

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии PhD по специальности 6D072400-Технологические машины и оборудование

Кайрбаевой Айнуры Еркиновны

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

Актуальность диссертационного исследования. В Республике Казахстан с каждым годом увеличивается посевная площадь бахчевых культур, только в 2016 году было выделено 86,8 тысяч гектаров. В связи с этим с каждым годом повышается урожайность бахчевых культур и растет спрос на переработку растительного сырья.

По официальным 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 же, за 5 лет производство дынь и тыквы в республике выросло более чем в полтора раза. 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.га.

Актуальной проблемой является механизация и автоматизация переработки данного растительного сырья. В связи со сложностью первичной переработки данных культур, механизация переработки минимальна. В Республике Казахстан семена данных культур используют только в агротехнике как посевной материал.

Масло из семян дыни и тыквы – это дорогостоящий лечебный продукт. Масло из семян бахчевых культур используют в фармацевтических, косметических, пищевых целях. Тыквенное и дынное масла обладают гепатопротекторным (защищающим печень), противовоспалительным, заживляющим, противоязвенным и антиаллергическим действием. Нормализует деятельность предстательной железы, перистальтику кишечника, желчного пузыря, что важно для профилактики желчнокаменной болезни.

Анализ существующих технических средств для получения растительных масел показал, что они предназначены для крупных производств, энергозатратны, имеют сложную технологию, используют большое количество оборудования. Так как в Казахстане бахчеводством занимаются фермерские хозяйства, требуется малогабаритное многофункциональное оборудование. Применение такого оборудования позволит снизить транспортные затраты и обеспечить повышение рентабельности производства.

Все вышесказанное определяет актуальность создания эффективного оборудования для производства растительного масла, не менее актуальным

будет проектирование малогабаритного оборудования для производства растительного масла из семян бахчевых культур.

Работа выполнена в рамках госбюджетной программы 055 в 2015-2017гг. «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.

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

Цель работы: создание конструкции маслопресса для семян бахчевых культур, обеспечивающего повышение качества масла методом холодного отжима.

Для реализации поставленной цели 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.

Научная новизна исследования заключается в том, что:

– 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 отжима;

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

– установлены основные параметры процесса прессования (скорость прессования, модуль прессуемости, температура и давление в шнеке) в шнековом прессе;

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

Теоретическая значимость исследования заключается в том, что на основе теоретических и экспериментальных исследований закономерностей процесса холодного прессования семян бахчевых культур, в широком диапазоне изменения режимных параметров научно обоснована методология расчета маслопресса для извлечения масла из семян масличных культур методом холодного отжима.

Практическая ценность. 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 и 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.

Разработаны методики расчета оптимальных конструктивных параметров маслопресса для извлечения масла из семян масличных культур.

Публикации по теме исследования. По теме диссертации опубликовано 16 статей, из них 7 статей в материалах международных конференций, 1 статья в журнале индексируемом в базе Scopus, 4 статьи в журналах, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК, получено 2 патента РК на полезную модель. Содержание статей охватывает основное содержание диссертации.

Во введении дана оценка современного состояния решаемой научной проблемы, приведены основания и исходные данные для разработки темы, обоснования необходимости проведения научно-исследовательской работы, актуальность и новизна темы. Приводится связь данной работы с другими научно-исследовательскими работами, цель, объект и предмет, задачи исследования, методологическая база, положения, выносимые на защиту, практическая ценность и апробация практических результатов.

В первом разделе дано современное состояние решения проблемы ресурсосберегающих технологии в переработке семян бахчевых культур. При этом проведен обзор оборудования для обработки, подготовки к переработке семян бахчевых культур, анализ существующих методов и технологий

отжима растительного масла из семян бахчевых культур и осуществлена постановка задач исследований.

Во втором разделе приведены существующие методики определения физико-механических свойств семян дыни и тыквы разных сортов, экспериментальных исследований процессов протекающих при отжиме растительного масла, химического анализа семян и растительного масла с использованием приборов научно-исследовательской лаборатории по оценке качества и безопасности продовольственных продуктов АО «Алматинский технологический университет».

В третьем разделе установлено, что выход масла зависит от лужистости и влажности, где наибольшую роль играет лужистость семян. Определены рациональные диапазоны лужистости для семян тыквы и дыни. Так же определены зависимости выхода масла от влажности и давления в камере шнека. Давление определялось на стенде через датчик давления, встроенный в маслопресс.

Определены зависимости влияния частоты вращения шнека, начальной влажности сырья, лужистости, температуры мятки на удельные энергозатраты в процессе прессования на остаточную маслячность жмыха.

Определены коэффициенты регрессионных уравнений. Показатель R^2 для всех уравнений близок к единице, что свидетельствует о высокой степени достоверности уравнений.

Определено, что давление на выходе из зоны нагнетания определяет количество «свободного» масла в сырье, которое будет являться одним из исходных параметров при математическом описании процесса фильтрации.

Зависимость для распределения «свободного» масла вдоль зерной камеры:

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

Концентрация продукта в мятке на выходе из зоны фильтрации составляет:

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

Определена концентрация отфильтрованного масла в любой точке зерной камеры:

$$\tilde{N}_\delta(z) = C_0 \cdot \left(1 - \frac{e^{-\frac{k \cdot P_f}{\mu \cdot h^2 \cdot V_{zcp} \cdot a} \cdot az}}{e^{-\frac{k \cdot P_f}{\mu \cdot h^2 \cdot V_{zcp} \cdot a}}} \right) \quad (3)$$

При этом, среднее значение концентрации отфильтрованного масла составит:

$$\tilde{N}_\delta = \tilde{N}_0 \left\{ 1 - \frac{e^{-\frac{K \cdot P_f}{\mu \cdot h^2 V_{зсп} \cdot a}}}{L_f \cdot a} \cdot \left[\tilde{A} \left(0, \frac{K \cdot P_f}{\mu \cdot h^2 \cdot V_{зсп} \cdot a} \right) - \tilde{A} \left(0, \frac{\hat{E} \cdot P_K}{\mu \cdot h^2 \cdot V_{зсп} \cdot a} \right) \right] \right\} \quad (4)$$

На основании выведенных уравнений была определена рабочая формула для расчета производительности шнекового пресса:

$$\tilde{N}_i = \frac{K \cdot (P_K - P_f)}{\mu \cdot h \cdot a} \cdot b \cdot \tilde{N}_0 \left\{ 1 - \frac{e^{-\frac{K \cdot P_f}{\mu \cdot h^2 V_{зсп} \cdot a}}}{L_f \cdot a} \cdot \left[\tilde{A} \left(0, \frac{K \cdot P_f}{\mu \cdot h^2 \cdot V_{зсп} \cdot a} \right) - \tilde{A} \left(0, \frac{\hat{E} \cdot P_K}{\mu \cdot h^2 \cdot V_{зсп} \cdot a} \right) \right] \right\} \quad (5)$$

Для проверки работоспособности 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, характерный для течения ньютоновской жидкости между двумя параллельными пластинами, одна из которых неподвижна, а другая движется в собственной плоскости с постоянной скоростью (течение Куэтта).

Таким образом сделан вывод, что при входе в маслопресс семена дыни должны быть влажностью от 7-11% и температурой от 50-55 °С, что обеспечивает максимальный выход масла, а при температуре ниже 60 °С полезные вещества в масле сохраняются, при температуре ниже 50 °С не разрушается клеточная структура. Для семян тыквы на входе температура составляет от 55-60 °С, а 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.

В четвертом разделе обоснована конструкция экспериментальной установки, изучена кинетика процесса прессования.

Приведена конструкция шнека и расчет маслопресса. Использование конструкции шнека позволит менять только винтовую навивку при износе витков, не затрачивая средства на переточку всего шнека и подбирать оптимальную толщину витков для широкого диапазона прессуемого сырья.

Изучены кинетика процесса прессования, установлено, что зазор между пластинами в зерной камере должен составлять 0,15...0,3 мм. Обработка экспериментальных данных позволила получить следующее уравнение для определения кислотного числа получаемого растительного масла:

$$K.ч. = 0,31 e^{-0,05M} + K.ч.0 \quad (6)$$

Получено достоверное и адекватное уравнение регрессии, характеризующее наиболее полно процесс прессования:

$$y = 27,9 - 0,1x_1 - 1,94x_2 - 0,89x_3 - 0,75x_1x_2 - 1,25x_1x_3 + 0,42x_2x_3 - 0,67x_1^2 - 2,5x_2^2 - x_3^2 \quad (7)$$

Расчет маслопресса проведен в системе «Маслопресс», предназначенной для расчета конструктивных параметров маслопресса и проектировании технологических линий для растительного масла.

В пятом разделе рассматривается совершенство энергетических потоков процесса отжима растительного масла из семян бахчевых культур методом эксергетического анализа. Для изыскания путей повышения энергоэффективности теплотехнологических систем использован эксергетический метод термодинамического анализа. Задачей является оценка степени термодинамического совершенства системы в целом и выявление этапов, на которых имеются основные потери эксергии. В работе рассмотрено влияние на систему внутренних D^i и внешних D^e эксергетических потерь. Оценку термодинамического совершенства теплотехнологической системы производства растительного масла из семян бахчевых культур проводили по эксергетическому КПД:

$$\eta_{\text{экс}} = \frac{\sum_{k=1}^l e_i^3}{\sum_{i=1}^n e_i^3} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^3 - \sum_{j=1}^m D_j}{\sum_{i=1}^n e_i^3} \quad (8)$$

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: $\sum e_3 = \sum e_3 + \sum D$. Приведен экономический расчет эффективности внедрения новой техники в производство. Расчеты показывают, что выбранное оборудование рентабельно.

Расчет экономической эффективности показал, что срок окупаемости составляет 1 месяц, прибыль от улучшения технологии составляет 3,7 млн.тг.

В заключении даны краткие выводы по результатам диссертационных исследований, оценка полноты решений поставленных задач, разработаны рекомендации и исходные данные по конкретному использованию результатов, дана оценка технико-экономической эффективности внедрения и научного уровня выполненной работы в сравнении с лучшими достижениями в данной области.

Условные обозначения: K – коэффициент сопротивления воздуха, зависящий от формы зерна и свойств его поверхности; e – удельная термическая эксергия, кДж/кг; a – удельная работа, Дж/кг; μ – коэффициент Пуассона; d – диаметр вала шнека, м; ξ – коэффициент сопротивления, определяемый отношением внутреннего объема оборудования, рассматриваемого в качестве контрольной поверхности, к поперечному сечению входного отверстия.