

АЛМАТИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 664.3.032

На правах рукописи

КАЙРБАЕВА АЙНУРА

**Разработка оборудования для получения растительного масла из
семян бахчевых культур методом холодного отжима**

6D072400 – Технологические машины и оборудование

Диссертация на соискание
степени доктора философии (PhD)

Научный руководитель
доктор технических наук
профессор
Джингилбаев С.С.

Зарубежный научный консультант
доктор технических наук
профессор
Василенко В.Н.

Республика Казахстан
Алматы, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	4
ОПРЕДЕЛЕНИЯ	5
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	6
ВВЕДЕНИЕ	7
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ	11
1.1 Выбор объекта исследования и его характеристика	11
1.1.1 Функциональные и биологические свойства семян бахчевых культур	12
1.1.2 Пищевая ценность семян дыни и тыквы	13
1.2 Техника и технология получения растительных масел	14
1.3 Подготовка семян к прессованию и способы получения растительных масел из семян бахчевых культур	29
1.4 Основы теории и анализ существующих математических моделей процессов, происходящих в маслопрессе при отжиме	37
1.5 Постановка задач исследований	41
2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИИ МАСЛОПРЕССА	43
2.1 Методы исследования физико-механических свойств семян дыни и тыквы	43
2.2 Основные физико-механические свойства семян дыни и тыквы	45
2.2.1 Прочность плодовой оболочки	48
2.2.2 Аэродинамические свойства семян	52
2.2.3 Определение аэродинамических свойств семян дыни и тыквы	55
2.3 Экспериментальное определение рациональных параметров процесса прессования семян	57
2.4 Определение рациональных параметров процесса прессования семян бахчевых культур	60
3 РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ МАСЛИЧНОГО СЫРЬЯ	61
3.1 Изучение механизма тепломассообмена при прессовании семян масличных культур	62
3.2 Математическая модель процесса отжима масличного материала в шнековых прессах	71
4 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МАСЛОПРЕССА ДЛЯ	

	ПОЛУЧЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ ИЗ СЕМЯН БАХЧЕВЫХ КУЛЬТУР	79
4.1	Конструкция шнека для прессующего оборудования	86
4.2	Изучение кинетики процесса прессования	87
4.3	Расчет маслопресса	88
5	ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	93
5.1	Эксергетический анализ	93
5.2	Расчет экономической эффективности	104
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	108
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	109
	ПРИЛОЖЕНИЯ	119

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты:

- ГОСТ 10857 Семена масличные. Метод определения масличности
- ГОСТ 10856-96 Метод определения влажности
- ГОСТ 13979,2-94 Жмыхи, шроты и горчичный порошок. Метод определения массовой доли жира и экстрактивных веществ
- ГОСТ 30418-96 Метод определения жирно-кислотного состава
- ГОСТ 5478-2014 Метод определения числа омыления
- ГОСТ 26593-85 Метод измерения перекисного числа
- ГОСТ 5475-69 Методы определения йодного числа
- ГОСТ 31933-2012 Методы определения кислотного числа
- ГОСТ 5479-64 Метод определения неомыляемых веществ
- ГОСТ 3625-84 Методы определения плотности
- ГОСТ 30417-96 Методы определения массовых долей витаминов А и Е
- ГОСТ 13496.8–72 Методы определения крупности размола и содержания неразмолотых семян культурных и неразмолотых растений.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей диссертации применяют следующие термины с соответствующими определениями:

Шрот – проэкстрагированный материал.

Мезга – мягкий материал, получаемый в результате прессования.

Жмых – вторичный материал получаемый в результате прессования.

Экструзия – способ обработки сырья, при котором масса механически пропускается через винтовой рабочий орган экструдера, поддаваясь воздействию температурой в 120-150°C и высоким давлением (до 40 атмосфер) на протяжении нескольких секунд. Далее разогретая зерновая масса из винтовой части с высоким давлением попадает в область низкого давления на выходе из оборудования, за счет чего происходит «взрыв» — продукт увеличивается в объеме, разрываются связи на клеточном уровне. Из экструдера выходит вспученный пористый продукт в виде жгута.

Масло холодного отжима – самое полезное масло, которое отличается максимально высоким содержанием витаминов и фосфатидов, а также обладает выраженным запахом, но не может долго храниться.

Прессование – механический отжим масла из измельченного сырья. Оно может быть холодным и горячим, то есть с предварительным нагреванием семян.

Экспеллер – оборудование для окончательного отжима, в результате чего содержание масла в жмыхе снижается до 4-7%.

Экстракция – диффузионный процесс, движущей силой которого является разность концентраций мисцеллы-растворов масла в растворителе внутри и снаружи частиц экстрагируемого материала. Растворитель, проникая через мембраны клеток экстрагируемой частицы, диффундирует в масло, а масло из клеток в растворитель. Под влиянием разности концентраций масло перемещается из частицы во внешнюю среду до момента выравнивания концентраций масла в частице и в растворителе вне ее.

Измельчение ядра – разрушение клеточной структуры ядра для максимального извлечения масла при дальнейших технологических операциях. Для измельчения ядра и семян используют однопарные, двухпарные и пятивалковые станки с рифлеными и гладкими поверхностями.

Мятка – сыпучая масса, полученная в результате измельчения. При лепестковом помоле на двухпарной плющильной вальцовке и двухпарном плющильно-вальцовом станке получают лепесток - пластинки сплющенного жмыха толщиной менее 1 мм.

Скоростью витания – скорость воздушного потока, при которой зерно находится во взвешенном состоянии ($V_z=0$), называется либо критической скоростью.

Коэффициент парусности – определяет способность зерна сопротивляться воздушному потоку.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

A	– удельная работа, Дж/кг;
G	– сила тяжести, Н;
e	– эксергия, кДж/кг;
P	– давление прессования, Па;
F_n	– подъёмная сила воздушного потока, Н;
F	– площадь поперечного сечения вала шнека, м ² ;
c, m	– коэффициенты, характеризующие физико-механические свойства семян: плотность, упругость, размеры семян, форма семян;
K	– коэффициент сопротивления воздуха, зависящий от формы зерна и свойств его поверхности;
S	– миделево сечение тела, м ² ;
$V_{кр}$	– скорость витания, м/с;
V	– критическая скорость, м/с;
H	– шаг шнека, м;
d	– диаметр вала шнека, м;
N	– мощность привода, Вт;
Q	– количество теплоты, кДж;
h	– удельная энтальпия, кДж/кг;
v_{ex}	– средняя скорость прохождения воздуха (пара), м/с;
$Q_{ч}$	– производительность машины, кг/ч;
α_D	– угол подъема винтовой линии шнека, град.
β	– степень уплотнения для сыпучих измельченных семян, %;
γ	– удельный вес воздуха, кг/м ³ ;
ρ	– плотность, кг/м ³ ;
τ	– касательное напряжение, Па;
ω	– частота вращения шнека, об/мин;
σ	– сопротивление разрушению при сдвиге, кПа;
μ	– коэффициент Пуассона, %;
ψ	– коэффициент подачи, учитывающий степень заполнения межвиткового пространства;
ξ	– коэффициент сопротивления;
τ_e	– фактор Карно;
ВЭЖХ	– высокоэффективная жидкостная хроматография;
ЖКС	– жирнокислотный состав;
МД	– массовая доля;
ПНЖК	– полиненасыщенные жирные кислоты;
ВУС	– влагоудерживающая способность;
ЖУС	– жирудерживающая способность;
ПОС	– пенообразующая способность;
СП	– стабильность пены;
КСП	– коэффициент СП.

ВВЕДЕНИЕ

Оценка современного состояния решаемой научной проблемы. Растительные масла и продукты на их основе в последние несколько лет стали базовыми в структуре питания населения РК. Но наряду с подсолнечным маслом в ассортимент растительных масел, производимых в РК входят рапсовое, сафлоровое, кукурузное, хлопковое масла. Посевные площади этих культур тоже увеличиваются [2].

По данным статистики Республики Казахстан, в 2015 году валовой сбор бахчевых составил 2,1 млн. т, тогда как в 2014 г. было собрано всего 1,9 млн.т.

В целом, за 5 лет производство дынь в республике выросло более чем в полтора раза. Как отмечают специалисты проекта, увеличение производства вызвано не только ростом урожайности на 2%, но и расширением площадей. Так, если в 2014 г. под бахчевыми было 88,8 тыс. га, то уже в 2015 г. общие площади под этой культурой выросли до 94,2 тыс. т. [3].

Актуальной проблемой является механизация и автоматизация переработки семян бахчевых культур. В связи со сложностью первичной переработки данных культур, механизация переработки минимальна. В Республике Казахстан семена данных культур используют только в агротехнике как посевной материал. Переработка семян бахчевых культур отсутствует.

Основанием для разработки темы явилось отсутствие решения по переработке семян бахчевых культур в РК, отсутствие на рынке оборудования способного справиться с данным видом сырья при отжиге растительного масла. Маслопресс, предназначенный для традиционного вида масличных культур, не справляется с поставленной задачей отжима масла из низко масличных семян бахчевых культур.

Исходными данными к выполнению работы явились результаты исследований и методики расчетов установок для получения растительного масла из семян дыни и тыквы, методом холодного отжима, разработанные зарубежными и отечественными учеными.

Обоснованием необходимости проведения научно-исследовательской работы послужила недостаточная изученность семян дыни как масличной культуры, недостаточная изученность процесса отжима растительного масла из семян бахчевых культур.

Сведения о патентных исследованиях. Проведен патентный поиск глубиной в 40 лет, патентные исследования по СССР, СНГ, США, Германии, Франции, Австрии, Японии позволили сделать выводы о достоинствах и недостатках известных способов и конструкций для отжима масла методом холодного прессования. Проведенный анализ позволил сделать заключение, что предлагаемая конструкция маслопресса является оригинальной и позволяет увеличить выход растительного масла из семян низкомасличных, нетрадиционных культур без потери качества, при сохранении всех полезных веществ.

Сведения о метрологическом обеспечении научно-исследовательской работы. При проведении исследований использовались поверенные, откалиброванные приборы. Методики выполнения измерений и класс точности приборов соответствуют «Закону об обеспечении единства измерений». В расчетах используются единицы измерений системы СИ.

Актуальность темы исследования. Существующие технологии и оборудования для производства растительного масла, предназначены для крупных производств, они энергоемкие, имеют сложную технологию, многоступенчатые. Проблемой является отсутствие на рынке маслопресса, способного производить масло путем холодного отжима из семян бахчевых культур. Имеется маслопресс фирмы Жаско, но он не способен выжать масло из семян голосеменной тыквы и дыни. Так как в Казахстане бахчеводством занимаются фермерские хозяйства и выход семян при переработке плодов очень мал, требуется малогабаритное и многофункциональное оборудование. Применение такого оборудования позволит снизить транспортные затраты и обеспечить повышение рентабельности производства.

Все вышесказанное подтверждает актуальность создания эффективного оборудования по производству растительного масла, не менее актуальным будет проектирование малогабаритного оборудования для производства растительного масла из семян бахчевых культур.

Работа выполнена в рамках госбюджетной программы 055 2015-2017 гг. «Рациональное использование природных ресурсов, переработка сырья и продукции», по теме «Разработка высокоэффективной технологии комплексной переработки дыни с получением продуктов функционального назначения» и в соответствии с планом прикладных исследований Алматинского технологического университета (Приложение А).

Объект и предмет.

Объекты исследования: конструкция маслопресса, технологические процессы отжима семян на растительное масло, семена дыни и тыквы различных сортов местной селекции.

Предметы исследований: механические принципы и закономерности процессов работы маслопресса для получения растительного масла из семян бахчевых культур методом холодного отжима.

Цель и задачи исследований

Целью диссертационной работы является создание конструкции маслопресса для семян бахчевых культур, обеспечивающего повышение качества методом холодного отжима.

На основе проведенного анализа научно-технической информации, в соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

1. Исследование структурно-механических, теплофизических, реологических и химических свойств семян дыни и тыквы; определение рациональных технологических режимов процесса

- прессования в области допустимых технологических свойств получаемых растительных масел.
2. Изучение основных кинетических и гидродинамических закономерностей процесса холодного прессования семян бахчевых культур (влияние начальной влажности, температуры, давления и др. на характер протекания исследуемого процесса и качество полученных растительных масел) в широком диапазоне изменения режимных параметров.
 3. Разработка научно-практических подходов к энергосбережению в процессе прессования семян бахчевых культур методом холодного прессования с возможностью поиска наилучшего компромисса между качеством готового продукта, производительностью и удельными энергетическими затратами.
 4. Разработка новых конструктивных решений оборудования, повышающего эффективность технологических процессов переработки семян бахчевых культур методом холодного прессования.

Научная новизна полученных результатов заключается в том, что впервые:

Применяя методы математического моделирования, была описана и решена задача отжима жидкой фазы из дисперсного материала при различных краевых условиях и нелинейностях, характерных для реальных условий.

Разработаны принципы создания ресурсосберегающей переработки семян бахчевых культур методом холодного прессования, направленные на интенсификацию процесса получения готового продукта, рациональное использование материальных и энергетических ресурсов.

Установлены основные кинетические и гидродинамические закономерности процесса прессования семян бахчевых культур методом холодного прессования.

Разработана математическая модель процесса прессования масличного сырья на одношнековом маслопрессе, позволяющая рассчитать оптимальные конструктивные параметры маслопресса для извлечения масла из семян масличных культур.

Установлены оптимальные основные параметры процесса прессования в шнековом прессе.

Методом энергетического анализа термодинамических процессов установлено энергетическое совершенство предлагаемых взаимосвязанных процессов переработки семян дыни и тыквы методом холодного прессования.

Практическая ценность работы. Разработана конструкция узла шнекового пресса, защищенная патентом РК на полезную модель №2827 «Конструкция шнека для прессующего оборудования», которая дает возможность проектирования прессов на любую производительность с оптимальными параметрами, а также конструкция маслопресса, защищенная

патентом РК на полезную модель №3094 «Маслопресс для получения растительного масла из семян бахчевых культур», для отжима растительного масла методом холодного прессования из семян бахчевых культур.

Апробация практических результатов. По результатам проведенных исследований в Алматинском технологическом университете, разработана конструкция маслопресса для отжима растительного масла методом холодного прессования из семян бахчевых культур, дальнейшие исследования проведены на базе ВКГТУ, Россия, г.Воронеж (Приложение Б).

Результаты работы доложены и обсуждены на расширенном заседании кафедры «Механизация и автоматизация производственных процессов» и на международных научно-практических конференциях, проведенных в Казахстане и за рубежом.

Научные положения, выносимые на защиту:

- способ переработки семян бахчевых культур, методом холодного отжима;
- оригинальная конструкция универсального пресса для получения масла, как из высоко-, так и низко-масличных культур;
- математическая модель, описывающая процесс прессования растительного масличного сырья на одношнековом маслопрессе для извлечения масла из семян дыни и тыквы;
- эксергетический анализ технологической системы комплексной двухступенчатой переработки масличных культур, свидетельствующий о термодинамическом совершенстве предлагаемой технологии получения растительных масел.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка используемой литературы и приложений. Общий объем 134 страниц. В работе 29 таблиц, 50 рисунков и 6 приложений.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ

1.1 Выбор объекта исследования и его характеристика

В растительном масле содержатся также фосфатиды, фитостерины, пигменты и другие вещества которые обеспечивают его стойкость при хранении, придают ему особенный вкус, аромат и окраску. Фосфатиды к тому же очень благотворно действуют на состояние печени, причем на печеночные клетки: они служат очистной системой организма. Регулируют обмен и вырабатывают желчь. Недостаток фосфатидов в организме способствует развитию атеросклероза в не меньшей степени, чем дефицит витамина Е. Фосфатиды могут образовывать в масле осадок, который ни в коей мере не служит признаком его пониженного качества. Фитостерины растительных масел положительно влияют на прочность эритроцитов, препятствуют развитию малокровия.

Неоспоримо доказано, что нехватка в рационе растительных масел – одна из важнейших причин нарушения холестерина обмена и развития атеросклероза. Нарушения жирового обмена, которым суждено стать основой будущих расстройств, начинаются в молодости, десятилетиями развиваются постепенно и внезапно наносят удар – инфаркт или инсульт, на фазе полного здоровья. А своевременно защитить организм могли бы всего две столовые ложки растительного масла, но – каждый день.

Масло тыквенных семян содержит богатейший комплекс уникальных витаминов В₁, В₂, В₆, С, Р, Е, РР; сбалансированные природой группы биологически активных веществ: фосфолипидов, токоферолов, каротиноидов, флавоноидов, насыщенных, ненасыщенных жирных кислот, минеральных соединений, микроэлементов и других полезных веществ.

Основной производитель тыквенного масла – Австрия. Производство масла из семян тыквы составляет 1,5 млн. литров. Сорт Штирийская масляная имеет семена с высокой долей масличности.

Тыквенное и дынное масла не рекомендуется подвергать какой бы то ни было тепловой обработке, они используются в качестве заправки овощных салатов, для сбрызгивания тушеных овощей, мяса, рыбы.

В составе масла из семян дыни преобладают полиненасыщенные жирные кислоты, которые регулируют уровень липемии, активность гемостаза, активизируют метаболические процессы, воздействуют на мембранные образования центральной нервной системы и зрительного аппарата.

Масло смягчает и улучшает трофику кожи, используется в косметических средствах, в частности, для ликвидации пигментных пятен. Входит в состав исключительно элитных кремов и косметических мазей [4].

Семена дыни являются перспективным масличным сырьем, содержащим от 33 % до 35 % липидов и белков от 35 % до 36 % на абсолютно сухое

вещество. Поэтому переработка семян дыни позволяет расширить ассортимент растительных масел, относящихся к линолевой группе, содержащих ненасыщенных жирных кислот до 85 %, что очень важно для здорового питания населения [5].

Масло из семян дыни является лечебно-профилактическим средством, сохраняющим в своем составе большое количество витаминов и биологически активных веществ, способствующих снижению риска сердечно-сосудистых заболеваний, снижению уровня холестерина в крови, а также накопления жира в печени. Препятствует выпадению волос, благоприятно воздействует на желудочно-кишечный тракт и нервную систему. Дынное масло используют для лечебно-профилактических, кулинарных и косметологических целей [6].

Благодаря уникальности строения и свойств, весь спектр жирных кислот, входящий в состав растительных жиров, играет важную роль в развитии детского организма, в торможении процессов старения зрелого организма, в профилактике и лечении целого ряда заболеваний [7].

1.1.1 Функциональные и биологические свойства семян бахчевых культур

Выход семян из плодов дыни составляет до 1,5 %, а общее количество получаемых семян дыни в сезон переработки достигает до 3 тыс. тонн. Семена дыни являются перспективным масличным сырьем, содержащим от 33 % до 35 % липидов и белков от 35 % до 36 % на абсолютно сухое вещество. Поэтому переработка семян бахчевых культур позволяет расширить ассортимент растительных масел, относящихся к линолевой группе, содержащих ненасыщенных жирных кислот до 85 %, что очень важно для здорового питания населения, где преобладают в потреблении преимущественно животные жиры, а также получить и высокопротеиновые продукты [5. с. 5].

Таблица 1.1 – Функциональные свойства белковых продуктов, предлагаемых в качестве обогащающей пищевой добавки [8]

Культура, сорт	Функциональные свойства, %				КПОС	КСП
	ВУС	ЖУС	ПОС	СП		
1	2	3	4	5	6	7
Тыква:						
1	2	3	4	5	6	7
Витаминная	64	58	6,4	7,3	68,6	0,5
Дынная	50,5	50	9,2	10,4	69	0,6
Лазурная 3	52,5	53	8	9,1	75	0,6
Казачок	73,5	71,5	5,6	5,4	64,3	0,4
Лазурная 4	69,5	65	6,6	6,2	51,9	0,5
Дыня Темрючанка	120	184	3,2	6,25	3,64	0,51

Среди физико-химических характеристик белков и их функциональных свойств, обеспечивающих структуру, технологические и потребительские свойства полученных пищевых продуктов – Шульвинской И.В. были выбраны ВУС, ЖУС и ПОС, СП, а также коэффициенты ПОС и СП.

1.1.2 Пищевая ценность семян дыни и тыквы

Особое значение для нашего организма имеют полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК), т.к. они играют важную роль в питании, как здорового, так и больного человека, регулируя активность гемостаза, активизируют метаболические процессы в клетках и сосудах. ПНЖК являются обязательными компонентами мембранных образований центральной нервной системы и зрительного аппарата.

Употребление 2-х чайных ложек в день дынного масла обеспечивают 75% суточной потребности человека в ПНЖК, что оказывает неспецифическую защиту организма и снижает риск сердечно-сосудистых заболеваний.

Цинк, которым богаты семечки дыни, хорошо влияет на кожу и волосы. Как и у большинства семян, энергетический баланс дынного семени смещен в сторону жиров (77%), углеводов и белков, в них почти поровну – 14,6 и 13% соответственно. Витаминный состав семени наследуют у самой дыни, только он представлен в меньших количествах. В нем преобладают так называемые нейровитамины, необходимые для правильного функционирования нервной системы человека – В6, В9 и РР, а также мощные антиоксиданты С и А.

Признание семечкам дыни в народной медицине обеспечило главным образом высокое содержание минералов. В зависимости от сорта в 100 г продукта в среднем содержится:

- калия – 96 мг;
- натрия – 26 мг;
- магния – 10 мг;
- кальция – 8 мг;
- железа – 1 мг;
- меди – 0,24 мг;
- цинка – 0,1 мг.

Ценной составляющей дынных семян является пектин – полисахарид, незаменимый в условиях современной экологии. Пектин способен образовывать связи с тяжелыми металлами, радионуклидами и пестицидами, выводя их из организма. Также он обволакивает и изгоняет молекулы холестерина, виновника диабета, гипертонии и атеросклероза. Семена тыквенных, к которым принадлежит и дыня, не используются в пророщенном виде, поскольку при прорастании они не только приобретают характерную горечь, но и становятся токсичными.

Дынное масло является лечебно-профилактическим средством, сохраняющим в своем составе большое количество витаминов и биологически активных веществ. Как известно в его составе преобладают полиненасыщенные

жирные кислоты, которые регулируют активность гемостаза, активизируют метаболические процессы, воздействуют на мембранные образования центральной нервной системы и зрительного аппарата. Ненасыщенные жирные кислоты 84%: линоленовая кислота 0,11% (Омега-3), линолевая кислота около 65 % (Омега-6), олеиновая кислота около 21% (Омега-9). Насыщенные жирные кислоты около 14%: пальмитиновая кислота около 9%, стеариновая кислота около 6% [9].

Анализ научно-технической информации дает основу для разработки оборудования по переработке семян бахчевых культур, методом холодного отжима, сохраняя все выше приведенные полезные свойства и минеральные вещества в масле.

1.2 Техника и технология получения растительных масел

В современном мире на первое место ставится повышение качества и уменьшение затрат при обезжиривании масличного сырья за счет усовершенствования технологии, а также разработке новых типов технологического оборудования преимущественно большой мощности и с меньшими энергетическими затратами.

Одним из новых способов переработки масличного сырья на масло является экструзионный способ переработки, который получает все большее распространение, как при крупном масложировом производстве, так и в мелких цехах. При данном способе переработки сырья, процессы как отжим, измельчение, нагрев осуществляются одним рабочим органом – быстро вращающимся шнеком. Простота механизма, возможность осуществления всего процесса отжима масла одним рабочим органом, позволяет предположить, что в XXI веке основной технологией, осуществляющей переработку масличного сырья, будет экструзионная технология переработки [10].

Увеличение ассортимента полезных масел в пищевой промышленности и в фармацевтике, а так же развитие науки в направлении ресурсосбережения дало основу для разработки линий по переработке ценных пищевых продуктов, являющихся сезонными и не пригодными для длительного хранения. Плоды бахчевых культур за исключением тыквы, являются таковыми. В них много полезных и нужных для организма человека витаминов и минералов, но они сезонны и не подлежат длительному хранению. Стараниями ученых мира эта проблема в данный момент решается, предлагаются новые технологии, решения. Для реализации предложенных технологий и для переработки плодов бахчевых культур разрабатываются линии и оборудования.

Франко Е.П. и др. разработали технологическую линию по переработке дыни (рисунок 1.1), состоящую из моечной машины 1, транспортера 2, сортировочной машины для резки на части плодов дыни 3, машины для отделения семян 4, машины для очистки от корки 5, измельчителя для получения лепестка 6, сверхкритического экстрактора 7, упаковочной машины 8.

Технологическая линия работает следующим образом. Плоды дыни поступают в моечную машину 1, где происходит инспекционный контроль и затем по транспортеру 2 они подаются в сортировочную машину 3. Плоды дыни разрезаются на части и поступают в машину для отделения семян 4. Затем кусочки дыни, очищенные от семян поступают в машину для очистки от корки 5. Семена дыни отводятся в измельчитель 6, где они измельчаются до лепестка, который подается в сверхкритический экстрактор. В сверхкритическом экстракторе 7 производится процесс сверхкритической экстракции с последующим разделением на белковую и липидную фракции.

Далее полученные продукты поступают в упаковочную машину 8, где они фасуются в асептическую тару и отправляются на дальнейшее хранение. Основным недостатком данной технологической линии является получение низкопротеинового шрота, а также низкое качество масла, т.к. в процессе CO_2 – экстракции извлекаются нежелательные компоненты [11].

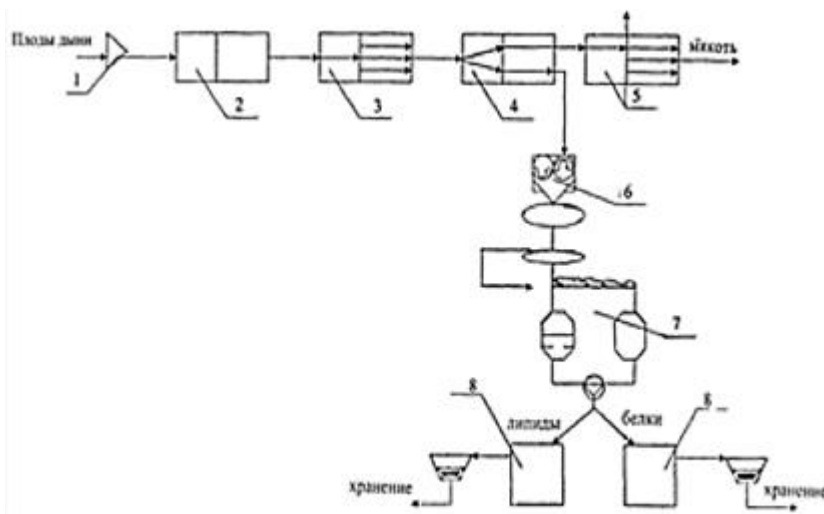


Рисунок 1.1 – Операторная схема технологической линии переработки семян дыни

На рисунке 1.2 представлена структурная схема линии переработки семян бахчевых. Технологическая линия состоит из сепаратора для очистки семян от сорных примесей, рифленых валцов для грубого измельчения семян с получением крупки, вальцового станка для получения мятки, чанной жаровни для влаготепловой обработки мятки, шнекового форпресса для предварительного отжима масла, вальцового станка для измельчения жмыха, чанной жаровни для влаготепловой обработки измельченного жмыха, экспеллера для окончательного отжима масла, участка первичной очистки масла, а также транспортирующих конвейеров для перемещения семян, мятки и жмыха [12].

Основным недостатком этой технологической линии является многостадийность проведения технологических процессов получения растительного масла из семян дыни, в том числе, двухэтапное измельчение семян и жмыха. Сначала осуществляется предварительное двукратное грубое измельчение семян на рифленых вальцах с получением крупки. Затем проводят измельчение крупки на вальцевых станках с гладкими валками как минимум в два прохода. Кроме этого, при подготовке крупки жмыха, необходимой для разрушения внутренней структуры, перед окончательным прессованием измельчение осуществляют на вальцевом станке в три-четыре прохода. В целом такое многостадийное измельчение обуславливает высокие энергетические затраты. Не предусмотрен в схеме этап отделения плодовой оболочки, что не позволяет получить высокопротеиновый жмых.

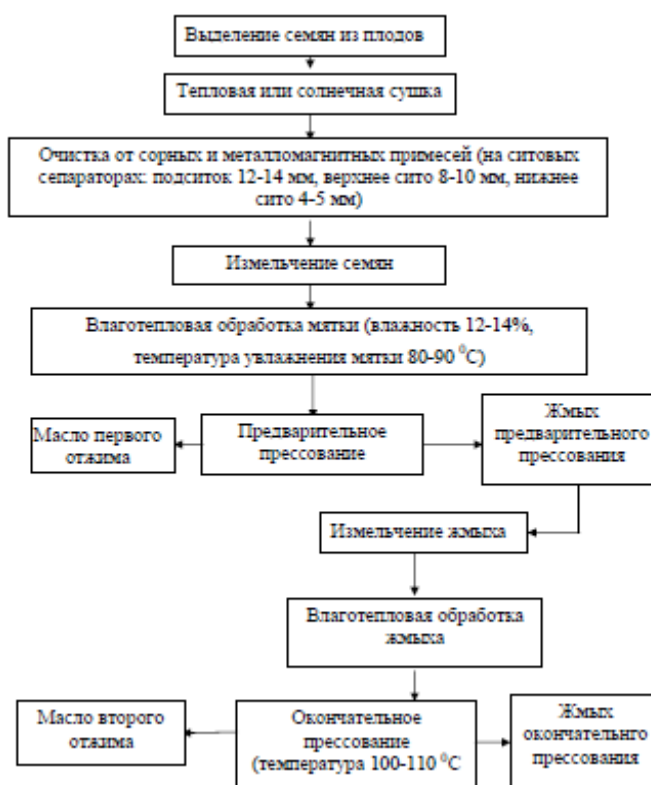
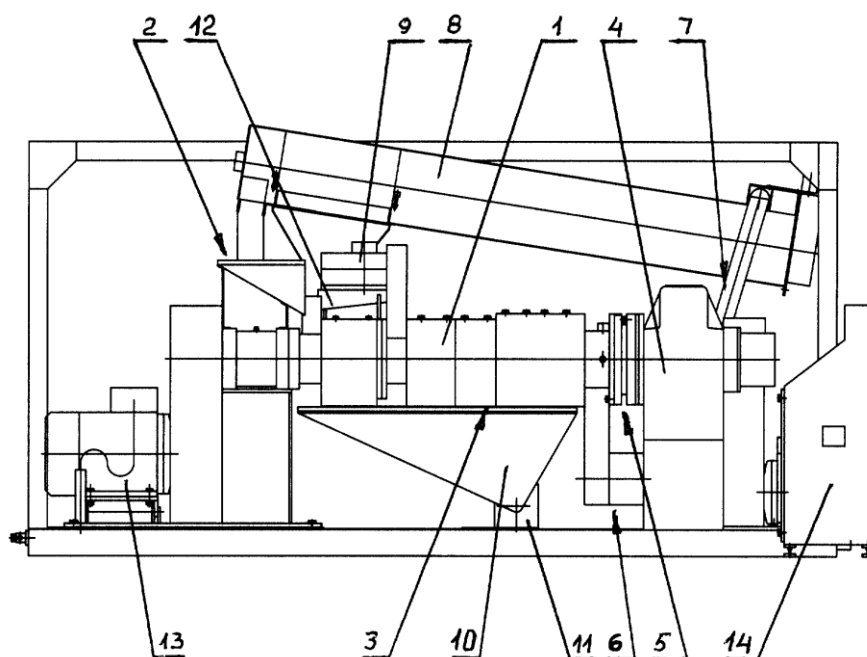


Рисунок 1.2 – Структурная схема переработки семян дыни

Авторы патента на полезную модель 2171273 представили линию для получения масла из растительного сырья (рисунок 1.3), которая относится к масложировой промышленности, в частности к оборудованию для производства масла, путем двухстадийного прессования [13].

Процесс прессования в предложенной линии в энергетическом плане идет устойчиво, благодаря более высокой маслячности мезги и осыпи, причем наличие осыпи, как более жесткого материала, обеспечивает качественное прессование более влажного растительного сырья.



1 – пресс предварительного отжима, 2 – загрузочный узел, 3 – выход мезги, 4 – пресс окончательного отжима, 5 – загрузочный узел, 6 – выход осыпи, 7 – трубопровод отвода жмыха, 8 – нормализатор, 9 – дозатор для порционной подачи нормализованного жмыха, 10 – маслосборник, 11 – насос, 12 – фильтр, 13 – электропривод, 14 – щит управления

Рисунок 1.3 – Линия для получения масла из растительного сырья

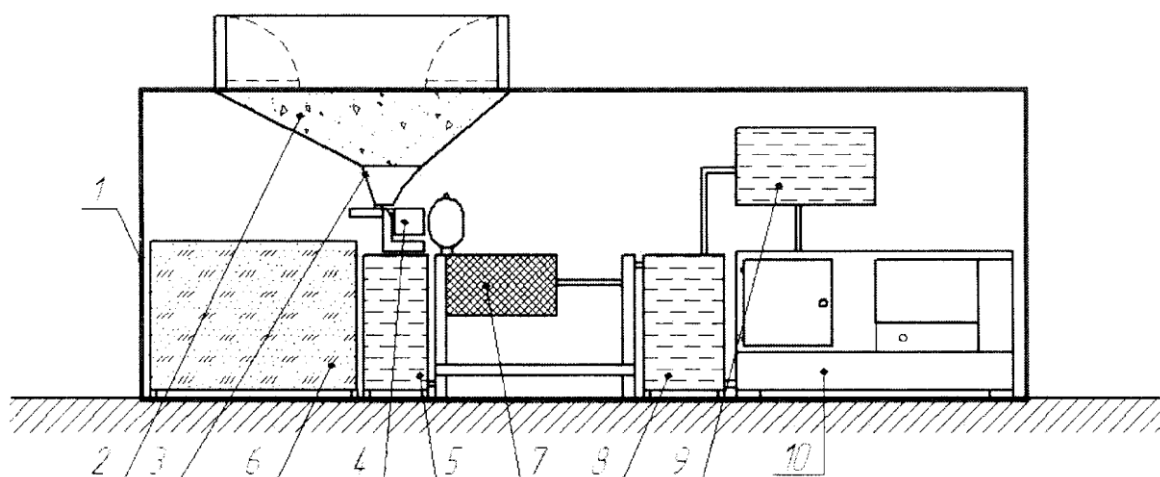
Дозировка жмыха необходима для стабилизации химико-физических свойств прессуемого растительного сырья, величина дозировки определяется по выходу растительного масла и по нагрузке на электропривод. Все это обеспечивает долговечность и снижение энергоматериальных затрат.

В патенте на полезную модель №134928 представлена линия для получения масла из семян масличных культур контейнерного типа (рисунок 1.4). Полезная модель относится к области масложировой промышленности, в частности к оборудованию для получения растительного масла прессованием в условиях мини-производства [14].

Эффект от эксплуатации заявляемой линии выражается в возможности транспортировки линии для получения масла из семян масличных культур контейнерного типа в грузовом контейнере к месту хранения семян масличных культур без использования дополнительных производственных помещений и демонтажа технического оборудования.

Использование заявленной линии для получения масла из семян масличных культур значительно меньше оказывает вредное влияние по количеству вредных выбросов в окружающую среду, что позволяет применять ее в районах с повышенными требованиями к экологии [16].

Недостатком линии является использование шнековых зернопроводов, масличное сырье при шнековом транспортировании может деформироваться.



1 – грузовой контейнер, 2 – накопительный бункер для семян, 3 – узел подготовки семян для прессования, 4 – пресс-экструдер, 5 – емкость для неочищенного масла, 6 – емкость для жмыха, 7 – фильтр тонкой очистки, 8 – емкость для очищенного масла, 9 – емкость для биотоплива, 10 – биодизельная генераторная установка

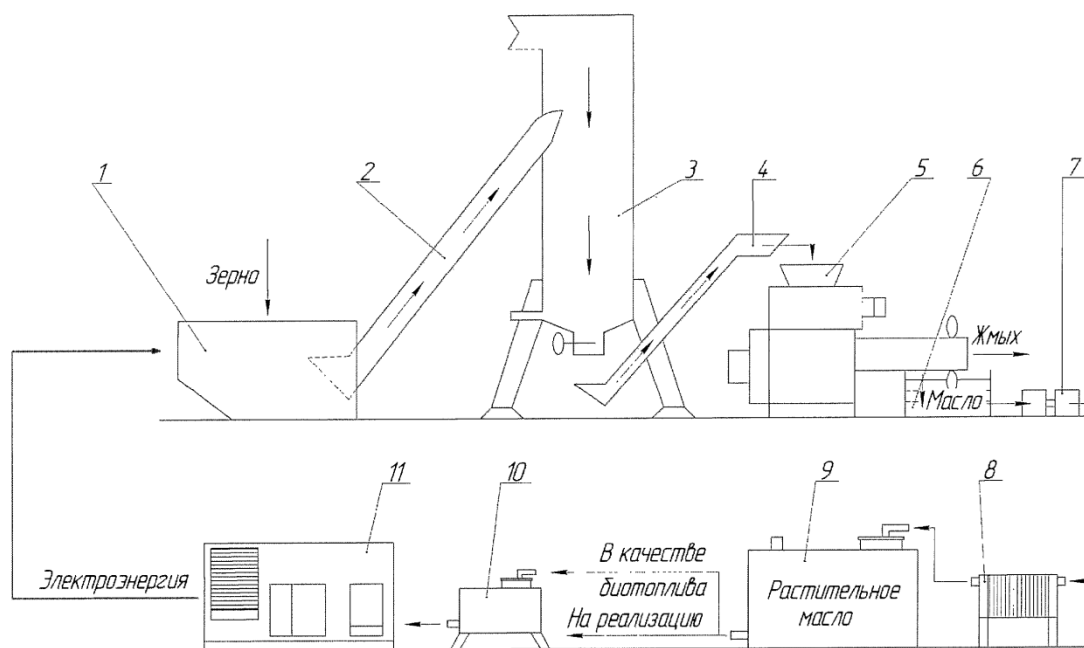
Рисунок 1.4 – Линия для получения масла из семян масличных культур контейнерного типа

В патенте на полезную модель №114319 представлена линия для получения масла из семян масличных культур (рисунок 1.5). Полезная модель относится к области масложировой промышленности, в частности к оборудованию для получения растительного масла прессованием в условиях мини производства [15].

Курамбаев Шерзод и др.использовали метод холодного отжима масла из семян дыни Бишак (*Cucumismelosp. rigidus (Pang.) Fil. var.zard*). Полученное дынное масло используют при производстве кремов для увлажнения, регенерации и очищения кожи лица.

Этот способ получения масла из семян бахчевых культур включает очистку от сорных примесей, сортировку, дробление, сушку и прессование раздробленных семян. При этом сушку проводят в устройстве шнекового типа для тепловой обработки масличных семян, вначале при температуре от 100⁰С до 110⁰С в течение 2–3 минут, а затем при температуре не выше 60⁰С в течение 20–23 минут при влажности от 3% до 5%. Далее проводят дробление семян до фракции размеров крупного помола. Прессование раздробленных семян бахчевых выполняют вначале при температуре не выше 50⁰С, а затем перед завершением цикла прессования за 8–10 секунд, температуру поддерживают в интервале от 80⁰С до 100⁰С [17].

Недостатком данного способа является тепловое воздействие высокими температурами, хотя, написано, что метод холодного отжима используется.



1 – приемный бункер, 2 – шнековый зернопровод подачи растительного сырья, 3 – узел подготовки семян для прессования, 4 – шнековый зернопровод, 5 – пресс-экструдер для получения масла и жмыха, 6 – отстойник-емкость для неочищенного масла, 7 – маслонасос, 8 – пластинчатый фильтр, 9 – накопительная емкость для очищенного масла, 10 – емкость для биотоплива, 11 – генераторная установка

Рисунок 1.5 – Линия для получения масла из семян масличных культур

Предложен способ подготовки масличных семян к переработке, включающий СВЧ-нагрев до температуры 70-90°C с интенсивностью 0,2-1,0°C/с, отлежку, совмещенную с охлаждением до температуры 10-30°C путем активного вентилирования с удельными подачами воздуха 25-50 м³/ч·т при одновременном кондиционировании семян до влажности 7-14% [18].

Данный способ имеет существенные недостатки при подготовке семян к холодному отжиму, а именно: ухудшение качества масла по показателям кислотного и перекисного чисел за счет интенсификации неферментативных окислительных процессов вследствие применения высокой температуры СВЧ-нагрева; снижение в получаемом жмыхе доли легко усваиваемых водорастворимых белков; снижение температуры семян до уровня, неприемлемого для отжима масла, уменьшающего его выход; применение при отлежке семян активного вентилирования, интенсифицирующего окислительные процессы в масле при его отжиме из семян.

Исследования Калиенко Е.А. и др. показали, что результат достигается за счет того, что заявляемые режимы СВЧ-нагрева семян позволяют при минимальном влиянии на качественные показатели липидов, провести эффективную инактивацию ферментов липазы и липоксигеназы, а действие этих ферментов при холодном прессовании приводит к повышению кислотного и перекисного чисел масла. При температуре СВЧ-нагрева выше 60°C

начинается интенсификация неферментативных окислительных процессов масла, содержащегося в семенах, что ухудшает его качество по показателю перекисного числа. Кроме того, повышение температуры, СВЧ-нагрева выше 60°C снижает кормовую ценность получаемых жмыхов за счет разрушения водорастворимых белков, которые наиболее легко усваиваются. При температуре ниже 50°C достаточной инактивации ферментной системы не происходит и ферментативные процессы гидролиза и окисления ухудшают качество получаемых масел по кислотному и перекисному числам [19].

Усманов А.А., Карманов Д.К., и др. в 2009 году предложили способ получения масла и жмыха из семян тыквы.

Способ заключается в том, что семена перед прессованием не подвергают измельчению, воздействию влаги и температуры, а после обычной очистки и сушки подвергают прессованию с выделением масла и жмыха при пониженной температуре и кратковременном воздействии на семена рабочих органов масловыжимного пресса. Этим достигается технический результат - получение масла и жмыха с содержанием в них полезных веществ и витаминов в натуральном естественном виде.

Способ может использоваться также для получения лечебного масла из семян дыни, винограда, томата и других культур. Недостатком является низкий выход масла.

Известен способ получения масла из семян тыквы [20], включающий очистку, сортировку и сушку семян, шелушение, измельчение до муки грубого помола, увлажнение горячей водой, перемешивание и прессование с выделением масла и жмыха.

Недостатком этого способа является многооперационность технологии получения масла. Измельчение семян до муки, разбавление и перемешивание горячей водой приводит к тому, что содержащиеся в семенах натуральные, естественные полезные вещества окисляются и видоизменяются, в результате получаемый продукт (масло и жмых) не может быть использован для лечебно-профилактических и пищевых целей.

А также для прессования жижеобразной разбавленной водой массы не могут быть использованы шнековые масловыжимные пресса.

Кретов И.Т, Соболев С.Н. в 2005 году предложили пресс (рисунок 1.6) для получения пищевого растительного масла, включающий корпус с загрузочным бункером и шнеком, камеру с отверстиями для выхода масла и центральное отверстие для выхода жмыха, причем в корпусе установлена камера со шнековым нагнетательным элементом и отверстиями для выхода масла. Торцевая часть дополнительной камеры выполнена в виде сферы с криволинейными пазами и отверстием для перехода продукта из одной камеры в другую. Торцевая часть шнека выполнена выпуклой в виде сферы. Выходные отверстия дополнительной камеры и центральное отверстие для выхода жмыха снабжены регулирующими устройствами в виде подвижного конуса.

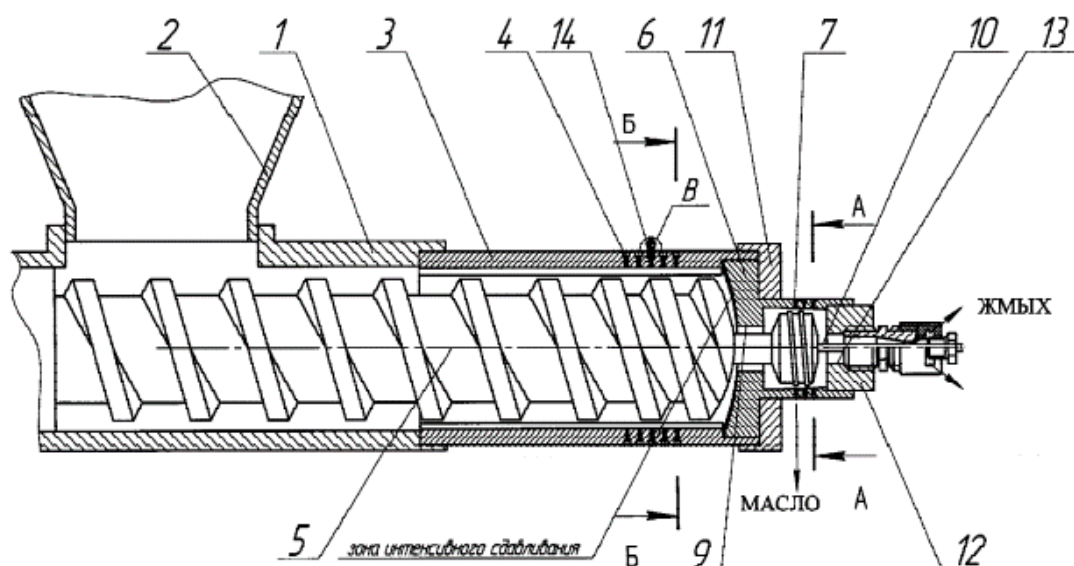


Рисунок 1.6 – Пресс для получения пищевого растительного масла

Корпус 1 с загрузочным бункером 2, камера 3 с отверстиями для выхода масла 4, шнек 5, торцевая часть которого выполнена выпуклой в виде сферы, и дополнительную камеру 6 с отверстиями для выхода масла 7, торцевая часть которой выполнена в виде сферы с криволинейными пазами 8, центральным отверстием 9 для перехода продукта из одной зоны в другую, шнековый нагнетательный элемент 10, затяжная гайка 11 и втулка 12 с отверстием 13 для выхода жмыха, регулирующие устройства 14 для регулировки проходного сечения центрального отверстия и отверстий для выхода масла [21].

Недостатком известной конструкции прессы является необходимость применения дополнительного оборудования для измельчения и смешивания исходных компонентов и как следствие, низкий выход масла и невысокое качество жмыха.

Пресс-экструдер ПМ-150 (рисунок 1.7) предназначен для получения растительного масла из сырых семян масличных культур без предварительной обработки сырья.

Применение прессы с переработкой семян подсолнечника по технологии без процессов рушки, мятки, прожаривания и связанной с этим межоперационной транспортировкой, позволяет в несколько раз уменьшить занимаемую площадь (всего 10 м²), снизить численность обслуживающего персонала (1 чел.), снизить энергозатраты, добиться практически безотходного процесса переработки, так как получаемый жмых в виде гранул используется для корма животным.

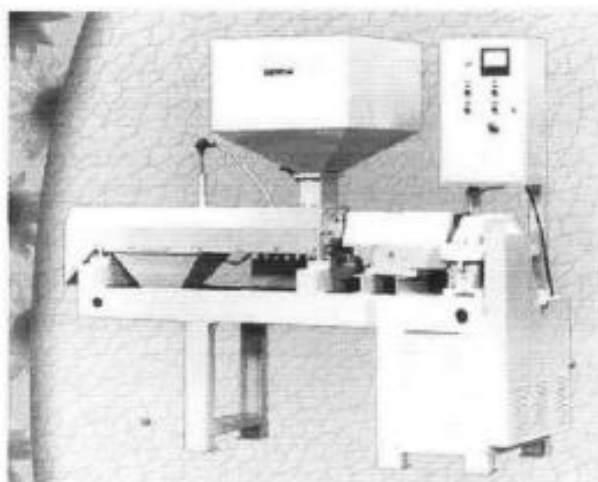


Рисунок 1.7 – Пресс ПМ-150

Маслопресс оборудован магнитным сепаратором для извлечения из семян металлических включений.

Таблица 1.2 – Техническая характеристика прессы ПМ-150

Производительность, кг/ч.	130150
Максимальный процент выхода масла, %	40
Мощность электродвигателя, кВт	7,5
Мощность электрообогрева, кВт	4,5
Габаритные размеры, мм	2110x615x1800
Масса, кг	630

Остриков А.Н., Василенко Л.И. и др. в 2010 году предложили пресс для получения масла и текстурированных жмыхов.

Корпус прессы имеет несколько загрузочных бункеров с расположенными в нижней части дозаторами. Загрузочные бункеры соединены с вертикальным смесителем, внутри которого установлена комбинированная мешалка. Внутри корпуса последовательно расположены три камеры: камера измельчения, маслоотделительная и камера динамического формования. В камере измельчения расположены два боковых и один центральный вал, на каждого из трех валов установлены серповидные ножи, выполненные по винтовой траектории. Маслоотделительная камера имеет центральный вал с витками шнека, между витками шнека закреплены по два вертикальных цилиндра. Между витками шнека на центральном валу в камере динамического формования закреплены вертикальные цилиндры. Изобретение позволяет увеличить выход масла и повысить качество жмыха [22].

Использование шнековых прессов обеспечивает непрерывность технологического процесса, увеличивают выход масла из семян, позволяют

автоматизировать производственный процесс, значительно облегчают труд обслуживающего персонала, резко улучшают санитарное состояние цехов. В настоящее время применяется только непрерывный способ прессования на шнековых прессах.

Семена, поступающие на обработку, должны быть зрелые и сухие, влажностью 6-8%, очищенные от посторонних примесей и отвечать ГОСТ 10583-76.

Маслоотделение прессованием является сложным процессом, на исполнение которого оказывают влияние большое число факторов, подразделяющихся на технологические, кинематические и конструктивные. Существенно на энергоемкость процесса и выход масла влияют: диаметр зернового цилиндра, величина зазора в механизме регулирования давления, диаметр шнеков, шаг винтовой линии на шнеках, частота вращения шнекового вала, продолжительность прессования, подготовка семян сои к прессованию и производительность пресса, то есть количество подаваемых семян [23].

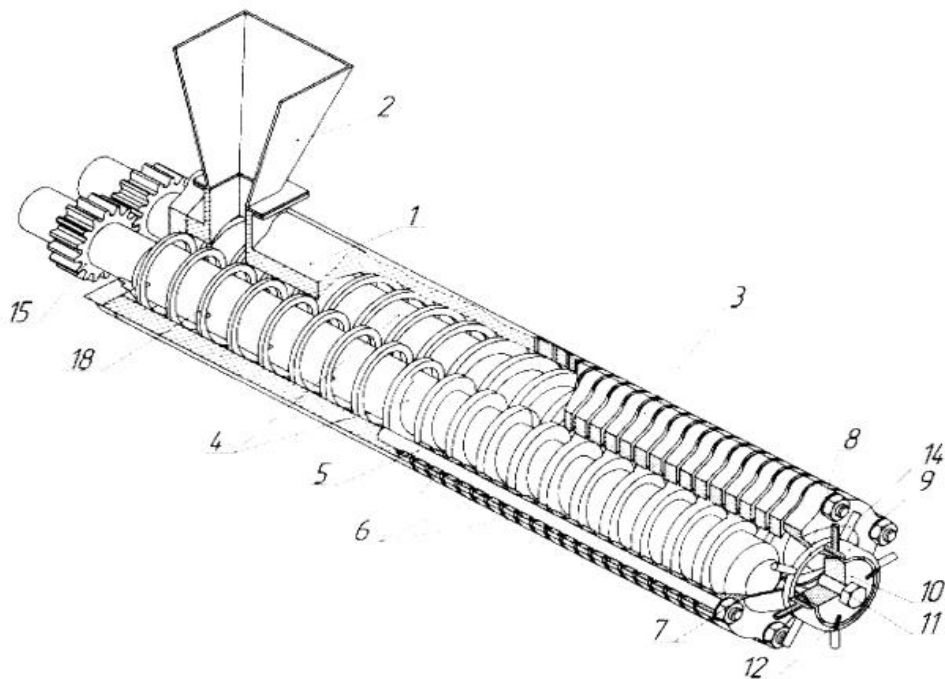
Опыты по исследованию влияния коэффициента живого сечения конических переходов шнековых прессов показали, что при уменьшении данного параметра резко возрастает давление прессования и удельная энергоемкость процесса прессования. Это позволяет сделать вывод, что основное сжатие материалов происходит на конических переходах.

Пресс для отжима растительного масла, предложенный В.А.Мельтюховым [24] состоит из рабочей камеры с зерновой секцией. В рабочей камере расположены два параллельных сопряженных шнековых вала. На наружной поверхности корпуса рабочей камеры размещены электронагреватели. Корпус рабочей камеры выполнен разъемным в горизонтальной плоскости в виде двух полукорпусов. Зерновая камера образована перфорированными участками обоих полукорпусов. Часть верхнего полукорпуса выполнена непроницаемой, а в нижнем полукорпусе выполнено зерное окно.

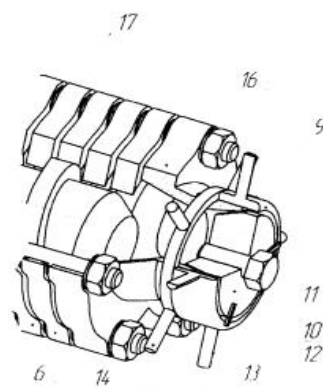
Недостатками известной конструкции пресса для отжима растительного масла являются:

- наличие электронагревателей, расположенных на поверхности корпуса рабочей камеры, что приводит к дополнительным энергозатратам при производстве растительного масла;
- зерновая камера, образованная перфорированными участками с отверстиями постоянного диаметра, что не позволяет оптимизировать работу пресса под широкий ассортимент масличных культур.

Пресс для получения растительных масел предложенный Копыловым М.В., Василенко В.Н., и др. показан на рисунке 1.8.



Фиг. 1



Фиг. 2

Рисунок 1.8 – Пресс для получения растительного масла

На рисунке а – представлен общий вид пресса для получения растительных масел, на рисунке б - узел регулировки зазора для выхода жмыха.

Пресс для получения растительных масел состоит из корпуса 1 с загрузочной воронкой 2, рабочей камеры 3, двух шнеков 4, набора зерновых пластин 6, матрицы 16 и зубчатой передачи 15 (а).

Шнек 4 условно делится на три участка. Первый участок представляет собой зону интенсивного перемешивания масличного сырья. Шнек на этом участке имеет ленточную навивку 18, установленную при помощи штифтов.

Второй участок представляет собой зону транспортирования и измельчения масличного сырья. На данном участке шнек выполнен с плавным увеличением диаметра.

Третий - участок извлечения масла из сырья. Здесь шнек имеет резкий переход диаметра, который обеспечивает минимальный зазор между зерными пластинами и поверхностью шнека.

Зерные пластины 6 выполнены в виде двух пересекающихся окружностей, что снижает металлоемкость оборудования. Между зерными пластинами установлены шайбы-гроверы 17. За счет шайб-гроверов 17 происходит регулирование зазора между зерными пластинами 6. Регулировка зазора осуществляется при помощи гаек 7, установленных на шпильках 5. Шпильки 5 обеспечивают жесткость конструкции, а также простоту сборки при мойке оборудования.

Прижимает зерные пластины матрица 16, на которой находится контргайка 8 и обойма 9. В обойме 9 установлена конусная втулка 10, которая соединена с обоймой при помощи пластин 12. При вращении обоймы 9 с помощью рукояток 13 происходит перемещение конусной втулки 10, что обеспечивает увеличение, либо уменьшение зазора между обоймой 10 и матрицей 16. Неподвижность обоймы 9 обеспечивает контргайка 8. За счет пальца 14, осуществляется вращение контргайки 8 (б).

В конусной втулке 10 установлен винт 11. При закрытии зазора между обоймой 9 и матрицей 16, винт 11 выкручивается для получения гранулированных жмыхов.

Задача данного изобретения достигается тем, что в прессе для получения растительных масел, включающем корпус выполненный в форме двух дуг, соприкасающихся друг с другом и повторяющих профиль расположенных шнеков внутри, матрицу, шайбы-гроверы, шпильки, на которых установлены зерные пластины, на концах шпилек установлены гайки, регулирующие зазор между зерными пластинами, новым является то, что на матрице установлена обойма в виде полого цилиндра с резьбой, и в обойме установлена конусная втулка для регулирования зазора между обоймой и матрицей, конусная втулка снабжена винтом, обеспечивающим работу пресса, пресс снабжен частотным преобразователем для регулирования частоты вращения шнеков, шнеки снабжены ленточной навивкой для равномерного перемешивания нескольких видов масличного сырья.

Технический результат изобретения заключается в повышении качества масла, увеличении ассортимента получаемых растительных масел, за счет конструкции зерной камеры маслопресса, поддержание постоянной температуры в прессе за счет использования частотного преобразователя, позволяющего поддерживать определенную частоту вращения шнеков, получение гранулированных жмыхов, а также увеличение выхода масла [25].

Патент РФ №2430147 [26] от 2010 года авторами которого являются Остриков А.Н., Василенко В.Н., Копылов М.В., Татаренков Е.А (рисунок 1.9).

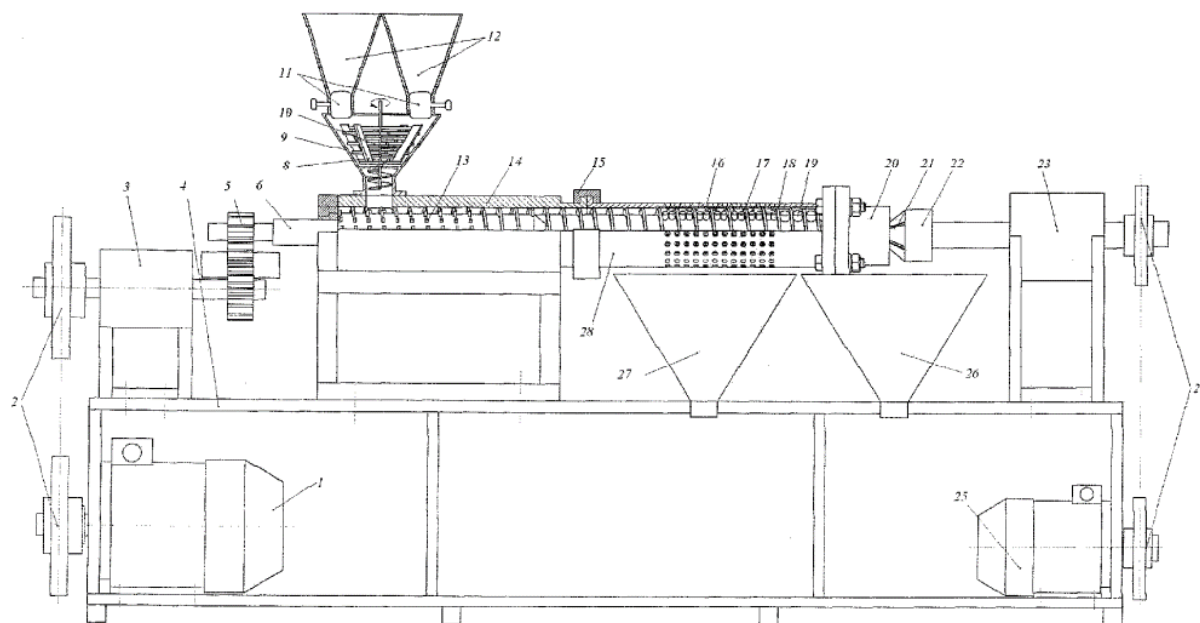


Рисунок 1.9 – Фронтальный вид пресса для получения масел и текстурированных жмыхов

Пресс для получения масла и текстурированных жмыхов состоит из станины 4, загрузочных бункеров 12, корпуса 28, электродвигателей 1 и 25, цепных звездочек 2, маслосборника 27 и бункера 26 для сбора текстурированного жмыха. Корпус 28 имеет загрузочные бункера 12 с расположенными в их нижней части дозаторами 11. Загрузочные бункеры 12 соединены с вертикальным коническим смесителем 9, внутри которого установлена комбинированная мешалка 10. Комбинированная мешалка 10 представляет собой вертикальный вал, на котором расположены горизонтальные, крестообразные цилиндрические штыри, на концах которых закреплены очищающие лопасти 8. На конце вертикального вала установлен нагнетающий шнек для подачи смеси продукта в камеру измельчения 14.

Пресс для получения масла и текстурированных жмыхов работает следующим образом. Включается регулируемый электродвигатель 1, который с помощью цепных звездочек 2, редуктора 3 и зубчатой передачи 5 приводит во вращение два боковых коротких вала 6 и один центральный длинный вал 7. Одновременно включается второй электродвигатель 25, который приводит во вращение дорн 22 с помощью цепных звездочек 24 и редуктора 23. Исходный продукт из загрузочных бункеров 12 в определенных пропорциях, которые задаются при помощи дозаторов 11, поступает в вертикальный конический смеситель 9. В смесителе 9 исходные продукты перемешиваются при помощи комбинированной мешалки 10.

Исходный продукт может быть представлен смесью, в состав которой входят дополнительные исходные продукты, в результате чего получится

обогащенное витаминизированное масло и текстурированные жмыхи. Далее полученная смесь поступает в камеру измельчения 14, где измельчается при помощи серповидных ножей 13, дополнительно при этом перемешиваясь для получения однородной смеси. За счет того, что выполненные серповидные ножи 13 переходят в сплошные витки шнека, измельченная смесь нагнетается в маслоотделительную камеру 16. В ней продукт постепенно уплотняется и начинает возрастать давление, в результате через отверстия в зерном корпусе 18 начинает выходить масло. Наличие сменного зерного корпуса 18 позволяет регулировать выходные отверстия для масла, что существенным образом снижает избыточное попадание мезги в готовый продукт. За счет вертикальных цилиндров 17, установленных между каждыми витками шнека в этой камере и выполняющих функцию греющих шайб, исходный продукт получает еще большее уплотнение, в результате повышается выход масла. В начале камеры динамического формования 18 продукт окончательно переходит из твердой фазы в вязкопластичную; здесь происходит плавление продукта в результате преобразования механической энергии вращения вала 7 и вертикальных цилиндров 19, выполняющих функцию греющих шайб, в тепловую энергию за счет внутреннего трения при автогенном режиме работы пресса. Расплав продукта выдавливается шнеком вала 7 и попадает в кольцевой зазор между наружной конической поверхностью дорна 22 и внутренней поверхностью матрицы 20, где он подвергается интенсивному воздействию вращающегося дорна 22. Благодаря наличию продольных каналов 21 переменной глубины, выфрезерованных на конусной части дорна 22, расплав подвергается интенсивной деструкции. При этом происходит разрыв цепи белковых молекул на более мелкие составляющие (полипептиды и пептиды). Затем после выхода из кольцевого зазора текстурированные жмыхи собираются в сборнике 26.

Мырзатаев Б.С., автор патента Республики Казахстан, предложил конструкцию маслопресса приведенную на рисунке 1.10.

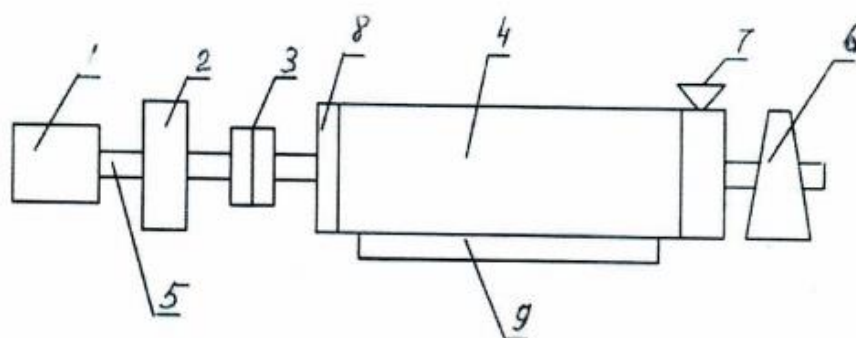


Рисунок 1.10 – Маслопресс Мырзатаева

Предлагаемый маслопресс включает электрический привод из электродвигателя 1, редуктора 2 и муфты 3, соединенный валом 5 с зерновым барабаном 4, опирающимся на опору 6. Зерновой барабан 4 оборудован узлом

загрузки 7 в начальном торце и фильерой для выхода жмыха в оконечной торцевой стенке 8 и маслосборником 9. В зерном барабане 4 размещен шнековый вал 10 с уменьшающимся шагом винта. Все части маслопресса установлены на единой несущей раме (не показано).

На предлагаемом маслопрессе можно отделить до 40% масла. Масличность жмыха, выходящего из форпресса, составляет до 18%.

Таким образом, использование изобретения позволило:

- получать масла и текстурированные жмыхи одновременно на одном прессе;
- получать текстурированные жмыхи с консистенцией необходимых компонентов для их дальнейшего использования в качестве белковых обогатителей при производстве хлебобулочных изделий, комбикормов и т.п.;
- повысить качество жмыха вследствие его текстурирования в камере динамического формования;
- снизить попадание мезги в масло благодаря сменному зерному корпусу.

Маслопресс работает следующим образом. Семена кунжута загружают в узел загрузки 7, откуда они поступают в зерный барабан 4 пресса, захватываются витками шнекового вала 10 и перемещаются к выходу из пресса. При движении по барабану пресса происходит превращение семян в мятку, далее при развитии давления и температуры, при сжатии мезги от нее отделяется масло, которое стекает в маслосборник 9, а твердые частицы мезги спрессовываются и образуют жмых и выдавливаются через фильеру в оконечной торцевой стенке 8. Давление на масличный материал возрастает при его продвижении вдоль оси вала за счет уменьшения шага витков шнекового вала и сужения свободного пространства между телом шнекового вала и внутренней поверхностью зерного барабана [27].

Прототипом к конструированию универсального маслопресса для семян бахчевых культур послужил [28] и [29]. Маслопресс, включающий камеру измельчения, шнековый вал, маслоотжимную камеру с зерным цилиндром, механизм регулирования давления в прессе, шнек, питатель пресса, шнековый вал питателя, отличается тем, что маслопресс состоит из двух рабочих камер, первая камера представляет собой камеру измельчения и термообработки исходного масличного сырья, а вторая – камера отжима масла, камера измельчения и термообработки сырья которая состоит из трех зон, первая зона - зона загрузки исходного сырья, вторая - зона влагообработки семян, третья - зона измельчения. В камере измельчения и термообработки сырья установлены два шнека, вращающиеся навстречу друг другу, зона термообработки снабжена патрубком для подачи воды, камера отжима масла, состоящая из зоны загрузки и измельчения сырья, которая находится под вакуумметрическим давлением, а также зоны прессования масличного сырья, камера отжима масла снабжена крышкой в зоне загрузки и измельчения сырья, зона прессования представлена зерным корпусом, состоящим из зерных пластин с двумя фасками на внутренней поверхности, шаг витков шнека, установленного в камере измельчения и термообработки исходного масличного сырья, постепенно

уменьшается по всей длине. Изобретение позволяет разработать конструкцию маслопресса, позволяющую снизить энергозатраты, уменьшить габаритные размеры, а также осуществить операции измельчения и обжарки исходных масличных культур, увеличить выход масла в камере термообработки маслопресса. На рисунке 1.11 представлен фронтальный вид предлагаемой конструкции маслопресса [30].

В современных экономических условиях большое значение в процессах производства масла играет выбранная технология переработки сырья, а также выбор необходимого оборудования для реализации цели. В классических технологических схемах предлагается тепловая обработка масличного сырья перед его отжимом на шнековых прессах.

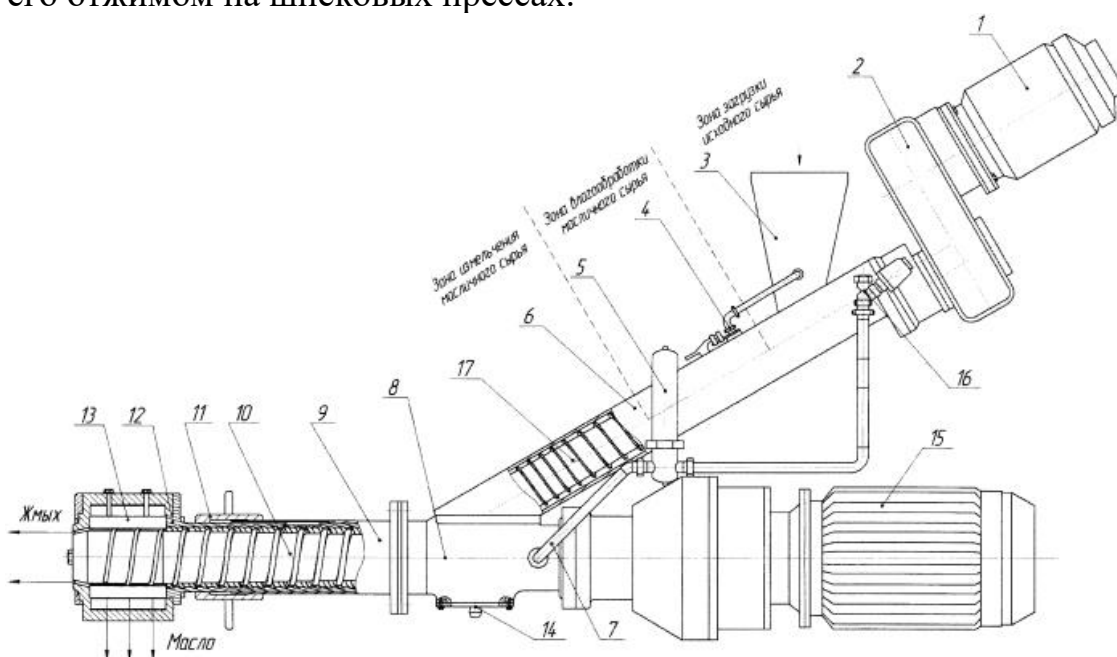


Рисунок 1.11 – Фронтальный вид маслопресса

Недостатками данного прототипа является сложная конструкция, увеличение трудоемкости исполнения, сложность обслуживания конструкции, увеличение себестоимости конечного продукта.

Масло содержится в клетках семян или ядер, поэтому для извлечения масла необходимо разрушить клеточную структуру масличного материала. В результате измельчения на вальцевых станках образуется масличный материал новой структуры – мятка. Задачей измельчения является максимальное разрушение клеток и получение однородных частиц оптимального размера для дальнейшей переработки [31].

1.3 Подготовка семян к прессованию и способы получения растительных масел из семян бахчевых культур

Процесс измельчения семян (ядра) имеет большое значение, поскольку он отражается на остатке масла в жмыхе, на его качестве и на стабильности и

непрерывности работы шнековых прессов. Неправильная организация процесса измельчения нарушает непрерывность работы шнекпресса и отрицательно отражается на степени отжима масла.

Измельчение ядра в условиях оптимальной влажности создает предпосылку хорошей тепловой обработки мятки в жаровне. При этом самое большое значение имеет однородность мятки в смысле размеров ее частиц и пористости массы, для испарения влаги и равномерной денатурации белков [32].

Механические способы разрушения наиболее многочисленны и широко используются в технологиях, получивших практическое применение. Необходимо отметить, что история развития измельчения началась с механических способов. Приоритет в своем развитии они удерживают и до настоящего времени. Несмотря на постоянное совершенствование и усложнение, в основе механических способов остались традиционные виды воздействия рабочих органов машин на измельчаемый материал: удар, истирание, сжатие, сдвиг.

Способ разрушения посредством удара. В соответствии с принятым подходом этот способ необходимо различать по виду удара: прямой, скользящий, свободный, стесненный. Прямой и свободный удар реализуется в молотковых дробилках и струйных мельницах, скользящий удар - в дезинтеграторах, дисмембраторах, шаровых мельницах при водопадном режиме, энтолейторах, а стесненный удар - в шаровых мельницах при водопадном режиме. При прямом ударе разрушаемому материалу передается максимальное количество энергии, при скользящем - минимальное в виду его скольжения по поверхности рабочего органа. Поэтому в молотковых дробилках и струйных мельницах достигается высокая степень измельчения и минимальное засорение продуктов размола. Скользящий удар дает обратный эффект. Условия стесненного удара позволяют достигать более высокой степени измельчения и измельчать более твердые и прочные материалы. Способ разрушения посредством сжатия. Этот вид деформации может создаваться силами, действующими по одной, двум и трем осям или по всей поверхности, -объемное сжатие. Деформации сжатия сопровождаются сдвигом, если направление действия сил отличается от нормального.

Одноосное сжатие реализуется в гладковальковых дробилках и вальцовых станках при равной скорости вращения вальцов. Этот способ широко применяется для дробления средней и ниже крепости, а также для разупрочнения и плющения зернобобовых культур при их измельчении. Напряжение сжатия создается жесткой системой кинематически связанных вальцов и достигает несколько сотен МПа. Измельчение осуществляется практически в монослое. Гранулометрический состав измельченных продуктов не однороден. В нем преобладают крупные классы частиц. Особый интерес, с точки зрения перспектив развития этого способа, представляет собой измельчение материала в полислое, где напряжения сжатия и сдвига создаются

инерционными силами, т. е. нежесткой механической системой. Напряжение сжатия здесь также достигают сотен МПа. Измельчение осуществляется путем разрушения материала между цилиндрическими поверхностями в процессе качения и внутрислойного самоизмельчения. При внутрислойном измельчении материал уже подвергается объемному сжатию. По заключению ведущей в области разработок и внедрения фирмы «Нордберг» (США), процесс принудительного самоизмельчения материалов относится к наиболее перспективным. Наиболее полно этот процесс реализуется в роликово-маятниковых мельницах Выксунского завода (Н. Новгородская обл., Россия), инерционных дробилках КИД «Механобра» (Санкт-Петербург, Россия), гиродиск фирмы «Рекенорд» (США). Отличительной особенностью процесса является высокая избирательность измельчения, снижение расхода электроэнергии в 1,5 раза, рост вновь образованной поверхности в 2 раза, достижение высокой дисперсности помола по сравнению с традиционными способами.

Машины для измельчения семян и ядра обеспечивают разрушение клеточной структуры масляного материала, которое облегчает выделение масла как прессованием, так и экстракцией.

Для измельчения семян и ядра наиболее распространены вальцовые станки. Конструкции вальцовых станков, которые используются для измельчения масляных материалов, отличаются расположением валков (вертикальное, горизонтальное и диагональное).

Ход процесса измельчения ядра или семян в целом обуславливается свойствами их многоклеточного скелета и содержимого клеток; протоплазмы и находящихся в ней масла, форменных образований - алейроновых зерен, кристаллов щавелево-кислого кальция и др. Так, многоклеточный скелет оболочки, ядра и содержимое клеток, представляющее непрерывную гелевую структуру, определяют прочность семени и их сопротивление внешним силам.

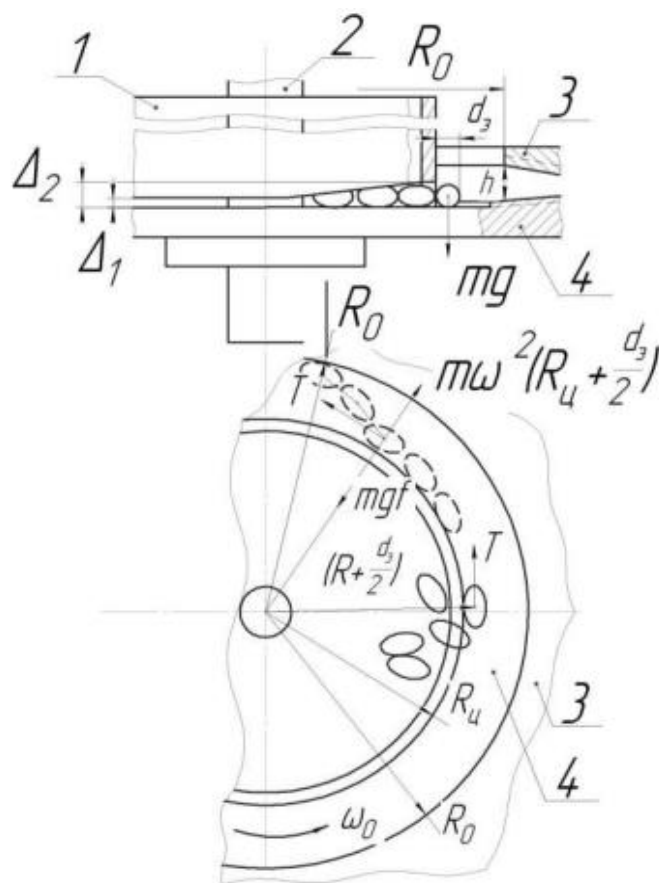
При этом вследствие сложности анатомической структуры семени прочность и сопротивляемость действию внешних сил отдельных участков неодинакова, поэтому и разрушение семени при измельчении неодинаково. Например, на вальцовках семя доли ядра измельчаются легче, чем зародыши и оболочка.

Расчет дискового измельчителя для семян бахчевых культур вели по патенту РФ № 2511291 (рисунок 1.12) [33, 34].

На степень разрушения клеточной структуры семени оказывает влияние также и способ приложения внешних сил: раздавливание, растирание и раскалывание.

Измельчение семян или ядра растиранием, раскалыванием и раздавливанием осуществляется на гладких или рифленых вальцовых станках.

Сухие семена характеризуются хрупкостью и мятка их при выходе из вальцовки отличается мучнистой структурой с большим количеством мельчайших частиц.



1 – цилиндр дозатора-распределителя; 2 – вал приводной; 3 – диск неподвижный; 4 – диск подвижный.

Рисунок 1.12 – Схема работы распределителя и измельчителя

Степень измельчения семян (или ядра) на вальцовых станках зависит от природы перерабатываемых семян и их влажности. Семена, имеющие прочные клеточные стенки и низкую маслячность (семена сои), измельчаются с большими усилиями, чем семена высокомасличные и имеющие тонкие клеточные стенки (подсолнечные, клещевинные семена).

Влажные семена характеризуются, наоборот, пластичностью, и мятка их при выходе из вальцовки имеет вид пластинок, легко слепающихся в комки.

Помол, полученный при низких температурах, более сух на ощупь, чем полученный при повышенных температурах.

Тепловая обработка. Тепловое воздействие при получении мезги способствует обогащению масла дыни такими группами БАВ, как токоферолы, каротиноиды, фосфолипиды, стеролы. Это объясняется тем, что при тепловой обработке происходит высвобождение из биомембран клеток указанных соединений и переход их в жирное масло [35]. При подготовке семян дыни к отжиму, повышение температуры до 90⁰С и выше отрицательно сказывается на качестве масла, так как разрушаются биологически активные вещества.

Известен способ получения масла из семян тыквы [36], включающий следующие этапы: стерилизация семян горячим воздухом при температуре 100-120°C в течение 2,5-3,5 минут с последующим понижением температуры растительного сырья до окружающей среды и механический отжим семян при 60°C.

Известен способ получения масла из семян тыквы [37], предусматривающий сортировку и сушку семян сначала при 20-22°C, а затем при 60-80°C и последующее прессование.

Известен способ получения масла из семян тыквы [38], заключающийся в сортировке семян, их сушке при 50-60°C в течение 15-20 минут и прессовании при 70°C, с последующей фильтрацией при 40°C.

Популярным способом является получение масла из семян тыквы [39], предусматривающий измельчение семян до муки грубого помола, термическую обработку при температуре не выше 60°C и прессование.

Также известен способ получения масла из семян тыквы [40], предусматривающий сортировку сырья, измельчение, обработку семян паром в течение 2-5 минут и их холодное прессование.

Известен способ получения масла из семян тыквы [41], который сводится к следующим этапам: обеззараживание семян, очистка от шелухи и примесей, пропаривание семян и их прессование сначала при 70-75°C, затем при 20-25°C и фильтрация масла.

Недостаток этих методов заключается в том, что термическая обработка семян на начальном этапе процесса может способствовать деструкции части ценных веществ, входящих в состав масла тыквы.

Способ получения масла и жмыха из семян дыни [42], включающий сушку семян, очистку семян от сорных и металломагнитных примесей, измельчение семян на вальцевом станке с получением мятки, влаготепловую обработку мятки в чанной жаровне, форпрессование мезги с получением масла и жмыха, измельчение жмыха, окончательный отжим масла из форпрессового жмыха и первичную очистку масла.

Недостатком данного способа является получение жмыха с содержанием массовой доли сырого протеина менее 35%, т.к. переработка семян дыни ведется без предварительного удаления плодовой оболочки, количество которой составляет 32-34% от массы семян при их влажности 5-6%, а также низкий выход масла.

Известен способ переработки семян голосеменной тыквы, включающий очистку семян от сорных примесей, измельчение семян с получением мятки, влаготепловую обработку мятки, форпрессовый отжим масла из мезги на шнековом прессе, измельчение жмыха, влаготепловую обработку измельченного жмыха, экспеллерный отжим масла и первичную очистку масла [43].

Основным недостатком известного способа переработки семян голосеменной тыквы является многоэтапность переработки и то, что

влаготепловую обработку мятки перед форпрессованием ведут при достаточно высоких температурах 105-115°C для создания более жесткой структуры прессуемого материала. В связи с этим ухудшается не только качество форпрессового масла (первого отжима), но и снижается его выход.

Так же рассматривался способ получения масла семян бахчевых культур [44], включающий очистку семян тыквы от сорных примесей и сортировку, сушку в два этапа при температуре 100-110°C в течение 2-3 минут и далее при температуре не выше 60°C в течение 20-23 минут до влажности 3-5%, затем дробление семян тыквы до размера фракции крупного помола и прессование в шнековом прессе при температуре не выше 60°C, а перед окончанием цикла прессования за 8-10 сек при температуре от 80°C до 100°C.

Основным недостатком известного способа является многоэтапность технологических операций подготовки семян тыквы к отжиму масла на шнековом прессе, включающая двухэтапную сушку при высокой температуре и энергоемкое дробление, что, во-первых, в целом увеличивает энергозатраты на их переработку. Во-вторых, при температуре сушки семян тыквы 100-110°C снижается качество получаемой продукции - в прессовом масле увеличивается содержание продуктов окисления, а в жмыхе уменьшается содержание растворимых фракций белков.

В способе получения масла из семян голосеменной тыквы, включающем очистку семян от сорных примесей, сортировку, термообработку и отжим масла на шнековом прессе, термообработку семян голосеменной тыквы осуществляют ИК-облучением до температуры от 65°C до 80°C и влажности от 6,0% до 8,5%.

В стендовых условиях проводили исследования эффективности отжима масла из предварительно подвергнутых термообработке ИК-облучением семян голосеменной тыквы на шнековом прессе, например, фирмы «Фармет». В результате установили, что уменьшение температуры семян голосеменной тыквы ниже 65°C с влажностью 6,0-11,0% снижается выход масла ниже 31%. При увеличении температуры семян голосеменной тыквы, поступающих в шнековый пресс, более 80°C температура жмыха превышает 110°C, что ухудшает качество получаемой продукции. Установлено, что при отжиме масла из предварительно подвергнутых ИК-облучению семян голосеменной тыквы с влажностью более 8,5% выход масла снижается и не превышает 29%. Из предварительно подвергнутых ИК-облучению семян голосеменной тыквы с влажностью менее 6,0% и их температуре 80°C сначала уменьшается выход масла, а затем происходит запрессовка шнекового пресса, что связано с более жесткой структурой семян голосеменной тыквы, возникающей при их дальнейшей подсушке в процессе термообработки.

Получение масла и жмыха из семян голосеменной тыквы средней масличностью 38%, которые предварительно были подвергнуты термообработке ИК-облучением с доведением их до температуры от 65°C до 80°C и влажности в интервале от 6,0% до 8,5%, позволяет достичь максимально возможный выход масла 31-34% при температуре получаемого жмыха не более

110°C. Семена голосеменной тыквы покрыты тонкой пленчатой оболочкой черно-зеленого цвета, что обуславливает их большую поглощательную способность как объекта ИК-облучения. Поэтому термообработка ИК-облучением при кратковременном воздействии обеспечивает нагрев семян голосеменной тыквы до 65-80°C, обуславливающий повышение их пластичности и снижение вязкости масла, что в целом придает перерабатываемому материалу такие реологические свойства, при которых обеспечивается эффективный отжим масла в шнековом прессе.

В стендовых условиях предварительно очищенные от сорных примесей, сортированные и подвергнутые термообработке ИК-облучением семена голосеменной тыквы с температурой от 65°C до 80°C перерабатывали на шнековом прессе фирмы «Фармет» с получением масла и жмыха. При этом температура получаемого масла и жмыха не превышала 110°C. Во всех образцах кислотное число масла не превышало 0,96 мг КОН/г, а перекисное - не более 3,2 моль кислорода. В полученном жмыхе содержание нерастворимой фракции белков не превышало 1,4% [45].

Недостатком способа является то, что семена тыквы после дробления нагреваются тонким слоем на жаровне при высокой температуре (до 80°C), при этом содержимое разрушенных ядер семян подвергается недопустимому тепловому воздействию, что приводит к разрушению и уничтожению значительной части ценных биологически активных веществ и витаминов, необходимых для медицинских целей. Кроме того, при увлажнении массы дробленных семян тыквы и ее нагревании в течение длительного периода времени происходит образование соединений белков, которые после прессования образуют в полученном масле осадок, и масло не подлежит длительному хранению.

Был предложен способ производства масла из растительного сырья, из семян тыквы, состоящий в том, что семена тыквы очищают, сушат, измельчают до муки грубого помола. Затем увлажняют при температуре не выше 60°C до влажности 10-12 и полученную массу подают на прессование [46].

Недостатком этого способа является то, что семена тыквы измельчают до муки грубого помола, разрушая при этом ядро семян, а потом увлажняют и подвергают тепловому воздействию дробленные ядра семян, что приводит к частичному разрушению фосфатидов, обладающих мембранозащитными свойствами клеток печени; олеиновой и линолевой жирных кислот, которые необходимы для медицинских целей в восстановлении целостности поврежденных клеток биологических тканей.

Рассмотрено изобретение в котором семена тыквы очищают, сортируют, сушат и прессуют. При этом сушка происходит в течение 15-20 мин при 50-60°C до влажности 6-8 % подают их в накопитель-дозатор и поддерживают в нем температуру семян 50-60°C, затем прессуют с получением после прессового масла с температурой не выше 60°C, которое подают на фильтрование при температуре масла не ниже 40°C.

Масло из семян тыквы, полученное по данному способу изобретению, имеет повышенное процентное содержание жирных кислот и других биологически активных веществ и витаминов. Это масло можно хранить до двух лет, вместо 4- 6 месяцев.

Способ производства масла из семян тыквы по данному способу проще в осуществлении за счет исключения операций измельчения семян до муки грубого помола и увлажнения полученной массы [47]. Так как целью нашей работы является получение растительного масла из семян дыни и тыквы с повышенной сохранностью биологически активных веществ и витаминов и получение при этом масла с повышенным содержанием жирных кислот, олеиновой и линолевой, обладающих репаративными свойствами и необходимых для восстановления нарушений целостности биологических тканей, увеличение срока хранения масла из семян тыквы и дыни, а также упрощение способа производства масла из семян бахчевых культур. На основании экспериментальных данных была выбрана следующая технология, показанная на рисунке 1.13.

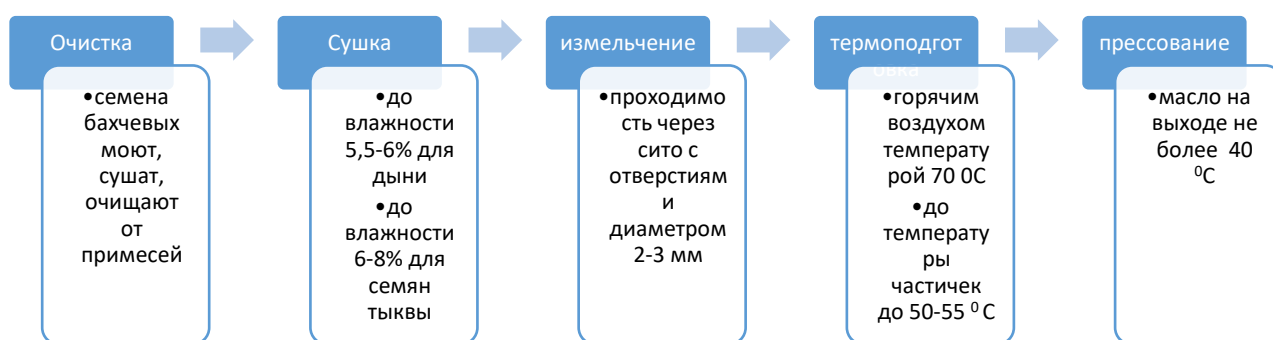


Рисунок 1.13 – Схема процесса получения растительного масла из семян бахчевых культур

При проведении экспериментов придерживались ГОСТ 13496.8–72 «Методы определения крупности размолта и содержания неразмолотых семян культурных и неразмолотых растений». Согласно ГОСТу использовался набор (комплект) лабораторных контрольных сит для пшеничной муки диаметром 200 мм (не менее 150 мм), высотой $h = 38$ мм и размерами ячеек 1 мм; 800 мкм; 670 мкм; 500 мкм; 160 мкм. Рассев проводился вручную в течении 3 мин с частотой колебаний 120 – 140 кол/мин и амплитудой около 10 см. Анализировались разделённые друг от друга пневмосепарированием компоненты сырья: оболочка, ядро [48].

1.4 Основы теории и анализ существующих математических моделей процессов, происходящих в маслопрессе при отжиге

Для расчета эффективности прессования семян бахчевых культур и выбора ресурсосберегающей технологии и оптимальных режимов подготовки и прессования семян требуется составить математическую модель. Математический анализ позволяет без лишних затрат на эксперименты с оборудованием, решить проблему с помощью результатов физических и механических процессов, смоделированных на лабораторных установках. На основе математической модели будет осуществлен поиск эффективной конструкции пресса.

В последние годы получили развитие аналитические и, в особенности, численные методы, которые по целому ряду показателей и возможностей превосходят экспериментальные методы.

Для инженерного анализа значение имеют разные приближенные методы, многие из которых основаны на неформальном, а подчас и интуитивном понимании физической сущности процессов. К их числу относятся методы аналогии процессов.

Целью выполнения экспериментального исследования на физической модели является определение давления, производительности и остаточной масличности материала при заданных параметрах технологических факторов. К технологическим факторам при процессе прессования относятся: температура сырья, влажность масличного сырья, частота вращения шнекового вала, размер зазора выходной щели на конусе пресса.

Результаты экспериментального исследования процесса отжима семян бахчевых культур представляются в виде уравнений определяемых параметров, функционально зависящих от факторов, характерных для процесса.

Численные методы по отношению к экспериментальным обладают большей универсальностью и информативностью. При сравнении различных методов необходимо отметить, что эксперимент является единственным методом исследования новых фундаментальных явлений.

При выполнении анализа выбор метода расчета связывается обычно с такими основными требованиями, как простота метода получаемых расчетных формул, хорошая точность, общность и информативность. Этим требованиям в наибольшей степени отвечают приближенные аналитические методы. Возможности аналитических методов можно расширить за счет сочетания их с численными методами. При этом аналитическое решение задачи на определенном этапе может включать численный расчет на ЭВМ. Математическое моделирование основанное на экспериментальных, аналитических и численных методах стало основным направлением исследования в области процессов и аппаратов [49].

Первую попытку дать математическое описание работы шнекового нагнетателя для вязких жидкостей начали Раувелл и Финлейсон [50], которые рассматривали его как насос. Ими получено решение для изотермического

течения ньютоновской жидкости в прямоугольном канале с верхней границей, движущейся параллельно оси канала, и показали, что в случае, если отношение ширины к глубине канала велико, то можно пренебречь влиянием эффекта боковых стенок на результирующий поток и получить аппроксимированное решение, основанное на простой одномерной модели.

Подробное описание движения вязких масс в шнеке имеется в работе Э.Бернхарда [51], а так же исследования Мак–Келви, Г. Шенкеля, Корнильева И.Б., Гогос К., Скачкова В.В. и др, Руб Д.М., П.И. Чечевицина и В.А.Масликова [52-60] изучили маслоотжимные шнековые прессы, а А.В. Иваненко и Т.Ш.Двалишвили [61] показали, что течение мезги в канале шнековых прессов для переработки винограда аналогично движению твердого тела в кольцевом зазоре.

В виду сложностей математического решения задачи о течении масс в каналах шнековых нагнетателей многие исследователи идут по пути упрощения физической картины процесса. В отдельное направление можно выделить исследования, в которых винтовой канал шнека мысленно разворачивается на плоскости и течение в шнеке рассматривается как установившееся, изотермическое течение жидкости с постоянной вязкостью между двумя параллельными пластинами [62,63].

Над теоретическими уравнениями по распределению давлений в шнековых прессах трудились такие ученые как Медведев А.А. , Зарембо Г.В., Шамсутдинов М.Р. , Алексеев Н.Д., Масликов В.А. и Руб Д.М.

В работах Соколова В.И., Дорменко В.В. и Исаева Н.И. процесс отжима рассматривается как фильтрация в деформируемой пористой среде. Ими получено уравнение, связывающее изменение пористости во времени с изменением напора, а также уравнения для давления в скелете и давления в жидкости. Маркманом А., Бочко В. и Ржехиным В.П. получено эмпирическое уравнение, связывающее выход масла с давлением, продолжительностью отжима, вязкостью масла и его содержанием в исходном материале.

Н.А.Барташевичем предложена математическая модель распределения энергозатрат процесса маслоотделения, которая устанавливает зависимость полной работы A_n затраченной на процесс прессования, от следующих составляющих: работы, затраченной на уплотнение семян сои, $A_{уп}$; работы, затраченной на истечение мезги, $A_{ис}$; работы, затраченной на продвижение спрессованного материала, $A_{мп}$; работы, затраченной на истечение масла через зерные каналы, A_M

$$\begin{aligned}
 A'_n &= A'_{уп} + A'_{ис} + A'_{мп} + A'_M = \\
 &= \frac{c}{m-1} \cdot (\rho_2^{m-1} - \rho_1^{m-1}) + n \cdot \zeta \cdot \frac{S^2 \cdot \omega^2}{8 \cdot \pi \cdot \varepsilon^2} + c \cdot \rho_2^{m-1} \cdot \left[1 - \frac{S_0}{2 \pi \cdot \eta \cdot f \cdot D} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2 \pi \cdot \eta \cdot f \cdot D x}{S_0}} \right) \right] + \\
 &\quad + \xi_0 \cdot \frac{K_{II}^3}{2} \cdot \left(\frac{\rho_2}{\rho_0} \cdot \frac{D \cdot S \cdot \omega}{a \cdot n_c} \right) \quad (1.1)
 \end{aligned}$$

При работе шнековых прессов принцип отжима масла заключается в том, что шнековый вал транспортирует масличный материал внутри зернового цилиндра, который набран из пластин с малыми зазорами между ними. Геометрия канала, образованного набором шнековых витков, обеспечивает уменьшение свободного объема витков по ходу движения материала от загрузочной воронки до выходной щели пресса и тем самым подвергает материал сжатию. Сжатие материала влечет за собой повышение давления, при котором масло отжимается из мезги. Отжатое прессовое масло отводится из зоны прессования через щели между пластинами, а отжатый материал проходит через кольцевой зазор на выходе зернового цилиндра [64].

Д.Ю. Крамаревым [49] математическая модель расчета шнекового пресса с учетом напорной зоны и камеры доотжима.

Исходя из приведенных выше данных можно сделать вывод что, основное внимание ученых при изучении процесса извлечения масла из растительного сырья методом прессования было уделено вопросам, связанным с развивающимся давлением при отжиме.

Анализ существующих математических моделей отжима масла

Среди существующих на данный момент моделей процесса холодного отжима широко распространены полуэмпирические модели [65-67].

Также развитие получили аналитические подходы к решению задачи отжима, в том числе и в нелинейной постановке, но с рядом упрощающих допущений [68-70].

С.Д. Анфёровым и др. предложена гидродинамическая модель экструзионного отжима масла из семян рапса. Модель базируется на законах сохранения импульса, масс и энергии. Исходный продукт представляется как сырье, состоящее из пористой насыщенной маслом среды. Сформулирована краевая задача, содержащая в качестве независимых переменных – давление в сырье, давление в масле, скорость движения сырья и распределение температуры. Получено приближенное аналитическое решение задачи при постоянных коэффициентах вязкости и фильтрации. Показано, что аналитическое решение с постоянными параметрами описывает возрастание давления и скорости отжима масла по длине зерновой камеры как монотонное, что противоречит экспериментальным данным. С учетом экспериментально найденных реологических и фильтрационных зависимостей разработан алгоритм численного решения задачи на основе метода конечных элементов. Определены поля давлений в сырье и масле, скорости движения сырья и фильтрационных потоков в винтовом канале экструдера, снабженного зерновой камерой. Обнаружено, что увеличение давления в сырье приводит к уменьшению скорости отжима масла, а распределение скорости отжима масла по длине зерновой камеры имеет максимум, что согласуется с экспериментальными данными. Созданная модель может служить основой для конструирования и нахождения оптимальных технологических режимов экструзионного отжима [71].

В работе Петрова И.А., построена модель течения жидкости в экструдере с учетом тепломассопереноса в зазоре между гребнем винта и внутренней поверхностью корпуса. Течение материала в экструдере рассматривается в обращенном движении как совокупность течений в развернутом на плоскость канале шнека и в зазоре между гребнем шнека и внутренней поверхностью корпуса. Поток утечек материала считается неоднородным по длине шнека, а поэтому приводит к изменению секундного объемного расхода материала в канале. Интенсивность перетекания определяется разницей давлений с обеих сторон реборды. При этом градиент давления зависит от расхода материала в канале, таким образом, поток утечек через реборду представляет собой распределенную пространственную обратную связь.

Ю.П. Мацуком предложена формула производительности шнековых прессов, Q , т/сут [72]:

$$Q_{сем} = K_{II} \cdot N_B \frac{10000}{Ж(100-B_{жс})} \cdot \left(\mu \frac{100+B_{об.т.}-M_{об.т.}}{100} \right) \quad (1.2)$$

где μ – технологический коэффициент полезного действия пресса; $Ж$ – процент выхода жмыховой ракушки из семян; $B_{ж}$, $B_{м}$, $B_{об.т.}$ – влажность жмыха, мезги и обратного товара соответственно в %; $M_{ж}$, $M_{м}$, $M_{об.т.}$ – масличность жмыха, мезги и обратного товара соответственно в %.

Уравнение для расчета прессующего тракта и критериальное уравнение предварительного отжима масла шнекового пресса предложили в своем труде В.Т. Алымови В.В. Белобородов [73]:

$$c \cdot d = \frac{0,0628 M \rho_M}{[(l - 0,01M) \rho_{a.c.v.} + 0,01M \rho_M] z \gamma} [R(l_{cm} - Nl_o - 2\delta N t g \alpha) + (D_B N t g \alpha + l_{cm} - Nl_o - 2\delta N t g \alpha) h + 2N h^2 t g \alpha] \quad (1.3)$$

Критериальное уравнение предварительного отжима масла в шнековых прессах:

$$M_{жс} = 0,8054 \cdot 10^8 \left(\frac{V_{мз}}{q} \right)^{0,15} \left(\frac{\mu_c \sqrt{K_{II}}}{q \rho_{жс}} \right)^{0,60} \left(\frac{\varepsilon}{\sqrt{K_{II}}} \right)^{0,21} \left(\frac{n \sqrt{K_{II}}}{q} \right)^{0,51}, \quad (1.4)$$

где $M_{жс}$ – масличность жмыховой ракушки; $V_{мз}$ – производительность пресса по мезге; q – производительность пресса по отжимаемой суспензии масла; $\rho_{жс}$ – плотность жмыховой ракушки; μ_c – динамическая вязкость отжимаемой суспензии масла; K_{II} – средняя проницаемость прессуемой мезги; n – число оборотов шнекового вала в секунду.

Прессование является самым качественным способом получения масла, с точки зрения сохранения исходных свойств, обусловленного отсутствием действия химических составляющих. Кроме того, холодное прессование

идеально подходит для применения на предприятиях малой мощности и отжима масла редких видов.

Анализ технической литературы и научных данных показывает, что взаимосвязь и закономерности при процессе извлечения масла из масленичного растительного сырья еще недостаточно изучены, тем самым сдерживают использование новых, перспективных способов и разработку на их основе эффективного оборудования, позволяющего рентабельно и эффективно использовать ресурсы на всех стадиях производства.

Важное значение имеет решение и научное обоснование режимов технологических процессов и аппаратного обеспечения производства и достижение экономии ресурсов.

Анализ показывает, что метод холодного прессования является самым качественным и безвредным способом получения масла. При извлечении растительного масла методом холодного прессования обеспечивается сохранение витаминов, минеральных веществ, фосфолипидов, а также сохранение исходных свойств сырья, в связи с отсутствием действия химических составляющих и высоких температур.

Семена бахчевых культур труднее поддаются прессованию и многие маслопрессы не справляются с данной задачей, а более мощные представители занимают большую площадь и требуют больших затрат и сырья.

1.5 Постановка задач исследований

Анализ технической литературы и научных данных показывает, что взаимосвязь и закономерности при процессе извлечения масла из масленичного растительного сырья еще недостаточно изучены, тем самым сдерживают использование новых, перспективных способов и разработку на их основе эффективного оборудования, позволяющего рентабельно и эффективно использовать ресурсы на всех стадиях производства.

Анализ показывает, что метод холодного прессования является самым качественным и безвредным способом получения масла. При извлечении растительного масла методом холодного прессования обеспечивается сохранение витаминов, минеральных веществ, фосфолипидов, а также сохранение исходных свойств сырья, в связи с отсутствием действия химических составляющих и высоких температур.

Семена бахчевых культур труднее поддаются прессованию и многие маслопрессы не справляются с данной задачей, а более мощные представители занимают большую площадь и требуют больших затрат и сырья.

На основе проведенного анализа научно-технической информации, в соответствии с поставленной целью определены следующие задачи:

1. Исследование структурно-механических, теплофизических, реологических и химических свойств семян дыни и тыквы; определение рациональных технологических режимов процесса

прессования в области допустимых технологических свойств получаемых растительных масел.

2. Изучение основных кинетических и гидродинамических закономерностей процесса холодного прессования семян бахчевых культур (влияние начальной влажности, температуры, давления и др. на характер протекания исследуемого процесса и качество полученных растительных масел) в широком диапазоне изменения режимных параметров.
3. Разработка научно-практических подходов к энергосбережению в процессе прессования семян бахчевых культур методом холодного прессования с возможностью поиска наилучшего компромисса между качеством готового продукта, производительностью и удельными энергетическими затратами.
4. Разработка новых конструктивных решений оборудования, повышающего эффективность технологических процессов переработки семян бахчевых культур методом холодного прессования.

2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИИ МАСЛОПРЕССА

2.1 Методы исследования физико-механических свойств семян дыни и тыквы

При исследовании основных физических свойств семян дыни изучали линейные размеры, объемную массу, массу 1000 семян, массу отдельных семянок, угол трения покоя и коэффициент трения покоя. Данные физико-механические свойства семян дыни и тыквы определяли по общепринятым методикам. В качестве среднего измерения принималась средняя арифметическая величина из трех параллельных опытов.

Среднюю удельную работу разрушения смеси семян дыни и тыквы выборкой из товарной смеси в количестве определяли при положении семянки по отношению к разрушающему усилию “плашмя”, “на ребро” и по высоте (вдоль длинной оси) до полного её разрушения на структурометре марки СТ-2.

Затем каждую фракцию взвешивали и определяли ее массовую долю в смеси. Взвешивание производили на весах марки Shimadzu AUW-320 с точностью до 0,01г. Потом рассчитывали среднюю массу одного семени.

Электронным штангенциркулем с точностью до 0,01 мм измеряли длину, ширину и толщину каждой семянки дыни и тыквы.

В основе процесса извлечения масла из семян бахчевых культур является деформация последних под действием силы сжатия. Для установления конкретных величин нами собрана установка, основными рабочими органами являются пуансон, матрица и стакан. В матрицу засыпались с начальной плотностью цельные и измельченные семена дыни и тыквы. Под действием домкрата образцы деформировались. Усилие деформации фиксировалось образцовым динамометром, предварительно оттарированным по стандартной методике, а перемещение пуансона фиксировалось и данные выводились на экране монитора в виде зависимости давления от деформации (рисунок 2.1). После деформации образцы извлекались из матрицы и взвешивались. Выравнивание экспериментальных данных по теоретической кривой позволили установить, что взаимосвязь между давлением прессования и плотностью семян дыни и тыквы выражена следующей эмпирической зависимостью:

$$P = c\rho^m \quad (2.1)$$

где P - давление прессования, ρ - плотность семян, кг/м³; c , m - коэффициенты, характеризующие физико-механические свойства семян: плотность, упругость, размеры семян, форма семян.

Степень уплотнения для сыпучих измельченных семян вычислялась по формуле:

$$\beta = \frac{\rho}{\rho_0}, \quad (2.2)$$

где ρ плотность получаемого жмыха, ρ_0 сыпучих измельченных семян.

С учетом найденных коэффициентов c и m определили удельную работу прессования семян. Удельную работу вычисляли по формуле представленной ниже:

$$A = \frac{c}{m-1} (\rho_2^{m-1} - \rho_1^{m-1}), \text{Дж/кг} \quad (2.3)$$

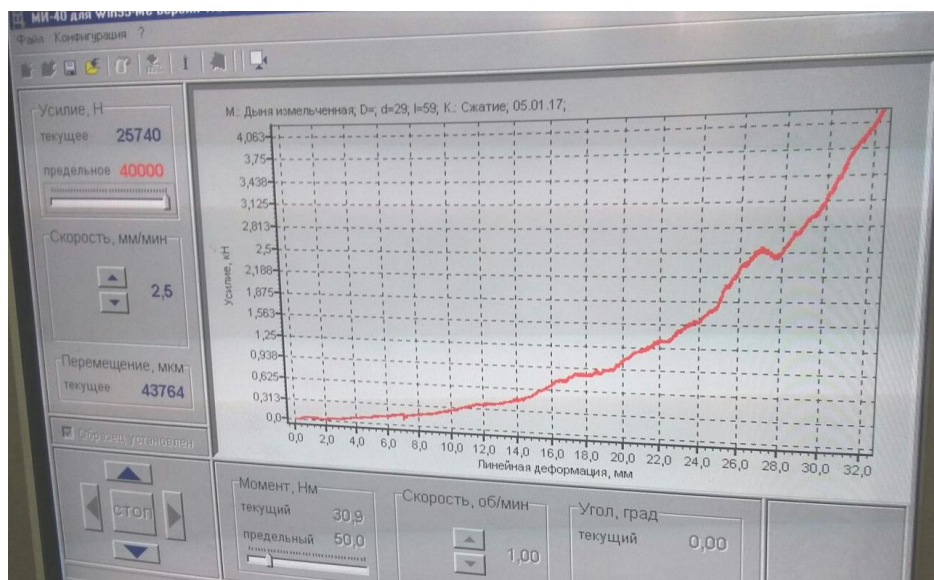


Рисунок 2.1 – Данные по экспериментальной установке

Для расширения ассортимента растительных масел в Казахстане для использования не только в пищевых, но и косметических целях является актуальной разработка оборудования для переработки масличных семян бахчевых культур с получением ценного растительного масла и кормового жмыха. Поэтому необходимы достоверные сведения по основным свойствам семян. Изучены и обобщены основные физико-механические свойства, физико-химические показатели семян тыквы, дыни отечественного производителя урожая 2015 года.

Результаты вычислений приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Коэффициенты и плотность для семян дыни

Семена бахчевых культур	c	m	$\rho_1, \text{кг/м}^3$	$\rho_2, \text{кг/м}^3$
Для измельченных семян	0,135	0,1	0,39	2,52
Для цельных семян	0,16	0,1	0,4	1,95

С учетом найденных коэффициентов c и m определили удельную работу прессования семян. Результаты вычислений показаны в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Теоретическая удельная работа для измельченных и цельных семян дыни

Наименование	Количество
А цельн., Дж/кг	98,42689 *10 ⁻²
А измельч., Дж/кг	1255,908 *10 ⁻²

Как известно минимальное их энергопотребление при разрушении достигается при сочетании деформации сжатия и сдвига в определенном соотношении, однако медленно вращающийся шнек не может обеспечить условия сдвига и поэтому для достижения максимального эффекта разрушения семян дыни и тыквы необходимо осуществлять при загрузке и подаче их в шнековый цилиндр предварительную подготовку в виде измельчения до крупки [98].

2.2 Основные физико-механические свойства семян дыни и тыквы

Экспериментально изучены основные физико-механические свойства семян бахчевых культур тыквы и дыни отечественного производителя урожая 2015 года.

В таблицах 2.3-2.6 представлены основные физико-механические свойства семян тыквы «Кормовая», дыни сорта «Торпеда», «Алтыночка» выращенных в РК, Алматинская область, Илийский район, а также для сравнения тыквы сортов «Мускатная» и «Кормовая», дыни сорта «Азиатская овальная», а также дыни «С. Edulis», «Egusi», «Sarakhі», выращенных в странах Африки и Азии. В таблице 2.4 приведены физико-химические показатели семян дыни и тыквы местной селекции. Исследование геометрических размеров семян отечественной селекции приведены в приложении В.

Таблица 2.3 – Линейные размеры семян

Сорт семян	Линейные размеры, мм		
	длина	ширина	толщина
тыква "Кормовая" РК	18,795	11,24	5,84
тыква «Мускатная»[89]	16.1-26.6	10.0-16.10	4.0 - 7.7
тыква «Кормовая»[89]	12.4-19.2	7.2-12.3	1.9-3.9
дыня «Азиатская овальная»[89]	10.36-14.35	4.58-6.16	1.11-2.49
дыня «С. Edulis» [90]	12,81	7,02	2,22
дыня «Egiisi» [92]	13,20	7,92	1,85
дыня «Sarakhі» [91]	15.62-17.05	9.15-10.07	3.10-3.16
дыня «Торпеда» РК[92]	11,0-13,07	4,0-5,66	0,2-1,89
дыня «Алтыночка» РК[92]	8,7-9,12	3,8-4,0	0,2-0,9

Как видно из таблицы 2.3 линейные размеры семян сильно отличаются от региона произрастания плодов, семена африканских дынь имеют более крупные семена, так же отличаются они и по массе семян [92].

Состав и питательная ценность ядра и оболочки различны. Ядро содержит такие ценные группы веществ, как липиды и протеины. В оболочке содержится значительное количество безазотистых веществ и клетчатки, липидов всего не более 2 %. К тому же в липидах оболочки содержится много свободных жирных кислот, восков, воскоподобных веществ. В процессе извлечения масла они могут переходить в продукт и тем самым ухудшать его качество. В связи с этим оболочку необходимо удалять. Количество оболочки значительно влияет на качественные характеристики масла [88].

Таблица 2.4 – Масса семян бахчевых

Сорт семян	Масса тысячи семян, г	Масса отдельных семян, г
тыква «Мускатная» [89]	482,31	0,14-0,56
тыква «Кормовая» [89]	172,65	0,32 - 0.90
дыня «Азиатская овальная» [89]	54,14	0,03 – 0,08
тыква «Кормовая» РК [92]	189,5	0,35-0,81
дыня «Торпеда» РК [92]	51,0	0,05-0,09
Дыня «Алтыночка» РК [92]	46,9	0,04-0,07

В таблице 2.5 приведены показатели семян дыни местной селекции и по содержанию жира выгодно отличаются семена сорта «Алтыночка».

Таблица 2.5 – Сравнение показателей сортов дыни местной селекции

Наименование сорта дыни	Алтыночка	Жансая	Прима	Илийская	Эфиопка	Муза	Таисия	Медовая
влажность, %	5,08	5,65	5,67	7,93	7,93	5,66	5,61	5,77
МД жира,%	25,66	22,41	23,38	19,88	19,88	24,24	22,61	17,36
Кислотное число, мг КОН	1,2	1,07	1	1,3	1,02	1,1	1,03	1,01
Перекисное число, моль активного кислорода/кг	2,3	2,8	2,6	2,7	2,3	2,3	2,5	2,2

Продолжение таблицы 2.5

Наименование сорта дыни	Алтыночка	Жансая	Прима	Илийская	Эфиопка	Муза	Таисия	Медовая
Число омыления, мг КОН/г	204,1	203,5	204,6	204,2	201,3	204,3	204,5	203,9
Не омыляемые вещества	0,25	0,26	0,29	0,2	1,45	0,22	0,28	0,25
плотность	924,3	918	924,1	924,9	924,3	924,8	924	924,1
цветное число йода, мг йода	8	4	4	6	6	3	5	3
МД летучих веществ и влаги, %	1,04	1,01	1,05	1,05	1,01	1,08	1,03	1,04
содержание каротина, %	0,3	0,34	0,32	0,27	1,8	0,26	0,35	0,33
показатель преломления при 20 °С	1,477	1,42	1,478	1,36	0,33	1,4	1,47	1,47
токоферол, % от общего содержания α	41,1	41,7	41,3	39,5	41,6	39,9	41,9	41,7
токоферол, % от общего содержания γ	56,9	56,1	57,1	56,9	58,2	57	58,1	58,3

Таблица 2.6 – Показатели масла из семян дыни и тыквы

Наименование показателей	Значение показателей	
	Дынное	Тыквенное
Плотность при 20 С°, г/см	0,914	0,91
Коэффициент преломления, 20D	1,4733	1,4595
Число омыления, КОН/г	98,63	100,65
Кислотное число, мг КОН/г	1,4	0,72
Йодное число	119	104,8
Содержания не омыляемых веществ, %	1,44	1,55
Содержание свободных жирных кислот, %	0,52	0,37
Цветное число, мг йода	6	36
Суммарное содержание каротиноидов в пересчете на β -каротин, мг %	12,32±0,06	9,86
Суммарное содержание токоферолов в пересчете на α -токоферолов, мг %	23,80±0,16	132

Как видно из данной таблицы по всем показателям отличается сорт дыни «Алтыночка» дальнейшие эксперименты проводились на семенах и масле этого сорта. Протоколы испытаний приведены в приложении Г.

Для сравнения в таблице 2.7 приведены жирнокислотный состав масел из литературных источников и ЖКС растительного масла из семян тыквы и дыни местных селекции, полученные на экспериментальной установке методом холодного отжима.

Таблица 2.7 – Жирнокислотный состав растительных масел

Масло	Насыщенные кислоты			Ненасыщенные кислоты		
	Пальми-тиновая	Стеариновая	Арахидиновая	Олеиновая	Линолевая	Линолеиновая
Арахисовое	6-11	4.5-6.2	2.3-4.9	40-66	18-33	—
Кукурузное	7,7	3,5	0,4	44-45	41-48	—
Оливковое	7-10	2,4	0.1 -0.2	54-81	15	—
Пальмовое	39-47	8-10	—	32-37	5-18	—
Подсолнечное ¹	6-9	1.6-4.6	0,7-0.9	24-40	46-72	1
Рапсовое	—	1,6	1,5	20-25	14	2-3
Рыжиковое	6,5-9*	—	—	27	14-45	20-38
Сафлоровое	5-11 ⁵	—	—	7-12	56-84	—
Соевое	2,4-6.8	4,4-7.3	0,4-1	20-30	44-60	5-14
Хлопковое	20-22	2	0.1-0.6	30-35	42-44	34-44
Дынное	6,3-9,1	3,4-6,89	0,17-0,23	24,1-30,1	60,0-62,4	0,16-2,67
Тыквенное	9,18-16,2	8,55	0,31-0,65	38,42	41,0-53,1	0,34-0,8

Проанализировав и сравнив ЖКС разных масел, видно что, масло семян бахчевых культур богато линолевой кислотой. Линолевая кислота является самой важной кислотой, которая может превращаться в организме человека в другие кислоты и тем самым восполняет их недостаток в этих кислотах. Только линолевая кислота является основой для синтеза арахидоновой кислоты [93].

2.2.1 Прочность плодовой оболочки

Важной механической характеристикой масляничных семян является прочность плодовой оболочки, которая зависит от влажности и линейных размеров семян, а так же от направления динамической нагрузки.

Изучали изменение удельной работы разрушения семян дыни сортов «Алтыночка» и «Жулдыз» в зависимости от их влажности при следующих направлениях динамической нагрузки на семянку в положении: вертикальном, горизонтальном и поперечном.

Под прочностью оболочки понимается величина нагрузки, при которой происходит ее разрушение. Упругость и пластичность оболочек характеризуются соотношением между упругой и пластической деформациями. Упругая деформация исчезает после снятия нагрузки, а пластическая остается. На физико-механические свойства семян оказывает влияние предварительного прогрева.

Кроме механических свойств оболочек на эффект обрушивания оказывает влияние толщины оболочки, толщины воздушной прослойки, прочность связи оболочки с ядром, направление удара. Направление удара играет существенную роль в обрушивании. Прочность оболочки в направлении разных осей неодинакова [74].

Прочность плодовой оболочки является важной механической характеристикой масличных семян, как объекта обрушивания. Прочность плодовой оболочки масличных семян зависит от направления динамической нагрузки, их влажности и линейных размеров.

Кроме указанных механических свойств оболочек на эффект обрушивания оказывает влияние толщина оболочки, прочность связи оболочки с ядром, направление удара. Направление удара играет большую роль в обрушивании. Прочность оболочки в направлении разных осей неодинакова [94,95].

Для разработки бичевых и центробежных рушек необходимо иметь достоверную информацию об удельной работе разрушения смеси масличных семян в зависимости от их влажности, исследованию которых посвящено много работ. Мы исследовали семена Казахстанских сортов, не исследованных ранее. Исследования проводили на структурометре СТ-2 (рисунок 2.2, рисунок 2.3).

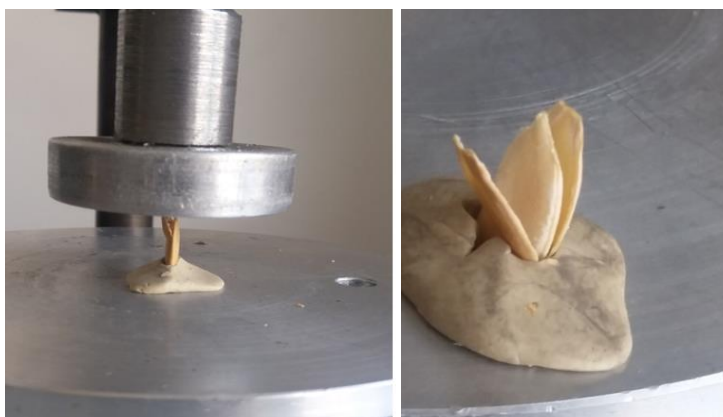


Рисунок 2.2 – Определение усилия разрушения семян дыни
вертикальное положение

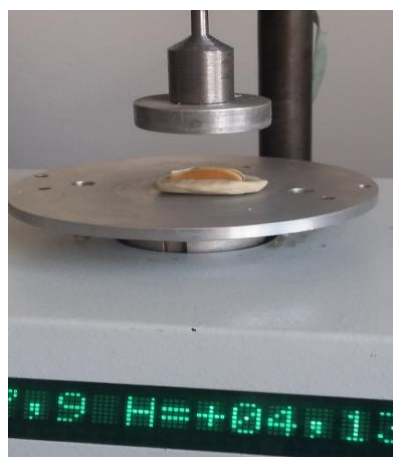


Рисунок 2.3 – Определение усилия разрушения семян дыни поперечное положение [96]

Исследования проводили на сорте выращенном в Казахстане, урожай 2016 года сорт «Алтыночка» результаты показаны в таблицах ниже. В таблицах 2.8 и 2.9 показаны результаты исследований прочности плодовой оболочки на свежих семенах.

Таблица 2.8 – В вертикальном положении

v, мм/мин	Результаты							
	1		2		3		Ср.	
	F	H	F	H	F	H	F	H
20	17.4	3.85	18.8	3.42	16.0	2.56	17.4	3.28
40	12.9	2.58	12.1	1.41	11.3	0.84	12.1	1.61
60	13.9	2.83	14.2	2.91	14.4	3.57	14.1	3.1
80	10.7	1.38	10.7	1.44	10.0	1.23	10.4	1.35
100	15.2	2.31	16.3	2.79	16.1	2.44	15.8	2.51

Таблица 2.9 – В поперечном положении

v, мм/мин	Результаты							
	1		2		3		Ср.	
	F	H	F	H	F	H	F	H
20	10.6	1.47	11.1	0.92	10.0	1.02	10.5	1.14
40	10.5	1.06	10.4	0.97	10.3	0.85	10.4	0.96
60	10.4	0.67	13.0	1.01	12.6	1.06	12	0.91
80	12.5	0.82	12.0	1.05	11.9	0.91	12.2	0.92
100	13.1	1.31	14.3	1.57	13.8	1.46	13.7	1.44

В горизонтальном положении - разрушений нет.

В таблицах 2.10 и 2.11 показаны результаты исследований прочности плодовой оболочки на высушенных семенах дыни.

Таблица 2.10 – В вертикальном положении

v, мм/ мин	Результаты							
	1		2		3		Ср.	
	F	H	F	H	F	H	F	H
20	26.9	1.35	27.8	0.91	23.9	0.87	26.2	1.04
40	26.3	0.74	29.6	3.31	28.4	1.16	28.1	1.73
60	23.0	1.33	24.2	1.08	26.8	1.42	24.6	1.27
80	19.3	1.20	21.6	0.99	11.9	0.58	17.6	0.92
100	21.2	1.13	19.1	0.76	20.8	0.93	20.4	0.94

Таблица 2.11 – В поперечном положении

v, мм/мин	Результаты							
	1		2		3		Ср.	
	F	H	F	H	F	H	F	H
20	16.0	0.61	15.0	0.62	14.9	0.50	15.3	0.58
40	18.8	0.85	12.2	0.46	14.0	0.48	15	0.60
60	18.0	0.64	17.0	0.60	14.3	0.59	16.4	0.61
80	18.1	0.61	20.8	0.89	18.9	1.85	19.2	1.11
100	16.9	0.70	13.7	0.55	18.2	0.80	16.2	0.68

В горизонтальном положении семян – разрушений нет.

В таблицах 2.12 и 2.13 показаны результаты исследований плодовой оболочки семян дыни после повышения влажности до 36%

Таблица 2.12 – В вертикальном положении

v, мм/мин	Результаты							
	1		2		3		Ср.	
	F	H	F	H	F	H	F	H
20	11.4	2.65	10.6	2.22	12.5	2.44	11.5	2.43
40	12.3	1.95	13.6	2.49	10.8	2.16	12.2	2.2
60	11.3	2.87	11.2	2.11	11.2	2.20	11.2	2.4
80	10.9	1.86	13.3	2.64	13.6	2.03	12.6	2.18
100	10.4	0.80	10.1	1.02	10.1	0.77	10.2	0.86

Таблица 2.13 – В поперечном положении

v, мм/мин	Результаты							
	1		2		3		Ср.	
	F	H	F	H	F	H	F	H
20	12.4	1.18	8.0	0.95	8.0	1.24	9.46	1.12
40	11.7	0.76	8.2	0.57	12.1	0.76	10.6	0.69
60	11.1	0.86	12.0	0.72	11.7	0.75	11.6	0.77
80	9.0	0.93	10.2	1.02	8.7	0.91	9.3	0.95
100	8.3	0.62	9.9	0.83	8.1	0.71	8.76	0.72

В горизонтальном положении семени разрушений не происходит.

Следовательно, минимальная средняя удельная работа разрушения достигается при разрушении семян вдоль длинной оси.

В центробежной рушке при движении семян в каналах роторного устройства обеспечивается их ориентация вдоль длинной оси, что позволяет снизить затраты энергии на разрушение плодовой оболочки семян при ударе их о деку. Мирзоевым Г. предложено модифицированное устройство центробежной рушки [89, с. 45-48].

2.2.2 Аэродинамические свойства семян

В сельскохозяйственных машинах воздушный поток используется для очистки и сортировки семян, а также для перемещения частей вороха от одного рабочего органа к другому (пневмотранспортирования).

Поведение семян в воздушном потоке определяется их аэродинамическими свойствами и характером потока. Для изучения этого вопроса рассмотрим поведение семян, которые помещены в вертикальный поток воздуха.

На зерно будет действовать сила тяжести G и подъёмная сила воздушного потока F_n , совпадающая с направлением скорости V_B . Силу F_n можно определить по формуле Ньютона:

$$F_n = K \cdot \gamma \cdot S (V_3 - V_B)^2, \text{ Н} \quad (2.4)$$

где γ – удельный вес воздуха, кг/м³; K – коэффициент сопротивления воздуха, зависящий от формы зерна и свойств его поверхности; S – миделево сечение тела, т. е. площадь проекции его на плоскость, перпендикулярную относительной скорости $V_3 - V_B$, м²; V_B – скорость воздушного потока, м/с; V_3 – скорость зерна, м/с.

Если $G > F_n$, то семя будет двигаться вниз, если $G < F_n$, то семя будет двигаться вверх; если $G = F_n$, то зерно будет находиться в потоке во взвешенном состоянии, т. е. $V_3 = 0$.

$V_{Kp} = V_v$. Из уравнения (2.4):

$$Fn = G = k \cdot \gamma \cdot S \cdot V_{2Kp} \Rightarrow VKp = \dots, \text{ м/с.} \quad (2.5)$$

Разделим обе части уравнения (1) на M . Тогда:

$$\frac{F_n}{m} = \frac{k \cdot \gamma \cdot S}{m} (V_3 - V_в)^2. \quad (2.6)$$

Из-за неопределённости миделевого сечения S большинства семян и сложности методов определения коэффициента K более удобно пользоваться одним общим коэффициентом – Коэффициентом парусности ($KП$):

$$K_n = \frac{k \cdot \gamma \cdot S}{m}. \quad (2.7)$$

Таким образом для определения подъёмной силы воздушного потока можно применять более простую формулу.

С учётом уравнения (2.6) и (2.7) получим:

$$Fn = KП \cdot M (V3 - VB)^2. \quad (2.8)$$

Если $Fn = G$; $V3 = 0$, и $VB = VKp$ (зерно находится во взвешенном состоянии), то получим:

$$G = m \cdot kП \cdot V_{kp}^2. \quad (2.9)$$

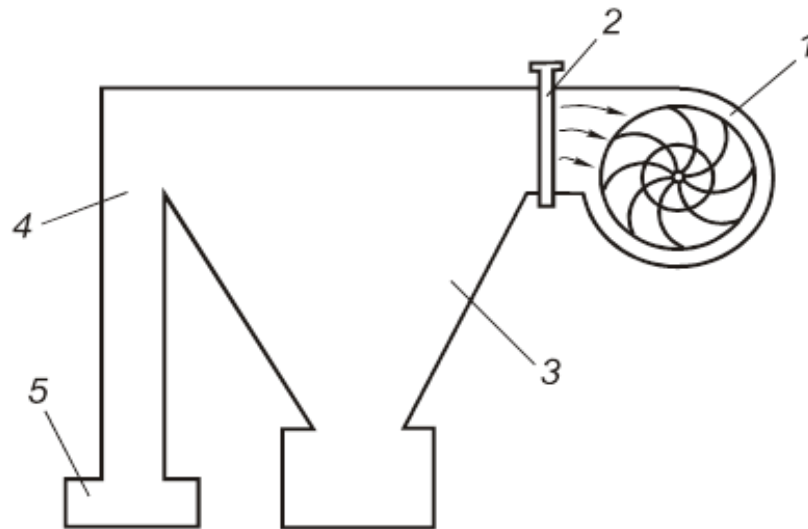
Разделим обе части на M :

$$\frac{G}{m} = g = K_n \cdot V_{kp}^2 \quad (2.10)$$

Тогда

$$K_n = \frac{g}{V_{kp}^2}, \quad (2.11)$$

Следовательно коэффициент парусности $KП$ можно определить по скорости витания V_{kp} , которая в свою очередь, определяется опытным путём с помощью парусного классификатора (рисунок 2.4).



1 – вентилятор; 2 – задвижка; 3 – отстойник (циклон);
4 – сепарационный канал; 5 – кассета.

Рисунок 2.4 – Схема порционного классификатора

Скорость витания определяли, как среднее из 5 измерений для каждой семянки при установившемся ее колебательном движении на фиксированном по длине участке стеклянной трубы. Относительная ошибка среднего измерения скорости витания в проведенной серии измерений не превышала $\pm 2,83\%$.

Коэффициент парусности (k) рассчитывали по известной зависимости

$$v = \sqrt{\frac{g}{k}} \quad (2.12)$$

где v_v – средняя скорость витания семян дыни, м/с

При преобразовании получили:

$$k = g/v^2 \quad (2.13)$$

Подставляя значения, мы получили значения k для семян дыни $0,5 \text{ м}^{-1}$, для семян тыквы $0.09-0.13 \text{ м}^{-1}$.

Определение коэффициентов аэродинамического сопротивления семян производили [75], [76] (Gorial и O'Callaghan, 1990), (Garret R.E., 1965) [77] и др.

Силу сопротивления находим по формуле:

$$R = k_c F \frac{\rho_0 V^2}{2} \quad (2.14)$$

где k_c – коэффициент сопротивления, F – площадь Миделева сечения, m^2 , ρ_v – плотность воздуха, kg/m^3 , V – критическая скорость, m/s .

Площадь Миделева сечения неправильной формы тела, т.е. с помощью деления треугольниками. Отсюда:

$$F = \frac{h}{2} a \quad (2.15)$$

где a -толщина семени, h - ширина семени.

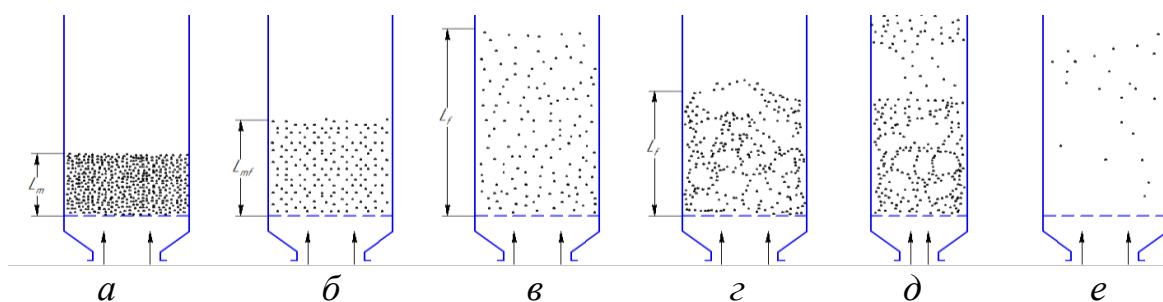
Выводим коэффициент сопротивления:

$$k_c = \frac{2mg}{\rho_v F v^2} \quad (2.16)$$

2.2.3 Определение аэродинамических свойств семян дыни и тыквы

Зернистый слой материала, расположенный на газопроницаемой поддерживающей решётке, в зависимости от скорости восходящего потока газа может переходить во взвешенное состояние или оставаться при этом неподвижным (фильтрующим). Взвешенный слой за внешнее сходство с поведением обычной капельной жидкости (текучесть, способность принимать форму того сосуда, в который она помещена, и т.д.) называют псевдооживленным. Рассмотрим явление псевдооживления.

Предположим, что поток воздуха (газа, воды) движется через слой так, как показано на рисунке 2.2. При низких скоростях поток просто фильтруется через пустоты между частицами; в таком состоянии они составляют так называемый неподвижный (фильтрующий) слой (рисунок 2.3, а). При увеличении скорости потока выше некоторого критического значения, слой перейдет во взвешенное состояние. Причем структура его может быть различной. При сравнительно низких скоростях может быть получен взвешенный слой с равномерным распределением твердой фазы независимо от продолжительности процесса и размеров аппарата. Такой слой называется однородным. Обычно он легко организуется при одинаковых размерах частиц, а также отсутствием крупных пузырей газа, проходящих через слой. Таким образом, состояние системы газ – твердые мелкозернистые частицы можно считать однородным только в том случае, если восходящий поток свободен от внешних возмущений (рисунок 2.3, б, в). Трение между частицей и потоком компенсируется весом частицы, вертикальная составляющая силы сцепления соседних частиц уменьшается, а перепад давления в любом сечении слоя будет равным весу потока с частицами в этом сечении.



a – неподвижный (фильтрующий) слой при низкой скорости потока газа или жидкости; *б* – псевдооживление потоком жидкости; *в* – однородное псевдооживление потоком газа; *г* – неоднородное (с пузырями) псевдооживление потоком газа; *д* – поршневой режим; *е* – разбавленная фаза псевдооживленного слоя с пневмотранспортом при высокой скорости потока газа или жидкости

Рисунок 2.5 – Схемы режимов псевдооживления

При дальнейшем повышении скорости потока наблюдаются большие неоднородности в виде пузыреобразования или каналобразования. При движении через слой крупных пузырей наружная поверхность слоя разрывается, и группы частиц перемещаются по высоте слоя, способствуя интенсивному перемешиванию твердой фазы (рисунок 2.3, *г*).

Многие факторы влияют на скорость перемешивания частиц, размер пузырей и степень неоднородности слоя. К этим факторам относятся: геометрия слоя, скорость потока газа, тип газораспределителя и внутренняя конструкция сосуда, наличие таких элементов, как сетки, перегородки, теплообменники. В качестве примера рассмотрим поршнеобразование – явление, сильно зависящее от геометрии сосуда. При таком режиме газовые пузырьки сливаются и растут по мере их подъема; при достаточной глубине слоя они могут стать достаточно большими, чтобы занять все поперечное сечение сосуда. Поэтому часть слоя выше пузыря выталкивается вверх, как поршень. Частицы пересыпаются из поршня вниз, и он разрушается. Почти за это же время образуется другой поршень, и это пульсирующее нестабильное движение повторяется (рисунок 2.3, *д*). Поршнеобразование является нежелательным, т. к. он ставит проблему уноса и уменьшает потенциальные возможности использования такого слоя, как для протекания процессов. Обычно поршнеобразование происходит в высоких слоях малого диаметра.

Считается, что как газовые, так и жидкостные слои являются псевдооживленными в плотной фазе, т. к. имеется четко выраженная верхняя граница или поверхность слоя. Однако, когда при достаточно высокой скорости потока повышается скорость витания частиц, верхняя граница слоя исчезает, унос становится заметным и частицы выносятся из слоя с потоком оживающего агента. В этом случае мы имеем диспергированный, разбавленный или псевдооживленный слой в разбавленной фазе с пневмотранспортом частиц (рисунок 2.3, *е*).

Скорость витания определяли как среднее из 5 измерений для каждой семянки при установившемся ее движении на фиксированном по длине участке стеклянной трубы. Ошибка измерения скорости витания в проведенной измерений не превышала $\pm 2,83\%$. Результаты приведены в таблице 2.14.

Таблица 2.14 – Измерения семян дыни

№ опыта	Высота слоя, м	Скорость потока воздуха, м/с	Режим псевдооживления
1	0,11	0,1...0,4	неподвижный слой
2	0,14...0,16	0,44...0,48 (критическая)	псевдооживление потоком воздуха
3	0,17...0,30	0,5...0,7	поршневой режим
4	свыше 0,30 до 1,0	0,8 и выше (скорость уноса)	унос частиц (семян)

Скорость витания семян тыквы колеблется в интервале 8,1–10,7 м/с, критическая скорость семян дыни (переход из состояния покоя во взвешенное состояние) 0,44–0,48 м/с, скорость уноса составляет 0,8 м/с [97].

Методы исследований химического состава семян дыни определялись по стандартным методикам режимов [121–133].

2.3 Экспериментальное определение рациональных параметров процесса прессования семян

Для производства растительных масел применяют прессовый способ, который включает следующие последовательные технологические операции – очистка семян от примесей, измельчение, тепловая (влажотепловая) обработка, прессование – остается практически неизменной на протяжении столетий. Однако использование альтернативных масличных культур предполагает уточнение оптимальных интервалов параметров прессования, для каждой конкретной культуры, с целью упрощения процесса в производственных условиях и снижения материальных и энергетических затрат [96].

Для сохранения всех ценных веществ в растительных маслах, полученных методом холодного прессования, необходимо правильно подобрать рациональные параметры для его извлечения [97].

Для исследования взаимодействия различных факторов, влияющих на процесс отжима масла из семян тыквы, были применены математические методы планирования эксперимента.

В качестве объекта исследования использовали семена тыквы (масличность 32 - 36 %).

В качестве основных факторов, влияющих на процесс прессования, были выбраны: x_1 – начальная влажность сырья, %; x_2 – частота вращения шнека маслопресса, с^{-1} ; x_3 – величина зазора для выхода жмыха, мм; x_4 – температура мятки при отжиме, $^{\circ}\text{C}$; x_5 – лужистость исходного продукта, %.

Все эти факторы совместимы и некоррелируемы между собой. Пределы изменения исследуемых факторов приведены в таблица 2.15.

Таблица 2.15 – Пределы изменения входных факторов

Условия планирования	Пределы изменения факторов				
	$x_1, \%$	x_2, c^{-1}	x_3	x_4	x_5
Основной уровень	10	0,8	0,5	80	6
Интервал варьирования	1	0,1	0,2	5	1
Верхний уровень	11	0,9	0,7	85	7
Нижний уровень	9	0,7	0,3	75	5
Верхняя "звездная точка"	12	1,0	0,9	90	8
Нижняя "звездная точка"	8	0,6	0	70	4

Выбор интервалов изменения факторов обусловлен технологическими условиями процесса прессования и техническими характеристиками маслопресса. Критериями оценки влияния различных факторов на процесс прессования были выбраны: y_1 – удельные энергозатраты на процесс прессования, кДж/кг; y_2 – остаточная маслячность жмыха, %; y_3 – комплексный органолептический показатель качества (КОПК).

Структура показателя качества рассматривается как совокупность основных органолептических свойств продукта и определяется как произведение дифференцированных (единичных) показателей по формуле:

$$y_3 = K_1K_2K_3K_4K_5, \quad (2.17)$$

где K_1 – вкус исследуемого продукта, K_2 – цвет исследуемого продукта, K_3 – запах исследуемого продукта, K_4 – внешний вид исследуемого продукта, K_5 – прозрачность исследуемого продукта.

Общая оценка получаемого продукта определялась как средний арифметический балл от оценок пяти независимых экспертов по столбальной шкале.

Для исследования было применено центральное композиционное ротатабельное униформпланирование и был выбран полный факторный эксперимент 2^{5-1} с дробной репликой $x_5 = x_1x_2x_3x_4$. Порядок опытов рандомизировали посредством таблицы случайных чисел, что исключало влияние неконтролируемых параметров на результаты эксперимента.

$$y_1 = 0,132 - 0,039x_1 + 0,043x_2 - 0,078x_3 + 0,054x_4 + 0,019x_5 - 0,028x_1x_2 + 0,054x_1x_3 + 0,065x_1x_4 - 0,018x_1x_5 + 0,008x_2x_3 + 0,009x_2x_4 -$$

$$\begin{aligned}
& - 0,017 x_2x_5 - 0,013 x_3x_4 - 0,054 x_3x_5 + 0,042 x_4x_5 + 0,017 x_1^2 - \\
& - 0,017 x_2^2 - 0,024 x_3^2 + 0,066 x_4^2 + 0,044 x_5^2, \quad (2.18)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
y_2 = & 5,912 - 0,128x_1 + 0,184 x_2 + 0,312 x_3 - 0,390 x_4 - 0,245 x_5 - 0,344 x_1x_2 - \\
& - 0,026 x_1x_3 + 0,041 x_1x_4 + 0,584 x_1x_5 - 0,223 x_2x_3 + 0,675 x_2x_4 - \\
& - 0,159 x_2x_5 + 0,146 x_3x_4 + 0,148 x_3x_5 - 0,266 x_4x_5 - \\
& - 0,083x_1^2 - 0,017 x_2^2 + 0,135 x_3^2 + 0,132 x_4^2 + 0,165 x_5^2, \quad (2.19)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
y_3 = & 9,365 + 0,037x_1 + 0,022x_2 + 0,386x_3 + 0,026x_4 + 0,018x_5 - 0,029x_1x_2 + \\
& + 0,007 x_1x_3 + 0,012x_1x_4 - 0,017 x_1x_5 + 0,005 x_2x_3 + 0,012 x_2x_4 - \\
& - 0,017 x_2x_5 - 0,024x_3x_4 - 0,012x_3x_5 - 0,011x_4x_5 - \\
& - 1,669x_1^2 - 1,456 x_2^2 - 0,306 x_3^2 - 1,032 x_4^2 - 1,181 x_5^2. \quad (2.20)
\end{aligned}$$

Задача оптимизации сформулирована следующим образом: найти такие режимы работы маслопресса, которые бы в широком диапазоне изменения входных параметров исходного сырья составляли минимум удельных энергозатрат, минимальную масличность жмыха и максимальный комплексный органолептический показатель качества.

В таблице 2.16 сведены выбранные оптимальные интервалы изменения параметров x_i для всех исследуемых выходных факторов.

Таблица 2.16 – Оптимальные интервалы параметров

у	$x_1, \%$		$x_2, \text{с}^{-1}$		$x_3,$		x_4		x_5	
	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
y_1	7,31	11,72	0,843	0,940	0,64	0,78	74	89	4,95	7,23
y_2	8,15	10,27	0,790	0,895	0,75	0,80	82	92	6,52	7,67
y_3	9,15	10,61	0,798	0,866	0,72	0,90	87	90	7,13	8,0

Согласно критерия оптимизации для принятия окончательного решения по выбору оптимальных режимов исследуемого процесса необходимо решить компромиссную задачу, накладывая оптимальные, выделенные в таблицу 2.16, интервалы параметров x_i друг на друга.

Таким интервалом для параметра x_1 – начальная влажность продукта оказался 9,10...10,23 %. Остальные независимые переменные: x_2 – частота вращения шнека, с^{-1} ; x_3 – величина зазора для выхода жмыха, мм; x_4 – температура мезги при отжиге, $^{\circ}\text{C}$; x_5 – лузжистость исходного продукта, % конфликтуют между собой относительно критериев оптимизации.

Решение задачи с векторным критерием оптимизации осуществляется в два этапа - это выделение области компромиссов и дальнейшее ее сужение на основе некоторой схемы компромисса. Окончательный выбор решения осуществлялся исходя из физического смысла исследуемого процесса в области оптимальных значений выходных факторов [98].

2.4 Определение рациональных параметров процесса прессования семян бахчевых культур

В качестве основных факторов, влияющих на процесс прессования, были выбраны:

X_1 – температура жмыха на выходе из пресса, T , °C;

X_2 – начальная влажность жмыха на входе в пресс, WLC, %;

X_3 – максимальное давление, создаваемое в прессе, P , МПа.

В качестве выходного параметра эксперимента был использован следующий показатель:

Y – выход масла по отношению к массе первоначального сырья, %.

Все эти факторы совместимы и не коррелируемы между собой. Пределы изменения исследуемых факторов приведены в таблице 2.17.

Таблица 2.17 – Пределы

Условия планирования	Кодированное значение	Значение факторов в точках плана		
		X_1	X_2	X_3
		T , °C	WL, %	P , МПа
1	2	3	4	5
Основной интервал	0	60	8	12
Интервал варьирования		12	2	3
Верхний уровень	+1	72	10	15
Нижний уровень	-1	48	6	9
Верхняя «звездная точка»	+1 682	80	14,2	17
Нижняя «звездная точка»	-1 682	40	5,8	7

В результате многофакторного статистического анализа процесса прессования можно сделать выводы:

1. Были получены регрессионные уравнения, анализ которых позволяет выделить факторы, наиболее влияющие на рассматриваемый процесс прессования масличных культур, на примере семян тыквы.

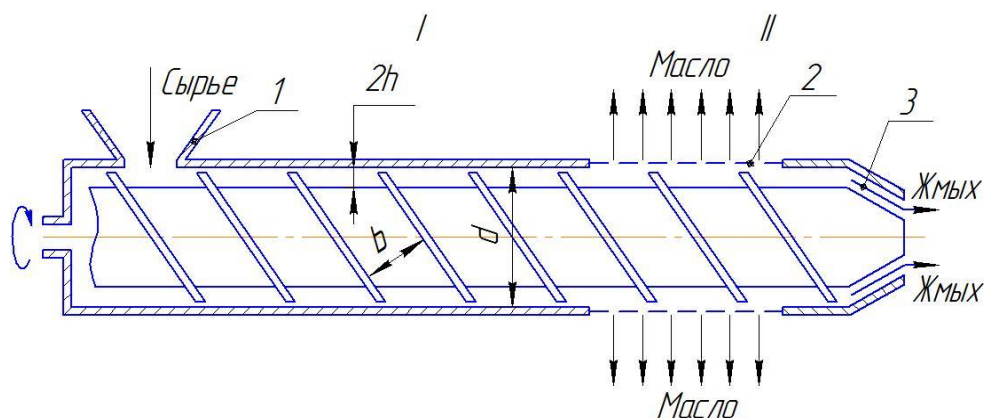
2. Впервые решена задача оптимизации нахождения диапазона изменения входных параметров исходного масличного сырья для получения максимального комплексного органолептического показателя качества.

3. В результате решения задачи с векторным критерием оптимизации были получены оптимальные интервалы входных параметров: $x_1 = 9,15 \dots 10,27$ %, $x_2 = 0,843 \dots 0,895$ с⁻¹, $x_3 = 0,750 \dots 0,800$, $x_4 = 87 \dots 89$, $x_5 = 7,13 \dots 7,23$ [99].

3 РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ МАСЛИЧНОГО СЫРЬЯ

Проанализировав литературные данные, мы видим, что несмотря на значительный объем исследований, не достигнуто полного понимания механизмов прессования семян масличных культур, и отсутствует математическая модель, описывающая процесс с учетом всех его параметров. Это тормозит применение усовершенствованных способов, а также сдерживает использование новых перспективных способов и разработку на их основе эффективного оборудования, которое бы интенсифицировало все стадии технологического процесса с рациональным использованием ресурсосбережения.

Чтобы разработать соответствующие технологии для переработки сельскохозяйственной продукции, уместно иметь полное знание технических свойств биоматериала. Инженерные свойства семян дыни трех видов: *C. edulis*, *C. vulgaris* и *C. lanatus* были исследованы R.M. Davies [100].



1 – приемник сырья; 2 – шнековый вал;
3 – зерновая решетка; 4 – выходное отверстие

Рисунок 3.1 – Принципиальная схема шнекового пресса

Степень влажности семян при обрушивании влияет на эффективность обрушивания, этот процесс и его математическую модель изучили S.K. Shittu и V.I.O. Ndrika [101].

Сравнительный анализ влияния на выход масла параметров семян при выщелачивании изучали Ndidi F. Amulu, и др [102].

Кинетику поглощения воды семенами дыни изучил A. Addo and A. Bart-Plange [103] данные представленные в этой статье помогут при проектировании сорбционного процесса и оборудования.

3.1 Изучение механизма тепломассообмена при прессовании семян масличных культур

Была разработана математическая модель процесса по принципиальной схеме (рисунок 3.1).

В напорной зоне I шнекового пространства происходит перемещение масличного сырья и создается требуемое для осуществления процесса отжима масла давление. Зона II – зона фильтрования, где под действием созданного давления происходит отделение масла от мятки с использованием зерной решетки.

Обрабатываемый материал можно представить в виде двухкомпонентной системы из клетчатки, в виде пористого скелета и масла, которое заполняет его свободное пространство.

Если считать, что рабочая область во II зоне заполнена сырьем, то при возрастании давления, развиваемого шнеком, объем каркаса уменьшается, а объем масла в пространстве за пределами каркаса увеличивается на ту же величину, что позволяет считать в целом всю рассматриваемую систему как несжимаемую среду. Очевидно, что давление на выходе из зоны нагнетания будет определять количество «свободного» масла в сырье, которое будет являться одним из исходных параметров при математическом описании процесса фильтрования (рисунок 3.2).

Ввиду сложности явлений, происходящих при обработке сырья в зерной зоне шнековых прессов, аналитические подходы при математическом моделировании отжима масла в общей постановке не применимы [104]. В связи с этим сделаем допущения, которые в значительной степени упрощают постановку задачи и позволяют получить расчетные зависимости, отвечающие физической сущности происходящих процессов.

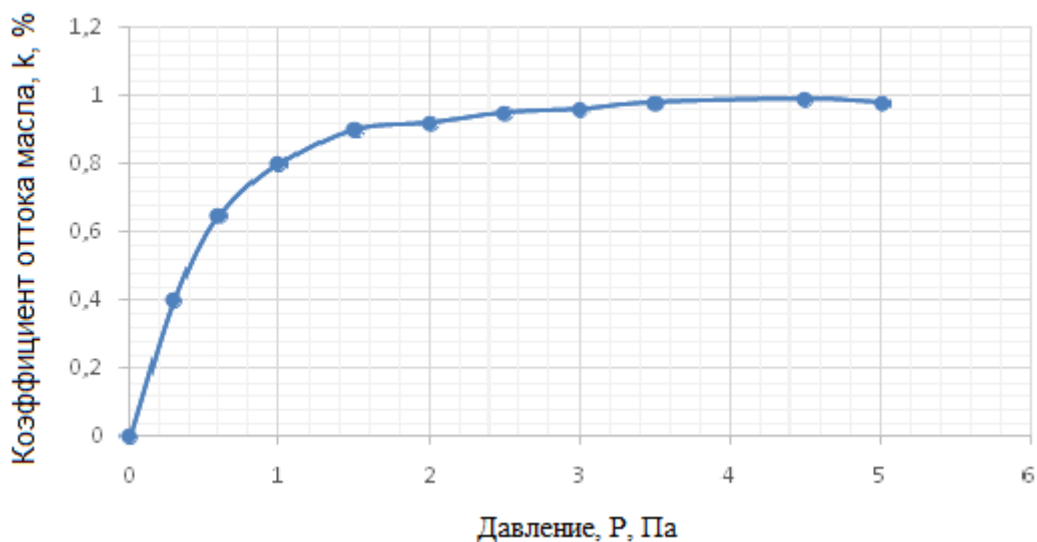


Рисунок 3.2 – Влияние давления на коэффициент оттока масла

Следуя, предположим, что пористый скелет и масло имеют одинаковую плотность, химически не взаимодействуют между собой, а процесс фильтрации масла происходит в изотермических условиях.

Так как вязкость фильтруемой среды достаточно велика, а размеры пор, по которым происходят отток подвижной фазы малы, можно считать, что процесс фильтрации идёт при ламинарном режиме движения. В связи с этим для описания процесса отжима масла используем закон Дарси, считая, что инерционными эффектами и проявлением вязкостных сил можно пренебречь, так же как и аксиальной составляющей скорости фильтрации.

В отсутствие действия силы тяжести для несжимаемой жидкости формулировка закона Дарси такова:

$$V_F(z) = -\frac{k}{\mu} \cdot \frac{dP(z)}{dy}, \quad (3.1)$$

где v_ϕ – скорость движения жидкости в пористой среде; μ – динамическая вязкость; $dP(z)/dy$ – градиент давления в радиальном направлении; K – проницаемость, которая интегральным образом учитывает структуру каналов перерабатываемой мятки во всем рабочем объеме зерновой камеры.

Развернём на плоскости канал шнека, находящийся в зоне отжима, и рассмотрим в нем элементарный параллелепипед толщиной dz (рисунок 3.3).

При расположении начала координат на валу шнека согласно рисунок 3 верхняя стена канала является проницаемой для жидкости. В связи с тем, что истечение мятки через зерную решетку происходит в атмосферу, радиальный градиент давления определяется избыточным давлением $P(z)$ у неподвижной стенки канала и в предположении его постоянства по длине фильтруемого слоя определяется как:

$$z - \frac{dp(z)}{dy} = P(z)/h. \quad (3.2)$$

Так как давление вдоль вала шнека в зерновой камере возрастает, то принимаем для его описания экспоненциальную зависимость:

$$P(z) = P_f \cdot e^{az} \quad (3.3)$$

где P_f – давление на входе в зону фильтрации;

Коэффициент при экспоненте определяется через давление P_k в конце зерновой камеры длиной L_f выражением:

$$a = \ln\left(\frac{P_k}{P_f}\right)/L_f, \quad (3.4)$$

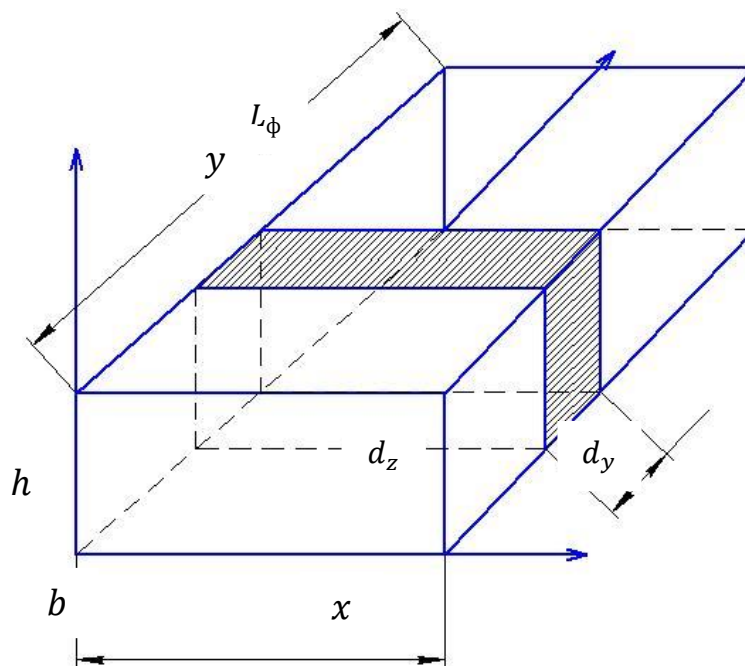


Рисунок 3.3 – Расчетная схема зоны отжима

Поток масла, поступающий в элементарный параллелепипед через его левую грань при стационарном режиме работы прессы, равен:

$$m(z) = V_{zcp} \cdot hb \cdot c(z), \quad (3.5)$$

где V_{zcp} – средняя по сечению канала скорость движения масляного сырья; h и b – высота и ширина канала; $c(z)$ – локальная объемная концентрация масла в лузге.

Потоки целевого компонента, направленные наружу из рассматриваемого элементарного объема, составляют:

с фильтратом

$$m_{\phi}(z) = V_F(z) \cdot c(z) \cdot b \cdot dz, \quad (3.6)$$

с мяткой

$$m(z + dz) = V_{zcp} \cdot hb \cdot c(z + dz) \quad (3.7)$$

Уравнение баланса потоков для рассматриваемого элементарного параллелепипеда будет:

$$m(z) = m_{\phi}(z) + m(z + dz) \quad (3.8)$$

Если $c(z)$ – непрерывная функция, то:

$$c(z + dz) = c(z) + \frac{dc(z)}{dz} dz, \quad (3.9)$$

с учетом уравнений (3.1) и (3.3) соотношение (3.9) примет следующий вид:

$$V_{zcp} h \frac{dc(z)}{d(z)} = -\frac{k}{\mu h} e^{az} \cdot c(z). \quad (3.10)$$

Разделяя в 3.10 переменные, получим математическую модель процесса фильтрования в зерной камере:

$$\frac{dc(z)}{c(z)} = -\frac{kP_f}{\mu h^2 V_{zcp}} \cdot e^{az} dz, \quad (3.11)$$

$$C(0) = C_0 \quad (3.12)$$

Интегрирование уравнения (3.11) с учетом условия однозначности (3.12) дает следующую зависимость для распределения «свободного» масла вдоль зерной камеры:

$$\tilde{N}(z) = C_0 \cdot \exp \left[\frac{K \cdot P_f}{\mu \cdot h^2 \cdot V_{zcp} \cdot a} \cdot (1 - e^{az}) \right] \quad (3.13)$$

Очевидно, что конечная концентрация целевого продукта в мятке на выходе из зоны фильтрования составит:

$$\tilde{N}(L_f) = C_0 \cdot \exp \left[\frac{K \cdot (P_f - P_k)}{\mu \cdot h^2 \cdot V_{zcp} \cdot a} \right] \quad (3.14)$$

С помощью (3.13) можно найти концентрацию отфильтрованного масла в любой точке зерной камеры по формуле:

$$\tilde{N}_\delta(z) = C_0 \cdot \left(1 - \frac{e^{-\frac{k \cdot P_f}{\mu \cdot h^2 \cdot V_{zcp} \cdot a} \cdot az}}{e^{-\frac{k \cdot P_f}{\mu \cdot h^2 \cdot V_{zcp} \cdot a}}} \right) \quad (3.15)$$

Среднеинтегральное значение концентрации отфильтрованного масла по длине зоны фильтрования необходимо для расчета производительности шнекового пресса по маслу:

$$\bar{N}_\delta = \frac{1}{L_f} \int_0^{L_f} C_\delta(z) \cdot d \cdot z. \quad (3.16)$$

С использованием уравнения (3.15) среднее значение концентрации отфильтрованного масла согласно (3.16) составит:

$$\bar{N}_\delta = \bar{N}_0 \left\{ 1 - \frac{e^{\frac{K \cdot P_f}{\mu \cdot h^2 \cdot V_{zcp} \cdot a}}}{L_f \cdot a} \cdot \left[\tilde{A} \left(0, \frac{K \cdot P_f}{\mu \cdot h^2 \cdot V_{zcp} \cdot a} \right) - \tilde{A} \left(0, \frac{\hat{E} \cdot P_K}{\mu \cdot h^2 \cdot V_{zcp} \cdot a} \right) \right] \right\} \quad (3.17)$$

где $\Gamma(a, z)$ - неполная гамма-функция.

Согласно уравнению расхода производительность прессы по отфильтрованному маслу будет:

$$c_m = \bar{v}_\phi \cdot S_\phi \cdot \bar{c}_\phi, \quad (3.18)$$

где $S_\phi = l \cdot L_\phi$ - площадь поперечного сечения канала шнека;
 $G_i = \bar{V}_\delta \cdot S_\delta \cdot \bar{C}_\delta$, \bar{V}_δ - средняя величина скорости фильтрования по длине зоны отжима, которую определили герц ее среднеинтегральное значение.

$$\bar{V}_\delta = \frac{l}{L_f} \int_0^{L_f} V_\delta(z) \cdot d \cdot z \quad (3.19)$$

Подставляя уравнение (3.1) в (3.14) после интегрирования, получим:

$$\bar{V}_\delta = \frac{K \cdot (P_K - P_f)}{L_f \cdot \mu \cdot h \cdot a} \quad (3.20)$$

Используя соотношения (3.11) и (3.14) в (3.12), получаем рабочую формулу для расчета производительности шнекового прессы по маслу:

$$\bar{N}_i = \frac{K \cdot (P_K - P_f)}{\mu \cdot h \cdot a} \cdot b \cdot \bar{N}_0 \left\{ 1 - \frac{e^{\frac{K \cdot P_f}{\mu \cdot h^2 \cdot V_{zcp} \cdot a}}}{L_f \cdot a} \cdot \left[\tilde{A} \left(0, \frac{K \cdot P_f}{\mu \cdot h^2 \cdot V_{zcp} \cdot a} \right) - \tilde{A} \left(0, \frac{\hat{E} \cdot P_K}{\mu \cdot h^2 \cdot V_{zcp} \cdot a} \right) \right] \right\} \quad (3.21)$$

Если производительность прессы по маслу задана, то на основании соотношения можно верифицировать величину проницаемости масляного сырья, а далее и другие параметры процесса фильтрации.

Для проведения расчетов использованы следующие исходные данные:

- диаметр зерной камеры - $d = 0,07$ м;
- шаг винта шнека - $H = 0,025$ м;
- высота канала шнека - $h = 0,008$ м;
- ширина канала шнека - $b = 0,0248$ м;
- длина зоны отжима - $L_2 = 0,1$ м.

Определим длину канала шнека в зоне фильтрации по формуле:

$$L_f = m \cdot L_b \quad (3.22)$$

Необходимо рассчитать число m в зерной камере и длину витка шнека L_b . Так как:

$$m = \frac{L_2}{H} = \frac{0,1}{0,025} = 4 \quad (3.23)$$

$$L_b = \sqrt{H^2 + (\pi \cdot d^2)} = \sqrt{0,025^2 + (3,14 \cdot 0,07^2)} = 0,221 \text{ м,}$$

то величина L_f согласно (3.22) равна:

$$L_f = 4 \cdot 0,221 = 0,884 \text{ м.}$$

Тогда:

$$S_\phi = 0,0248 \cdot 0,884 = 0,0219 \text{ м}^2$$

Если шнековый пресс имеет массовую производительность $G = 6,67 \cdot 10^{-3}$ кг/с, по исходному сырью, то, полагая плотность сырья, равной $\rho = 867$ кг/м³, его соответствующая объемная производительность составит:

$$V = G / \rho = 6,67 \cdot 10^{-3} / 867 = 7,69 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с.}$$

Средняя по сечению канала шнека скорость мятки будет равна:

$$V_{\text{зср}} = V / b \cdot h = 7,69 \cdot 10^{-6} / 0,0248 \cdot 0,008 = 0,0388 \text{ м/с.}$$

По давлению на входе в зону фильтрования $p_z=0,5$ МПа определяем коэффициент оттока масла $\beta = 0,645$, которому соответствует концентрация свободного масла, равная $C_0 = \beta \cdot p = 0,645 \cdot 867 = 559$ кг/м³.

Для давления $P_k=1,5$ МПа в конце рабочей зоны шнека находим значение коэффициента:

$$a = \frac{\ln \frac{P_k}{P_f}}{L_f} = \frac{\ln \frac{1,5}{0,5}}{0,884} = 1,24,$$

а по температуре прессования 105 °С величину динамической вязкости масла $\mu = 0,0056$ Па·с.

Используем найденные величины и экспериментальное значение производительности шнекового пресса $G_M = 31,8 \cdot 10^{-4}$ кг/с. На основании зависимости идентифицирована величина проницаемости мятки $K = 2,9 \cdot 10^{-14}$ м², значение которой не противоречит данным работы.

Верификация характеристик с экструзионной обработкой сырья с последующим отжимом масла дала возможность провести моделирование процесса фильтрования. На рисунке 3.4 показана зависимость изменения скорости фильтрования, полученная из формулы (3.1) и (3.3) по соотношению:

$$V_\phi(z) = \frac{K \cdot P_f}{\mu \cdot h} \cdot e^{az}. \quad (3.24)$$

Результаты вычислений согласуются с данными исследований.

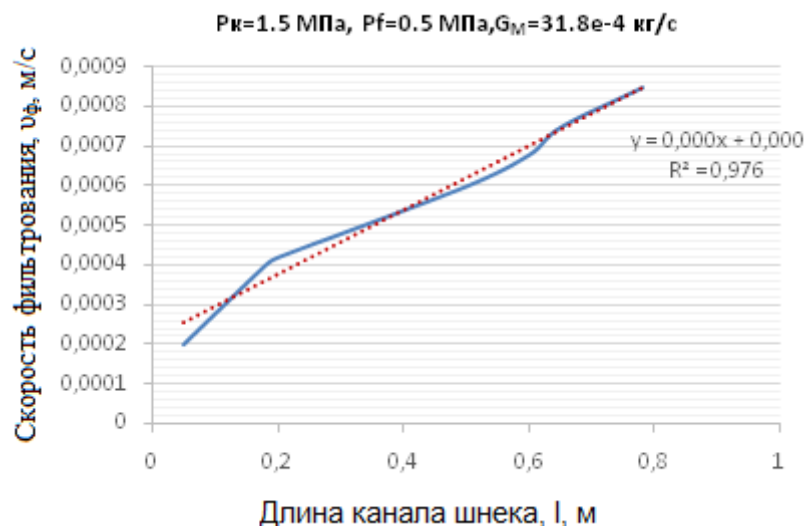


Рисунок 3.4 – Изменение скорости фильтрования по длине канала шнека

На рисунке 3.5 представлен характер изменения содержания свободного масла в мятке C_z/C_0 по длине канала шнека, полученный по уравнению (3.13).

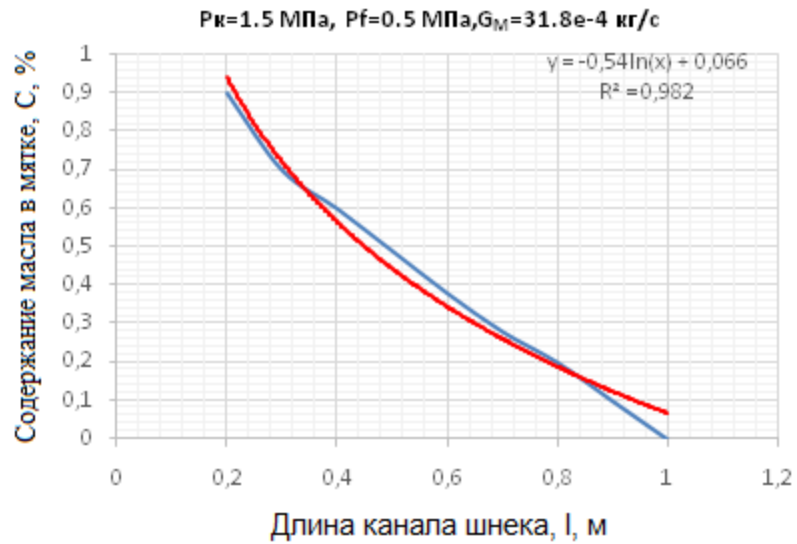


Рисунок 3.5 – Изменение содержания масла в мятке по длине канала шнека

Для нахождения скорости изменения безразмерной концентрации масла в мятке по длине зерной камеры продифференцируем (3.13):

$$\frac{d\left(\frac{C(z)}{C_0}\right)}{dz} = -\frac{K P_f e^{az}}{\mu h^2 u_{zcp}} \cdot \frac{e^{-\frac{K p_f}{\mu h^2 v_{zcp}} az}}{e^{-\frac{K p_f}{\mu h^2 v_{zcp}} az}} \quad (3.25)$$

Результаты расчетов по (3.27) приведены на рисунке 3.6. От начала канала шнека наблюдается максимум скорости изменения содержания масла.

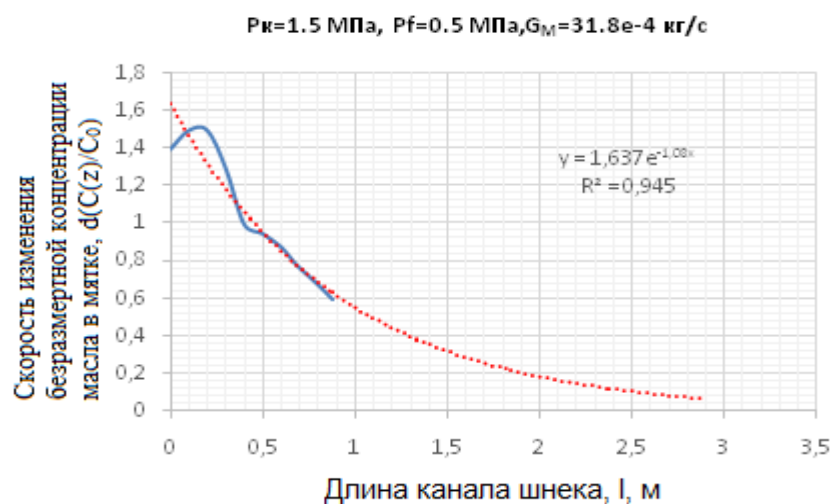


Рисунок 3.6 – Скорость изменения безразмерной концентрации масла в мятке по длине канала шнека

На рисунке 3.7 показана зависимость изменения безразмерной концентрации отфильтрованного масла по длине канала шнека, полученная на основании уравнения (3.17).



Рисунок 3.7 – Изменение средней концентрации отфильтрованного масла по длине канала шнека

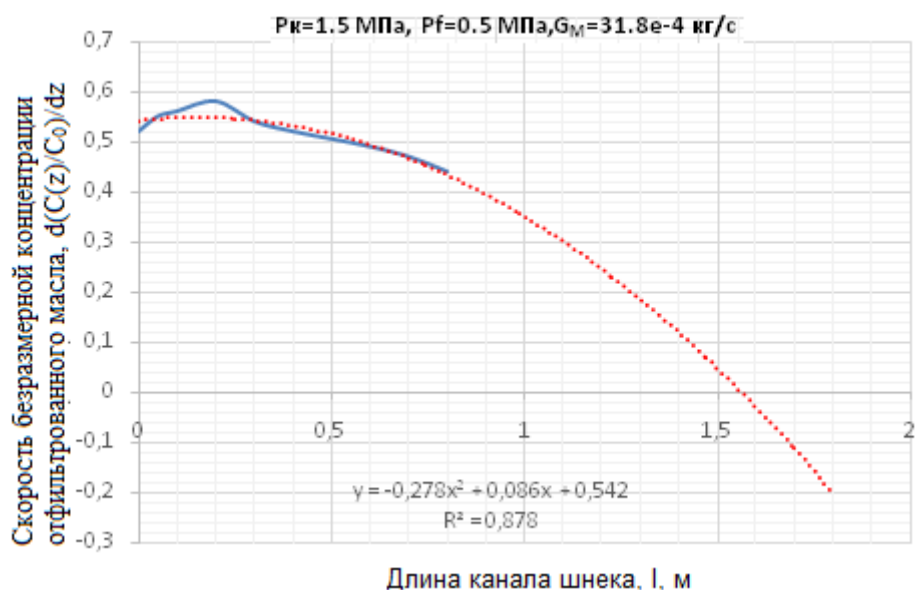


Рисунок 3.8 – Скорость изменения безразмерной средней концентрации отфильтрованного масла по длине канала шнека при $P_k=1.5$ МПа, $P_f=0.5$ МПа, $G_m=31.8e-4$ кг/с

Дифференцируя (3.17) по z получаем выражение:

$$\frac{\overline{C\phi}}{C_0} = \frac{[\Gamma(O, \frac{K_1}{a}) - zae^{-\frac{K_1}{a}} - \Gamma(O, \frac{K_1}{a}e^{az})]e^{\frac{K_1}{a}}}{z^2 a} - \frac{(ae^{-\frac{K_1}{a}} + ae^{-\frac{K_1}{a}}e^{az})}{za} e^{\frac{K_1}{a}}, \quad (3.26)$$

Отметим, что в данном случае максимальное значение функции смещено в сторону больших значений z ($z_{\max} \approx 0,2$) по сравнению с рисунком 3.6. Отметим, что в приведенном примере расчета доля неотфильтрованного масла на выходе из зоны отжима составляет $C(L_f)/C_0 = 0,187$ [105].

Таким образом, разработанная математическая модель отжима масла в шнековом прессе отвечает физическому смыслу проходимых явлений и может быть использована для анализа работы действующих прессов, а также на стадии их проектирования.

3.2 Математическая модель процесса отжима масляного материала в шнековых прессах

Данная модель позволяет рассчитать основные конструктивные параметры маслопресса для извлечения масла из семян масляных культур.

В шнековом прессе непрерывно изменяются свойства масляного материала: плотность, размеры и гранулометрический состав частиц, количество масла внутри частиц, прочность и реология прессуемого материала. Задачей теоретического исследования является формирование математической модели процесса прессования материала в шнековом прессе с учетом предматричной камеры до отжима [106, 107, 108, 109].

При проведении вычислений были приняты следующие исходные данные: высота канала $h = 8$ мм; ширина канала $W = 24,76$ мм; диаметр корпуса пресса $d = 70$ мм; шаг винта шнека $H = 25$ мм; длина I области шнека $L_1 = 270$ мм; частота вращения шнека $\omega = 5$ с⁻¹; давление на выходе I области $P = 5$ МПа; угол подъема винтовой линии $\alpha = 8^\circ$.

Реологическое уравнение для перемещаемой среды соответствует степенному закону:

$$\tau = 0,0343 \cdot 10^6 \cdot \dot{\gamma}^{0,28} \quad (3.27)$$

где τ – касательное напряжение; $\eta_0 = 0,0343 \cdot 10^6$ – коэффициент консистенции; $n = 0,28$ – индекс течения, $\dot{\gamma}$ – скорость деформации.

Для расчета длины канала шнека воспользуемся формулой:

$$L = m \cdot L_v, \quad (3.28)$$

где m – число витков в напорной области шнека, $m = \frac{L_1}{H} = \frac{270}{25} = 10,84$; а L_b – длина одного витка, равная:

$$L_b = \sqrt{H^2 + (\pi d)^2} = \sqrt{25^2 + (3,14 \cdot 70)^2} = 221 \text{ мм.}$$

Следовательно, согласно уравнению (3.15)

$$L = 10,8 \cdot 0,221 = 2,39 \text{ м.}$$

Расчетное значение аксиального градиента давления составит:

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \frac{p}{L} = \frac{5 \cdot 10^6}{2,39} = 2,092 \cdot 10^6 \frac{\text{Па}}{\text{м}}.$$

Продольная составляющая скорости, равная скорости перемещения верхней стенки канала шнека в безразмерном виде:

$$V_{01} = \frac{1,089}{0,008} \left[\frac{0,0343 \cdot 10^6}{2,092 \cdot 10^6 \cdot 0,008} \right]^{\frac{1}{0,28}} = 1766.$$

Безразмерная высота канала:

$$y_{1k} = 1, \text{ ширина канала } x_{1k} = \frac{W}{h} = \frac{24,76}{8} = 3,095.$$

Для проверки работоспособности используемой численной схемы было проведено моделирование движения жидкости с показателем степени $n=1$ в реологическом уравнении состояния при тех же параметрах течения в канале шнека, что и для анализируемой степенной жидкости. Как и ожидалось, был получен линейный профиль скорости (рисунок 3.9), характерный для течения

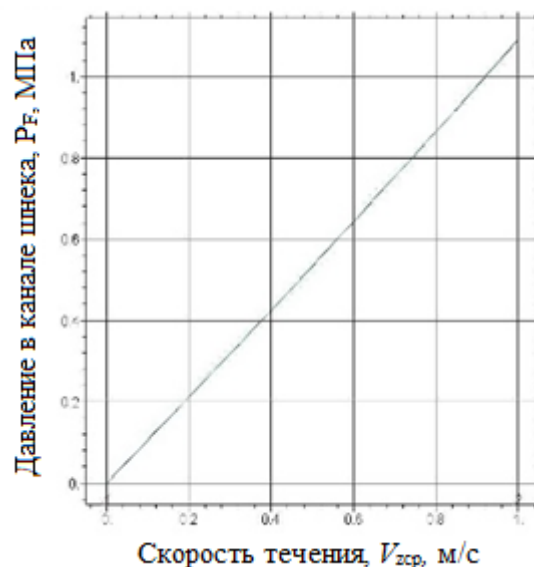


Рисунок 3.9 – Изменение продольной скорости по высоте канала для $x=w/2$ для ньютоновской жидкости ($n=1$)

ньютоновской жидкости между двумя параллельными пластинами, одна из которых неподвижна, а другая движется в собственной плоскости с постоянной скоростью (течение Куэтта). Изменением числа узлов сетки на области решения и заданной точности вычислений была достигнута сходимость результатов расчетов.

В результате вычислительного эксперимента были получены значения средней по сечению канала продольной скорости V_{zcp} в зависимости от давления на входе в зону фильтрования P_F и при различных скоростях вращения шнека ω (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Результаты вычислительного эксперимента

$P_F, \text{МПа}$	$\omega, \text{с}^{-1}$	$V_0, \text{м/с}$	$V_{zcp}, \text{м/с}$
5,0	4,0	0,8712	0,2761
5,0	5,0	1,089	0,3467
5,0	6,0	1,307	0,4176
5,0	7,0	1,525	0,4887
5,0	8,0	1,742	0,5598
3,0	4,0	0,8712	0,2848
3,0	6,0	1,089	0,3565
3,0	6,0	1,307	0,4292
3,0	7,0	1,525	0,5015
3,0	8,0	1,742	0,5736

Анализ полученных данных показывает, что основное влияние на среднюю скорость движения реологической среды оказывает частота вращения шнека, а уменьшение противодавления P почти в два раза лишь незначительно увеличивает производительность пресса. При этом с учетом того, что индекс течения в реологическом уравнении $n < 1$, при увеличении частоты вращения в 2 раза средняя скорость возрастает в несколько большей пропорции, так как возрастание скоростей деформации у движущейся стенки канала приводит к уменьшению вязкости реологической среды.

Таким образом, разработанная математическая модель отжима масла в шнековом прессе отвечает физическому смыслу проходимых явлений и может быть использована для анализа работы действующих прессов, а также на стадии их проектирования.

Методом машинного эксперимента осуществлена проверка полученных решений на адекватность реальному процессу прессования. Отклонение расчетных данных от экспериментальных по абсолютному значению не превышало 15 %.

Исследование влияния входных факторов на процесс прессования

Исследование влияния условий прессования на его характер и качество готового продукта позволяет глубже понять и оценить физику данного процесса. Для этого была проведена серия экспериментов для понимания процесса прессования.

Математическое описание данного процесса может быть получено эмпирически. При этом его математическая модель имеет вид уравнения регрессии, найденного статистическими методами на основе экспериментов. Математическая модель изучаемого процесса представляется в виде полинома второй степени:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_{1i} x_{1i} + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_{1i}^2 + \sum_{i < j}^n b_{ij} x_{1i} x_{1j} \quad (3.29)$$

где b_0 – свободный член уравнения, равный средней величине отклика при условии, что рассматриваемые факторы находятся на "нулевых" уровнях; x – значения факторов, которые определяют функцию отклика и поддаются варьированию; b_j – коэффициенты при линейных членах; b_{ij} – коэффициенты двухфакторных взаимодействий; b_{ii} – коэффициенты квадратичных эффектов, определяющие нелинейность выходного параметра от рассматриваемых факторов.

В качестве плана эксперимента был выбран композиционный униформ – ротатабельный план второго порядка, структура которого не отличается от структуры соответствующего ортогонального плана, и выбран полный факторный эксперимент типа 2^3 . С точки зрения наиболее полного исследования процесса предварительного отжима масла семян бахчевых культур было принято решение использовать в качестве входных факторов эксперимента следующие величины: X_1 - температура жмыха на выходе из пресса; T , °C; X_2 - начальная влажность жмыха на входе в пресс; W , %; X_3 - максимальное давление; создаваемое в прессе, P , МПа.

Таблица 3.2 – Пределы изменения факторов

Условия планирования	Кодированное значение	Значение факторов в точках плана		
		X_1	X_2	X_3
		T , °C	W , %	P , МПа
Основной интервал	0	60	10	12
Интервал варьирования		12,5	2,5	3
Верхний уровень	+1	72,5	12,5	15
Нижний уровень	-1	47,5	7,5	9
Верхняя «звездная точка»	+1,679	70	14,2	17
Нижняя «звездная точка»	-1,679	40	5,8	7

При рассмотрении этих критериев можно будет судить об оптимальном режиме предварительного отжима масла. Расчет приведен в приложении Д.

Таблица 3.3 – Матрица эксперимента

Опыты	Кодированные значения факторов		
	x_1	x_2	x_3
1	-1,00000	-1,00000	-1,00000
2	-1,00000	-1,00000	1,00000
3	-1,00000	1,00000	-1,00000
4	-1,00000	1,00000	1,00000
5	1,00000	-1,00000	-1,00000
6	1,00000	-1,00000	1,00000
7	1,00000	1,00000	-1,00000
8	1,00000	1,00000	1,00000
9	-1,68179	0,00000	0,00000
10	1,68179	0,00000	0,00000
11	0,00000	-1,68179	0,00000
12	0,00000	1,68179	0,00000
13	0,00000	0,00000	-1,68179
14	0,00000	0,00000	1,68179
15	0,00000	0,00000	0,00000
16	0,00000	0,00000	0,00000

Графическое отображение поверхностей отклика и формулы регрессии приведены в рисунках 3.10- 3.14.

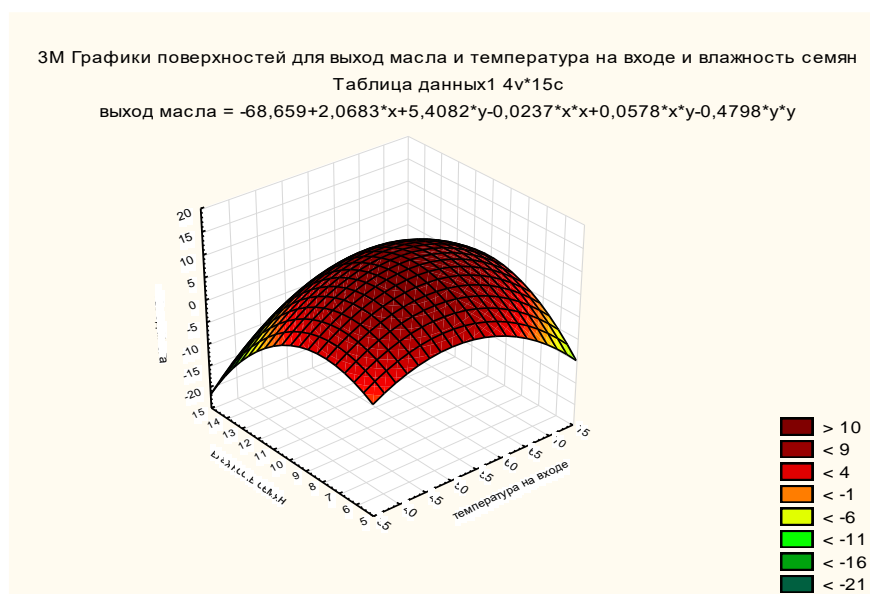


Рисунок 3.10 – График поверхности для выхода масла

На графике видно, что оптимальным является при входе в маслопресс температура семян дыни от 50- 60 градусов и влажность от 7-11%.

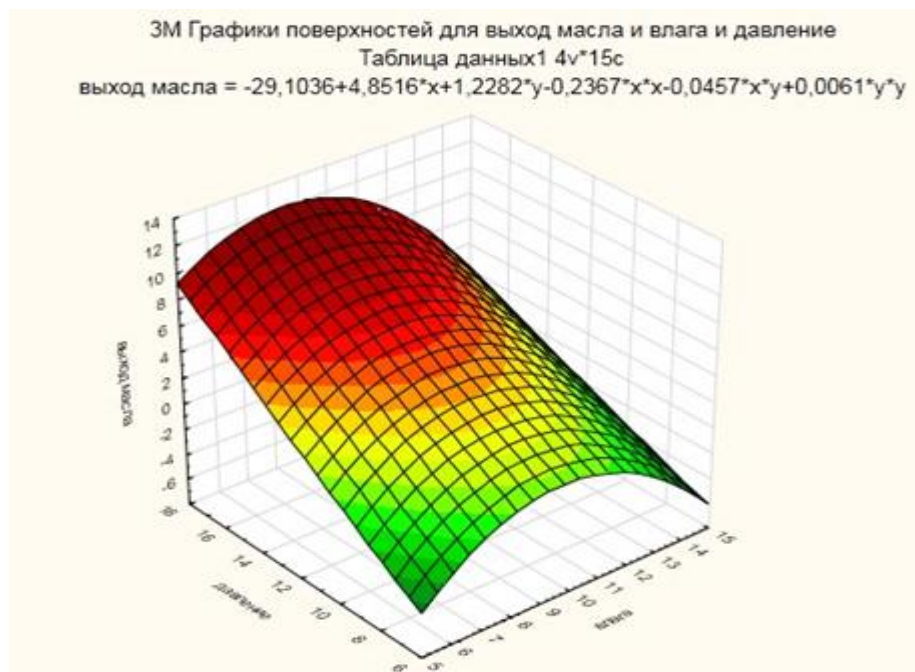


Рисунок 3.11 – График поверхности для выхода масла от влаги и давления

Анализ уравнения показал, что между действующим удельным давлением и влажностью мезги существует зависимость. При повышении влажности для сжатия мезги до определенной степени требуемое давление снижается. Так же выход масла из семян дыни и тыквы зависит от лузжистости. На графике ниже показана зависимость. Расчет приведен в приложении Д.

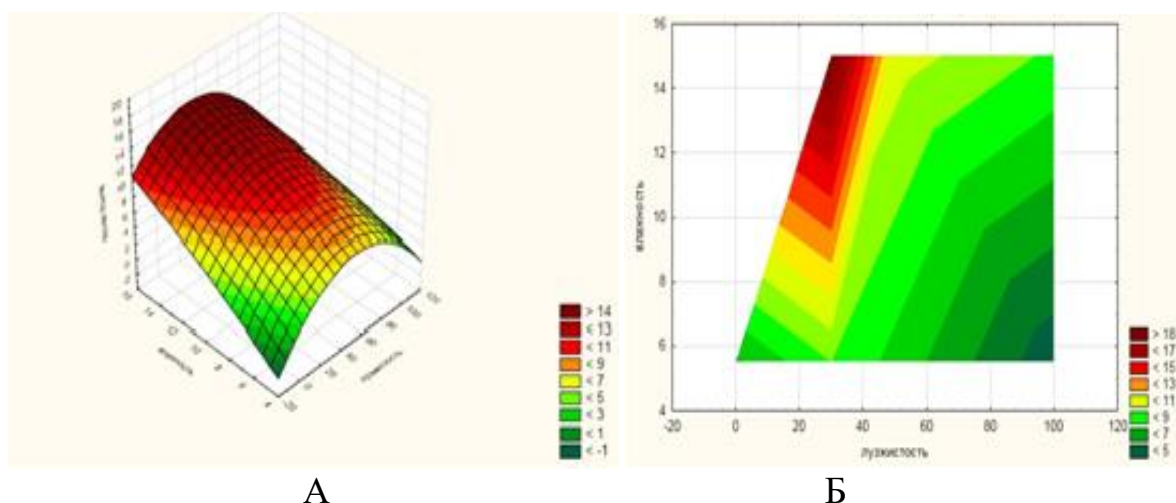


Рисунок 3.12 – График поверхности выхода масла от лузжистости и влажности сырья (а) и проекция (б)

На графике показана зависимость по которой отчетливо видно, что рациональным является лужистость от 20-30 % и влажность от 8 до 14% однако последующие исследования сузили диапазон влажности.

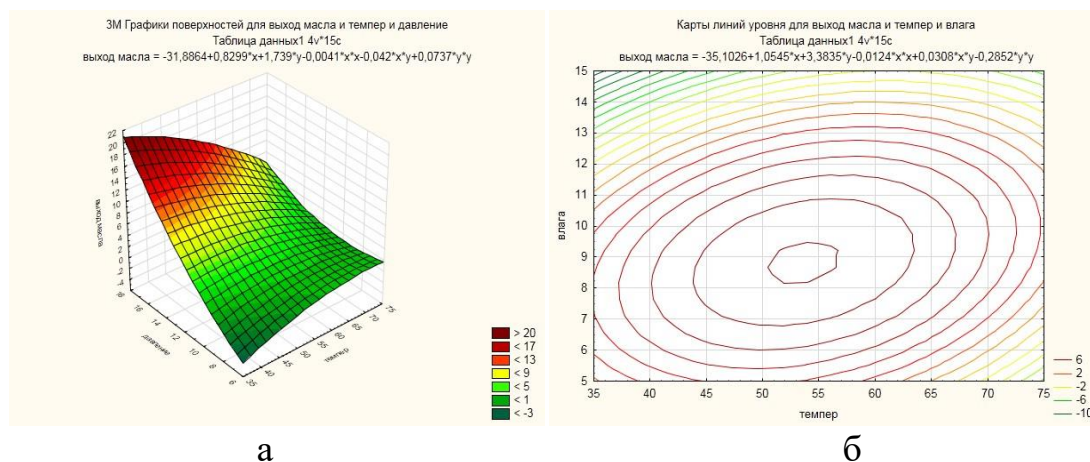


Рисунок 3.13 – График поверхности для выхода масла из семян дыни в зависимости от давления и температуры сырья на входе в маслопресс (а), карта линий уровня (б)

Из данного графика видно, что чем выше давление тем меньше требуется нагревать сырье и тем выше выход масла.

Так же исследования проводились и по остаточной масличности жмыха, ниже приведена проекция анализированных данных и по ней мы приходим к выводу что при лужистости от 20 до 40% и независимо от влажности остаточная масличность в жмыхе будет минимальной рисунок 3.14.

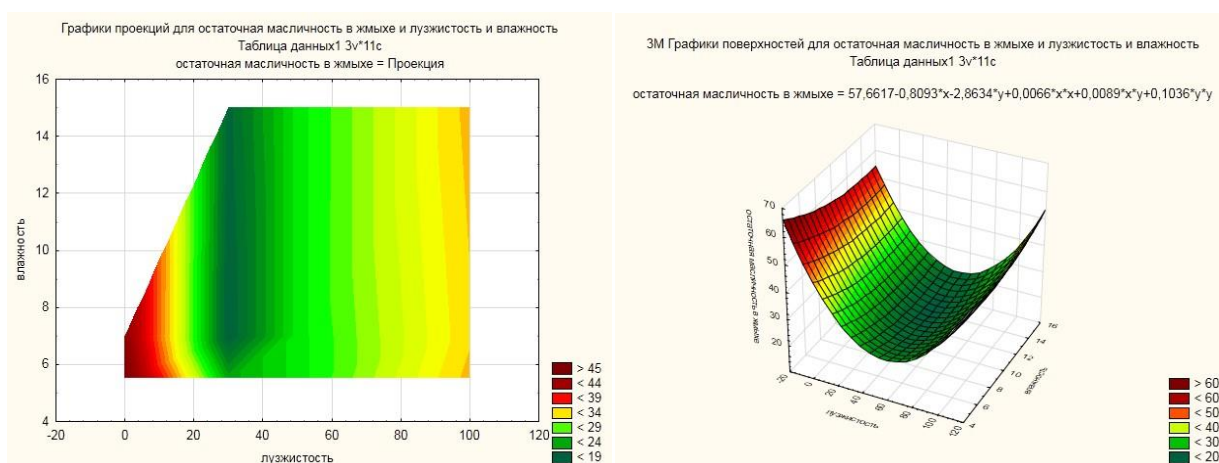


Рисунок 3.14 – График проекции для остаточной масличности в жмыхе (а) и график поверхности (б)

Полученные результаты позволяют выявить влияние отдельных факторов на функционирование шнековых прессов и могут быть использованы при

проектировании и оптимизации их работы. Они окажут влияние на развитие научных, научно-технических и технологических направлений в области создания новых продуктов питания с программируемыми свойствами (в т. ч. лечебно-профилактического действия). Выполненные на их основе опытно-конструкторские разработки позволят выявить новые технологические решения в области создания технологического оборудования нового поколения для различных отраслей пищевой промышленности. Разработанные рекомендации и предложения по использованию результатов уже применяются в проводящихся инновационных проектах по созданию маслопрессов, а также другого оборудования.

Таким образом приходим к выводу, что при входе в маслопресс семена дыни должны быть влажностью от 7-11% и температурой от 50-55 °С при этом выход масла больше, при температуре ниже 60 °С полезные вещества в масле и сырье сохраняются, а при температуре ниже 50 °С не разрушается клеточная структура.

Для семян тыквы на входе температура составляет от 55-60 °С и влажность от 8-14 %. Давление в маслопрессе от 9-15 МПа.

При соблюдении данных условий выход масла достигает максимума, а масло выходит качественным и правила холодного отжима не нарушаются. При низких температурах масло выжать не возможно.

4 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МАСЛОПРЕССА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ ИЗ СЕМЯН БАХЧЕВЫХ КУЛЬТУР

На рисунке 4.1 представлена общая технологическая схема получения растительного масла из семян бахчевых культур, методом холодного отжима. По данной схеме масличное сырье при поступлении взвешивается, готовится к переработке, очищается от примесей, сушится до влажности для семян дыни 7-11%, для семян тыквы 8-10%, далее кондиционируется и отправляется на измельчение.

Измельчение проводим на дисковой дробилке что бы получить неоднородную смесь крупки.

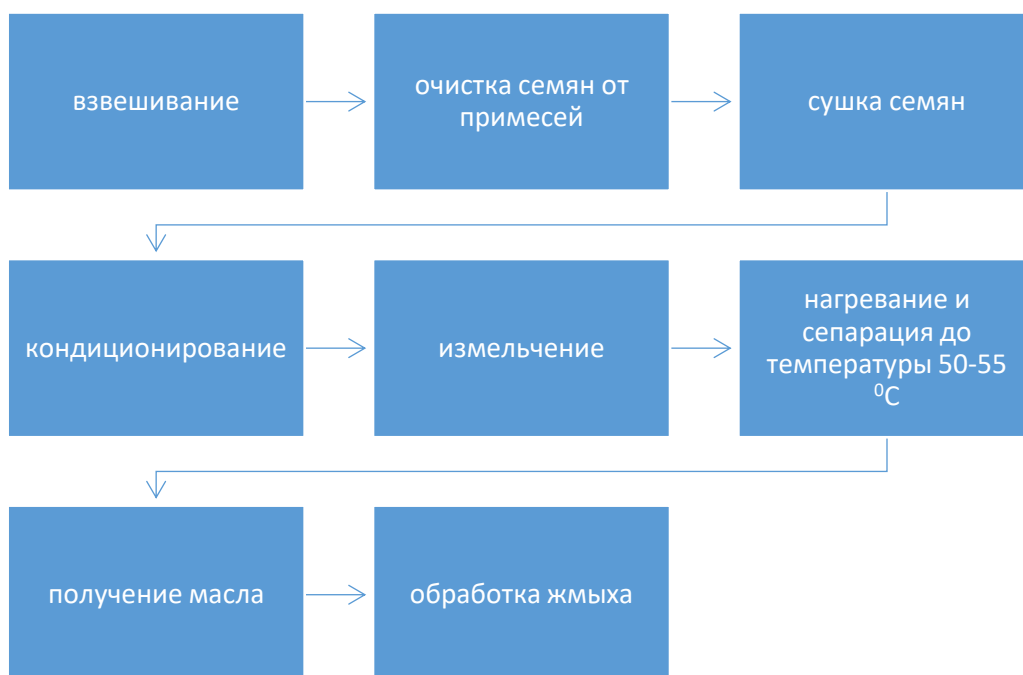
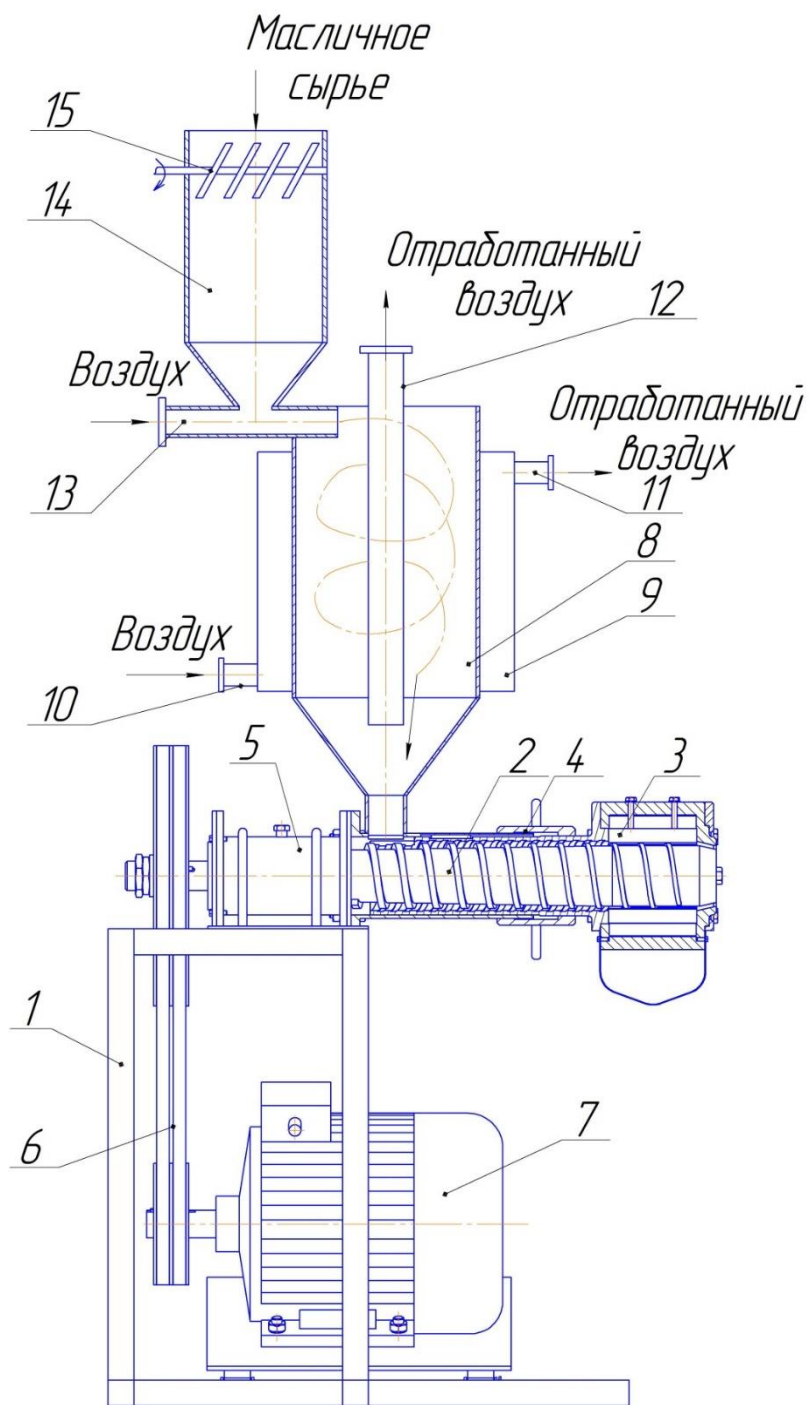


Рисунок 4.1 – Общая технологическая схема получения масла из семян бахчевых культур



1 – рама маслопресса, 2 – шнек, 3 - зерная камера, 4 – регулировочная гайка (стягивающая), 5 – подшипниковый узел, 6 – ременная передача, 7 – электродвигатель, 8 – циклон, 9 – рубашка, 10 – штуцер для входа горячего воздуха, 11, 12 – штуцер для выхода отработанного воздуха, 13 – штуцер для входа воздуха, 14 – загрузочный бункер, 15 – измельчитель

Рисунок 4.2 – Экспериментальная установка

На экспериментальной установке, созданной на базе одношнекового маслопресса (рисунок 4.2) были проведены исследования процесса прессования масличного сырья для получения растительных масел.



1 – источник электропитания; 2 – щит управления; 3 – загрузочный бункер; 4 – орган регулировки зазора; 5 – зерновая камера; 6 – станина; 7 – сборник масла; 8 – электропривод

Рисунок 4.3 – Общий вид экспериментальной установки

Экспериментальная установка состоит из источника электропитания (380В), станины; электродвигателя; пульта управления; ременной передачи; подшипникового узла; загрузочной воронки; рабочей камеры; стягивающей шайбой; зерновой камеры; сборника масла. Технические характеристики маслопресса представлены в таблице 4.1.

Зерная камера (рисунок 4.4) представляет собой сборную конструкцию, в состав которой входят: зерные пластины 1, сборник масла 2, прижимной диск 3, регулировочный болт 4, корпус для пластин 5, стягивающая шайба 6 [110].

Таблица 4.1 – Технические характеристики маслопресса МПЭ–1

Производительность, кг/ч	10-15
Масса, кг	140
Частота вращения шнека, с-1	1-16
Габаритные размеры, мм	
длина	720
ширина	420
высота	950
Привод шнека от асинхронного двигателя АИР 112 М4	
Мощность, кВт	5,5
Синхронная скорость, об/мин	1500
Скорость вращения, об/мин	1430
КПД, %	85,5
Коэффициент мощности, $\cos \varphi$	0,86
Ток статора, А	11,3

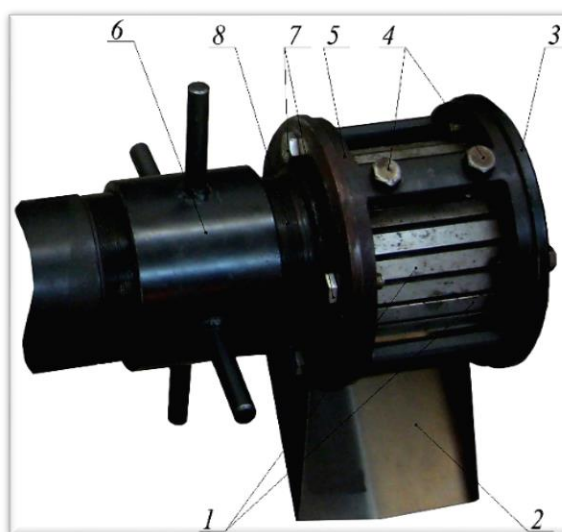


Рисунок 4.4 – Зерная камера

В конструкцию рамы маслопресса МПЭ-1 входят уголки, которые соединённые между собой с помощью электросварки. Подшипниковый узел находится на пластине рамы маслопресса [111].

В нижней части рамы с помощью петель подвижно закреплена прямоугольная пластина, на которой установлен электродвигатель. Регулировка

угла наклона прямоугольной пластины осуществляется с помощью натяжного винта, который позволяет контролировать силу натяжения ремня.

Конструкция шнека представлена набором отдельных сегментных витков [112], установленных на валу и закрепленных с помощью гайки и винта (рисунок 4.5).



Рисунок 4.5 – Шнек

С другого конца вала (противоположного винту с гайкой) установлены шариковые радиальные однорядные с защитными шайбами подшипники, выполняющие роль опоры вала, находящегося в подшипниковом узле маслопресса. Зеерная камера представлена корпусом (рисунок 4.4) с установленным в него набором зеерных пластин. Пластины прилегают друг к другу, а зазор, образующийся между ними, обеспечивается фаской. Диапазон величины зазора можно изменять с помощью клиновидной пластины, которая поднимается и опускается с помощью болтов, установленных в поперечине корпуса. В нижней части зеерной камеры имеется сборник для сбора масла, выходящего из нее.



Рисунок 4.6 – Корпус зеерной камеры с пластинами

Механизм для регулировки толщины ракушки (жмыха) состоит из стягивающей (представлена в виде цилиндра с навивкой) и резьбовой навивки на внешней и внутренней стороне рабочей камеры маслопресса и предназначен для регулирования толщины выходящей из маслопресса ракушки (жмыха). Изменение толщины ракушки происходит за счет вращения стягивающей. Если вращение происходит по часовой стрелке, то наблюдается постепенное увеличение зазора, если против, то уменьшение.

Чтобы исключить упор между корпусом и шнеком, предусмотрена гайка [16, с. 177], установленная при минимальном зазоре (минимальной толщине жмыха).



Рисунок 4.7 – Щит управления маслопрессом МПЭ-1

Для контроля и выставления необходимой величины зазора (толщины ракушки) на наружной поверхности корпуса рамы имеется указатель и проградуированная шкала. Электрооборудование, которым укомплектован маслопресс, позволяет: осуществлять пуск, реверсивное вращение и остановку электродвигателя; обеспечивать защиту от перегрева и защиту от коротких замыканий электродвигателя, а также всей цепи управления; контролировать силу электрического тока статора электродвигателя; визуальное получение звуковых и световых сигналов во время перегрузки оборудования.

Управление и контроль основного электрооборудования маслопресса осуществляется с пульта управления (щита управления) (рисунок 4.7), который представлен прямоугольным металлическим ящиком, внутри которого находится реле тока, плата соединительная. На передней панели расположены кнопки «Пуск-Стоп», ручка «Реверс» (для изменения направления вращения шнека), сигнальная лампочка «Перегрузка», сигнальная лампочка «Сеть», а также имеются датчики, показывающие время от начала процесса отжима масла «Таймер», датчик «Частота вращения шнека», «Температура» (показывает температуру в зерновой камере маслопресса), «Мощность электромотора». На боковой стенке корпуса пульта управления имеется болт заземления, предназначенный для безопасной работы обслуживающего персонала оборудования. Напряжение 380В подается посредством автоматического выключателя. При нажатии кнопки «Пуск» включается пускатель, и за счет замыкающих контактов включает электромотор к питающей сети; нормально замкнутый контакт разрывает цепь контактора, исключая возможность одновременного включения двух контакторов. Технология извлечения масла шнековым оборудованием состоит в следующем. Шнек транспортирует масличное сырье внутри зернового цилиндра, собранного из зерновых пластин с малыми величинами зазора между ними. Геометрия канала, образованного набором сегментов шнековых витков, снижает их свободный объем по ходу движения от загрузочной воронки до выходной щели маслопресса и тем самым подвергает сырье сжатию. Сжатие масличного сырья влечет за собой повышение давления, при котором масло извлекается из мезги. Извлеченное растительное масло выходит из зоны прессования через щели между пластинами, а отжатый материал – через кольцевой зазор на выходе зернового цилиндра. Для использования всей мощности маслопресса как по производительности, так и по величине извлечения масла без ухудшения качества масла и жмыха необходимо постоянно осуществлять непрерывность и равномерность подачи масличного сырья в загрузочную воронку маслопресса. Нормальной считается такая работа маслопресса, при которой наибольшее количество масла отжимается при параметрах работы устройства (температура, частота вращения шнека, величина зазора между зерновыми пластинами и на выходе жмыха) [113]. Масло, которое вытекает из зерновой камеры, попадает в маслосборник, а далее направляется на следующую стадию переработки. Мезга, отжатая от масла, выходит из зерновой камеры в виде плотно спрессованной массы (ракушки), оптимальная толщина которой, а следовательно, и степень сжатия мезги в камере, устанавливается при помощи механизма регулировки толщины ракушки (жмыха) [114].

Данная конструкция была выбрана на основании предварительных теоретических расчетов, по которым должно обеспечиваться оптимальное соотношение «производительность–остаток масла в сырье после прессования».

4.1 Конструкция шнека для прессующего оборудования

Нами была предложена конструкция шнека, новизна подтверждена патентом РК (рисунок 4.8, рисунок 4.9).

Шнек представляет собой сборную конструкцию. Шнек состоит из вала 1 со шпоночным пазом 12, двух втулок 2 и 4, двух винтовых навивок 3 и 5, прижимной шайбы 6, винта 7, двух шпонок 10 и 11. Шнек собирается следующим образом. В шпоночный паз 12 вала 1 вставляется шпонка 10, затем одевается втулка 2 с винтовым пазом 8. На втулку 2 накручивается винтовая навивка 3. Профиль навивки 3 полностью повторяет профиль винтового паза 8. Затем в шпоночный паз 12 вала 1 вставляется шпонка 11 и одевается втулка 4 с винтовым пазом 9. На втулку 4 накручивается винтовая навивка 5. Далее втулки фиксируются прижимной шайбой 6 и винтом 7.

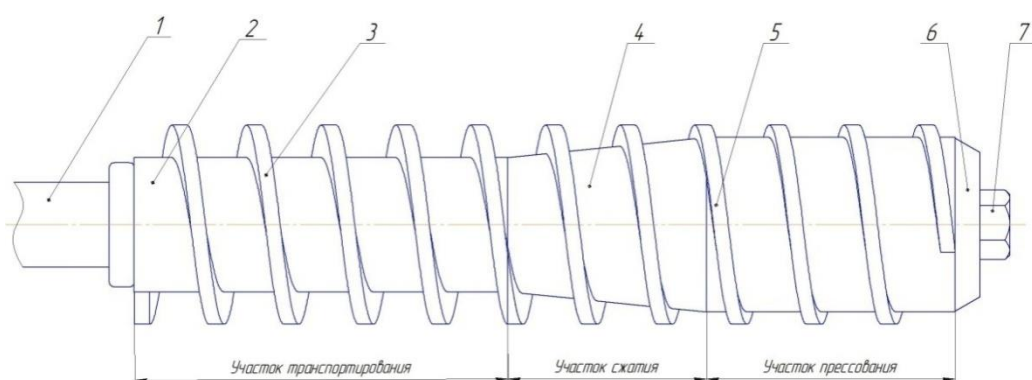


Рисунок 4.8 – Шнек в сборе

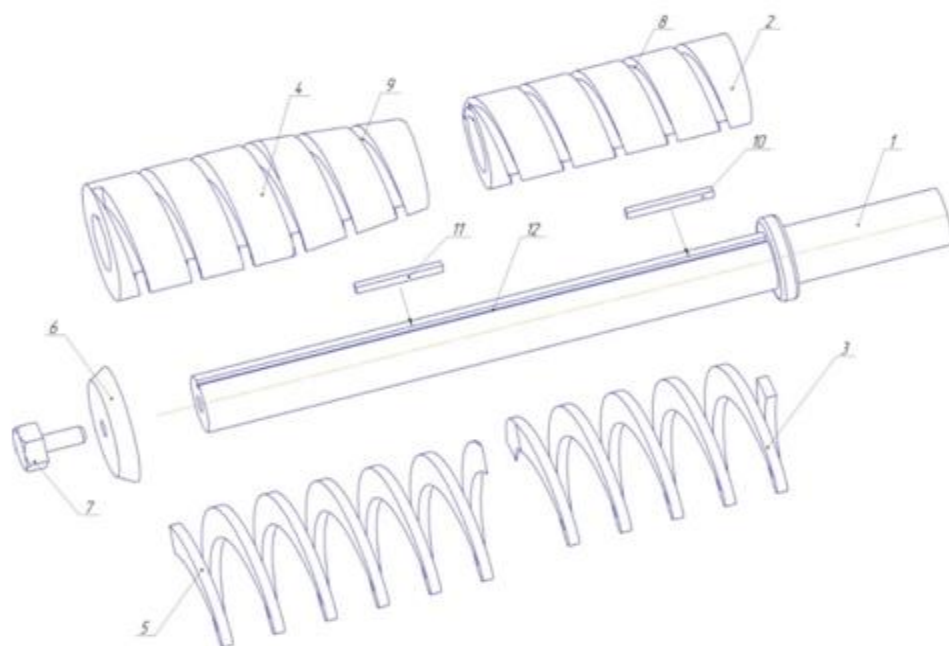


Рисунок 4.9 – Детали шнека в разобранном состоянии

Таким образом, использование изобретения позволит:

- менять только винтовую навивку при износе витков не затрачивая дополнительные средства на переточку всего шнека;
- подбирать оптимальную толщину витков для широкого диапазона прессуемого сырья;
- использовать различные профили винтовой навивки (например с прорезями в витках), что позволит дополнительно измельчать сырье в зоне транспортирования [115]. Расчет шнека для семян дыни и тыквы приведен в приложении Е.

4.2 Изучение кинетики процесса прессования

В ходе экспериментальных исследований были определены производительность маслопресса по полученному жмыху, масличность, объемный вес, а также влажность жмыха, количество вырабатываемого масла в определенной точке зерновой камеры маслопресса [116]. Установлено, что зазор между пластинами в зерновой камере должен составлять 0,15...0,3 мм. При этом была установлена зависимость температуры в зерновой камере от частоты вращения шнека и кольцевого зазора в зерновой камере, которая определяет толщину лепестка жмыха.

Наиболее рациональные параметры зерновой камеры следующие: кольцевой зазор зерновой камеры для семян тыквы – 0,6...1,0 мм; семян дыни 0,9...1,3 мм; оптимальная частота вращения шнека 5...7 с⁻¹, при этом температура масла в зерновой камере составляет 323...331 К.

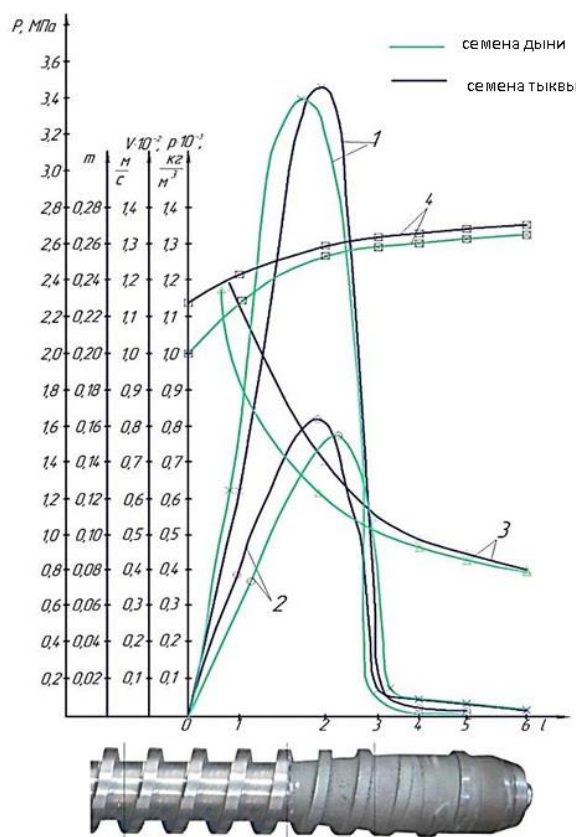
При большей частоте вращения шнека за счет эффекта диссипации происходит разогрев камеры и температура становится более 333 К, что недопустимо, т. к. при данной температуре начинают разрушаться витамины и ненасыщенные жирные кислоты, которые являются незаменимыми для организма.

В ходе работы были проведены исследования изменения основных характеристик процесса получения растительных масел по длине зерновой камеры для семян тыквы и дыни (рисунок 4.10).

Установлено, что основное количество масла отжимается на первой и второй ступенях зерновой камеры, затем сказывается способность скелета мятки сопротивляться деформации, происходит уменьшение пористости, в результате чего скорость выхода масла снижается.

Проведены исследования зависимости плотности мятки и кислотного числа семян масличных культур от глубины отжима в шнековом прессе.

Установлено, что в процессе отжима происходит уменьшение масличности мятки по мере ее продвижения от приемной камеры к выходу из пресса, одновременно происходит уплотнение прессуемого продукта.



1 – давление в камере маслопресса; 2 – средняя скорость отжимаемого масла;
3 – пористость мятки; 4 – плотность мятки

Рисунок 4.10 – Изменение давления, скорости отжима и характеристик мятки семян дыни и тыквы по длине рабочей камеры маслопресса

Обработка экспериментальных данных позволила получить следующее уравнение для определения кислотного числа (К.ч.) получаемого растительного масла:

$$\text{К.ч.} = 0,31 e^{-0,05M} + \text{К.ч.}_0, \quad (4.1)$$

где К.ч._0 – среднее значение КЧ масла мятки, поступающей в маслопресс.

Таким образом, изучение кинетики процесса прессования позволяет глубже оценить происходящие в исходном сырье процессы, установить оптимальные технологические режимы и оптимизировать конструкцию маслопресса для холодного отжима альтернативного масличного сырья.

4.3 Расчет маслопресса

Для расчета маслопресса мы воспользовались, разработанной системой автоматизированного проектирования САПР «Маслопресс» предназначенной для расчета конструктивных параметров маслопресса и проектирования технологических линий получения растительных масел. Система «Маслопресс»

была написана в средстве разработки Microsoft Visual Studio 2010 Express на языке программирования C++, под платформу NET Framework 4.0.

Функционально всю систему можно разделить на два основных блока. В первом блоке (выделенного пунктирной линией) производятся расчеты подтверждающие работоспособность маслопресса - прочностной расчет вала шнека и витков шнека.

Во втором блоке производится расчет параметров шнека и рабочей камеры маслопресса (определяет диаметр шнека, шаг витков, длину шнека, углы подъема винтовой линии, длину рабочей камеры и т.д.) по исходным данным. А так же кинематический (определяет частоту вращения вала) и энергетический расчет (подбор электродвигателя).

В первую очередь вводятся параметры шнека (рисунок 4.11).

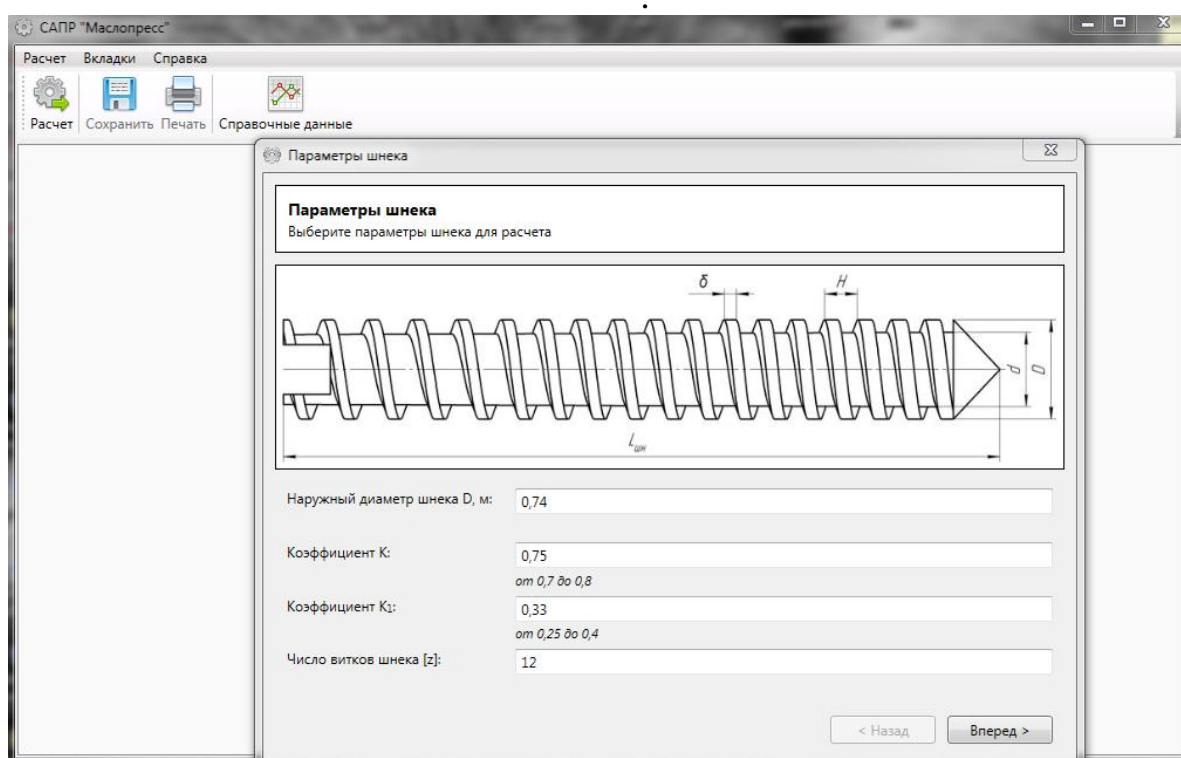


Рисунок 4.11 – Окно ввода параметров шнека

Далее в САПР «Маслопресс» всплывает окно выбора прессуемого материала. Выбираем сырье (рисунок 4.10), в программе имеется справочник, который содержит все данные по физико-механическим свойствам семян масличных растений, физико-механические свойства материалов из которых рекомендуется изготавливать шнек, а также ГОСТы на методику определения различных показателей качества растительных масел (метод определения цвета, прозрачности, запаха; метод определения влаги и летучих веществ и т.д.).

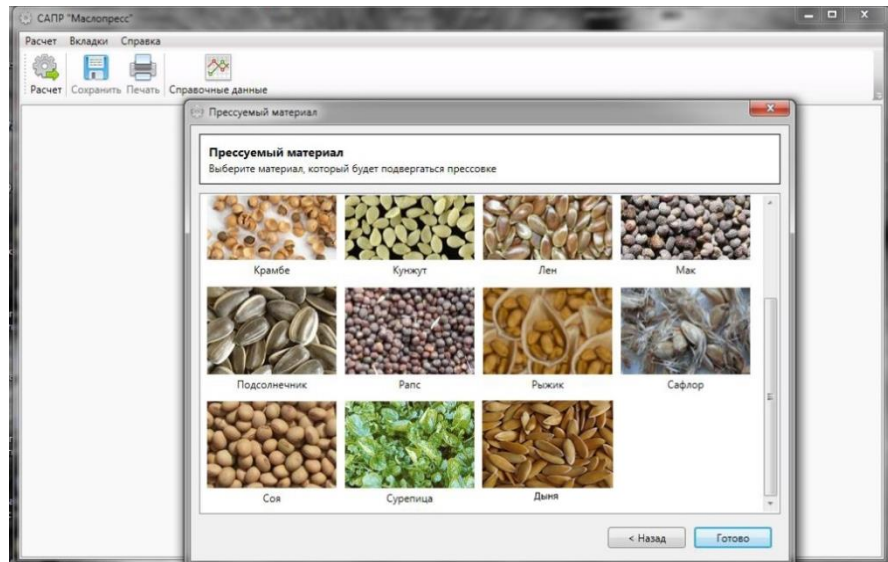


Рисунок 4.12 – Окно выбора сырья для выделения масла

В данном случае мы выбираем сырье для выделения масла семена дыни. В Отчете 1 мы видим все входные данные для расчета маслопресса для семян дыни (рисунок 4.13).

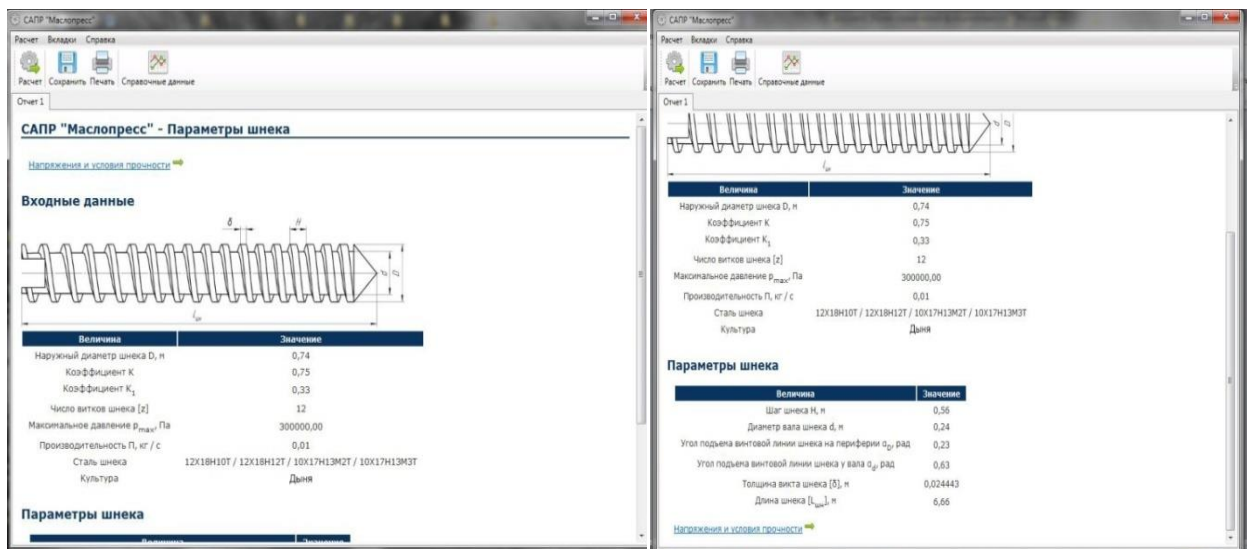


Рисунок 4.13 – Входные данные

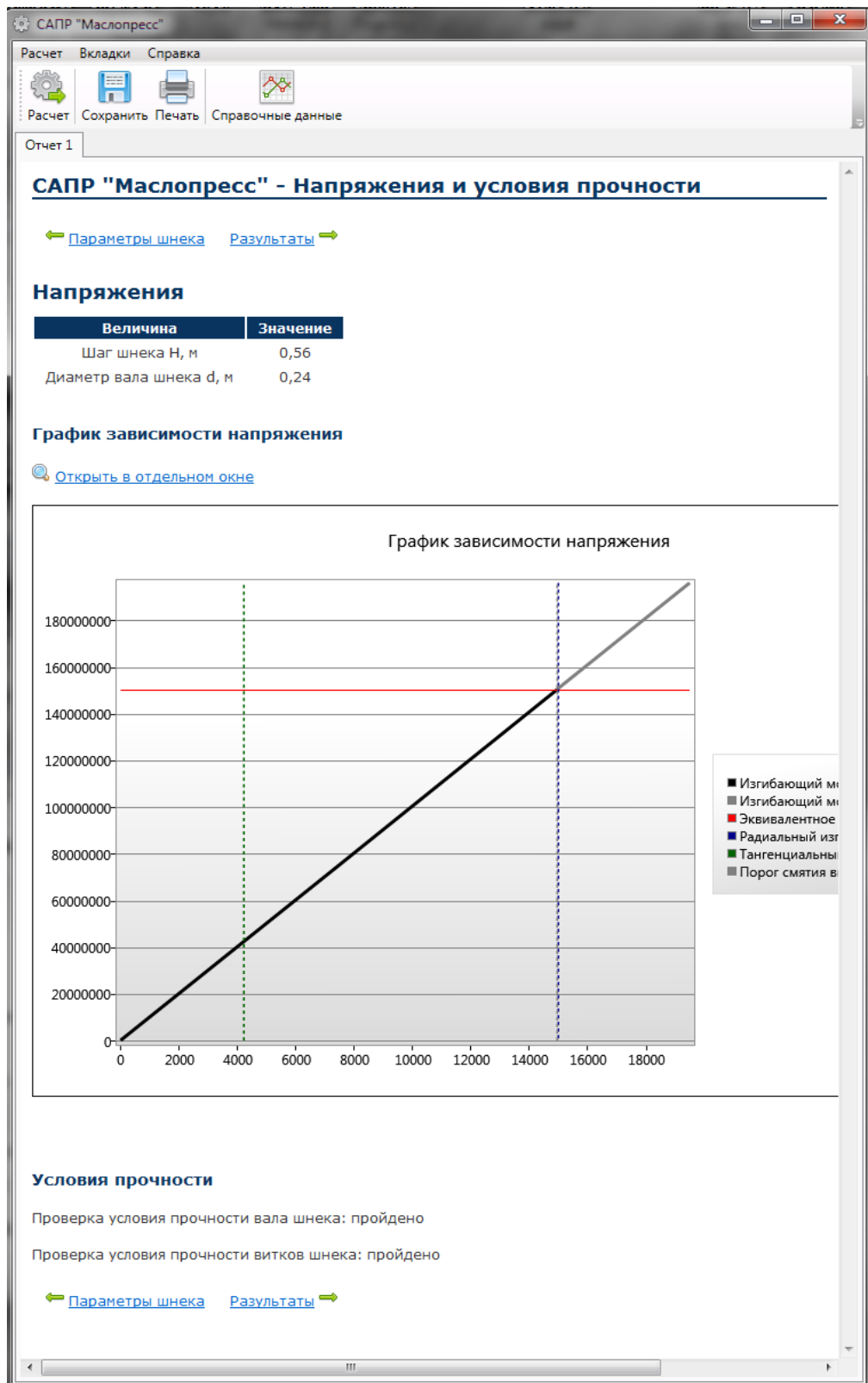


Рисунок 4.14 – Расчет напряжения и условий прочности

САПР "Маслопресс"

Расчет Вкладки Справка

Расчет Сохранить Печать Справочные данные


Отчет 1

САПР "Маслопресс" - Результаты


[← Напряжения и условия прочности](#)

Подобранный электродвигатель

Тип электродвигателя	SAM 50 MA2
Мощность привода [N], кВт	0,07
Угловая частота вращения шнека [ω], об. / мин	0,02



Рекомендованные параметры сырья

Культура	Влажность семян, %	Абсолютная масса, г	Относительная плотность масла [ρ], кг / м ³	Масса 1000 семян, г
Дыня 	8,0	28-78	917-929	36-45

[← Напряжения и условия прочности](#)

Рисунок 4.15 – Окно результатов САПР «Маслопресс»

Таким образом, по данному расчету был сконструирован маслопресс, который позволяет получить растительное масло из семян дыни, методом холодного отжима. Выход масла составляет в зависимости от сорта сырья от 30-48%. Масло имеет натуральный цвет, свойственный сырью запах.

Предлагаемая конструкция маслопресса, защищена патентом РК и представлена на рисунке 4.2.

5 ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

5.1 Эксергетический анализ

Эксергия и анализ цикла являются ключевыми вопросами в оценке потенциала энергетических ресурсов [79].

Установлено, что процессы экстракции растительного масла энергоемки. Термодинамически считается, что любой энергоемкий процесс приводит к деградации наиболее полезной части энергии, доступной для производства работы. В этом исследовании используются литературные значения для сравнения эффективности и деградации энергии в масле *Jatropha curcas* при отжиге масла с учетом методов экстракции растворителями и механическими методами. По данным этого исследования, из семян *Jatropha curcas* семена на переработку в Дж молекулы масла повышен с механической добычи, но деградирует с процессами жидкостной экстракции. Для механической добычи, общей эксергии затрачено 3006 МДж, что примерно в шесть раз меньше, чем для экстракции растворителем (18,072 МДж) на 1 тонну масла, добытой из семян *Jatropha curcas*. В процессе предварительной обработки семян зафиксировано полное внутреннее эксергетическое разрушение 5768 МДж, что составляет 24% от общего объема внутренней эксергии, разрушенной для процессов экстракции растворителем, и 66% для механической экстракции. Получены эксергетические КПД 79.35% и 95.93% для растворителя и механических процессов отжима масла *Jatropha curcas* соответственно. Таким образом, механические процессы отжима масла эксергетически эффективны, чем процессы экстракции растворителем. Возможные методы улучшения также разработаны в этом исследовании [80].

Для изыскания путей повышения энергоэффективности теплотехнологических систем необходимо провести оценку уровня использования ресурсов. С этой целью используют эксергетический метод термодинамического анализа [81]. Задачей эксергетического анализа является оценка степени термодинамического совершенства системы в целом и выявление этапов, на которых имеются основные потери эксергии.

Понятие эксергия и энергия отличаются: если энергия определяется фундаментальными свойствами материи, то эксергия характеризует пригодность энергии при текущих условиях внешней среды, с независимыми от рассматриваемой системы параметрами.

В качестве абсолютного эксергетического параметра, используемого в расчетах, выбрана эксергетическая мощность E , кДж/ч, учитывающая энергию материальных и тепловых потоков с учетом материального расхода потоков.

Эксергия вещества в потоке включает в себя химическую и физическую эксергию:

$$e_m = e_\mu + e_\phi. \quad (5.1)$$

Удельная химическая эксергия включает в себя концентрационную e_k и реакционную e_r , а удельная физическая складывается из деформационной e_p и термической e_T эксергии. Для контрольных поверхностей исследуемой технологической схемы эксергия вещества в потоке тождественна термической эксергии:

$$e_{mI} = e_k + e_T; \quad e_{m(I-VIII)} = e_T \quad (5.2)$$

Удельная термическая эксергия:

$$e_T = \Delta i - T_0 \Delta s, \quad (5.3)$$

где $\Delta i, \Delta s$ – изменение удельной энтальпии и энтропии материального потока, кДж/кг; T_0 – температура окружающей среды, К.

Эксергия теплового потока является функцией состояния системы и окружающей среды и зависит только от текущей температуры потока:

$$e_q = \sum q \tau_e = \sum q (1 - T/T_0), \quad (5.4)$$

где $\sum q$ – сумма тепловых потоков, кДж/кг; τ_e – фактор Карно или эксергетическая температурная функция, равная термическому КПД цикла Карно между температурами поверхности и окружающей среды [82].

Соотношение (5) для рассматриваемой технологии [83] рассматривалось в виде:

$$E_1^H + E_2^H + E_3^H + E_4^H + \sum E_9^H = E_1^K + E_2^K + \sum D_i + \sum D_e, \quad (5.5)$$

где слагаемые этих уравнений – эксергия (кДж) масличного сырья E_1^H , воздуха технологического E_2^H , воздуха охлаждающего E_3^H ; антиоксидантов E_4^H ; суммарной электроэнергии $\sum E_9^H$; гранулированного жмыха E_1^K ; готового масла E_2^K ; сумма потерь эксергии в результате необратимости процессов, происходящих внутри поверхности $\sum D_i$; сумма потерь эксергии во внешнюю среду $\sum D_e$.

Уравнение (6) отражает изменение эксергии системы за счет ввода исходного сырья и воздуха; необратимых изменений структурно-механических свойств продуктов, связанных с затратами электроэнергии на приводы оборудования; приращения эксергии продукта от механического воздействия роторов маслопресса и разрыхлителя, покрытия потерь, возникающих вследствие необратимости процессов тепловой обработки; компенсации потерь от воздействия окружающей среды.

Эксергия вводимых в систему внешних материальных потоков – масляного сырья, антиоксидантов и атмосферного воздуха, находящихся в термодинамическом равновесии с окружающей средой, равна нулю, поэтому исключается из баланса.

В процессе нагрева и охлаждения сырья и промежуточных продуктов в технологическом оборудовании его химическая эксергия постоянна, так как его состав в процессе переработки не претерпевает изменений. Поэтому учитывается только его удельная термическая эксергия, определяемая на основании уравнения Гюи-Стодолы:

$$e_{э.к.} = e - e_0 = h - h_0 - T_0(S - S_0) \quad (5.6)$$

где, e, e_0, h, h_0, S, S_0 - удельная термическая эксергия, кДж/кг, удельная энтальпия, кДж/кг и энтропия, кДж/(кг·К) продукта при текущих параметрах технологического процесса и в состоянии равновесия с окружающей средой.

Данные по теплофизическим свойствам воздуха, сырья, промежуточных и готовых продуктов взяты из справочной литературы [84,85].

Эксергию атмосферного воздуха, участвующего в процессе подготовки масляного сырья, определяли, рассматривая его как бинарную смесь, состоящую из 1 кг воздуха и X кг водяных паров:

$$e_B = \bar{c}_B \cdot (T - T_0) - \left(T_0 \cdot \bar{c}_B \cdot \ln \frac{T}{T_0} - R_B \cdot \ln \frac{p - \varphi \cdot p_s(T)}{p_0 - \varphi_0 \cdot p_s(T_0)} + X \cdot \left(h_{п} - h_{п}^0 - T_0 \cdot (S_{п} - S_{п}^0) \right) \right), \quad (5.7)$$

где \bar{c}_B – средняя изобарная теплоемкость влажного воздуха между его текущим состоянием в потоке и состоянием равновесия с окружающей средой, кДж/(кг·К); p, p_0 и φ, φ_0 – полное давление, Па и относительная влажность воздуха, % в потоке и в окружающей среде; $p_s(T), p_s(T_0)$ – давление насыщенного водяного пара при температуре потока и окружающей среды, Па; $h_{п}, h_{п}^0$ и $S_{п}, S_{п}^0$ – энтальпия и энтропия водяного пара при параметрах потока и окружающей среды, кДж/кг и кДж/(кг·К).

В работе рассмотрено влияние на систему внутренних D^i и внешних D^e эксергетических потерь.

В суммарное количество эксергетических потерь входят потери от конечной разности температур в результате теплообмена между сырьем и теплоносителями, электромеханические, возникающие при необратимом изменении структурно-механических свойств продукта, и гидравлические потери, обусловленные увеличением удельного объема воздуха и пара при их поступлении в рабочие камеры технологического оборудования из подводящих трубопроводов.

Потери, обусловленные разностью температур между потоками, определяли по формуле:

$$D^{mo} = Q^{mo} \cdot \bar{\tau}_e, \quad (5.8)$$

где Q^{mo} – количество теплоты, переданное от одного потока к другому, кДж;
 $\bar{\tau}_e$ – среднее значение фактора Карно для двух взаимодействующих потоков.

Фактор Карно или эксергетическая температурная функция равна термическому КПД цикла Карно между температурами контрольной поверхности и условно принятой окружающей среды:

$$\tau_e = (T_{kn} - T_0) / T_{kn}, \quad (5.9)$$

где T_{kn} – температура теплоносителя внутри контрольной поверхности, К.

Эксергетические потери вследствие падения давления воздуха при его подаче в контрольную поверхность (циклон) определяли по формуле:

$$D^e = g \cdot \Delta H_2 \cdot \frac{T_{kn}}{T_{ex}} \quad (5.10)$$

где T_{ex} – температура воздуха на входе в контрольную поверхность, К; ΔH_2 – гидравлические потери, м.

По формуле Дарси-Вейсбаха [82] найдены гидравлические потери при входе теплоносителя в контрольную поверхность:

$$\Delta H_2 = \xi \cdot \frac{v_{ex}^2}{2g}, \quad (5.11)$$

где v_{ex} – средняя скорость прохождения воздуха (пара) по сечению подводящего трубопровода, м/с; ξ – коэффициент сопротивления, определяемый отношением внутреннего объема оборудования, рассматриваемого в качестве поверхности, к поперечному сечению входного отверстия.

Электромеханические потери эксергии тождественны мощности приводов технологического оборудования, используемого в процессе обработки сырья и промежуточных продуктов [86,87].

Внешние потери D^e связаны с условиями сопряжения системы с окружающей средой. Они обусловлены различием температур теплоносителя и окружающей среды, несовершенством теплоизоляции оборудования.

Потери эксергии в окружающую среду, обусловленные несовершенством теплоизоляции были найдены по формуле:

$$D^e = Q_{uz} \cdot \tau_e, \quad (5.12)$$

где Q_{uz} – суммарные потери тепла в окружающую среду через контрольную поверхность, кДж; τ_e – фактор Карно.

Эксергетические потери гранулированного жмыха и готового масла при выгрузке из соответствующего технологического оборудования при достижении ими термодинамического равновесия с окружающей средой были вычислены по следующей формуле:

$$D_{np} = h_{np} - h_{np}^0 - T_0 \cdot \bar{c} \cdot \ln \frac{T_{np}}{T_{np}^0} \quad (5.13)$$

где h_{np}, T_{np} – энтальпия, кДж/кг и температура, \bar{c} – средняя удельная теплоемкость продуктов между их текущим состоянием в момент выгрузки и в состоянии термодинамического равновесия с окружающей средой, кДж/(кг·К).

Оценку термодинамического совершенства теплотехнологической системы производства растительного масла из семян дыни проводили по эксергетическому КПД, исходя из значения эксергии готовой продукции:

$$\eta_{экс} = \frac{\sum_{k=1}^l e_i^э}{\sum_{i=1}^n e_i^э} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^э - \sum_{j=1}^m D_j}{\sum_{i=1}^n e_i^э} \quad (5.14)$$

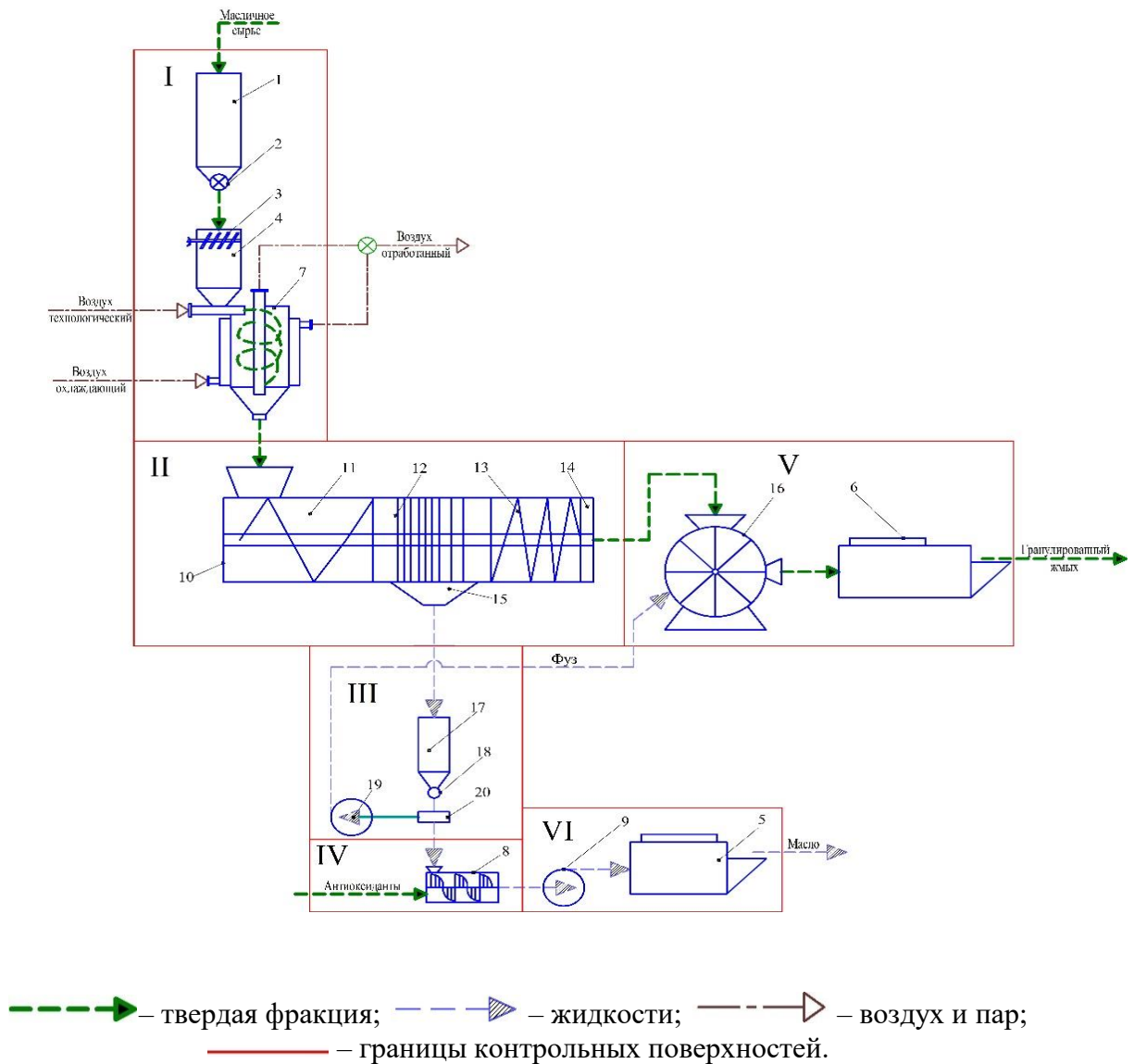
Эксергетический анализ выполнен по методике Бродянского, в соответствии с которой теплотехнологическая система производства растительных масел условно отделена от окружающей среды замкнутой контрольной поверхностью, а внутри неё с учетом теплообменных процессов выделены контрольные поверхности:

- I – подготовка сырья;
- II – маслопресс;
- III – фильтрование;
- IV – смешивание;
- V – нанесение жировитаминных добавок (ЖВД);
- VI – розлив масла.

Схемы обмена системы материальными, тепловыми и энергетическими потоками с окружающей средой, а также между контрольными поверхностями представлена на рис. 5.1.

Удельная эксергия в контрольных поверхностях, на которые была разделена исследуемая система, состоящая из классических необратимых процессов, уменьшается с течением времени, что связано с диссипацией энергии:

$$\sum e_3 = \sum e_9 + \sum D, \quad (5.15)$$



1 – бункер для сырья; 2 – дозатор; 3 – разрыхлитель; 4 – промежуточный бункер;
 5 – разливочно-упаковочный (РУ) аппарат; 6 – упаковщик жмыха; 7 – циклон; 8 –
 перемешивающее устройство; 9, 19 – насос; 10 – маслопресс (11 – секция измельчения;
 12 – секция маслопрессования; 13 – конечная секция; 14 – гранулирующая матрица; 15
 – маслосборник); 16 – аппарат для нанесения жировитаминных добавок (ЖВД);
 17 – танк; 18 – дозатор; 20 – фильтр.

Рисунок 5.1 – Технологическая схема процесса прессования

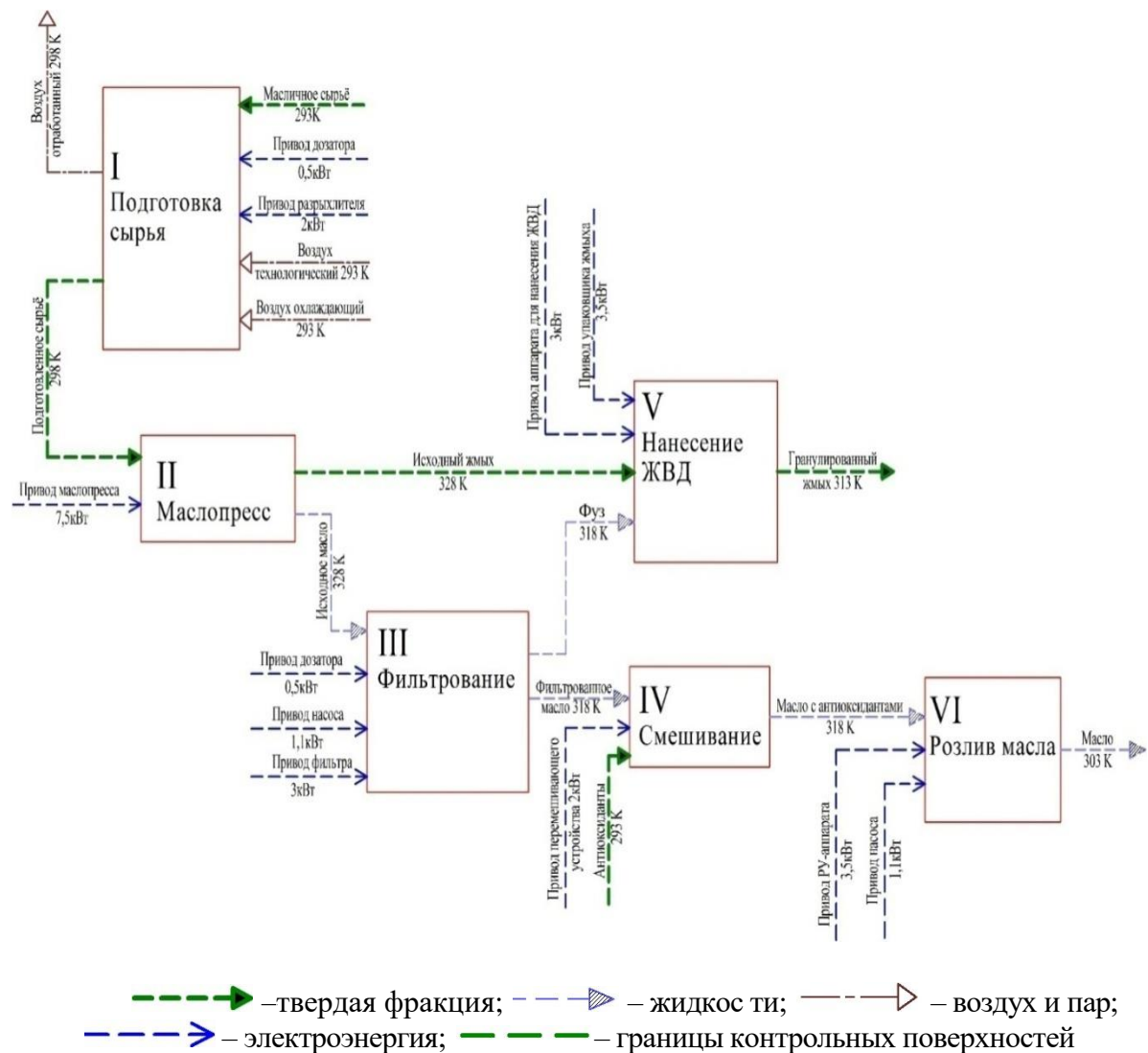
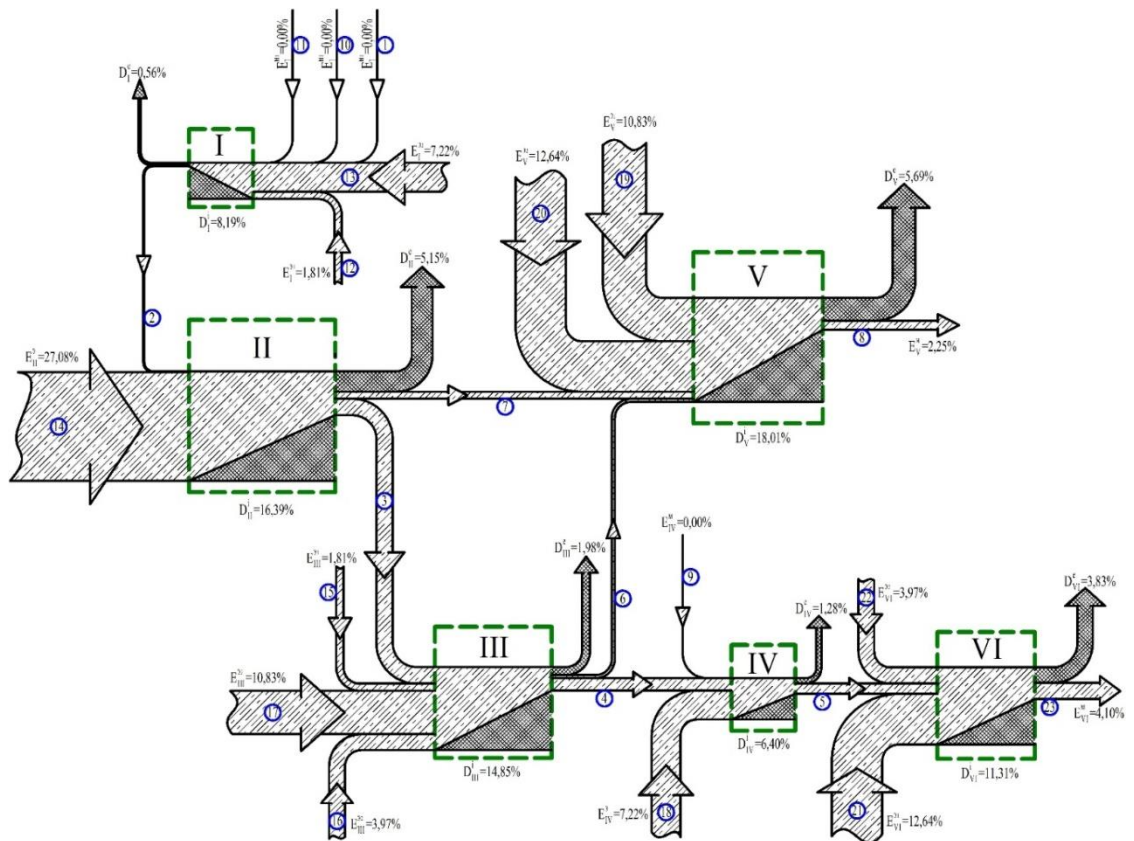


Рисунок 5.2 – Схема обмена потоками между контрольными поверхностями предлагаемой теплотехнологической системы

Эксергия материальных и энергетических потоков, а также внутренние и внешние эксергетические потери, рассчитанные по формулам (5.7- 5.13), составили эксергетический баланс теплотехнологической системы производства растительных масел (таблица 5.1), графически отраженный на схеме Грассмана-Шаргута (рисунок 5.3).



I-VI – номера контрольных поверхностей.

Рисунок 5.3 – Схема Грассмана-Шаргута для исследуемой теплотехнологической системы

Таблица 5.1 – Обозначения потоков на схеме Грассмана-Шаргута исследуемой теплотехнологической системы

Номер на диаграмме	Наименование потока	Контрольная поверхность	
		отдает	принимает
1	2	3	4
1	Масличное сырьё	–	I
2	Подготовленное сырьё	I	II
3	Исходное масло	II	III
4	Фильтрованное масло	III	IV
5	Масло с антиоксидантами	IV	VI

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3	4
6	Фуз	III	V
7	Исходный жмых	II	V
8	Гранулированный жмых	V	–
9	Антиоксиданты	–	IV
10	Воздух технологический	–	I
11	Воздух охлаждающий	–	I
12	Привод дозатора (I)	–	I
13	Привод разрыхлителя	–	I
14	Привод маслопресса	–	II
15	Привод дозатора (III)	–	III
16	Привод насоса (III)	–	III
17	Привод фильтра	–	III
18	Привод перемешивающего устройства	–	IV
19	Привод аппарата для нанесения ЖВД	–	V
20	Привод упаковщика жмыха	–	V
21	Привод разливно-упаковочного аппарата	–	VI
22	Привод насоса (VI)	–	VI
23	Готовое масло	VI	–

Таблица 5.2 – Эксергетический баланс технологии производства растительных масел из семян дыни и тыквы

п/п	Наименование контрольной поверхности	Абсолютная удельная ЭксергияЕ, мДж/ч	Относительная удельная эксергия, %
I	ПОДГОТОВКА СЫРЬЯ		
ПРИХОД			
1	Масличное сырьё	0,00	0,00
2	Электроэнергия для привода дозатора	1,80	1,81
3	Электроэнергия для привода разрыхлителя	7,20	7,22
4	Воздух технологический	0,00	0,00
5	Воздух охлаждающий	0,00	0,00
Суммарная эксергия, подводимая к контрольной поверхности		9,00	9,03

п/п	Наименование контрольной поверхности	Абсолютная удельная ЭксергияЕ, мДж/ч	Относительная удельная эксергия, %
РАСХОД			
6	Внутренние эксергетические потери	8,17	8,19
7	Внешние эксергетические потери	0,56	0,56
Суммарная эксергия, отводимая от контрольной поверхности		8,73	8,76
II	МАСЛОПРЕСС		
ПРИХОД			
1	Электроэнергия для привода маслопресса	27,00	27,08
Суммарная эксергия, подводимая к контрольной поверхности		27,00	27,08
РАСХОД			
2	Внутренние эксергетические потери	16,34	16,39
3	Внешние эксергетические потери	5,14	5,15
Суммарная эксергия, отводимая от контрольной поверхности		21,48	21,54
III	ФИЛЬТРОВАНИЕ		
ПРИХОД			
1	Электроэнергия для привода дозатора	1,80	1,81
2	Электроэнергия для привода насоса	3,96	3,97
3	Электроэнергия для привода фильтра	10,80	10,83
Суммарная эксергия, подводимая к контрольной поверхности		16,56	16,61
РАСХОД			
4	Внутренние эксергетические потери	14,81	14,85
5	Внешние эксергетические потери	1,97	1,98
Суммарная эксергия, отводимая от контрольной поверхности		16,78	16,83
IV	СМЕШИВАНИЕ		
ПРИХОД			

п/п	Наименование контрольной поверхности	Абсолютная удельная ЭксергияЕ, мДж/ч	Относительная удельная эксергия, %
1	Электроэнергия для привода перемешивающего устройства	7,20	7,22
2	Антиоксиданты	0,00	0,00
Суммарная эксергия, подводимая к контрольной поверхности		7,20	7,22
РАСХОД			
3	Внутренние эксергетические потери	6,38	6,40
4	Внешние эксергетические потери	1,28	1,28
Суммарная эксергия, отводимая от контрольной поверхности		7,66	7,68
VI	РОЗЛИВ МАСЛА		
ПРИХОД			
1	Электроэнергия для привода розл.-упаковочного апл-та	12,60	12,64
2	Электроэнергия для привода насоса	3,96	3,97
Суммарная эксергия, подводимая к контрольной поверхности		16,56	16,61
РАСХОД			
3	Масло	4,09	4,10
4	Внутренние эксергетические потери	11,28	11,31
5	Внешние эксергетические потери	3,82	3,83
Суммарная эксергия, отводимая от контрольной поверхности		19,19	19,25
ОБЩИЙ ПОДВОД		99,7	100,0
ОБЩИЙ ОТВОД		99,7	100,0
ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ КПД, %			6,35

Полученный результат эксергетического анализа показывает о повышении степени термодинамического совершенства системы за счет повышения степени энергосбережения системы [119].

5.2 Расчет экономической эффективности

Одним из основных показателей установки является ее производительность, которую определяют из паспортных данных или рассчитывают по формулам:

для машины непрерывного действия сменная производительность:

$$Q_{CM} = Q_{\text{ч}} \cdot t_{\text{ЭФ}}, \quad (5.16)$$

для машины периодического действия сменная производительность:

$$Q_{CM} = Q_{\text{ч}} \cdot t_{\text{ч}} \cdot n_{\text{Ц}}, \quad (5.17)$$

где $Q_{\text{ч}}$ – производительность машины в час, кг/ч; $t_{\text{ЭФ}}$, $t_{\text{ч}}$ – длительность работы в смену и длительность цикла, ч; $n_{\text{Ц}}$ – число циклов.

$$t_{\text{ЭФ}} = T_{\text{СМ}} - t_{\text{ПЗР}}, \quad (5.18)$$

где $T_{\text{СМ}}$ – продолжительность смены, ч; $t_{\text{ПЗР}}$ – продолжительность подготовительно-заключительных работ и техобслуживания, ч.

Годовая производительность машин:

$$Q_{\text{Г}} = Q_{\text{СМ}} \cdot m, \quad (5.19)$$

где m – число рабочих смен в году.

Правильность выбранной системы машин можно определить лишь на основе расчета технологической карты.

Цель составления технологической карты – по удельным показателям себестоимости единицы продукции, затратам труда, энергии и материалам, затратам на ремонт и техническое обслуживание, определить эффективность и целесообразность установленного оборудования в сравнении с удельными показателями до реконструкции предприятия.

По сопоставленным данным делают вывод о необходимости применения выбранного оборудования. Кроме того, процесс расчета технологической карты можно выполнить с помощью ЭВМ, это позволит составить несколько ее вариантов и выбрать наиболее эффективный для реализации.

Экономический эффект от внедрения нового оборудования находят следующим образом:

$$\text{Э}_{\text{Г}} = [(C_1 + E_{\text{Н}} \cdot K_1) - (C_2 + E_1 \cdot K_2)] \cdot P_{\text{р}}, \quad (5.20)$$

где C_1 , C_2 – себестоимость единицы продукции до и после внедрения нового оборудования; $E_{\text{Н}}$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных

затрат; K_1, K_2 – удельные капитальные вложения до и после внедрения нового оборудования; Pr – годовой выпуск продукции или годовой объем работ в натуральных единицах после внедрения нового оборудования.

Включая капитальные вложения в стоимость действующих фондов, годовой экономический эффект определяют по формуле:

$$\mathcal{E}_T = (C_1 - C_2) - E_H \cdot K_{\mathcal{E}} \cdot Pr, \quad (5.21)$$

где $K_{\mathcal{E}}$ – дополнительные капиталовложения, отнесенные к единице годового выпуска продукции после внедрения новой техники.

При изменении цены единицы продукции за счет повышения качества к сумме годового экономического эффекта добавляют разницу в цене реализованной продукции:

$$\mathcal{E}_P = (C_2 - C_1) \cdot Pr, \quad (5.22)$$

где C_1, C_2 – оптовая цена до и после внедрения новой техники, тенге.

Если сравниваются несколько вариантов оборудования, то пользуются следующими формулами, по которым выбирают по минимальной сумме затрат:

$$K_i + T_{OK} \cdot C_i \rightarrow \min; \quad C_i + E_{Hi} \cdot K_i \rightarrow \min, \quad (5.23)$$

где K_i – капиталовложения по i -му варианту; C_i – себестоимость продукции в год по i -му варианту.

Эксплуатационные расходы на единицу продукции складываются из следующих составляющих: фонда оплаты труда рабочих, обслуживающих машины, и отчислений в фонд социального страхования, затрат на топливо и электроэнергию, затрат на охрану труда и технику безопасности; расходов на текущий ремонт; амортизационных отчислений для зданий и оборудования, которые определяются по формулам 16,3... 16,7.

Условно-годовая экономия:

$$\mathcal{E}_y = (C_1 - C_2) \cdot Pr, \quad (5.24)$$

Внедрение нового оборудования экономически целесообразно при выполнении условия:

$$O_K \leq O_{K1} \text{ или } \mathcal{E} < \mathcal{E}_1, \quad (5.25)$$

где \mathcal{E}_1, O_{K1} – значения параметров до внедрения мероприятий.

Годовой экономический эффект будет выше, если заменяемое оборудование используют для других целей или реализуют.

Результаты расчетов экономической эффективности предприятия сводят в таблицу и анализируют.

Упрощенный расчет экономической эффективности переработки и реализации готовой продукции можно привести в таблицах 5.3 и 5.4

Таблица 5.3 – Расчет себестоимости продукции

Наименование	Количество, кг,	Стоимость за единицу, тг.	Всего, тыс тг
Семена дыни	27720	6000	166320
ГСМ, электроэнергия	5,5 квт/ч	32,55	283,5756
На зарплату рабочим	3	120000	4320
Налоги	30		127908
Тара и розлив	45144	55	2482,920
Итого затрат	X	X	331159,5

Таблица 5.4 – Расчет экономической эффективности готовой продукции

Наименование	Количество готовой (побочной) продукции, кг	Стоимость 1кг, тг	Всего, руб.
Готовая продукция	5016	85000	426360000
Жмых	22176	500	11088000
Всего: выручка	X	X	437448000
прибыль	X	X	106288500
Срок окупаемости, лет	X	X	1 мес

В таблице 5.5 приведены сводные данные по выходу масла в сравнении с контрольным маслопрессом. Нужно отметить, что бытовые маслопрессы не справляются с отжимом растительного масла из семян бахчевых культур, малогабаритные промышленные маслопрессы, например ПШУ-40 при отжиме сильно нагревается, масло кипит и выходит коричневого цвета.

Таблица 5.5 – Сводная таблица

Продукция	Выход масла	Выход масла	Цена масла на, тг/л
Дынные семена	18%	10%	85000
Тыквенные самена	26,8%	15%	13700

В таблице 5.6 сведены все затраты на установку оборудования и сравнение с существующим аналогом.

Таблица 5.6 – Затраты на оборудование

Наименование	эксперим	контроль
Оптовая цена новой конструкции	1389965,3	1200000
Производительность труда на новой машине	52,5	35
Трудоемкость единицы продукции	0,019	0,047
Дополнительная прибыль от улучшения качества продукции, тыс тг/год	3727369,8	
Удельная материалоемкость продукции	7,4	28,5

Исходя из приведенных данных видно, что данная конструкция экономит место и электроэнергию, малогабаритно и производительность выше. По расчетам можно сказать что выбранное оборудование рентабельны.

Результатом выполненной работы является повышение выхода масла за счет конструирования и проектирования универсальной установки для получения растительного масла из семян бахчевых культур методом холодного отжима. На выходе получаем масло повышенной биологической ценности.

Таблица 5.7 – Показатели растительного масла

Наименование показателей	Значение показателей	
	Дынное	Тыквенное
Число омыления, КОН/г	188	191,3
Кислотное число, мг КОН/г	1,00	0,58
Йодное число	119	104,8
Содержания не омыляемых веществ, %	1,02	5,3
Содержание свободных жирных кислот, %	0,52	0,37
Цветное число, мг йода	6	36
Перекисное число, моль активного кислорода/кг	7,9	9,4

Из таблицы видно, что дынное и тыквенное масло, полученное прессованием содержит в себе важнейший пищевой продукт при низком кислотном числе, которое не больше кислотного числа нерафинированного подсолнечного масла высшего сорта. В этих маслах также имеются каротиноиды и токоферолы, которые увеличивает биологическую ценность масла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Краткие выводы по результатам диссертационных исследований.

1. Исследованы структурно-механические, теплофизические, реологические и химические свойства семян дыни и тыквы;
2. Определены рациональные технологические режимы процесса прессования в области допустимых технологических свойств получаемых растительных масел.
3. Установлены основные кинетические и гидродинамические закономерности процесса холодного прессования семян бахчевых культур (влияние начальной влажности, температуры, давления и др. на характер протекания исследуемого процесса и качество полученных растительных масел) в широком диапазоне изменения режимных параметров.
4. Разработаны научно-практические подходы к энергосбережению в процессе прессования семян бахчевых культур методом холодного прессования с возможностью поиска наилучшего компромисса между качеством готового продукта, производительностью и удельными энергетическими затратами.
5. Разработаны новые конструктивные решения оборудования, повышающие эффективность технологических процессов переработки семян дыни и тыквы методом холодного прессования.
6. В результате разработки модели шнекового пресса получена возможность проектирования прессов на любую производительность и с оптимальными параметрами.

Оценка полноты решений поставленных задач. Результаты теоретических исследований, их оценка, экспериментальное изучение кинетических и гидродинамических закономерностей процесса прессования, гидродинамики, решение вопросов математического моделирования, апробация в промышленных условиях полностью соответствуют поставленным в диссертации задачам.

Оценка технико-экономической эффективности внедрения. По результатам проведенных исследований разработана конструкция универсальной установки для получения растительного масла из семян бахчевых культур методом холодного отжима, где повышение выхода масла возросло на 30%, а также получаем масло с повышенной биологической ценностью.

Оценка научного уровня выполненной работы в сравнении с лучшими достижениями в данной области. Проведенная технико-экономическая оценка исследованных маслопрессов для переработки бахчевых культур показывает, что по ряду показателей, таких как энергетические показатели, эффективность проведения процессов как измельчение, прессование, предлагаемая конструкция превосходит современную установку для отжима масла из семян бахчевых культур методом холодного отжима.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Промышленность Казахстана и его регионов за 2003-2006 гг. Статистический сборник/Агентство РК по статистике/под ред. Э. Кунаева. - Астана, 2007. – С.18-20.
- 2 Гусева Е.А., Колосова С.Ф., Анализ производства и потребления разных типов растительного масла в Республике Казахстан/ Сборник материалов конференции «Единство образования, науки и инноваций». – 2011. – С. 162-168.
- 3 АПК- Информ/ Пищепром Украины и мира // [https:// ukrprod. dp. ua](https://ukrprod.dp.ua). 15.03.2018.
- 4 Николайчук Л.В. Целебные растительные масла (лекарства домашней аптеки)/ Николайчук Л.В., Николайчук Э.В., Головейко О.Н. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 320 с.
- 5 Мирзоев Г.Х., Основные свойства семян бахчевых культур, важные в процессах их переработки / Мирзоев Г.Х., Деревенко В.В., Лобанов А.А.// Научные труды КубГТУ. – 2015. – №4. – С.1-11.// [http:// ntk.kubstu.ru/file/377](http://ntk.kubstu.ru/file/377). 18.03.2018.
- 6 Джингилбаев С.С., Кайрбаева А.Е. Совершенствование процесса переработки семян на растительное масло методом холодного отжима// Мат. респуб. науч.-прак. конф. «Наука. Образование. Молодежь». – 2016. – С.214-216.
- 7 Погосян А.М.Повышение эффективности очистки подсолнечного масла при хранении центробежно-адсорбционным и адсорбционно-ультразвуковым способами // <http://www.dissercat.com/content/povyshenie-effektivnosti-ochistki-podsolnechnogo-masla-pri-khranении-tsentrobezchno-adsorbtsi>.18.03.2018.
- 8 Шульвинская И.В., Доля О.А., Широкомядова О.В.Композиционные белковые добавки из семян масличных и бахчевых растений // Известия вузов. Пищевая технология. –2007. –№5-6. –С. 40-42.
- 9 Деревенко В. В. Физико-механические характеристики семян дыни сорта «Амири» / В.В. Деревенко, Г.Х. Мирзоев, Е.А. Калиенко //Известия вузов. Пищевая технология. – 2013. – №5-6. – С. 112-113.
- 10 Джингилбаев С.С. Развитие научных основ интенсификации процесса отделения растительного масла на экструдерах: дисс. ... док.тех.наук:05.08.12. – Алматы, НПЦ МСХ, 2007. – 297с.
- 11 Пат.ПМ 94419 Российская Федерация, МПК А23N 15/00. Технологическая линия по переработке семян дыни/ Франко Е.П.,Касьянов Г.И., Щербаков В.Г.; заявитель и патентообладатель Кубанский государственный технологический университет. – № 2009136194/22; заявл. 29.09.2009; опубл. 27. 05.2010. – 5 с.
- 12 Васильева А.Г. Комплексное использование тыквы и ее семян в пищевых технологиях / А.Г. Васильева, Г.И. Касьянов, В.В. Деревенко. – Краснодар: Экоинвест, 2010. – 144 с.
- 13 Пат.2171273 Российская Федерация, МПКС11В1/06. Линия для получения масла из растительного сырья / Тимошенко В.Б., Канджа С.Н., Семенов Н.В.,

Исаков А.С.;– № 2000115787/13, заявл. 21.06.2000, опубл. 27.07.2001, Бюл. № 12. – 2 с.

14 Пат. 134928 Российская Федерация, МПК С11В11/00. Линия для получения масла из семян масличных культур контейнерного типа / Бышов Н. В., Корнюшин В. М., Бачурин А. М., Бышов Д. Н., Костенко П. А., Черных И. В., Горохов А. А.; заявитель и патентообладатель Рязанский государственный агротехнический университет.– № 20131255815/13; заявл. 04.06.13; опубл. 27.11.13, Бюл. № 33. – 2 с.

15 Пат. 114319 Российская Федерация, МПК С11В11/00. Линия для получения масла из семян масличных культур / Бышов Н. В., Корнюшин В.М., Бачурин А. Н., Костенко П. А.; заявитель и патентообладатель Рязанский гос. агротехнол. ун-т. – № 2011116786/13 ; заявл. 27.04.11 ; опубл. 20.03.12, Бюл. № 8. – 3 с.

16 Фролова Л.Н. Развитие научно - практических основ ресурсосберегающих процессов комплексной переработки семян масличных культур (теория, техника и технология): дисс. ... док. тех. наук: 05.08.12. – Воронеж: ВГУИТ, 2016. – 379 с.

17 Курамбаев Ш. и др. Технические науки // Молодой учёный. – 2016. – № 8 (112) . – С. 253-254.

18 Пат. 2232798 Российская Федерация, МПК С11В1/00 Производство жиров или жирных масел из сырья облучением или электрообработкой / Мустафаев С.К., Калиенко Е.А., Заруба А.С.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Кубанский государственный технологический университет. – № 2002126347/13, заявл. 02.10.2002; опубл. 20.07.2004, Бюл. № 5, 34.–35 с.

19 Пат. 2576522 Российская Федерация, МПК С11В1/00 «Способ подготовки масличных семян к холодному отжиму», Мустафаев С.К., Калиенко Е.А., Заруба А.С.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Кубанский государственный технологический университет. – № 2002126347/13, заявл. 10.12.2014, опубл. 10.03.2016, Бюл. № 7.

20 Пат. 2078129 Российская Федерация, МПК С 11 В 1/10 Способ получения масла из семян тыквы / Чабан Л.Н.; заявл. 29.06.1994, опубл. 27.04.1997, Бюл. № 7. – 3 с.

21 Пат. 2296153, МПК С11В 1/06. Пресс для получения пищевого растительного масла / И.Т.Кретов, С.Н.Соболев (РФ). – № 2005116656/13; заявл. 31.05.2005; опубл. 27.03.2007, Бюл. № 9.

22 Пат. 2430147 Российская Федерация, МПК С11В 1/06 Пресс для получения масла и текстурированных жмыхов / Остриков А.Н., Василенко Л.И., Копылов М.В., Татаренков Е.А.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Воронежская государственная технологическая академия.– № 2010116304/13, заявл. 23.04.2010, опубл. 27.09.2011, Бюл. № 27.

- 23 Барташевич НА., Сироткин Н.И. Совершенствование конструкции шнекового маслоотделяющего аппарата. // В сб. Рыбохозяйственные исследования мирового океана. – Владивосток, 2005. – С. 23-125.
- 24 Пат. 2145925 РФ, МПК⁷ В30В 9/16. Пресс для отжима растительного масла / В.А. Мельтюхов (UA). – №9810657/02; заявл. 08.04.1998; опубл. 27.02.2000.
- 25 Пат. 2642076 Российская Федерация, МПКС11В1/06Пресс для получения растительных масел / Копылов М.В.,Василенко В.Н.,Фролова Л.Н.,Михайлова Н.А.,Таркаева Д.А., заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Воронежский государственный университет инженерных технологий. – №264/2642076, заявл.06.02.2016, опубл. 24.01.2018, Бюл. №4.
- 26 Пат. 2430147 Российская Федерация, МПК С11В 1/06 Пресс для получения масла и текстурированных жмыхов / Остриков А.Н., Василенко Л.И., Копылов М.В., Татаренков Е.А.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Воронежская государственная технологическая академия. – № 2010116304/13, заявл. 23.04.2010, опубл. 27.09.2011, Бюл. № 27.
- 27 Пат. KZ (13) А4 (11) 22434 Мырзатаев Б., Маслопресс , 15.04.2010, Бюл. № 4.
- 28 Пат. 2296153Российская Федерация, МПК С11В 1/06 Пресс для получения пищевого растительного масла / Кретов И.Т., Соболев С.Н., заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Воронежская государственная технологическая академия.– №2005116656/13, заяв. 31.05.2005, опубл. 27.03.2007, Бюл. №9.
- 29 Пат. 2565024 Российская Федерация, МПК С11В 1/06. Маслопресс / О.В. Абрамов, Е.В. Сысоев, М.П. Копылов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПОВГУИТ. – №2014129337; заявл. 16.07.2015; опубл.10.10.2015; Бюл. №28.
- 30 Пат.2565024Российская Федерация, МПК С11В 1/06. Маслопресс / О.В. Абрамов, Е.В. Сысоев, М.П. Копылов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО ВГУИТ. – №2014129337; заявл. 16.07.2015; опубл.10.10.2015; Бюл. №28.
- 31 Гудзенко М.Н., Василенков В.Е., Анализ конструкций маслопрессов с дополнительной камерой измельчения исходного масличного сырья // Матер. междунар. науч. конф. «IntellectualPotentialOfTheXXICentury 2016», Технические науки - Техника в сельскохозяйственном производстве. – November, 2016 // <http://www.sworld.education/conference/year-conference-sw/the-content-of-conferences/archives-of-individual-conferences/nov-2016>. 01.05.2018.
- 32 Оборудование для жарки упаковки семечек // <http://cemechci.ru/category/masloekstrakcionnoe-proizvodstvo/>. 01.05.2018.
- 33 Иванов В.В. Совершенствование режимов работы дисковогоизмельчителя кормового зерна:дисс. ...канд.тех.наук:05.20.01. /Азово-Черноморский инженерный институт, Донской Государственный Аграрный Университет. - зерноград, 2014. – 132с.

- 34 Пат. 2511291 Российская Федерация, МПК В02С 9/00. дисковый измельчитель кормового зерна / Иванов В.В., Шварц С.А., Семенихин А.М., Гуриненко Л.А., Яценко В.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Азово- Черноморская государственная агроинженерная академия». –№ 2012142839/13, заявл. 08.10.2012, опубл. 10.04.2014, Бюл. № 10.
- 35 Франко Е.П., Назарько М.Д., Касьянов Г.И. Технология переработки дынного сырья // <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-pererabotki-dynnogo-syrja>. 01.05.2018.
- 36 Пат. 2197977 Российская Федерация, Масло семян тыквы, обладающее против-воспалительным, противоязвенным и гепатопротекторным действием и способ его получения. / Н.В.Дмитриенко , Н.В. Кузнецова.–2003, Бюл. № 29.
- 37 Пат. 2170027 Российская Федерация, МПК С11В1/04. Способ получения масла из семян тыквы с повышенным содержанием биологически активных веществ / Каренгина Т.В. Беляев В.И.; заявитель и патентообладатель ГУ Волгоградский научно-исследовательский технологический институт мясомолочного скотоводства и переработки продукции животноводства РАСХН –№ 2000110958/13, заявл. 28.04.2000, опубл.10.07.01., Бюл. № 23.
- 38 Пат. 2064485 Российская Федерация, МПК С11В1/08.Способ производства масла из семян тыквы для медицинских целей / Дмитриенко Н.В., Чернова Н.И. – заявл. 30.09.1994, опубл. 27.07.1996., Бюл.№8.
- 39 Пат. 2018514 Российская Федерация, МПК С11В 1/00. Способ получения масла из семян тыквы / Батищев В.И., Емцов В.И., Мкртчян А.Г., Чабан Л.Н.; заявитель и патентообладатель Чабан Л.Н, Мкртчян А.Г. – заявл.25.01.1993, опубл.30.08.1994, Бюл.№4.
- 40 Патент РФ №2441664 Российская Федерация, МПК С11В 1/02. Способ получения масла из семян тыквы и получение лекарственного средства с особыми свойствами для лечения печени / Михалев В.Ю.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью " Лаборатория - Евро". – № 2009102678/15, заявл. 14.01.2009, опубл. 20.07.2010, Бюл.№4.
- 41 Пат. 2445111 Российская Федерация, МПК А61К 36/42. Способ получения масла из семян тыквы, используемого в лечебных, пищевых и косметических целях и биологически активное средство / Михалев В.Ю., Михалева М.А.; заявитель и патентообладатель ЗАО НПО "Европа-Биофарм". – №2010129647/15, заявл. 15.07.2010, опубл.20.03.2012 , Бюл. № 8.
- 42 Касьянова Г.И., Деревенко В.В., Франко Е.П. Технология переработки плодов и семян бахчевых культур. – Краснодар: Экоинвест, 2010. – 108 с.
- 43 Васильевой А.Г., Касьянова Г.И., Деревенко В.В. Комплексное использование тыквы и ее семян в пищевых технологиях. – Краснодар: Экоинвест, 2010 . – С. 89.
- 44 Пат. 2179179 Российская Федерация, МПК С11В1/06. Способ получения масла семян бахчевых культур / Чабан Л.Н., Аксененко А.И., Транский М.Б., Шапилов Г.С., Пономарева Т.Д.; заявитель и патентообладатель Межфермерский научно-производственный кооператив "Фармаол",

- саратовский облпотребсоюз. – № 2000100844/13; заявл. 17.01.2000; опубл. 10.02.2002, Бюл № 10. – 6 с.
- 45 Пат. 2622705 Российская Федерация, МПК С11В1/04. Способ получения масла из семян голосеменной тыквы / Алёнкина И.Н., Деревенко В.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО "Кубанский государственный технологический университет" – № 2000100844/13; заявл. 17.01.2016; опубл. 19.06.2017, Бюл № 3. – 6 с.
- 46 Пат. 2018514 Российская Федерация, МПК С11В 1/00. Способ получения масла из семян тыквы / Батищев В.И., Емцов В.И., Мкртчян А.Г., Чабан Л.Н.; заявитель и патентообладатель Чабан Л.Н, Мкртчян А.Г. – заявл.25.01.1993, опубл.30.08.1994, Бюл.№4.
- 47 Пат. 2064485 Российская Федерация, МПК С11В1/08.Способ производства масла из семян тыквы для медицинских целей / Дмитриенко Н.В., Чернова Н.И. – заявл. 30.09.1994, опубл. 27.07.1996., Бюл.№8.
- 48 Грачев А.В. Совершенствование процесса селективной дезинтеграции семян масличных культур: дисс. ... канд.тех. наук:05.08.12. – Кемерово:КемТИПП,2014. – 169 с.
- 49 Крамарев Д.Ю. Разработка способа получения масла земляного миндаля методом прессования на одношнековом прессе: дисс. ... канд.тех.наук:05.08.12. – Воронеж: ВГУИТ, 2009. – 208с.
- 50 Иванова А.И. Винтообразное движение вязкой несжимаемой жидкости // Изв. АН СССР. ОТМ. – 1957. – № 12. – С. 46-50.
- 51 Бернхард Э. Переработка термопластичных материалов. – М.: Химия, 1965. – 747 с.
- 52 Мак-Келви Д.М. Переработка полимеров.–М.: Химия, 1965. – 442 с.
- 53 Шенкель Г. Шнековые прессы для пластмасс. – Л.: Госхимиздат, 1962. – 467 с.
- 54 Корнильев И.Б., Груздев И.Э. Гидродинамический анализ течения высоковязких пищевых масс в шнековом канале // Изв. вузов. Пищевая технология. – 1975. – № 4. – С. 104-107.
- 55 Тадмор З., Гогос К. Теоретические основы переработки полимеров. – М.: Химия, 1984. – 628 с.
- 56 Моделирование и оптимизация экструзии полимеров // Скачков В.В., Торнер Р.В., Стунгур Ю.В., Реутов С.В. – Л.: Химия, 1984. – 152 с.
- 57 Торнер Р.В. Теоретические основы переработки полимеров. – М.: Химия, 1977. – 462 с.
- 58 Руб Д.М. Исследование маслоотжимных шнековых прессов: автореф. ... дис. канд. тех. наук. – М., 1957. – 14с.
- 59 Чечевицин П.И. Теоретическое и экспериментальное исследование шнековых маслопрессов: автореф. ... дис. канд. техн. наук. – Воронеж, 1968. – 20 с.
- 60 Масликов В.А. Технологическое оборудование производства растительных масел. – М.: Пищепромиздат, 1974. – 439 с.

- 61 Иваненко А.В., Двалишвили Т.Ш. Создание давления прессования у входа в канал дожимного устройства // Изв. вузов. Пищеваятехнология. – 1982. – № 4. – С. 58-60.
- 62 Mori Y. On wakes behind a single aerofoil and cascade // Trans. Japan Soc. Mech. Eng. – 1969. – № 149. – P. 11-17.
- 63 Tomita Y. On the Fundamental Formula on Non-Newtonian Flow // Trans. Japan Soc. Mech. Eng. – 1969. – № 149. – P. 17-23.
- 64 Лубянецкая А.А. Чуфа? Чуфа! / А.А. Лубянецкая, А.С. Лубянецкий. - Воронеж, 2008. – С. 5.
- 65 Яковлев Д.А. Теоретические исследования процесса отжима сока шнековым рабочим органом с дополнительным дренирующим контуром // Вест. Дон. гос. техн. ун-та. – 2011. – Т. 11. – № 7. – С. 997–1004.
- 66 Яковлев Д.А. Рационализация шнекового рабочего органа для отжима сока из зеленых растений // Вест. Дон. гос. техн. ун-та. – 2010. – Т. 10. – № 4. – С. 556–559.
- 67 Петров И.А., Славнов Е.В. Моделирование шнек-прессового отжима как совокупности процессов течения вязкой несжимаемой смеси и фильтрации жидкости сквозь пористую среду // Вычислительная механика сплошных сред. – 2013. – Т. 6, № 3. – С. 277-285. – doi:10.7242/1999-6691/2013.6.3.31.
- 68 Меретуков З.А., Косачев В.С., Кошевой Е.П. Решение задачи нелинейной напоропроводности при отжиме // Известия вузов. Пищевая технология. – 2011. – Т. 323-324, № 5-6. – С. 62-64.
- 69 Меретуков З.А., Кошевой Е.П., Косачев В.С. Решение дифференциального уравнения отжима // Новые технологии. – 2011. – № 4. – С. 54–57.
- 70 Asgari A., Bagheripour M.H., Mollazadeh M.A. generalized analytical solution for a nonlinear infiltration equation using the exp-function method // Scientia Iranica. – 2011. – Vol. 18, iss. 1. – P. 28-35. – doi:10.1016/j.scient.2011.03.004.
- 71 Анфёров С.Д., Скульский О.И., Славнов Е.В. Модель экструзионного отжима масла из семян рапса // Вычислительная механика сплошных сред. – 2015. – Т. 8, № 2. – С. 144-152.
- 72 Мацук, Ю. П. Определение давления на жидкость со стороны деформируемых пор прессуемой мезги в ходе отжима в шнековых прессах // Труды ВНИИЖ. – 1970. – Вып. 19. – С. 103- 117.
- 73 Алымов, В.Т. Определение давления на жидкость со стороны деформируемых пор прессуемой мезги в ходе отжима в шнековых прессах / В.Т. Алымов, В. В. Белобородов // Труды ВНИИЖ. – 1970. – Вып. 27. – С. 90-98.
- 74 Деревенко В.В. Физико-механические характеристики семян дыни сорта «Амири» / В.В. Деревенко, Г.Х. Мирзоев, Е.А. Калиенко // Известия вузов. Пищевая технология. – 2013. – № 5-6. – С. 112-113.
- 75 J.E. Shellard, R.H. Macmillan, Aerodynamic properties of threshed wheat materials // Journal of Agricultural Engineering Research. – 1978. – № 23(3). – P. 273-281. – doi: 10.1016/0021-8634(78)90101-4.

- 75 Gorial B.Y., O'Callaghan J.R. Aerodynamic properties of grain/straw materials // *Journal of Agricultural Engineering Research*. – 1990. – № 46. – P. 275-290. - doi: 10.1016/S0021-8634(05)80132-5.
- 76 Okey F.O. Evaluation and Modeling of the Aerodynamic Characteristics of Watermelon Seed of Different Varieties // *International Journal of Food Properties*. 2016. – № 19. –P. 2165-2174. – doi: 10.1080/10942912.2015.1113181.
- 77 Остриков А.Н., Абрамов О.В., Калашников Г.Н., Вертяков Ф.Н. Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств: уч. для вузов.-2-е изд. перераб. и доп. – С-Пб.: Издательство Региональной ассоциации поддержки профобразования, 2008. – 546 с.
- 78 Antonova Z.A., Krouk V.S., Pilyuk Y.E., Maksimuk Y.V., Karpushenkava L.S., Krivova M.G. Exergy analysis of canola-based biodiesel production in Belarus // *Fuel Processing Technology*. – 2015. – Vol. 138. – P. 397-403. // <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.05.005>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378382015002052>). – 12.03.2018.
- 79 Ofori-Boateng C., Lee K.T., Lim J.K. Comparative exergy analyses of *Jatropha curcas* oil extraction methods: Solvent and mechanical extraction processes // *Energy Conversion and Management*. – 2012. – Vol. 55. – P. 164-171. // <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2011.11.005>. – 12.03.2018.
- 80 Бродянский В.М., Эксергетический анализ и его приложения/ В.М. Бродянский, В. Фратшер, К. Михалек. – М.: Энергоатомиздат, 1988 – 288 с.
- 81 Чубик И.А. Справочник по теплофизическим свойствам пищевых продуктов и полуфабрикатов/ И.А. Чубик, А.М. Маслов. – М.: Пищевая промышленность, 1970. – 184 с.
- 82 Кайрбаева А.Е. Ресурсосберегающее оборудование для получения растительных масел / Кайрбаева А.Е., Копылов М.В., Тайшибаева Э. // 2nd International Conference on Innovation Technical and Natural Sciences. – Vienna-Prague: Premier Publishing, 2018.–P. 20-29.
- 83 Сажин Б.С. Эксергетический метод в химической технологии / Б.С. Сажин, А.П. Булеков. – М.: Химия, 1992. – 208 с.
- 84 Гинзбург, А.С. Теплофизические характеристики пищевых продуктов / А.С. Гинзбург, М.А. Громов, Г.И. Красовская. – М.: Пищевая промышленность, 1980. – 290 с.
- 85 Процессы и аппараты пищевых производств. кн. 1 / А.Н. Остриков, Ю.В. Красовицкий, А.А. Шевцов и др.: под. Ред. А.Н. Острикова. – С-Пб.: ГИОРД, 2007. – 704 с.
- 86 Пономарев, А.В. Анализ термодинамической эффективности технологии комбикормов / А.В. Пономарев, А.А. Шевцов, Л.И. Лыткина // Матер. III междунар. науч.-тех. конф. «Инновационные технологии и оборудование для пищевой промышленности (приоритеты развития)». – Воронеж: ВГТА, 2009. – Т. 2. – С. 319-321.

- 87 Акаева Т.К., Петрова С.Н. Основы химии и технологии получения и переработки жиров. Ч.1. Технология получения растительных масел: учеб. пособие. – Иваново, 2007. – 124 с.
- 88 Мирзоев Г.Х. Разработка технологии получения растительного масла и высокопротеинового жмыха из семян дыни: дисс. ... канд. тех. наук: 05.18.06. – Краснодар: Кубан. гос. технол. ун-т, 2015. - 157 с.
- 89 Davies R.M. Engineering properties of three varieties of melon seed saspotentials for development of melon processing machines// Advance journal of food science and technology. – 2010. – Vol. 2(1). – P. 63-66.
- 90 Bande Y.M., Adam N.M., Azmi Y., Jamarei O. Determination of selected physical properties of Egusi melon (*Citrullus colocynthis lanatus*) seeds // Journal of basic & applied sciences. – 2012. – Vol. 8. – P. 257-265.
- 91 Джингилбаев С.С., Медведков Е.Б., Кайрбаева А.Е. Влияние температуры и усилия сжатия на параметры масличного сырья// Тезис докл. VII Междунар. науч.-тех. конф. «Казахстан-Холод 2017». – Алматы, 2017. – 285с.
- 92 Кайрбаева А.Е., Копылов М.В., Тайшибаева Э. Ресурсосберегающее оборудование для получения растительных масел // 2nd International Conference on Innovation Technical and Natural Sciences. – Vienna-Prague: Premier Publishing, 2018. – P.20-29 .
- 93 Koocheki A., Razavi S.M.A., Milani E., Moghadan T.M., Abedini M., Alamatyian S, Izadikhah S. Physical properties of watermelon seed as a function of moisture content and variety// Int. Agrophysics. – 2007. – Vol. 21. – P. 349-359.
- 94 Деревенко В.В. Физико-механические характеристики семян дыни сорта «Амири» / В.В. Деревенко, Г.Х. Мирзоев, Е.А. Калиенко // Известия вузов. Пищевая технология. – 2013. – №5-6. – С. 112-113.
- 95 Джингилбаев С.С., Медведков Е.Б., Кайрбаева А.Е. Исследование прочности плодовой оболочки семян дыни // Тезисы докл. Матер. междунар. науч.-практ. конф. «Инновационное развитие пищевой промышленности: от идеи до внедрения». – Алматы: АТУ, 2016. – С.247-249.
- 96 Кайрбаева А.Е., Василенко В.Н., Джингилбаев С.С., Тлевлесова Д.А., Копылов М.В. Исследования аэродинамических свойств семян дыни // Вестник КазНУ. – 2018. – № 2(126). – С. 413-419.
- 97 Джингилбаев С.С., Кайрбаева А.Е., Разак А.М. Разрушение масличных семян в процессе получения масла// Тезисы докл. Матер. междунар. науч.-практ. конф. «Инновационное развитие пищевой промышленности: от идеи до внедрения». – Алматы: АТУ, 2016. – С.145-146.
- 98 Кайрбаева А.Е., Фролова Л.Н., Василенко В.Н., Джингилбаев С.С. Определение рациональных параметров процесса прессования семян тыквы методами планирования эксперимента// Вестник государственного университета им. Шакарима. – 2018. – №4 (80). – С.19-22.
- 99 Василенко В.Н. Разработка теоретических и технологических основ комплексной переработки масличного сырья: монография / В.Н. Василенко, Л.Н. Фролова, И.В. Драган. – Воронеж: ВГУИТ, 2014. – 148 с.

- 101 Shittu S.K., Ndrika V.I.O. Development and performance tests of a melon (egusi) seed shelling machine // <http://www.cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/viewFile/2027/1553>. – 12.03.2018.
- 102 Amulu N.F., Amulu P.E., Mbah G.O., Ude C.N. Comparative Study of the Effects of Process Parameters on the Yield of Oil from Melon Seed (*Cococynthis citrullus*) and Coconut Fruit (*Cocos nucifera*) // <http://waet.org/author/patrick-e-amulu>. – 12.03.2018.
- 103 Addo A., Bart-Plange A. Kinetics of water sorption by egusi melon (*Cucumeropsis edulis*) seeds // *ARNP Journal of Agricultural and Biological Science*. – 2009. – Т. 4., № 6. – P. 14-17.
- 104 Василенко В.Н. Математическая модель движения сырья в шнековом канале маслопресса / В.Н. Василенко, М.В. Копылов, И.В. Драган, Л.Н. Фролова // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. Серия процессы и аппараты пищевых производств*. – 2013. – № 3. – С. 18-22.
- 105 Kairbayeva A., Vasilenko V., Dzinguilbayev S., Baibolova L., Frolova L. Development of the mathematical model for the process of oil raw materials pressing // *Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2017. – Vol.12. – Sp. iss. 6. – P. 7836-7842.
- 106 Shevtsov A.A., Vasilenko V.N., Evdokimov A.V. Control algorithm of the thermal applying drying plant for thermolabile materials // *Avtomatizatsiya i Sovremennye Tekhnologii*. – 2004. – № 7. – P. 26-28.
- 107 Shevtsov A.A., Vasilenko V.N., Drannikov A.V., Ivanov V.V. Control algorithm for drying plant with recirculation flows // *Avtomatizatsiya i Sovremennye Tekhnologii*. – 2005. – № 1. – P. 26-28.
- 108 Matsuk Yu. P. Opredelenie davleniya na zhidkost so storonyi deformiruemyyih por pressuemoi mezgi v hode otzhima v shnekovyih pressah // *Trudy VNIIZh*. – 1970. – Vyip. 19. – S. 103-117.
- 109 Tkachenko V.A. Modelirovanie protsessa otzhima mezgi maslichnyih semyan v shnekovyih pressah / V. A. Tkachenko, V. A. Didur, A. V. Tkachenko, V. V. Didur // *Trudy uchastnikov ezhegodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii, sotrudnikov i aspirantov Tavricheskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta 2011 g.* – Melitopol, 2011. – Vyip. 11. – Т. 2. – S. 3-14.
- 110 Копылов М.В. Совершенствование процесса холодного прессования растительных масличных культур с последующим купажированием: дисс. ... канд. тех. наук: 05.18.12. – Воронеж: ВГУИТ, 2013. – 210 с.
- 111 Isode S., Zuber F., Uemura K., Noguchi A. A New Twin-Screw Press Design for Oil Extraction of Dehulled Sunflower Seed. // *J. Amer. Oil. Soc.* – 1992. – Vol.69. – P. 880-886.
- 112 Василенко В.Н. Математическая модель движения сырья в шнековом канале маслопресса / В.Н. Василенко, М.В. Копылов, И.В. Драган, Л.Н. Фролова // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных*

- технологий. Серия процессы и аппараты пищевых производств. – 2013. – № 3. – С. 18-22.
- 113 Ward J.A. Pre-pressing of oil from rapeseed and sunflower. // J. Amer.Oil Chem. Soc. – 1984. – Vol. 61, № 8. – P. 1358-1361.
- 114 Wolf W.I. Progress and future utilization and nutrition // American Oil Chemists Society. – 1981. – Vol. 58, № 3. – P. 467-473.
- 115 Пат. 2827 РК. Конструкция шнека для прессующего оборудования / Кайрбаева А.Е., Копылов М.В., Еренова Б.Е., Тлевлесова Д.А.; опубл. 04.06.2018, Бюл. № 20. – 3 с.
- 116 Кайрбаева А.Е., Василенко В.Н., Фролова Л.Н., Михайлова Н.А., Джингилбаев С.С. Анализ кинетических закономерностей процесса прессования семян тыквы и дыни методом холодного прессования // Вестник Восточно-Казахстанского Государственного технического университета им. Д. Серикбаева. – 2018. – № 2 (80). – С.124-127.
- 117 Бродянский В.М. Эксергетический анализ и его приложения/ В.М. Бродянский, В. Фратшер, К. Михалек. – М.: Энергоатомиздат, 1988 – 288 с.
- 118 Сажин Б.С. Эксергетический метод в химической технологии / Б.С. Сажин, А.П. Булеков. – М.: Химия, 1992. – 208 с.
- 119 Кайрбаева А.Е., Джингилбаев С.С., Тлевлесова Д.А., Василенко В.Н. Эксергетический анализ технологии производства растительных масел из семян дыни//Вестник КазННТУ. –2018.–№3(127).–С.182-191.
- 120 Рузибаев А.Т., Ходжаев С.Ф., Арипов М.М. Исследование физико-химические показатели бахчевых культур, выращенные в Узбекистане и их масел // Universum: Технические науки. – 2017. – № 7(40). // <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/5003>. – 01.05.2018.

Приложение А

Қазақстан Республикасы
Білім және ғылым
министрлігі
Алматы технологиялық
университеті
Министерства образования и
науки Республика Казахстан
Алматынский
технологический
университет
050012 ул. № Толе би 100
тел. № 293-52-87,
293-52-89

« 08 » 12 2017
№ 04-07-166

АНЫҚТАМА СПРАВКА

Алматы технологиялық университеті
Алматынский технологический университет

Осы анықтама берілді
Настоящая справка дана Қайрбаевой Айнур Еркиновне, докторанту Алматынского технологического Университета

Ол шын мәнінде Алматы технологиялық университетінде 2017 жылы «Разработка высокоэффективной технологии комплексной переработки дыни с получением продуктов функционального назначения» тақырыбы бойынша ҒЗЖ жұмыс істеді.

В том, что он /а/ в 2017 году действительно работала в Алматыском технологическом университете в научно-исследовательском проекте «Разработка высокоэффективной технологии комплексной переработки дыни с получением продуктов функционального назначения»

Анықтама Диссертациялық кеңесте көрсету үшін берілді

Справка дана для предъявления в Диссертационный Совет

Ғылым басқармасы бастығы
Начальник Управления науки



Р.Б. Мухтарханова
Р.Б. Мухтарханова

Приложение Б

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по инновационной деятельности

ФГБОУ ВО «ВГУИТ»

С.Т. Антипов

«12» июня 2017 г.



АКТ

производственных испытаний опытного образца одношнекового маслопресса холодного отжима с предварительным измельчением и подогревом семян бахчевых культур

Мы, нижеподписавшиеся, сотрудники кафедры ТЖ ПАХПП совместно с докторантом кафедры МАПП Алматинского технологического университета Кайрбаевой А.Е. составили настоящий акт о том, что в лаборатории кафедры ТЖ ПАХПП ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» в период с 22 мая по 8 июня 2017 года была произведена сборка и апробация опытного образца одношнекового маслопресса холодного отжима с предварительным измельчением и подогревом семян бахчевых культур. Проведен запуск и испытание опытного образца маслопресса. Данная установка предназначена для подготовки семян к переработке и получения растительных масел методом холодного прессования.

Характеристика машины

Одношнековый маслопресс холодного отжима с предварительным измельчением и подогревом семян бахчевых культур относится к сельскохозяйственному машиностроению. Маслопресс снабжен измельчителем и глобулярным циклоном. Технические характеристики маслопресса приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Технические характеристики маслопресса

Наименование показателя	Значение показателя
Масса, кг, не более	160
Частота вращения шнека, с ⁻¹	1...16
Габаритные размеры, мм	
длина	720
ширина	420
высота	950
Номинальная мощность, кВт	5,5

Условия проведения испытаний и оценка качества работы

Масличное сырье влажностью 5,5-7,5 % для семян дыни и 8-10 % для семян тыквы подавали в измельчитель, где частицы фракции 2-3 мм попадают с помощью потока воздуха в глобулярный циклон. В глобулярном циклоне семена продуваются и нагреваются до температуры 50-55⁰С и с лужистостью для семян дыни – 20-30 %, для семян тыквы 10-12% попадают в маслопресс. После настройки всех параметров маслопресса, устанавливался рабочий режим с нормативными рабочими параметрами. Произведен отбор проб, полученного растительного масла, определена температура зерновой камеры для сохранения целебных компонентов в растительном масле.

Сборка и испытание проведены в соответствии с правилами ведения технологического процесса отжима растительного масла. Комиссия установила, что предъявленный опытный образец маслопресса соответствует требованиям 1-СКД и техническому заданию.

Результаты испытаний

1. Опытный образец одношнекового маслопресса холодного отжима с предварительным измельчением и подогревом семян бахчевых культур полностью удовлетворяет техническим условиям.
2. Производительность устройства составила 50 л/час.

Выводы и предложения

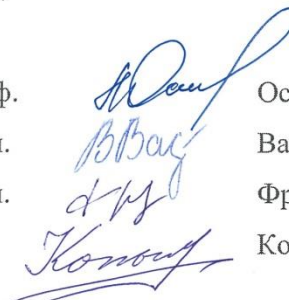
1. Устройство позволяет повысить производительность труда и обеспечивает холодный отжим с соблюдением технических условий.
2. Устройство рекомендуется для использования на малых предприятиях пищевой и перерабатывающей промышленности Казахстана

Комиссия в составе:

1. Василенко В.Н. – д.т.н., профессор кафедры ТЖ, ПАХПП ФГБОУ ВО «ВГУИТ»
2. Остриков А.Н. – зав. кафедрой ТЖ, ПАХПП ФГБОУ ВО «ВГУИТ», д.т.н., профессор
3. Фролова Л.Н. – д.т.н., профессор кафедры ТЖ, ПАХПП ФГБОУ ВО «ВГУИТ»
4. Копылов М.В. – к.т.н., доцент кафедры ТЖ, ПАХПП ФГБОУ ВО «ВГУИТ»
5. Кайрбаева А.Е. – докторант кафедры МАПП, АТУ

Представители ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»:

Зав. кафедрой ТЖ, ПАХПП, д.т.н., проф.
Профессор кафедры ТЖ, ПАХПП, д.т.н.
Профессор кафедры ТЖ, ПАХПП, д.т.н.
Доцент кафедры ТЖ, ПАХПП, к.т.н.



Остриков А.Н.
Василенко В.Н.
Фролова Л.Н.
Копылов М.В.

Представитель Алматинского технологического университета

Докторант кафедры МАПП АТУ



Кайрбаева А.Е.

« 12 » июня 2017 г.

Приложение В

Геометрические размеры семян

1. Прима	
<i>Ширина</i>	3.5 мм
<i>Длина</i>	10 мм
<i>Толщ.</i>	0.5 мм
<i>Вес</i>	0,04178
2. Азиатская овальная	
<i>Ширина</i>	4 мм
<i>Длина</i>	9 мм
<i>Толщ.</i>	0.4 мм
<i>Вес</i>	0,0475
3. Муза	
<i>Ширина</i>	4 мм
<i>Длина</i>	11 мм
<i>Толщ.</i>	0.5 мм
<i>Вес</i>	0,05885
4. Жансая	
<i>Ширина</i>	3 мм
<i>Длина</i>	10.5 мм
<i>Толщ.</i>	0.5 мм
<i>Вес</i>	0,04646
5. Алтыночка	
<i>Ширина</i>	4 мм
<i>Длина</i>	9 мм
<i>Толщ.</i>	0.2 мм
<i>Вес</i>	0,046822
6. Торпеда	
<i>Ширина</i>	4 мм
<i>Длина</i>	11 мм
<i>Толщ.</i>	0.2 мм
<i>Вес</i>	0,05058
7. Медуница	
<i>Ширина</i>	3.5 мм
<i>Длина</i>	10 мм
<i>Толщ.</i>	0.2 мм
<i>Вес</i>	0,04659

Приложение Г

Протоколы испытаний



АО «Алматинский технологический университет»
Научно-исследовательская лаборатория по оценке качества и безопасности
продовольственных продуктов
050061, г. Алматы, ул. Фурката 348/4, тел. (8727)2774743,
e-mail: food_safety@mail.ru.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 1692 от «27» сентября 2016 г.

Наименование продукции: **Семена дыни (свежие)**

Регистрационный номер: **1692**

Дата поступления образца: **21.09.2016 г.**

Основание для испытаний (акт отбора и пр.): **Заявка**

Заявитель: **Кайрбаева А.Е.**

Изготовитель (страна, фирма, предприятие):

Вид испытаний: **Контрольный**

Дата изготовления:

Срок годности:

Дата начала и окончания испытаний: **21.09.2016 г. - 27.09.2016 г.**

Обозначение НД на продукцию:

Условия проведения испытания: температура – **24⁰С**, влажность – **74 %**.

Наименование показателей, единицы измерения	Норма по НД	Фактические результаты	НД на методы испытаний
1	2	3	4
Физико-химические показатели:			
- Массовая доля жира, %		28,58	ГОСТ 10857-64
- Массовая доля влаги, %		55,38	ГОСТ 10856-96



Директор НИИ ПБ
Зав. НИЛОКиБПП
Исполнители:

А.К. Козыбаев
Н. Жексенбай
Г.Т. Дарибаева
Козыбаев А.К.
Жексенбай Н.
Дарибаева Г.Т.

Протокол испытаний распространяется только на образец, подвергнутый испытаниям.
Частичная или полная перепечатка протокола испытаний без разрешения Научно-исследовательской лаборатории по оценке качества и безопасности продовольственных продуктов запрещена.



АО «Алматинский технологический университет»
Научно-исследовательская лаборатория по оценке качества и безопасности
продовольственных продуктов
050061, г. Алматы, ул. Фурката 348/4, тел. (8727)2774743,
e-mail: food_safety@mail.ru.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 1690 от «27» сентября 2016 г.

Наименование продукции: **Кожура семян дыни (свежие)**
Регистрационный номер: **1690**
Дата поступления образца: **21.09.2016 г.**
Основание для испытаний (акт отбора и пр.): **Заявка**
Заявитель: **Кайрбаева А.Е.**
Изготовитель (страна, фирма, предприятие):
Вид испытаний: **Контрольный**
Дата изготовления:
Срок годности:
Дата начала и окончания испытаний: **21.09.2016 г. - 27.09.2016 г.**
Обозначение НД на продукцию:
Условия проведения испытания: температура – 24 °С, влажность – 74 %.

Наименование показателей, единицы измерения	Норма по НД	Фактические результаты	НД на методы испытаний
1	2	3	4
Физико-химические показатели: - Массовая доля жира, % - Массовая доля влаги, %		0,30 39,16	ГОСТ 10857-64 ГОСТ 10856-96



Директор НИИ ПБ _____ Козыбаев А.К.
Зав. НИЛОКиБПП _____ Жексенбай Н.
Исполнители: _____ Дарибаева Г.Т.

Протокол испытаний распространяется только на образец, подвергнутый испытаниям.
Частичная или полная перепечатка протокола испытаний без разрешения Научно-исследовательской лаборатории по оценке качества и безопасности продовольственных продуктов запрещена.



АО «Алматинский технологический университет»
Научно-исследовательская лаборатория по оценке качества и безопасности
продовольственных продуктов
050061, г. Алматы, ул. Фурката 348/4, тел. (8727)2774743,
e-mail: food_safety@mail.ru.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 1691 от «27» сентября 2016 г.

Наименование продукции: **Ядро семян дыни (свежие)**
Регистрационный номер: **1691**
Дата поступления образца: **21.09.2016 г.**
Основание для испытаний (акт отбора и пр.): **Заявка**
Заявитель: **Кайрбаева А.Е.**
Изготовитель (страна, фирма, предприятие):
Вид испытаний: **Контрольный**
Дата изготовления:
Срок годности:
Дата начала и окончания испытаний: **21.09.2016 г. - 27.09.2016 г.**
Обозначение НД на продукцию:
Условия проведения испытания: температура – 24 °С, влажность – 74 %.

Наименование показателей, единицы измерения	Норма по НД	Фактические результаты	НД на методы испытаний
1	2	3	4
Физико-химические показатели: - Массовая доля жира, % - Массовая доля влаги, %		41,31 22,02	ГОСТ 10857-64 ГОСТ 10856-96



Директор НИИ ПБ _____ Козыбаев А.К.
Зав. НИЛОКиБПП _____ Жексенбай Н.
Исполнители: _____ Дарибаева Г.Т.

Протокол испытаний распространяется только на образец, подвергнутый испытаниям.
Частичная или полная перепечатка протокола испытаний без разрешения Научно-исследовательской лаборатории
по оценке качества и безопасности продовольственных продуктов запрещена.

Приложение Д Математический анализ по лужге

Если связь между переменными в естественном масштабе линейная, то изменение начала отсчета и единицы измерения этого свойства не нарушат, так что и стандартизованные переменные будут связаны линейным соотношением:

$$t_y = \sum \beta_j t_{xj}$$

Для оценки β -коэффициентов применим МНК. При этом система нормальных уравнений будет иметь вид:

$$r_{x_1y} = \beta_1 + r_{x_1x_2} \cdot \beta_2 + \dots + r_{x_1x_m} \cdot \beta_m \quad r_{x_2y} = r_{x_2x_1} \cdot \beta_1 + \beta_2 + \dots + r_{x_2x_m} \cdot \beta_m \dots r_{x_my} = r_{x_mx_1} \cdot \beta_1 + r_{x_mx_2} \cdot \beta_2 + \dots + \beta_m$$

Для наших данных (берем из матрицы парных коэффициентов корреляции):

$$0.0212 = \beta_1 + 0.438\beta_2 - 0.0919 = 0.438\beta_1 + \beta_2$$

Данную систему линейных уравнений решаем методом Гаусса: $\beta_1 = 0.0761$; $\beta_2 = -0.125$;

Искомое уравнение в стандартизованном масштабе: $t_y = \beta_1 t_{x1} + \beta_2 t_{x2}$

Расчет β -коэффициентов можно выполнить и по формулам:

$$\beta_1 = \frac{r_{yx1} - r_{yx2}r_{x1x2}}{1 - r_{x1x2}^2} = \frac{0.0212 - (-0.0919) \cdot 0.438}{1 - 0.438^2} = 0.0761$$

$$\beta_2 = \frac{r_{yx2} - r_{yx1}r_{x1x2}}{1 - r_{x1x2}^2} = \frac{-0.0919 - 0.0212 \cdot 0.438}{1 - 0.438^2} = -0.125$$

Анализ параметров уравнения регрессии.

Перейдем к статистическому анализу полученного уравнения регрессии: проверке значимости уравнения и его коэффициентов, исследованию абсолютных и относительных ошибок аппроксимации.

Для несмещенной оценки дисперсии сделаем следующие вычисления:

Найдем оценку ковариационной матрицы вектора $k = S^2 \cdot (X^T X)^{-1}$

	1	-	-	28	-	-
	,098	0,0539	0,0411	63,855	140,5	107,221
	-	0	-	-	2	-
$k(x)$	0,0539	,008	0,00376	140,499	0,861	9,814
2608.18	-	-	0	-	-	2
	0,0411	0,00376	,00922	107,221	9,814	4,059

Несмещенная ошибка $\varepsilon = Y - Y(x) = Y - X*s$ (абсолютная ошибка аппроксимации)

	Y(x)	$\varepsilon = Y - Y(x)$	ε^2	$(Y - Y_{cp})^2$	$ \varepsilon : Y $
	43.222	-43.222	1868.154	1961.224	
0	40.777	-10.777	116.139	204.082	0.359
00	46.001	53.999	2915.894	3104.082	0.54
0	36.413	-6.413	41.129	204.082	0.214
	51.53	-51.53	2655.348	1961.224	0
0	45.083	4.917	24.175	32.653	0.0983
00	46.973	53.027	2811.886	3104.082	0.53
			10432.725	10571.429	1.742

Дисперсии параметров модели определяются соотношением $S^2_i = K_{ii}$, т.е. это элементы, лежащие на главной диагонали $S_{b0} = \sqrt{2863.855} = 53.515$

$$S_{b1} = \sqrt{20.861} = 4.567$$

$$S_{b2} = \sqrt{24.059} = 4.905$$

Показатели тесноты связи факторов с результатом. Если факторные признаки различны по своей сущности и (или) имеют различные единицы измерения, то коэффициенты регрессии b_i при разных факторах являются несопоставимыми. Поэтому уравнение регрессии дополняют соизмеримыми показателями тесноты связи фактора с результатом, позволяющими ранжировать факторы по силе влияния на результат. К таким показателям тесноты связи относят: частные коэффициенты эластичности, β -коэффициенты, частные коэффициенты корреляции. Частные коэффициенты эластичности.

С целью расширения возможностей содержательного анализа модели регрессии используются частные коэффициенты эластичности, которые

определяются по формуле: $E_i = b_i \frac{\bar{x}_i}{\bar{y}}$ Частный коэффициент эластичности

показывает, насколько процентов в среднем изменяется признак-результат у с увеличением признака-фактора x_j на 1% от своего среднего уровня при фиксированном положении других факторов модели.

$$E_1 = 0.629 \frac{10.929}{44.29} = 0.155$$

Частный коэффициент эластичности $|E_1| < 1$. Следовательно, его влияние на результативный признак Y незначительно.

$$E_2 = -1.112 \frac{8.914}{44.29} = -0.224$$

Частный коэффициент эластичности $|E_2| < 1$. Следовательно, его влияние на результативный признак Y незначительно. Стандартизированные частные коэффициенты регрессии. Стандартизированные частные коэффициенты регрессии - β -коэффициенты (β_j) показывают, на какую часть своего среднего квадратического отклонения $S(y)$ изменится признак-результат у с изменением соответствующего фактора x_j на величину своего среднего квадратического отклонения (S_{x_j}) при неизменном влиянии прочих факторов (входящих в уравнение). По максимальному β_j можно судить, какой фактор сильнее влияет на результат Y . По коэффициентам эластичности и β -коэффициентам могут быть сделаны противоположные выводы. Причины этого: а) вариация одного фактора очень велика; б) разнонаправленное воздействие факторов на результат. Коэффициент β_j может также интерпретироваться как показатель прямого (непосредственного) влияния j -ого фактора (x_j) на результат (y). Во множественной регрессии j -ый фактор оказывает не только прямое, но и косвенное (опосредованное) влияние на результат (т.е. влияние через другие факторы модели). Косвенное влияние измеряется величиной: $\sum \beta_i r_{x_j, x_i}$, где m - число факторов в модели. Полное влияние j -ого фактора на результат равно сумме прямого и косвенного влияний измеряет коэффициент линейной парной корреляции данного фактора и результата - $r_{x_j, y}$. Так для нашего примера непосредственное влияние фактора x_1 на результат Y в уравнении регрессии измеряется β_1 и составляет 0.0761; косвенное (опосредованное) влияние данного фактора на результат определяется как:

$$r_{x_1 x_2} \beta_2 = 0.438 * (-0.125) = -0.05485$$

Сравнительная оценка влияния анализируемых факторов на результативный признак. Сравнительная оценка влияния анализируемых факторов на результативный признак производится:

- средним коэффициентом эластичности, показывающим на сколько процентов в среднем по совокупности изменится результат у от своей средней величины при изменении фактора x_j на 1% от своего среднего значения;

- коэффициенты, показывающие, что, если величина фактора изменится на одно среднее квадратическое отклонение S_{x_i} , то значение результативного признака изменится в среднем на β своего среднее квадратическое отклонения;

- долю каждого фактора в общей вариации результативного признака определяют коэффициенты отдельной детерминации (отдельного определения):

$$d^2_i = r_{y x_i}^2 \beta_i^2$$

$$d^2_1 = 0.0212 \cdot 0.0761 = 0.00161$$

$$d^2_2 = -0.0919 \cdot (-0.125) = 0.0115$$

Целесообразность включения в модель регрессии факторов x_2 после введения x_j (F_{x_2}). Определим наблюдаемое значение частного F-критерия:

$$F_{x_2} = \frac{0.01312 - 0.00045}{1 - 0.01312} (7 - 3 - 1) = 0.0514$$

$R^2(x_1, x_n) = r^2(x_1) = 0.02122^2 = 0.00045$ Сравним наблюдаемое значение частного F-критерия с критическим: $F_{x_2} < 7.71$, следовательно, фактор x_2 не целесообразно включать в модель после введения фактора x_1 .

Выводы.

В результате расчетов было получено уравнение множественной регрессии: $Y = 47.3221 + 0.6288X_1 - 1.1115X_2$. Возможна экономическая интерпретация параметров модели: увеличение X_1 на 1 ед.изм. приводит к увеличению Y в среднем на 0.629 ед.изм.; увеличение X_2 на 1 ед.изм. приводит к уменьшению Y в среднем на 1.112 ед.изм. По максимальному коэффициенту $\beta_1 = 0.0761$ делаем вывод, что наибольшее влияние на результат Y оказывает фактор X_1 . Статистическая значимость уравнения проверена с помощью коэффициента детерминации и критерия Фишера. Установлено, что в исследуемой ситуации 1.31% общей вариабельности Y объясняется изменением факторов X_j . Установлено также, что параметры модели статистически значимы.

Приложение Е

Инженерный расчет маслопресса

Расчет шнека для семян тыквы:

Определяем шаг шнека H , м, и диаметр вала шнека d , м:

$$H=K \cdot D=0,75 \cdot 0,1=0,075\text{м} \quad (1)$$

$$d=K_1 \cdot D=0,33 \cdot 0,1=0,033\text{м} \quad (2)$$

где коэффициенты $K=0,7 \dots 0,8$; $K_1=0,25 \dots 0,4$.

Угол подъема винтовой линии шнека на периферии, α_D , рад

$$\alpha_D=\arctg[H/(\pi D)] =\arctg[0,075/(3,14 \cdot 0,1)]=0,2344\text{рад} \quad (3)$$

Угол подъема винтовой линии шнека у вала, α_d , рад

$$\alpha_d=\arctg[H/(\pi d)] =\arctg[0,075/(3,14 \cdot 0,033)]=0,6193\text{рад} \quad (4)$$

С достаточной для инженерных расчетов точностью принимаем среднеарифметический угол подъема винтовой линии α_{cp} , рад

$$\alpha_{cp}=0,5(\alpha_D+\alpha_d) =0,5(0,2344+0,6193)=0,42685\text{рад}=24,45^\circ \quad (5)$$

Суммарное осевое усилие S и крутящий момент $M_{кр}$ при известном p_{max} рассчитывается:

$$S=0,39z(D^2-d^2) p_{max}=0,39 \cdot 2(0,1^2-0,033^2) 0,3 \cdot 10^6=2085\text{Па} \quad (6)$$

$$M_{кр}=0,13z(D^3-d^3) p_{max}\text{tg}\alpha=0,13 \cdot 2(0,1^3-0,033^3) 0,3 \cdot 10^6\text{tg}24,45= \\ =34,19\text{Н}\cdot\text{м} \quad (7)$$

где z – число рабочих витков шнека ($z=2$).

Зная S и $M_{кр}$, находим соответствующие им нормальное напряжение:

$$\sigma_{сж}=S/F=2085/8,55 \cdot 10^{-4}=2438981,5\text{Па} \quad (8)$$

где F – площадь поперечного сечения вала шнека

$$F=(\pi d^2)/4=(3,14 \cdot 0,033^2)/4=8,55 \cdot 10^{-4}\text{м}^2 \quad (9)$$

и касательное напряжение:

$$\tau = M_{кр} / W_p = 34,19 / 7,187 \cdot 10^{-6} = 4756935,7 \text{ Па} \quad (10)$$

где W_p – полярный момент сопротивления сечения вала:

$$W_p \approx 0,2 d^3 \approx 0,2 \cdot 0,033^3 = 7,187 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \quad (11)$$

Эквивалентное напряжение определяют по теории наибольших касательных напряжений:

$$\sigma_{экр} = \sqrt{\sigma_{сж}^2 + 4\tau^2} \quad (12)$$

$$\sigma_{экр} = \sqrt{2438981,5^2 + 4 \cdot 4756935,7^2} = 9821526,3 \text{ Па}$$

Проверим условие прочности вала шнека:

$$\sigma_{экр} \leq [\sigma] \quad (13)$$

$9821526,3 \text{ Па} \leq [160 \cdot 10^6 \text{ Па}]$ - условие выполняется.

Принимаем что вал шнека изготовлен из стали 12Х18Н10Т, для которой $[\sigma] = 160 \cdot 10^6 \text{ Па} = 180 \text{ МПа}$.

Радиальные и окружные напряжения:

$$\sigma_r = \pm \frac{6M_r}{\delta^2} = \pm \frac{6 \cdot 52,16}{0,0062^2} = \pm 8,13 \cdot 10^6 \text{ Па} \quad (14)$$

$$\sigma_t = \pm \frac{6M_t}{\delta^2} = \pm \frac{6 \cdot 14,6}{0,0062^2} = \pm 2,28 \cdot 10^6 \text{ Па} \quad (15)$$

где M_r – радиальный изгибающий момент:

$$M_r = \frac{p_{\max} R^2}{8} \cdot \frac{1 + 3\mu - \rho^4(1 - \mu) - 4\rho^2\mu - 4(1 + \mu) \ln 1/\rho}{1 + \mu + \rho^2(1 - \mu)} \quad (16)$$

$$M_r = \frac{300000 \cdot 0,05^2}{8} \cdot \frac{1 + 3 \cdot 0,28 - 0,33^4(1 - 0,28) - 4 \cdot 0,33^2 \cdot 0,28 - 4(1 + 0,28) \ln 1/0,33}{1 + 0,28 + 0,33^2(1 - 0,28)} = -52,16 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где μ – коэффициент Пуассона; $\mu = 0,28$; $\rho = r/R = 0,0165/0,05 = 0,33$; r и R – соответственно внутренний и наружный радиусы шнека.

Наибольший изгибающий момент в витке шнека:

$$M_{и} = \frac{p_{\max} D}{32} \frac{1,9 - 0,7a^{-4} - 1,2a^{-2} - 5,2 \ln a}{1,3 + 0,7a^{-2}} \quad (20)$$

$$M_{и} = \frac{300000 \cdot 0,1}{32} \frac{1,9 - 0,7 \cdot 3,03^{-4} - 1,2 \cdot 3,03^{-2} - 5,2 \ln 3,03}{1,3 + 0,7 \cdot 3,03^{-2}} = 937,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где $a=D/d=0,1/0,033=3,03$

Эквивалентное напряжение:

$$\sigma_{\text{экв}} = \pm \frac{6M_u}{\delta^2} = \pm \frac{6 \cdot 937,5}{0,0062^2} = 146,33 \cdot 10^3 \text{ Па} \quad (21)$$

Проверяем условие прочности витков шнека:

$$\sigma_{\text{экв}} > \sigma_r \text{ и } \sigma_{\text{экв}} > \sigma_t \quad (22)$$

$$146,33 \cdot 10^6 > 8,13 \cdot 10^6 \text{ и } 146,33 \cdot 10^6 > 2,28 \cdot 10^6$$

Толщина витка шнека:

$$\delta = \sqrt{\frac{6M_u}{[\sigma]_u}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 937,5}{145000000}} = 0,0062 \text{ м} \quad (23)$$

где $[\sigma]_u$ – допускаемое напряжение материала витка шнека при изгибе, Па.
 $[\sigma]_u = 145$ МПа – для стали 20.

Задаемся числом витков: $z=6$.

Длина шнека:

$$L_{\text{шн}} = z \cdot H = 6 \cdot 0,075 = 0,45 \text{ м} \quad (25)$$

где z – число витков.

Угловая частота вращения шнека для семян тыквы:

$$\omega = \frac{\Pi}{0,125(D^2 - d^2)(H - \delta)(1 - K_0)\rho\psi} \quad (26)$$

$$\omega = \frac{0,15}{0,125(0,1^2 - 0,033^2)(0,075 - 0,0062)(1 - 0,4)720 \cdot 1} = 4 \text{ с}^{-1}$$

где Π – производительность, кг/с; ρ – плотность прессуемого материала, кг/м³;
 ψ – коэффициент подачи, учитывающий степень заполнения межвиткового пространства, $\psi=1$; K_0 – коэффициент отставания транспортируемого материала:

$$\begin{aligned} K_0 &= 1 - [\cos^2 \alpha_{\text{сп}} - 0,5f \sin(2 \alpha_{\text{сп}})] = \\ &= 1 - [\cos^2 24,45^\circ - 0,5 \cdot 0,6 \cdot \sin(2 \cdot 24,45^\circ)] = 0,4 \end{aligned} \quad (27)$$

где $f=0,6$ коэффициент внутреннего трения.

Определение мощности привода:

$$N = 10^{-3} M_{\text{кр}} \omega / \eta = 10^{-3} \cdot 34,19 \cdot 4 / 0,65 = 0,21 \text{ кВт} \quad (28)$$

где η – КПД привода, $\eta \approx 0,65$.

По частоте вращения и мощности выбираем электродвигатель: АИР 71 В8 (0,25 кВт; 750 об/мин)

Расчет шнека для семян дыни:

Угловая частота вращения шнека для семян дыни:

$$\omega = \frac{\Pi}{0,125(D^2 - d^2)(H - \delta)(1 - K_0)\rho\psi} \quad (26)$$

$$\omega = \frac{0,15}{0,125(0,1^2 - 0,033^2)(0,075 - 0,0062)(1 - 0,4)924 \cdot 1} = 3,5c^{-1}$$

где Π – производительность, кг/с; ρ – плотность прессуемого материала, кг/м³; ψ – коэффициент подачи, учитывающий степень заполнения межвиткового пространства, $\psi=1$; K_0 – коэффициент отставания транспортируемого материала:

$$\begin{aligned} K_0 &= 1 - [\cos^2\alpha_{cp} - 0,5f\sin(2\alpha_{cp})] = \\ &= 1 - [\cos^2 24,45^\circ - 0,5 \cdot 0,6 \cdot \sin(2 \cdot 24,45^\circ)] = 0,4 \end{aligned} \quad (27)$$

где $f=0,6$ коэффициент внутреннего трения.

Определение мощности привода:

$$N = 10^{-3} M_{кр} \omega / \eta = 10^{-3} \cdot 34,19 \cdot 3,5 / 0,65 = 0,18 \text{ кВт} \quad (28)$$

где η – КПД привода, $\eta \approx 0,65$.

По частоте вращения и мощности выбираем электродвигатель: АИР 71 В8 (0,25 кВт; 750 об/мин).