;

- фасовка и формовка полуфабрикатов;
- замораживание полуфабрикатов;
- упаковка и маркировка;
- транспортирование и хранение.

5.2.1 Подготовка мясного сырья.

При производстве фарша мясного замороженное сырье дефростируют. Говяжьи и свиные блоки используют при температуре в толще мышц не выше -6°C . Обработка мясного сырья для приготовления фарша включает в себя следующие этапы: зачистка, разделка, обвалка и жиловка.

Замороженные блоки из говядины, свинины и мяса птицы могут быть измельчаться без предварительного размораживания. Их измельчают на блочорезках, волчках-дробилках при температуре не выше 0°C , и направляют на приготовление фарша.

На обвалку направляют охлажденное мясное сырье с температурой не ниже 1°C .

При жиловке говядину и свинину разрезают на куски массой до 1 кг.

Обрезки шпика жира-сырца говяжьего или свиного охлаждают до температуры ниже $+4^{\circ}\text{C}$.

5.2.2 Подготовка пищевых волокон

Пищевые волокна в виде порошка предварительно замачивают в холодной воде в течение 20-30 мин, перемешивают и во влажном виде вводят в фаршемешалку. Допускается вводить непосредственно пищевые волокна в фаршемешалку без предварительного замачивания.

5.2.3 Подготовка овощей и зелени.

Лук и чеснок подвергают очистке и промыванию холодной водой. Сушеный лук инспектируют и замачивают в холодной воде в соотношении 3,5:1 в течение 3-4 часов.

Сушеный чеснок закладывают в фарш из расчета 0,5 кг сушеного взамен 1 кг свежего чеснока.

Лук и чеснок измельчают до 2-3 мм.

Свежую зелень промывается в проточной холодной воде, затем рубится вручную или измельчается на волчке ..

Клубни картофеля сортируют, моют и подвергают очистке от кожуры. . Очищенный картофель отваривают в течение 30-40 мин. Вареный картофель измельчают на волчке.

Картофельные хлопья, крупку, гранулы, пюре сухое замачивают в воде в соотношении 1:4 и направляют в фаршемешалку.

Капусту свежую очищают и промывают в проточной воде. Для приготовления ленивых голубцов капусту измельчают в куттере.. Для приготовления голубцов в капустной оболочке от вилка капусты отделяют неповрежденные листья, которые еще раз промывают и отваривают в течение 10-20 мин.

Морковь промывают, очищают и нарезают соломкой.

5.2.3.3 Подготовка хлеба.

Хлеб нарезают, замачивают в воде и, измельчают

5.2.3.4 Подготовка яичных продуктов.

Замороженный меланж, упакованный в банках или полиэтиленовых пакетах, предварительно размораживают, для чего: банки погружают в ванну с теплой водой; полиэтиленовые пакеты с меланжем укладывают в емкости и выдерживают при комнатной температуре.

В яичный порошок 274 г добавляют воду 726г и перемешивают до пюреобразного состояния.

При изготовлении котлет с использованием меланжа или яичного порошка допускается их перемешивание с измельченным хлебом в течение 5-10 мин до образования однородной массы.

5.3.3 Приготовление добавок.

Рис рассыпчатый для приготовления тефтелей и голубцов белокаменских готовят следующим образом: перебранную рисовую крупу засыпают в подсоленный кипяток (6 л воды и 60 г соли на 1 кг крупы) и варят до готовности, после чего рис откидывают и промывают горячей кипяченой водой.

Соль используют в сухом виде или в растворе.

При использовании панировочных сухарей вместо пшеничного хлеба их замачивают в воде в соотношении 1:1. 5.3.4. Приготовление фарша.

Для приготовления фарша мясное сырье взвешивают, затем измельчают на волчках с диаметром отверстий решетки 2-3 мм

Жир-сырец говяжий, свиной или бараний измельчают на волчке.

Шпик для бифштекса, измельчают на шпигорезке или вручную.

Допускается перед измельчением на волчке осуществлять в соответствии с рецептурой посол котлетного говяжьего мяса (говядины второго сорта), свиного котлетного мяса (свинины жилованной полужирной), свинины жилованной жирной.

После измельчения мясной фарш готовят на фаршеприготовительных агрегатах, либо вручную, перемешивая компоненты в соответствии с рецептурой до получения однородной смеси. Общая продолжительность перемешивания фарша 4-6 мин. Температура готового фарша не должна быть выше 14⁰С.

5.3.5 Фасовка и формовка полуфабрикатов.

Полуфабрикаты формуются на формовочном оборудовании или вручную.

Голубцы в капустной оболочке формуют вручную путем заворачивания фарша в отваренный капустный лист.

Поверхность котлет белокаменских, тефтелей белокаменских и голубцов ленивых белокаменских должна быть покрыта тонким слоем панировочных сухарей, крупы манной или муки пшеничной, без трещин и изломов.

Отформованные и расфасованные полуфабрикаты перед замораживанием хранят не более 20 минут.

5.3.6 Замораживание полуфабрикатов

Полуфабрикаты после формования направляют в морозильную камеру или в аппарат.шоковой заморозки

Рекомендуемое время выдержки полуфабрикатов в морозильной камере с температурой $-20...25^{\circ}\text{C}$ должно составлять не менее 3-4 часов при скорости движения воздуха 0,1-0,2 м/с и 0,7-1 час при скорости – 1-2 м/с.

6. Санитарная обработка оборудования

6.1 Санитарную обработку оборудования при производстве полуфабрикатов проводят в соответствии с требованиями “Инструкции по санитарной обработке оборудования, инвентаря и тары на предприятиях мясной промышленности”, а также в соответствии с инструкциями по эксплуатации установок, автоматов, линий и т.д. фирм-изготовителей.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

**Расчет параметров и выбор оборудования линии для производства
пищевых волокон из свекловичного жома**

1. Расчет и выбор циклона – разгрузителя

1. Потери давления в циклоне-разгрузителе, кПа

$$H_{ц.р.} = Q_{факт.}^2 D_{ц.р.}^{-3} \frac{\rho_{н.у.}}{\rho_{ц.р.}},$$

где $\rho_{н.у.} = 1,2$ – плотность воздуха при нормальных условиях; $D_{ц.р.}$ – диаметр циклона-разгрузителя, м

$$\rho_{ц.р.} = \rho_{возд.} - H_{мл}/RT = 1,196 - 2951,8/288 \cdot 293 = 1,161 \text{ кг/м}^3$$

Для пропускной способности $Q_{факт} = 0,103 \text{ м}^3/\text{с}$ табличное значение диаметра цилиндрической части циклона $D_{ц.р.} = 250 \text{ мм}$. Циклон типа ЦР, скорость воздуха на входе 14...18 м/с, степень очистки 70...98%, площадь сечения входного патрубка 0,00725 м², диаметр входного патрубка 50 мм, высота входного патрубка 145 мм.

Таблица 1– Размеры циклона – разгрузителя ЦР-250

Наименование и обозначение параметра	Размер циклона: в долях диаметра $D_{ц.р.}$ / в мм
Диаметр выхлопной трубы, d	0,6/ 150
Диаметр пылевыпускного отверстия, d ₁	0,4/100
Высота без внешней части выпускной трубы, Н ₀	4,18/1045
Высота цилиндрической части, Н ₁	2,13/532,5
Высота конуса циклона, Н ₂	2/500
Высота выхлопной трубы, h	1,65/412,5
Высота входного патрубка, a	0,58/145
Ширина входного патрубка, b	0,2/50
Радиус входной улитки, R	150 мм
Эксцентриситет, с	0,15/37,5
Коэффициент сопротивления, ζ	4,5/1125

Для данного циклона – разгрузителя рекомендуется шлюз марки БШМ/1.

2. Расчетная частота вращения шлюзового затвора

Примем объем ячейки ротора 0,4 дм³, число ячеек 8.

$$n = \frac{3600 G_i}{0,06 V_{\text{шлюза}} \rho_{\text{прод}} \beta_{\text{шлюза}} \eta_{\text{шлюза}}} = \frac{3600 \cdot 0,04}{0,06 (8 \cdot 0,4) 600 \cdot 0,7 \cdot 0,4} = \frac{144}{32,2} = 4,5 \text{ мин}^{-1},$$

где $V_{\text{шлюза}}$ – вместимость ячеек шлюзового затвора, дм³; $\rho_{\text{прод}}$ – насыпная плотность жома, кг/м³; $\beta_{\text{шлюза}} = 0,7$ – коэффициент, учитывающий аэрирование при транспортировании; $\eta_{\text{шлюза}} = 0,4$ – коэффициент заполнения барабана.

Можно принять шлюзовой затвор РЗ-БШМ/1 или аналогичный ему.

Таблица 2 – Технические параметры шлюзового затвора БШМ

Показатели	Значения
Производительность, м ³ /ч	7,5
Диаметр ротора, мм	220
Длина ротора, мм	130
Число ячеек ротора	8
Объем ячейки, дм ³	0,46
Частота вращения ротора, мин ⁻¹	45

Расчет фильтра. В линии устанавливается рукавный фильтр, работающий в системе пневмотранспорта

1. Расход воздуха

$$Q_{\text{фильтра}} = \sum Q_{\text{факт}} + \sum \Delta Q_{\text{ц.р.}} + \sum \Delta Q_{\text{б.ц.}},$$

где $\sum Q_{\text{факт}}$ – сумма расходов воздуха в материалопроводах, м³/с; $\sum \Delta Q_{\text{ц.р.}}$ – суммарный подсос воздуха в циклонах-разгрузителях, м³/с; $\sum \Delta Q_{\text{б.ц.}}$ – суммарный подсос воздуха в батарейных циклонах (для двухступенчатой очистки).

Количество воздуха $\Delta Q_{\text{ц.р.}}$, подсасываемого через циклоны-разгрузители, принимают в зависимости от разрежения в коллекторе. При разрежении 5 кПа $\Delta Q_{\text{ц.р.}} = 0,55 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$

В линии установлено три циклона-разгрузителя, в этом случае $\sum \Delta Q_{\text{ц.р.}} = 1,65 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$.

В линии имеется четыре материалопровода.

Поэтому

$$\sum Q_{\text{факт}} = 4Q_{\text{факт}} = 4 \cdot 0,103 = 0,412 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$\sum \Delta Q_{\text{б.ц.}} = 0$, т.к. в линии устанавливается не батарейный, а рукавный фильтр.

$$Q_{\text{фильтра}} = Q_{\text{фильтра}} = \sum Q_{\text{факт}} + \sum \Delta Q_{\text{ц.р.}} = 0,0165 + 0,412 = 0,4285 \text{ м}^3/\text{с}.$$

2. Удельная нагрузка 1 м² фильтрующей поверхности рукавов, м³/м²

$$q = \frac{60 Q_{\text{фильтра}}}{F_{\text{фильтра}}} = \frac{60 \cdot 0,4285}{30} = 0,86 \text{ м}^3/\text{м}^2$$

где $F_{\text{фильтра}}$ – площадь фильтрующей поверхности рукавов, м².

3. Потери давления в рукавном фильтре

$$H_{\text{фильтра}} = 0,55 q^{1,35} = 0,55 \cdot 2,2^{1,35} = 0,55 \cdot 2,9 = 1,595 \text{ кПа}.$$

В зависимости от расхода воздуха $Q_{\text{фильтра}}$ можно выбрать рукавный фильтр марки Г4-1БФМ30 с размерами 1435x1580x4326 мм и площадью фильтрования $F_{\text{фильтра}} = 30 \text{ м}^2$, для которого допускаемая удельная нагрузка на ткань q = не более 2,2 м³/м² или аналогичный ему более современный.

Расчет вентиляторов.

1. Расчетное давление вентилятора

$$H_{\text{вент}} = H_{\text{магистр.}} + H_{\text{б.ц.}} + H_{\text{фильтра}} + H_{\text{дресселя}} + H_{\text{коллект.}} + H_{\text{неучт.}} = 2,95 + 0 + 1,595 + 3 + 1,5 = 9,045 \text{ кПа},$$

где $H_{\text{магистр.}}$ – потери давления в магистральном материалопроводе, $H_{\text{дресселя}} = 3 \text{ кПа}$ – потери давления в дроссельной заслонке, $H_{\text{коллект.}} = 1,5 \text{ кПа}$ – потери давления в коллекторе, $H_{\text{неучт.}} = 1 \text{ кПа}$ – неучтенные потери давления.

2. Подача вентилятора, м³/с

$$Q_{\text{ВВД}} = Q_{\text{фильтра}} + \Delta Q_{\text{фильтра}}; Q_{\text{ВСД}} = 1,05 Q_{\text{ВВД}},$$

где $Q_{\text{ВВД}}$ – подача вентилятора высокого давления, $Q_{\text{ВСД}}$ – подача вентилятора среднего давления, $\Delta Q_{\text{фильтра}}$ – подсос воздуха в фильтре (для рукавного фильтра Г43-16ФМ-30 (Г43-16ФМ-45) $\Delta Q_{\text{фильтра}} = 11 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$.

$$Q_{ВВД} = 0,4285 + 0,11 = 0,4296 \text{ м}^3/\text{с}.$$

3. Расчетное давление вентилятора (вентилятор высокого давления)

$$H_{ВВД} = \frac{0,9P_{ВВД}P_{АТМ}}{0,9P_{ВВД} + 1,15 \cdot 10^{-3}RT} = \frac{0,9 \cdot 2,5 \cdot 101,3}{0,9 \cdot 2,5 + 1,15 \cdot 0,001 \cdot 288 \cdot 293} = 2,3 \text{ кПа}$$

где $P_{ВВД}$ – полное давление по характеристике, кПа; $P_{АТМ}$ – атмосферное давление для данной местности, кПа; T – температура воздуха в теплый период, К; $1,15 \cdot 10^{-3}$ – плотность воздуха на входе, кг/м³.

Для определения $P_{ВВД}$ используем характеристики центробежного вентилятора высокого давления ВР 132-30, у которого полное давление составляет 2860-2500 Па.

4. Расчетное давление вентилятора среднего давления

$$H_{ВСД} = H_{вент} - H_{ВВД} = 9,045 - 2,3 = 6,7 \text{ кПа}$$

$$\rho_{ВСД} = \frac{(P_{атм} - H_{ВСД}) 10^3}{(T + 10)R} = \frac{(101,3 - 6,7) 1000}{283 \cdot 288} = 1,16 \text{ кг/м}^3$$

$$P_{ВСД} = 1,1 H_{ВСД} \frac{1,2}{\rho_{ВСД}} = 1,1 \cdot 6,7 \cdot 1,03 = 7,59$$

где $\rho_{ВСД}$ – плотность воздуха на входе вентилятора среднего давления, кг/м³.

5. Расчет мощности вентилятора, кВт

$$N_B = \frac{Q_{ВВД,ВСД} H_{ВВД,ВСД}}{\eta_{вент} \eta_{прив} \eta_{подш} \eta_{двиг}},$$

где $\eta_{прив}$ – КПД привода, (0,95...1,0 клиноременная передача, непосредственно на валу двигателя); $\eta_{подш} = 0,98...0,99$ – КПД подшипников, $\eta_{двиг} = 0,9$ – КПД электродвигателя; $\eta_{вент}$ – КПД вентилятора по характеристике.

Мощность вентилятора высокого давления

$$N_B = \frac{0,4292 \cdot 2,3}{0,69 \cdot 0,95 \cdot 0,98 \cdot 0,9} = 1,7 \text{ кВт}$$

Выбираем вентилятор ВР 132-30 №4, мощность двигателя 3 кВт, частота вращения 2870 мин⁻¹, масса 60 кг.

Мощность вентилятора среднего давления

$$N_B = \frac{1,05 \cdot 0,4292 \cdot 6,7}{0,69 \cdot 0,95 \cdot 0,98 \cdot 0,9} = 5,2 \text{ кВт}.$$

3. Расчет шнековых конвейеров-питателей линии

Горизонтальный винтовой конвейер для подачи жома из завальной ямы. В варианте хранения гранулированного жома в завальной яме выборка жома из ямы и его транспортирование к норрии осуществляется с помощью винтовых конвейеров.

Исходные данные для расчета:

- производительность по жому, т/ч 0,31
- габариты завальной ямы, м 9,5 х 4,5 х 3 м ;
- длина конвейера, м 8
- вид продукта гранулированный жом, $\rho = 0,6 \text{ т/м}^3$

Расчет ведем по методике [152].

1. Диаметр винта из условия заданной производительности

$$D = \sqrt[3]{\frac{\Pi}{47 \cdot n_B \varepsilon \rho \psi}}, \text{ м}$$

где Π – производительность конвейера, т/ч; n_B – принятая частота вращения винта, мин^{-1} (примем 30 мин^{-1}) ε – отношение шага винта к его диаметру ($\varepsilon = 0,75$); $\psi = 0,4$ – коэффициент заполнения желоба (для легких неабразивных материалов с насыпной массой $0,48\text{--}0,8 \text{ т/м}^3$).

$$D = \sqrt[3]{0,31/253,8} = 0,107 \text{ м}$$

Принимаем ближайший диаметр винта по ГОСТ 2037-82 $D = 125 \text{ мм}$.

2. Проверка работоспособности шнека по принятой частоте вращения

$$n_B \leq n_{\max}$$

Максимально допустимая частота вращения шнека

$$n_{\max} = 60/\sqrt{D} = 60/0,327 = 183,4 \text{ мин}^{-1}. \text{ Условие выполняется}$$

3. При полученных параметрах уточняем производительность конвейера

$$\Pi = 47 D^3 n_B \varepsilon \rho \psi = 0,495 \text{ т/ч}$$

4. Проверка диаметра винта по крупности транспортируемого материала

Для несортированных материалов $D \geq (4 \dots 6)a$, где a – крупность гранул жома. При длине гранулы $a \leq 20 \text{ мм}$ условие выполняется.

5. Мощность на валу винта

$$N_B = \frac{\pi}{367} (L \omega_0) + N_x,$$

где L – длина винта, м; S – шаг винта, $S = \varepsilon D = 0,7 \cdot 0,125 = 0,0875$ м; $\omega_0 = 1,2$ – коэффициент сопротивления движению;

$$v = S n_B / 60 = 0,0875 \cdot 30 / 60 = 0,044 \text{ м/с}.$$

Мощность холостого хода, кВт

$$N_x = 0,2 K q_m L v \omega_B,$$

где $\omega_B = 0,08$ – коэффициент сопротивления вращению винта; $K = 0,15$ – коэффициент, учитывающий характер движения рабочего органа; $q_m = 800 \cdot D = 800 \cdot 0,125 = 100$ Н/м – погонная масса вращающихся частей конвейера.

$$N_x = 0,2 \cdot 0,15 \cdot 100 \cdot 8 \cdot 0,044 \cdot 0,08 = 0,084 \text{ кВт}.$$

$$N_B = \frac{0,31}{367} (8 \cdot 1,2) + 0,084 = 0,09 \text{ кВт}.$$

6. Мощность электродвигателя

$$N_{эл} = N_B / \eta_{пр} = 0,09 / 0,85 = 0,105 \text{ кВт}.$$

Для привода винта принимаем мотор-редуктор двухступенчатый тип 4МЦ2С-63-30-0,55-G320-Ц У3, где 63 – радиус расположения осей сателлитов, 30 – частота вращения выходного вала, мин⁻¹; 0,55 – мощность электродвигателя, кВт; G320 – исполнение по способу монтажа (с фланцами); Ц – цилиндрический выходной вал, У3 – климатическое исполнение и категория размещения.

Вертикальный винтовой конвейер для подачи жема из ямы. Для движения материала вверх по винтовой поверхности необходимо, чтобы принятая частота вращения была больше минимально допустимой, которая определяется по формуле:

$$n_{min} = 42,3 \sqrt{\frac{\sin(\alpha_0 - \beta)}{d_B \sin \beta}},$$

где α_0 – угол подъема винтовой линии на валу шнека. Принимаем $\alpha_0 = 14^\circ$; β – угол трения материала о поверхность винта, $tg \beta = f_0$ – приведенный коэффициент

трения материала о поверхность винта, $f_0 = 0,2 \dots 0,4$; $\beta = 12^\circ$;
 $d_B = (0,35 \dots 0,1)D$ – диаметр вала шнека, $d_B = 0,025\text{м}$, $n_{min} = 109,5 \text{ мин}^{-1}$

Принимаем для привода вертикального винтового конвейера длиной 4 м (высота ямы 3 м) мотор – редуктор 4МЦ2С-63-112-1,5-G320-Ц УЗ.

Вариант исполнения конвейерной выгрузки жема из ямы – единая система из двух конвейеров (фирма Stads г. Москва). Шнековая система модели VE, предлагаемая фирмой Stads (рисунок 1), представляет собой два шнека: горизонтальный, который набирает материал из накопителя, и вертикальный, который транспортирует материал наверх.

Горизонтальный подающий шнек может быть выполнен в виде лотка или трубы с вращающимся винтом с соединительными втулками, соединенными с соответствующими валами силовой и подводящей головкой. Зона разгрузки образуется короткой трубчатой секцией, перпендикулярно присоединенной к нижней части вертикального шнека с помощью фланца.

Вертикальный подающий шнек представляет трубчатый кожух с загрузочной горловиной, соединенной по касательной с разгрузочной горловиной горизонтального подающего шнека.



Рисунок 1 – Шнековая конвейерная система модели VE

Технические характеристики системы:

- возможные диаметры внешней трубы: 114 мм, 139 мм, 168 мм, 193 мм, 219 мм, 273 мм,
- возможность подъема до высоты 20м,
- пропускная способность: от 3 до 95 м³/ч.

Горизонтальный винтовой конвейер подачи жема от вертикального конвейера к нории.

Длина конвейера 12м.

1.Мощность на валу винта

$$N_B = \frac{\pi}{367} (L \omega_0) + N_x,$$

где L – длина винта, м; S – шаг винта, $S = \varepsilon D = 0,7 \cdot 0,125 = 0,0875$ м; $\omega_0 = 1,2$ – коэффициент сопротивления движению;

$$v = S n_B / 60 = 0,0875 \cdot 30 / 60 = 0,044 \text{ м/с.}$$

Мощность холостого хода, кВт

$$N_x = 0,2 K q_m L v \omega_B,$$

где $\omega_B = 0,08$ – коэффициент сопротивления вращению винта; $K = 0,15$ – коэффициент, учитывающий характер движения рабочего органа; $q_m = 800 \cdot D = 800 \cdot 0,125 = 100$ Н/м – погонная масса вращающихся частей конвейера.

$$N_x = 0,2 \cdot 0,15 \cdot 100 \cdot 12 \cdot 0,044 \cdot 0,08 = 0,126 \text{ кВт.}$$

$$N_B = \frac{0,31}{367} (12 \cdot 1,2) + 0,126 = 0,138 \text{ кВт.}$$

6.Мощность электродвигателя

$$N_{эл} = N_B / \eta_{np} = 0,138 / 0,69 = 0,2 \text{ кВт.}$$

Для привода винта принимаем мотор-редуктор двухступенчатый тип 4МЦ2С-63-30-0,55-G320-Ц У3, где 63 – радиус расположения осей сателлитов, 30 – частота вращения выходного вала, мин⁻¹; 0,55 – мощность электродвигателя, кВт; G320 – исполнение по способу монтажа (с фланцами); Ц – цилиндрический выходной вал, У3 – климатическое исполнение и категория размещения.

Горизонтальные винтовые конвейеры для разгрузки силосов и подачи жсома к нории. Длина конвейеров составляет 4 м.

Для привода винта принимаем мотор-редукторы двухступенчатые тип 4МЦ2С-63-30-0,55-Г320-Ц У3, где 63 – радиус расположения осей сателлитов , 30 – частота вращения выходного вала, мин⁻¹; 0,55 – мощность электродвигателя, кВт; Г320 – исполнение по способу монтажа (с фланцами); Ц – цилиндрический выходной вал, У3 – климатическое исполнение и категория размещения.

Наклонный винтовой конвейер для подачи измельченного сырья из измельчителя в многовальнй дозатор временного хранения. Длина конвейера составляет 4 м (рисунок 2).

Для привода винта принимаем мотор-редуктор двухступенчатый тип 4МЦ2С-63-30-0,55-Г320-Ц У3, где 63 – радиус расположения осей сателлитов , 30 – частота вращения выходного вала, мин⁻¹; 0,55 – мощность электродвигателя, кВт; Г320 – исполнение по способу монтажа (с фланцами); Ц – цилиндрический выходной вал, У3 – климатическое исполнение и категория размещения.

Винтовой горизонтальный конвейер циклона–разгрузителя. Длина конвейера составляет 4 м.

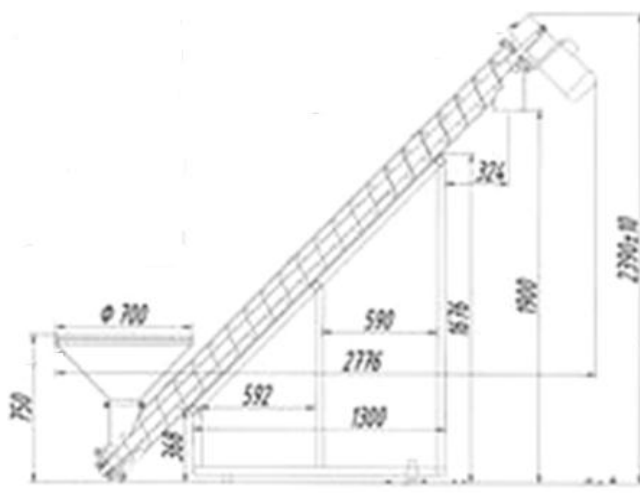


Рисунок 2 – Наклонный винтовой конвейер

Для привода винта принимаем мотор-редуктор двухступенчатый тип 4МЦ2С-63-30-0,55-G320-Ц У3, где 63 – радиус расположения осей сателлитов , 30 – частота вращения выходного вала, мин⁻¹; 0,55 – мощность электродвигателя, кВт; G320 – исполнение по способу монтажа (с фланцами); Ц – цилиндрический выходной вал, У3 – климатическое исполнение и категория размещения.

Винтовой горизонтальный конвейер. Длина конвейера составляет 2 м.

Для привода винта принимаем мотор-редуктор двухступенчатый тип 4МЦ2С-63-30-0,55-G320-Ц У3, где 63 – радиус расположения осей сателлитов , 30 – частота вращения выходного вала, мин⁻¹; 0,55 – мощность электродвигателя, кВт; G320 – исполнение по способу монтажа (с фланцами); Ц – цилиндрический выходной вал, У3 – климатическое исполнение и категория размещения.

4. Расчет запаса жома и выбор объема силосов

Тип и емкость силосов должны обеспечивать при их регулярном пополнении бесперебойную работу линии. Силос для хранения гранулированного жома представляет собой цилиндрическую емкость с днищем, выполненным в виде перевернутого конуса, опирающуюся на четырехопорное основание. Гранулированный жом может подаваться в силос с помощью пневматической системы, расчет параметров которой приведен выше, или из завальной ямы с помощью винтовых конвейеров.

Объем силоса для обеспечения суточной производственной программы цеха при расходе жома при двухсменной работе составляет 4960 кг. При насыпной плотности жома 600кг/м³ объем, занимаемый жомом равен $V = m/\rho = 8,2 \text{ м}^3$. Если производственная программа предусматривает пятисуточный запас жома, то занимаемый им объем составит соответственно 41 м³, при трехсуточном запасе – 24,6м³.

Для хранения трехсуточного запаса жома могут подойти силосы модели 2,50/6 диаметром 2500 мм высотой 9,4м, для пятисуточного хранения модели 3,05/6

диаметром 3050мм высотой 10,9м завода «Мельинвест» (г.Нижний Новгород) или силос модели СЦ-52 диаметром 2300 мм высотой 11,3м.

5.Выбор норий и перекидного клапана

Первая нория используется для подачи гранулированного жома от винтового конвейером в силосы.

Нория модели НЛ-10:

- производительность до 10 т/ч;
- высота подъема 4...45м;
- шаг ковшей 250 мм;
- скорость движения ковшей 1,4 м/с;
- угол наклона 45°;
- поперечное сечение короба 197х197 мм;
- установленная мощность двигателя 3кВт.

На выходе нории устанавливается перекидной клапан с электрическим приводом (рисунок 3). Выбираем клапан перекидной односторонний вертикальный (наклонный) с электроприводом заслонки модели КПЭ-200Н с размерами сечения 200х200 мм.

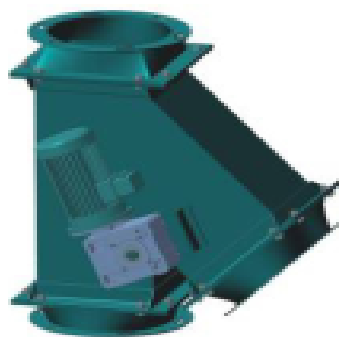


Рисунок 3 – Клапан перекидной односторонний вертикальный (наклонный)
модели КПЭ-200Н

Вторая нория линии служит для подачи жома, отбираемого из силосов винтовыми конвейерами и направляемого в измельчитель гранул. Выбираем норию модели НЛ-10.

Над нориями устанавливаем локальные фильтры марки ФЛ-3,15 с площадью фильтровальной поверхности $1,667 \text{ м}^2$, пропускной способностью $700 \text{ м}^3/\text{ч}$, мощностью двигателя $1,1 \text{ кВт}$, массой 183 кг . Учитывая, что линейная скорость подачи жома в нориях не большая и пылевыведение незначительно, локальные фильтры над нориями можно не устанавливать.

6. Выбор измельчителя гранул

После нории гранулированный жом через магнитный сепаратор поступает в вальцовый измельчитель гранул.

Выпускаемые промышленностью вальцовые измельчители имеют высокую пропускную способность.

Принимаем вальцовый измельчитель модели ИГ-3 НПО «Агромаш (г.Нижний Новгород) (рисунок 4), предназначенный для измельчения гранул комбикормов в крупку от $0,5$ до $1,5 \text{ мм}$.



Рисунок 4 – Вальцовый измельчитель гранул модели ИГ-3

Технические характеристики вальцового измельчителя ИГ-3

— Производительность техническая, т/ч до $3,0$;

— Установленная мощность, кВт	4,5;
— Поверхность вальцов	рифли;
— Частота вращения вальцов, об/мин	
— ведущий	725
— ведомый	425;
— Размеры вальцов, DxL, мм	150x800;
— Габариты измельчителя, мм	1185x985x440.

7. Выбор шнекового дозатора

Шнековый дозатор предназначен для дозирования измельченного жома и направления его в танк-замачиватель. При заданной производительности линии по перерабатываемому жому выбираем шнековый дозатор непрерывного действия с диаметром шнека 95 мм с передаточным числом 1/40 и производительностью от 197 до 752 кг/ч (для насыпной плотности материала до 1000 кг/м³), точность дозирования $\pm 0,54\%$ от массы, габариты дозатора 920x500x950 мм.

Насос центробежный для танка-замачивателя жома. Центробежный насос служат для обеспечения постоянной циркуляции воды в танке - замачивателе.

Технические параметры центробежных насосов модели ОНЦ (НПО Агромаш) представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики насосов ОНЦ

Модель насоса	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Мощность эл. двигателя, кВт
ОНЦ 1,5/10К_0,55/2	0,5 — 2,5	14 — 12	0,55
ОНЦ 1,5/15К-0,55/2	0,1 — 2	18 — 15	0,55
ОНЦ 1,5/20К-0,75/2	1 — 3	25 — 18	0,75
ОНЦ 3,5/10К-0,55/2	2 — 6	13 — 11	0,55
ОНЦ 3,5/20К-0,75/2	2 — 6	26 — 17	0,75
ОНЦ 6,3/10К-0,75/2	5 — 10	13 — 9	0,75
ОНЦ 6,3/20К-1,5/2	4 — 10	25 — 16	1,5
ОНЦ 6,3/25К-1,5/2	4 — 7	26 — 25	1,5

Выбираем насос модели ОНЦ 1,5/10- К 0,55/2 (рисунок 5), обеспечивающий подачу от 0,5 до 2,5 м³/ч при напоре 14-12м с установленной мощностью двигателя 0,55 кВт.

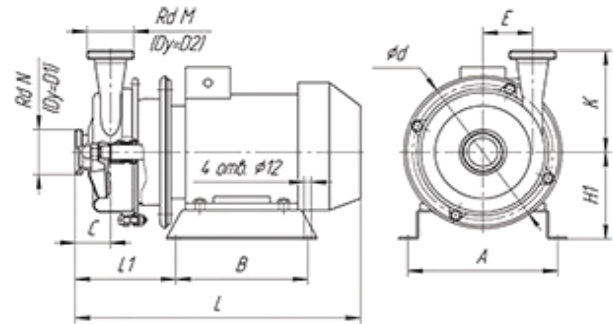


Рисунок 5 – Центробежный насос модели ОНЦ НПО Агромаш

Насос кулачковый служит для подачи суспензии измельченного жома и воды в промыватель из танка-замачивателя. Такие же кулачковые насосы устанавливаются и на остальных трубопроводах линии. На рисунок 6 приведен общий вид насоса модели КНП фирмы «Технология» (г. Москва).

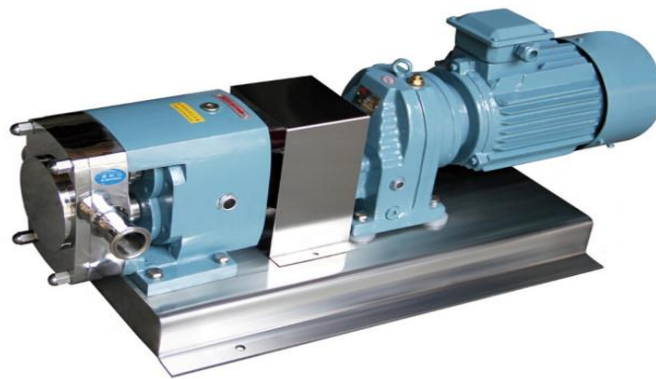


Рисунок 6 – Кулачковый насос модели КНП

Таблица 4 - Технические параметры насосов модели КНП:

Модель	Диаметры входного/выходного патрубков, мм	Число оборотов ротора, мин ⁻¹	Максимальная подача, л/мин	Установленная мощность двигателя, кВт
КНП-3	25/25	200-500	300-800	0,55
КНП-6	25/25	200-500	650-1600	0,75
КНП-8	32/32	200-500	850-2100	1,5
КНП-12	38/38	200-500	1300-3200	2,2
КНП-20	38/38	200-500	2100-5400	3
КНП-30	51/51	200-400	3200-6400	4
КНП-36	51/51	200-400	3800-7600	4
КНП-52	51/51	200-400	5600-11000	5,5

Выбираем кулачковый насос марки КНП-8.

Кран шаровой. На трубопроводах линии устанавливается 8 единиц шаровых кранов. На рисунке 7 показан общий вид шарового крана с электроприводом фирмы «Дозор» (г. Москва).

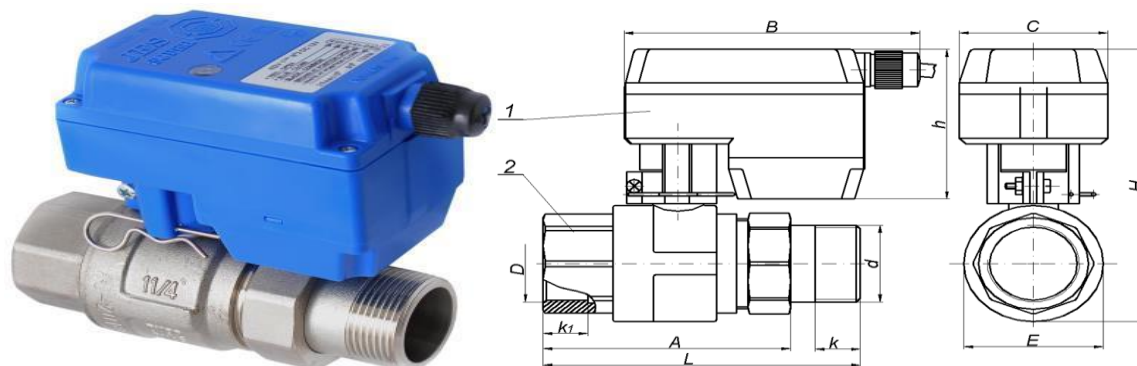


Рисунок 7 – Шаровой кран и его габаритные размеры

Таблица 5 – Габаритные размеры шаровых кранов серии *JES KDV*

Условный проход	D	d	k ₁	k	B	h	C	A	L	E	H
15	19	20,5	16,9	14,8	130	80	66	68	90	35	120
20	24,5	25,8	17,7	14,2				70	93	40	125
25	30,2	32,7	18	16,7				91	106	49	134
32	39,2	41,5	30	18,5				109	141	66	146

Шаровые краны других изготовителей аналогичны по устройству и имеют примерно одинаковые технические данные.

Выбираем для комплектования линии шаровые краны с условным проходом 2", поставляемые компанией Компания «Дозор», г. Москва.

Расходомер. В трубопроводах линии устанавливается 8 единиц расходомеров.

Для измерения расхода жидкости из танков могут быть применены расходомеры различного исполнения и принципа действия: вихревые, турбинные, ультразвуковые или электромагнитные, а также ротаметры для измерения расхода жидкостей с электрической дистанционной передачей показаний.

Электромагнитный расходомер Взлет ЭР, исполнение ЭРСВ-310 для воды (или ЭРСВ-012 для жидких пищевых продуктов)



Рисунок 8 – Общий вид электромагнитного расходомера ЭРСВ-310

Исполнение измерительного блока ЭРСВ-4-ОФ без индикатора, соединение фланцевое. Вывод информации в виде токового сигнала с помощью адаптера токового выхода *Взлет АТ* или в виде импульсов. Ду - 32мм, прямолинейные участки на трубопроводе 3Ду до расходомера и 2 Ду после, потребляемая мощность не более 2 Вт, средний срок службы 12 лет, длина проточной части 194 мм, высота расходомера 233 мм, масса 5,8 кг

Для установки в поточной линии можно рекомендовать электромагнитный расходомер с условным диаметром 32 мм модели *Взлет ЭР (ЭРСВ-310)* или расходомер вихревой *ЭМИС ВИХРЬ ЭВ-203Ж-ФСТ1,6* с диаметром условного прохода 32 мм для жидкости материалом проточной части из стали фланцевым типов соединения с трубопроводом и максимально допустимым давлением не более 1.6 МПа.

8.Выбор танков для воды и перекиси водорода

Танк оборотной воды подает воду в танк-замачиватель с помощью кулачкового насоса установленного на трубопроводе. Объем воды в танке контролируется датчиками уровня: верхним и нижним. В танк оборотной воды вода поступает из танка чистой воды, проходя предварительно через промыватель жома.

Принимаем объем танка оборотной воды 5 м³.



Рисунок 9 – Танк оборотной воды объемом 5м³ модели ФМ-О-5000

Танк чистой воды подает с помощью кулачкового насоса воду в промыватель, из которого вода после промывки измельченного жома направляется в танк оборотной воды, а также с помощью второго кулачкового насоса вода из этого же танка подается в танк для получения 3% раствора перекиси водорода.

Принимаем объем танка чистой воды 5 м³.

Танк для 3% перекиси водорода подает с помощью кулачкового насоса 3%-ый раствор перекиси водорода в промыватель. Принимаем объем танка трехпроцентного раствора перекиси водорода равный 2м³.



Рисунок 10 – Танк для 3%-ой перекиси водорода модели ФМ-О-2000

Танк для 37% перекиси водорода. Из этого танка подается с помощью кулачкового насоса 37% раствор в танк для получения трехпроцентной перекиси водорода.

Принимаем объем танка 37%-го раствора перекиси водорода равный 1 м^3 .



Рисунок 11 – Танк для 37%-го раствора перекиси водорода объемом 1 м^3
модели ФМ- О 1000

Таблица 5 - Технические данные танков

Параметры	Модель танка			
	ФМ-О-1000	ФМ-О-2000	ФМ-О-3000	ФМО-5000
Объем, л	1000	2000	3000	5000
Высота, мм	1880	2910	2145	2900
Диаметр, мм	1245	1235	2080	2080
Толщина стенки, мм	6...8	8...10	10...12	10...12
Масса, кг	59	78	129	189
Стоимость с обрешеткой, т.р.	29,3	51,5	71,1	84,9

9. Выбор измельчителя влажного осветленного жома

Для измельчения влажного осветленного жома после его обработки перекисью водорода в промывателе выбираем измельчитель марки КРВМ-700 фирмы ЦНТ «Планета», г. Киев.



Рисунок 12 – Общий вид измельчителя влажного жома

Технические данные измельчителя:

- | | | |
|---|---|--|
| — | пропускная способность, м ³ /ч | до 4; |
| — | привод шнека | мотор-вариатор;
МКФ/2-8, 32-0,37-4-220/380-50Гц; 0,37 кВт |
| — | частота вращения шнека, мин ⁻¹ | 23...120; |
| — | главный привод | эл. двигатель 4А112М4У3; 5,5 кВт; |
| — | габариты, мм | 1500х440х660; |
| — | масса, кг | 162; |
| — | требования к сырью | влажность не менее 50%. |

Принцип работы: Измельченное сырье поступает в бункер измельчителя, из которого шнеком подается в камеру измельчения. В камере на валу главного привода установлен режущий нож и подрезная решетка, за которой установлена

турбина для удаления измельченного жома. Степень измельчения регулируется мотором-вариатором. Рабочие элементы измельчителя, соприкасающиеся с продуктом выполнены из нержавеющей стали.

10. Выбор шлюзового затвора

Затворы шлюзовые устанавливаются в линии под циклонами-разгрузителями – 4 единицы, под рукавным фильтром – 1 единица(поз.52) и под сушильной камерой (поз.37) – 1 единица. Всего в линии используется 6 единиц шлюзовых затворов.



Рисунок 13 – Общий вид шлюзового затвора

Принимаем к установке в линии шлюзовые затворы модели ЗШ-250, выпускаемые компанией ALB GROUP (г.Нижний Новгород),. Стоимость затвора 57 т.р.

Технические данные:

— Пропускная способность, м ³ /ч	40
— Внутренний диаметр фланца, мм	250
— 1,1	
— 56	
— 520x560x560	
— 53.	

11.Выбор многовального питателя

Многовальные питатели используются при работе со сложными материалами с низким насыпным весом. Они применяются для выгрузки муки, шрота, отрубей на мукомольных и комбикормовых заводах, в производстве биотоплива при подаче древесных опилок, стружки, лузги подсолнечника. Кроме того, специальные версии питателей используются для выгрузки из промежуточных бункеров пивной дробины, спиртовой барды и т.д.

Многовальный шнековый питатель состоит из модульного лотка, в котором может устанавливаться в зависимости от исполнения от 2 до 6 валов со спиралью или лопатками. Валы располагаются под прямоугольным бункером и исполняют роль его днища. Каждый вал имеет свой привод. За счёт большей площади выходного сечения бункера и вертикально расположенных стенок, такие питатели отличаются высокой эффективностью, обеспечивая равномерную выгрузку и исключая образование сводов.

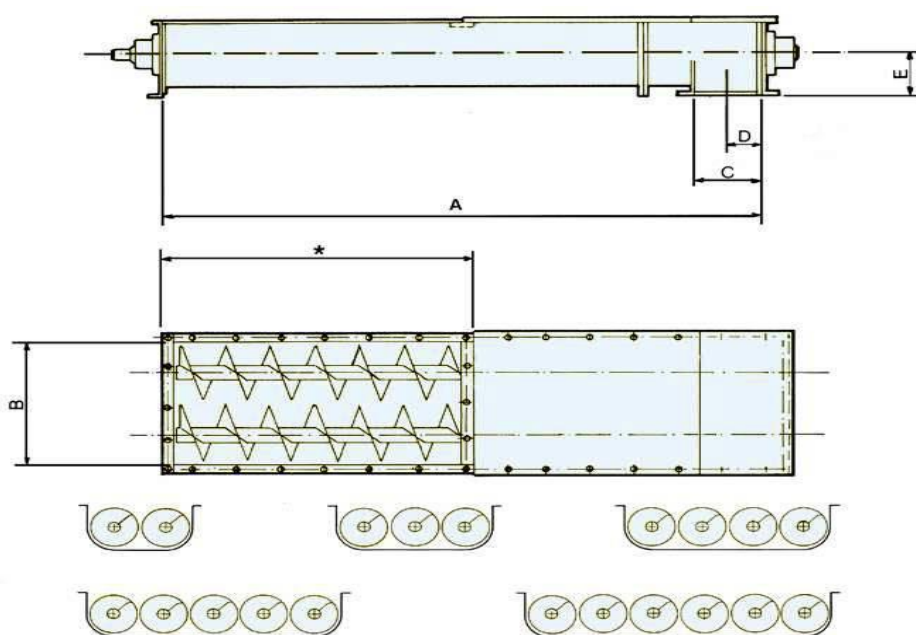


Рисунок 14 – Схема многовального питателя

Габаритные размеры питателя для трех валов диаметром 200 мм.:

$A = 1500\text{ мм}$, $B = 665\text{ мм}$, $C = 222\text{ мм}$, $D = 111\text{ мм}$, $E = 185\text{ мм}$. Минимальная длина входа 500 мм. Поставщик: фирма ООО ARDON, г.Москва.

12. Выбор вибропитателя мельницы

При суточной производительности линии 4000 кг готового продукта для загрузки мельницы подходит вибrolоток модели ГЗв-4 с объемным расходом $2\text{ м}^3/\text{ч}$ (1200кг/ч) при амплитуде колебаний 1,5 мм, с мощностью вибратора 25Вт, массой 18 кг, с рабочей шириной лотка 100 мм, рабочей длиной лотка 500 мм и габаритными размерами питателя 568x130x256 мм.

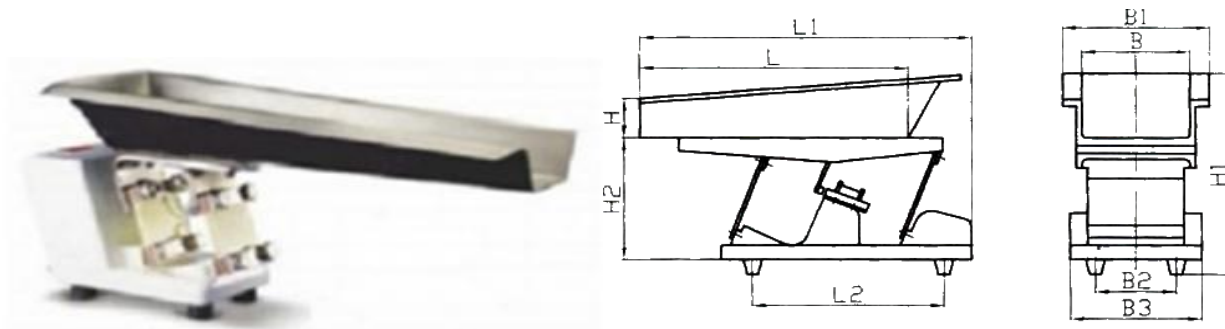


Рисунок 15 – Общий вид и размеры вибропитателя

13. Выбор измельчителя высушенных пищевых волокон

Для измельчения высушенного осветленного жома может быть использована универсальная дробилка серии SG модели 3645E компании «Тридан», г.Владимир.



Рисунок 16 – Универсальная дробилка марки 3645E

Технические данные дробилок серии SG приведены в таблице 6.

Более предпочтительным вариантом для установки в линии является микромельница модели ММ-10 поставляемая компанией «Триоль Пищевое оборудование» г.Москва стоимостью 88,15 т.р.

Таблица 6 – Технические параметры дробилок серии SG

Параметры	Модель дробилки				
	2324E	2336E	22348E	3645E	3660E
Производительность, кг/ч	90	120	150	450	500
Мощность двигателя, кВт	5,5	7,7	11,0	15,0	22,0
Тип ротора	шахматный				
Размеры ячеек, мм	6,8,10,12				
Габариты, мм	1430x543x995	1430x663x995	1430x783x995	1460x810x1200	1460x930x1200
Масса, кг	320	360	425	500	530
Число лезвий					
- вращающихся	3x2	3x3	3x4	3	3
- неподвижных	2	2	2	2	2
Уровень шума. дБа	105-110				



Рисунок 17 – Микромельница модели ММ-10

Технические данные микромельницы:

Техническая производительность, кг/час 400

Фракционный состав на выходе, мкм	до 100 (75%)
Фракционный состав на выходе	от 100 до 300 мкм (25%):
Установленная мощность, кВт	5,5
Скорость вращения ротора, мин ⁻¹	4750
Габаритные размеры, мм	850x750x1300 мм
Масса, кг	220

14.Выбор циклонов-разгрузителей

Выпускаются в двух модификациях: обычном и укороченном. Поставщик: ООО «Вентиляционные системы», г. Тверь.

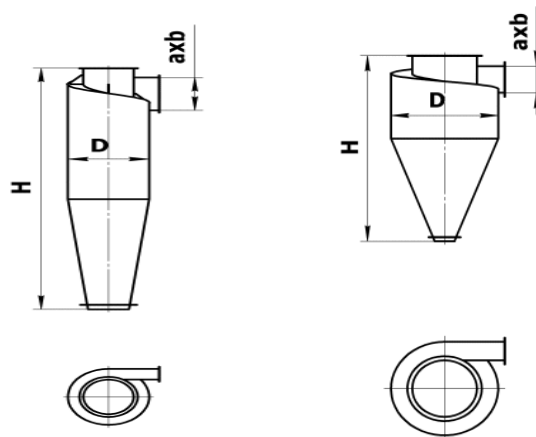


Рисунок 18 – Схемы циклонов-разгрузителей моделей ЦР и ЦРк

Таблица 7– Технические данные циклонов-разгрузителей

Модель	Производительность, м ³ /час		D	H	a x b
	при 10 м/с (на входе)	при 17 м/с (на входе)			
ЦР-375	725	875	375	1615	250 x 110
ЦР-400	825	1000	400	1720	265 x 115
ЦР-425	935	1125	425	1825	280 x 120

Выбираем с учетом заданной производительности линии циклон- разгрузитель марки ЦР400.

15.Выбор центробежных вентиляторов

Для пневмотранспортирования материала в линии с учетом ее производительности по готовому продукту выбираем использовать центробежные вентиляторы серии ВЦ ООО «Компания ТНД», г.Москва:



Рисунок 19 – Вентилятор центробежный серии ВЦ

Принимаем для установки в линии следующие типоразмеры вентиляторов:

- вентилятор центробежный ВЦ 4- 75-3,15 общего назначения по ТУ 4861-032-02962743-2005 с двигателем 2,2 кВт, производительность 1900-4200 м³/ч, масса 49 кг;
- вентилятор центробежный ВЦ 4- 75-4 общего назначения по ТУ 4861-032-02962743-2005 с двигателем 3 кВт, производительность 3200-7100 м³/ч, масса 56кг ;
- вентилятор центробежный ВЦ 4- 75-6,3 общего назначения по ТУ 4861-032-02962743-2005 с двигателем 5,5 кВт, производительность 9000-19000 м³/ч, масса 158 кг;
- вентилятор центробежный ВЦ 4- 75-8 общего назначения по ТУ 4861-032-02962743-2005 с двигателем 7,5 кВт, производительность 12000-23000 м³/ч, масса 236кг.

16. Выбор фасовочной станции

Для фасовки пищевых волокон в мешки можно использовать весовые дозаторы, работающие в полуавтоматическом режиме

Выбираем дозатор модели ДВС-301-50-1 (фирмы «Сведа» г.Челябинск), предназначенный для фасовки пищевых сыпучих материалов в зашивные бумажные, полипропиленовые или джутовые мешки с погрешностью дозирования $\pm 0,2\%$. На дисплее дозатора отображается информация о количестве мешков в смену, сутки и т.д.



Рисунок 20 – Весовой дозатор для фасовки пищевых волокон в зашивные мешки модели ДВС-301-50-1

Технические параметры весового дозатора:

Пределы дозирования, кг	от 10 до 50
Дискретность отсчета, кг	0,005
Допускаемая погрешность дозы, %, не более	0,2
Производительность, мешков/ час	не менее 420 (600)
Габаритные размеры, не более, мм	805x615x610
Масса, не более, кг	71
Номинальное давление сжатого воздуха, МПа	0,4 $\pm$ 0,04
Потребляемая мощность переменной сети 220В 50 Гц, ВА, не более	25
Расход воздуха, м ³ / час	0,5
Температурный режим работы	от -10 до +45 ⁰ С

17.Конвейер ленточный

Для транспортирования мешков с пищевыми волокнами из склада готовой продукции используем конвейер ленточный безроликовый модели КЛБ длиной 4 м с шириной ленты 600 мм, плоский с бортами (фирма «Южно-Уральская промышленная группа», г.Челябинск).



Рисунок 21 – Конвейер ленточный безроликовый модели КЛБ

Таблица 8- Технические параметры конвейера

Технические параметры	Значения параметров			
Рабочая ширина ленты, мм	300	400	500	650
Объемная пропускная способность, м ³ /ч				
- при скорости ленты 1 м/с	10	18	28	47
- при скорости ленты 2 м/с	20	36	56	84
Длина конвейера, м	2...60			
Сечение рабочей ветви	Плоское с бортиками или желобчатое			
Диаметр ведущего барабана, мм273	325	325	325	
Диаметр ведомого барабана	219	273	273	273
Натяжное устройство ленты	Винтовое			