

На правах рукописи

**Корякина Марина Александровна**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ  
ОДНОШНЕКОВОГО ЭКСТРУДЕРА НА ОСНОВЕ  
СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА  
ДЛЯ ПРЕССОВАНИЯ СЕМЯН РАПСА**

Специальность: 05.20.01 – Технологии и средства механизации  
сельского хозяйства

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Оренбург – 2011

Работа выполнена в отделе биотехнических систем Оренбургского научного центра Уральского отделения РАН и в ГОУ ВПО «Оренбургский государственный университет»

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор  
Зубкова Татьяна Михайловна

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Константинов Михаил Маерович;  
доктор технических наук, профессор  
Межуева Лариса Владимировна

Ведущая организация – Государственное научное учреждение  
«Всероссийский научно-исследовательский  
институт мясного скотоводства»

Защита состоится «30» сентября 2011 г. в 10<sup>00</sup> часов в ауд. 500М на заседании диссертационного совета по защите диссертаций Д220.051.02 при ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный аграрный университет» по адресу: 460795, г. Оренбург, ул. Коваленко, 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Оренбургского государственного аграрного университета. Объявление о защите и автореферат размещены на сайте ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный аграрный университет» <http://www.orensau.ru>.

Автореферат разослан «16» августа 2011 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук, доцент

В.А. Шахов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В настоящее время в России и во всем мире получение источников энергии из сырья растительного происхождения становится актуальной проблемой. Одним из перспективных альтернативных видов топлива является дизельное топливо и смазочные материалы на базе растительного рапсового масла, оптимального как по доступности, так и по стоимости. Благодаря этому рапс считается одной из наиболее ценных и перспективных агрокультур в общемировом производстве растительных масел. Данная универсальная сельскохозяйственная культура способствует решению проблем обеспечения промышленности сырьём для производства биотоплива, а животноводства – кормовым белком.

От способа извлечения рапсового масла из семян и применения современного оборудования для переработки сырья зависит его качество, цели использования – пищевое или техническое, энергонезависимость сельскохозяйственных предприятий, повышение продовольственной безопасности, снижение производственных издержек.

Экструзия – идеальный безотходный технологический процесс получения высококачественного рапсового масла как основы биодизеля и жмыха как ценного компонента в кормлении сельскохозяйственных животных и птицы.

Возможности современного шнекового экструзионного оборудования позволяют перерабатывать сырье растительного происхождения как без оттока, так и с оттоком жидкой фазы, например, при отжиме масла.

Сегодня недостаточно информации для анализа исследовательских работ, посвященных эффективным конструктивно-параметрическим особенностям одношнековых экструдеров для производства масла.

Таким образом, актуальной становится задача применения одношнекового экструдера для получения рапсового масла, обусловленного непрерывностью технологического процесса, уменьшением количества технологических операций, низкими удельными расходами энергии, небольшими капитальными затратами, малыми производственными мощностями, компактностью, универсальностью, высокой степенью механизации и автоматизации.

Настоящая научная работа выполнена в рамках темы «Влияние вибрационных и экструзионных воздействий на процессы механической переработки (растительных) материалов» (госрегистрация № 012000952373), включенной в тематический план отдела биотехнических систем Оренбургского научного центра Уральского отделения РАН на 2009–2011 гг.

**Цель исследования** – разработка методов и средств повышения эффективности процесса экструдирования семян рапса с оттоком жидкой фазы.

**Объект исследования** – процесс экструдирования маслосодержащего сырья в одношнековых прессующих механизмах с оттоком жидкой фазы.

**Предмет исследования** – закономерности изменения качественных показателей сырья биотоплива и рапсового жмыха в зависимости от условий протекания технологического процесса.

**Основные методы исследования.** При исследовании повышения эффективности работы одношнекового экструдера для прессования семян рапса применялись методы системного анализа, математического моделирования, численные методы, теории вероятностей и физико-химические.

**Научную новизну работы составляют:**

- современные представления об отжиге масла из семян рапса;
- исследования, позволяющие оценить энергоёмкость технологического процесса и качество полученной продукции (рапсового масла для производства биотоплива и жмыха для корма сельскохозяйственных животных);
- математическая модель, связывающая конструктивные и кинематические параметры с эффективностью технологического процесса и качеством сырья для биотоплива, а также кормовыми свойствами полученного жмыха;
- новые конструкции экструдера, позволяющие повысить эффективность технологического процесса получения рапсового масла.

**Практическую ценность имеют:**

- конструкции маслопресса для отжима жидкой фазы с разрушением клеточной структуры маслосодержащего сырья перед его сжатием (патенты РФ на изобретения № 2399493, 2401199);
- программные средства, позволяющие рассчитывать технико-экономические показатели экструзионного процесса и качественные показатели готовой продукции (программы для ЭВМ № 2011612043, 2009614615);
- результаты экспериментальных исследований процесса экструдирования семян рапса с оттоком жидкой фазы.

**Реализация результатов.** Определены и рекомендованы техническим директором ОАО «Оренбургский маслоэкстракционный завод» продукты экструдирования к использованию с органолептическими и физико-химическими показателями их качества в условиях лаборатории по контролю производства и определены главным инженером оптимальные значения конструктивных параметров рабочих органов одношнекового экструдера для получения рапсового масла и жмыха в условиях производства ОАО «Чишмынское» и ОАО «Ишимбайский хлебокомбинат» Республики Башкортостан.

**На защиту выносятся следующие положения:**

- математическая модель, связывающая конструктивные и кинематические параметры с эффективностью технологического процесса и качеством сырья для биотоплива;
- эмпирические зависимости, связывающие конструктивные и кинематические параметры с кормовыми свойствами полученного жмыха;

- программные средства для расчета показателей качества рапсового масла и жмыха, а также технико-экономических показателей экструзионного процесса с оттоком жидкой фазы;

- новые конструкции пресс-экструдера.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации были представлены и одобрены на международных конференциях: «Машинно-технологическое обеспечение животноводства – проблемы эффективности и качества» ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии (Подольск 2009, 2010 гг.); «Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии» (ИПК ГОУ ОГУ, 2009 г.), «Современные информационные технологии в науке, образовании и практике» (ИПК ГОУ ОГУ 2008, 2009, 2010 гг.), а также на семинарах кафедры «Механизация технологических процессов в АПК» Оренбургского ГАУ.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 13 научных статей в журналах и сборниках конференций, из них три в рецензируемых научных изданиях ВАК. Получены два патента на изобретения и два свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

**Структура и объём работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, изложенных на 125 страницах основного машинописного текста. Содержит 48 рисунков, 11 таблиц, список используемой литературы из 144 наименований и шесть приложений. Общий объём диссертации составляет 163 страницы.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи научной работы, указаны объект и предмет исследования, определены научная новизна и практическая ценность результатов, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе «СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ОТЖИМЕ РАСТИТЕЛЬНОГО МАСЛА В ОДНОШНЕКОВЫХ ПРЕСС-ЭКСТРУДЕРАХ»** представлено широкое и востребованное применение шнековых прессующих механизмов в агропромышленном комплексе, а именно, в комбикормовой промышленности России. Выявлены биологические особенности и перспективы рапса как ценной масличной культуры, имеющей достойное применение в технических целях.

Тщательному изучению сортов рапса и физиологическим ценностям его масла, жмыхов и шротов посвящены исследовательские работы ученых: В.Е. Ланкина, А.Н. Лисицына, С.Ф. Быкова, Е.К. Давиденко, Н.М. Минасяна, В.Н. Григорьева, Е.Е. Смирнова, В.Н. Маркова, Ю.В. Максимука, В.Н. Куревича, А.Л. Василенко, Н.И. Черных, Х.М. Мутиева, С.И. Кононенко, И.А. Егорова, М.П. Кирилова, Л.И. Тучемской, С.Н. Фошина, С.Т. Шегенова.

Одно из важных достоинств рапса как агрокультуры – это масло, которое является уникальным по своим природным свойствам и обладает преимуществами по сравнению с нефтяными маслами по гомогенности состава, отсутствию примесей и биоразложения. Заслуживают особого внимания современные исследования рапсового масла в качестве основы биотоплива таких ученых, как И.Р. Облащикова, А.А. Ефанов, Д.Б. Бубнов, П. Вальехо, В.Е. Пономарев, Ч.А. Хеваге, А.В. Шашев.

Производство рапсового масла из семян традиционных и генетически измененных сортов рапса требует проведения дальнейших научно-исследовательских работ по модернизации экструдеров и их рабочих органов, а также совершенствования технологий переработки семян рапса, учитывающих биологические особенности и физиологические ценности семян.

Качественные изменения структурно-механических и физико-химических свойств экструдированных семян рапса в одношнековых пресс-экструдерах позволяют определить следующие **задачи исследования**:

1. На основе обзора и анализа литературных источников определить современное состояние получения рапсового масла с использованием экструдеров.

2. Теоретически обосновать процесс экструдирования с оттоком жидкой фазы.

3. Разработать методику исследований для экструдирования маслосодержащего сырья.

4. Экспериментально исследовать экструзионный процесс с оттоком жидкой фазы.

5. Разработать новые технические решения конструкции экструдера для повышения эффективности технологического процесса.

6. Экономически обосновать внедрение новых конструкций при экструдировании семян рапса.

**Во второй главе «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСТРУДИРОВАНИЯ С ОТТОКОМ ЖИДКОЙ ФАЗЫ»** проведен системный анализ и выбран метод оптимизации технологических объектов, сформирована математическая модель с учетом оттока жидкой фазы, исследовано влияние геометрических и конструктивных параметров рабочих органов экструдера на качество рапсового масла и жмыха.

Формирование математической модели для одношнекового экструдера с оттоком жидкой фазы и с учетом требований к качеству готовой продукции происходит за счет внешних и внутренних величин, как показано на рисунке 1. К внешним величинам модели относятся семена рапса с определенной влажностью и масличностью, а внутренние величины формируются из геометрических, конструктивных и кинематических параметров процесса отжима. Под воздействием сил трения создается температура, влияющая на реологические свойства сырья.



Рис. 1 – Формирование математической модели на основе системного подхода

Одношнековый пресс-экструдер конструктивно представляет собой загрузочное устройство (1), корпус (2), шнек (3) с компрессионными затворами (4), головку экструдера (5), матрицу (6), отверстия для оттока масла (7) (рис. 2). Движение прессуемого материала представлено как движение между парами параллельных плоскостей, при котором сохраняется свойство непрерывности объемной производительности в шнековом механизме. Для точного описания процесса экструдер разбили на секции. Секция – элементарный шнековый прессующий механизм с условно постоянными параметрами процесса прессования.

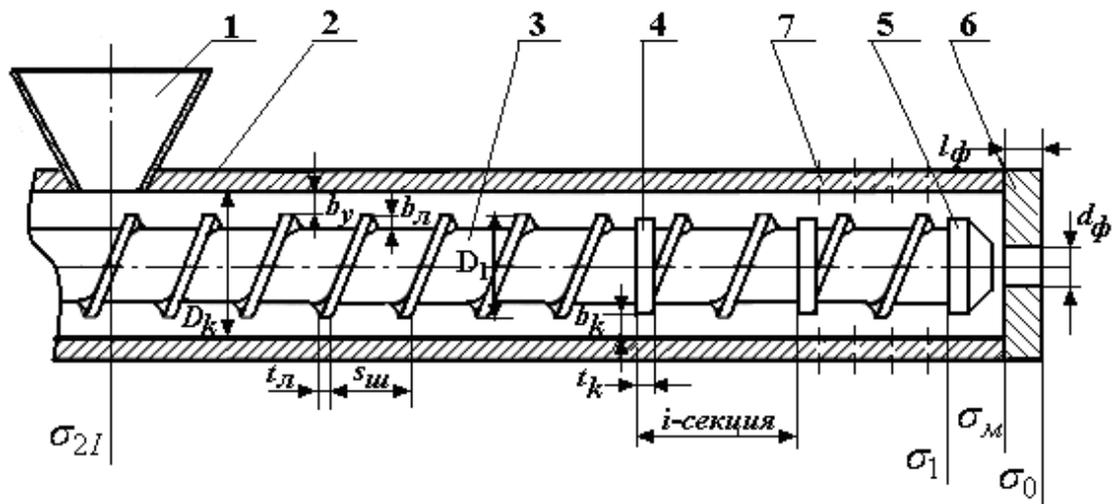


Рис. 2 – Схема прессующего механизма:

$D_k$  – диаметр цилиндра, м;  $D_1$  – внешний диаметр винтовой линии шнека, м;  $b_y$  – высота зазора между цилиндром и вершиной лопасти шнека, м;  $b_n$  – высота шнекового канала, м;  $b_k$  – высота компрессионного затвора, м;  $l_\phi$  – длина канала фильеры, м;  $d_\phi$  – диаметр фильеры, м;  $\sigma_0, \sigma_M, \sigma_1, \sigma_{2l}$  – напряжения в прессуемом материале в фильере, матрице, первой и последующих секциях;  $t_n$  – толщина лопасти шнека, м;  $s_{ш}$  – шаг винтовой лопасти, м;  $t_k$  – осевая протяженность компрессионного затвора, м

Математическая модель движения материалов растительного происхождения в экструдере представлена как течение псевдопластической жидкости и описана уравнением Оствальда-де Виля, связывающим напряжение сдвига  $\tau_{xy}$  со скоростью сдвига  $\dot{\gamma}_x$ :

$$\tau_{xy} = \mu' \dot{\gamma}_x^n,$$

где  $\mu'$  – коэффициент консистенции материала [ $\text{Па} \cdot \text{с}^n$ ];

$n$  – индекс течения, характеризующий отклонение свойств данного материала от свойств ньютоновской жидкости.

Тогда задача сводится к решению системы уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} Z_1 (\sigma_1 - \sigma_M)^{m_0} = X k_\phi \sigma_M^{m_0}, \\ k_1 \left[ A_1 (\sigma_1 - \sigma_2)^{m_1} + Y_1 \right] = Z_1 (\sigma_1 - \sigma_M)^{m_0}, \\ \dots \\ Z_i (\sigma_{2i-1} - \sigma_{2(i-1)})^{m_i} = A_{i-1} (\sigma_{2i-3} - \sigma_{2(i-1)})^{m_{i-1}} + Y_{i-1}, \\ k_i A_i (\sigma_{2i-1} - \sigma_{2i})^{m_i} + Y_i = Z_i (\sigma_{2i-1} - \sigma_{2(i-1)})^{m_i}, \end{array} \right. \quad i = 2, 3, \dots, I \quad (1)$$

где  $I$  – число всех секций в шнековом механизме;  $m = 1/n$ ;

$Z_i$  – коэффициент, учитывающий реологические свойства материала, геометрические размеры компрессионного затвора и характер движения материала в компрессионном затворе, а также потери на местные сопротивления [ $\text{м}^3 / (\text{с} \cdot \text{Па}^m)$ ];

$\sigma_m, \sigma_1$  – напряжения в прессуемом материале соответственно в матрице и в первой секции [ $\text{Па}$ ];

$X$  – для цилиндрических каналов фильер зависит от геометрических размеров и реологических свойств материала в фильере [ $\text{м}^3 / (\text{с} \cdot \text{Па}^m)$ ];

$k_\phi$  – число фильер в матрице;

$k_1, k_i$  – коэффициенты оттока жидкой фазы;

$A_i$  – коэффициент, учитывающий реологические свойства материала, геометрические размеры канала шнека, характер движения, отклонения формы канала шнека от прямоугольной и искажение формы канала по сравнению с пространством между параллельными плоскостями, а также геометрические размеры полости утечек и характер движения материала в полости утечек [ $\text{м}^3 / (\text{с} \cdot \text{Па}^m)$ ];

$Y_i$  – коэффициент, определяющий максимально возможный расход в канале с учетом его геометрических размеров, отклонение формы канала шнека от прямоугольной, искажение формы канала [ $\text{м}^3 / \text{с}$ ];

$\sigma_{2i-1}, \sigma_{2i}$  – нормальные напряжения в прессуемом материале в соответствующих секциях [ $\text{Па}$ ].

Решение данной системы уравнений сводится к определению напряженных состояний прессуемого материала  $\sigma_m, \sigma_1, \sigma_i$ , являющихся внутренней характеристикой модели, а далее рассчитываются производительность экструдера по жмыху и по маслу, мощность, сила, действующая на рабочие органы, КПД. Коэффициент оттока жидкой фазы между  $i$ -й и  $(i-1)$ -й секциями прессующего механизма:

$$k_i = \frac{Q_{i-1}}{Q_i} = 1 - \frac{Q_{oi}}{Q_I - \sum_{j=i-1}^I Q_{oj}} \quad (2)$$

где  $Q_I$  – подача материала в  $I$ -ю секцию прессующего механизма;

$Q_{oi}$  – расход жидкой фазы из  $i$ -й секции, л/ч.

Коэффициент полезного действия вычисляется:

$$\eta = \frac{Q_m}{N} \sum_{i=1}^I \frac{\sigma_{2i-1} + \sigma_{2i-2}}{2} \quad (3)$$

где  $Q_m$  – производительность шнекового пресс-экструдера, кг/ч;

$N$  – мощность, кВт.

**В третьей главе «МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ЭКСТРУДИРОВАНИЯ СЕМЯН РАПСА»** представлены последовательные этапы проведения физических экспериментов по отжиму рапсового масла на одношнековом пресс-экструдере.

Цель научного эксперимента заключалась в том, чтобы исследовать влияние конструктивно-параметрических особенностей пресс-экструдера и скорости протекания технологического процесса на качественные показатели готового продукта – рапсового масла и жмыха, соответствующие нормам для сырья биотоплива и полноценного комбикорма.

В качестве исходного сырья были выбраны традиционные семена рапса ярового сорта «Ратник 00» с постоянной влажностью  $W = 7,49\%$ , масличностью  $42,92\%$  и те же семена, но предварительно измельченные на дробилке «Эликор-1». Для осуществления возможности прессования материалов растительного происхождения с оттоком жидкой фазы при различных режимах в пресс-экструдере ПЭШ-30/4 использовали зерный цилиндр, 5 шнеков с различными шагами  $s_{ш}$  и толщиной лопасти  $t_{л}$ , одну фильеру цилиндрического сечения диаметром  $0,008$  м и длиной  $0,040$  м, изменяли угловые скорости вращения шнека (10, 13, 15, 23 рад/с).

В процессе проведения опыта при экструдировании масличного сырья визуально фиксировали показания ваттметра, тахометра, цифрового мультиметра, производили отбор проб масла и жмыха за определенный промежуток времени (20 сек) для определения производительности экструдера, мощности и качественных показателей готовой продукции. Крошимость полученных гранул испытывали на лабораторной установке ППГ-2, затем исследовали их физико-механические свойства на предмет сохранности при транспортировании и раздаче сельскохозяйственным животным в виде гранулированных кормов.

**В четвертой главе «АНАЛИЗ И ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭКСТРУДИРОВАНИЯ СЕМЯН РАПСА С ОТТОКОМ ЖИДКОЙ ФАЗЫ»** рассмотрены основные методы анализа физических экспериментов и средства испытаний. В качестве методов исследования полученных образцов были выбраны стандартные методы оценки физико-химических свойств рапсового масла и жмыха.

На основании полученных данных были проанализированы зависимости качественных показателей рапсового масла (кислотное число ( $K$ ), массовая доля влаги и летучих веществ ( $ВЛ$ ), нежировых примесей ( $НЖ$ ), фосфорсодержащих веществ ( $\Phi$ )) и жмыха (общая влага ( $ОВ$ ), массовая доля сырой клетчатки ( $СК$ ), сырого жира ( $Ж$ ) и сырого протеина ( $П$ )) от геометрических параметров шнека пресс-экструдера (толщины  $t_{л}$  и шага  $s_{ш}$  винтовой поверхности шнека), температуры протекания технологического процесса отжима ( $T$ ) и скорости вращения шнека ( $\omega$ ).

Для получения эмпирических и графических зависимостей качественных показателей готового продукта экструзионной технологии использовали разработанное нами программное средство.

Уравнения регрессии, описывающие зависимости качественных показателей рапсового масла, имеют следующий вид:

$$K(T, \omega, t_n, s_{ш}) = 4,08 + 551,19 \cdot t_n - 252,73 \cdot s_{ш} - 0,01 \cdot T - 0,01 \cdot \omega - 22190,41 \cdot t_n^2 + 3639,43 \cdot s_{ш}^2 \quad (4)$$

$$ВЛ(T, \omega, t_n, s_{ш}) = -0,23 + 23,12 \cdot t_n - 30,77 \cdot s_{ш} + 0,01 \cdot T + 0,01 \cdot \omega - 368,17 \cdot t_n^2 + 431,30 \cdot s_{ш}^2 \quad (5)$$

$$НЖ(T, \omega, t_n, s_{ш}) = -0,23 + 44,77 \cdot t_n - 37,22 \cdot s_{ш} + 0,01 \cdot T + 0,01 \cdot \omega - 536,96 \cdot t_n^2 + 493,17 \cdot s_{ш}^2 \quad (6)$$

$$\Phi(T, \omega, t_n, s_{ш}) = 3,63 + 158,14 \cdot t_n - 9,68 \cdot s_{ш} - 0,04 \cdot T - 0,05 \cdot \omega - 11303,17 \cdot t_n^2 - 35,84 \cdot s_{ш}^2 \quad (7)$$

На рисунках 3 и 4 показаны некоторые графические зависимости показателей качества рапсового масла, полученного экструзионным способом, от толщины лопасти ( $t_n$ ) и шага винтовой лопасти шнека ( $s_{ш}$ ).

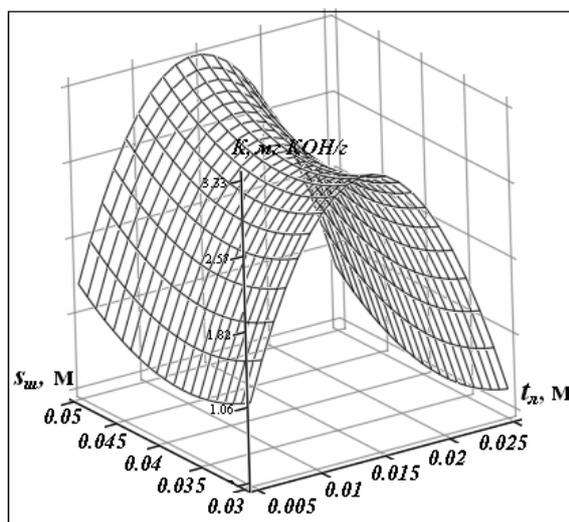


Рис. 3 – Зависимость качественного показателя рапсового масла кислотного числа ( $K$ ) от толщины лопасти ( $t_n$ ) и шага винтовой лопасти шнека ( $s_{ш}$ )

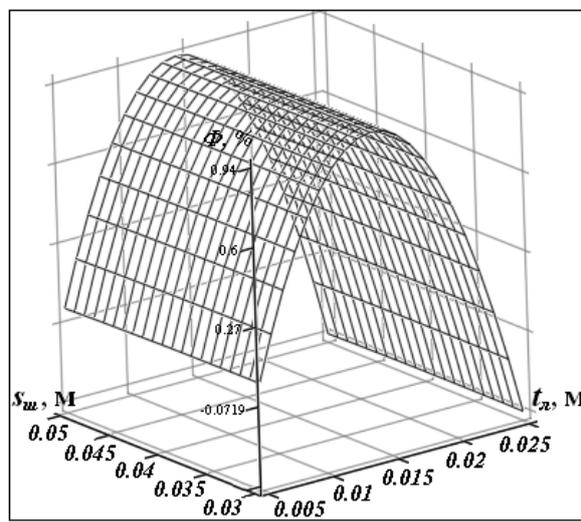


Рис. 4 – Зависимость качественного показателя рапсового масла массовой доли фосфорсодержащих веществ ( $\Phi$ ) от толщины лопасти ( $t_n$ ) и шага винтовой лопасти шнека ( $s_{ш}$ )

При анализе полученных зависимостей было выявлено, что при увеличении скорости вращения шнека его кислотное число ( $K$ ) уменьшается при равных условиях, а температура протекания технологического процесса оказывает незначительное влияние на его изменение в масле. Массовая доля влаги и летучих веществ ( $ВЛ$ ) в рапсовом масле с увеличением скорости вращения шнека и повышения температуры технологического процесса незначительно увеличивается. Массовая доля нежировых примесей ( $НЖ$ ) в масле с увеличением скорости вращения шнека увеличивается, а массовая доля фосфорсодержащих веществ ( $\Phi$ ) в масле с увеличением температуры процесса и скорости вращения шнека уменьшается.

Влияние геометрических параметров шнека на качество рапсового масла следующее: с увеличением толщины лопасти шнека кислотное число, массовая доля влаги и летучих веществ, массовая доля нежировых примесей и фосфорсодержащих веществ увеличиваются, а с увеличением шага лопасти кислотное число, массовая доля влаги и летучих веществ, нежировых примесей в масле понижаются. При этом массовая доля фосфорсодержащих веществ с увеличением шага лопасти шнека увеличивается.

Уравнения регрессии, описывающие зависимости качественных показателей рапсового жмыха, имеют следующий вид:

$$OB(T, \omega, t_l, s_{ш}) = -0,44 - 150,42 \cdot t_l + 297,28 \cdot s_{ш} + 0,01 \cdot T - 0,04 \cdot \omega + 20822,08 \cdot t_l^2 - 3041,95 \cdot s_{ш}^2 \quad (8)$$

$$СК(T, \omega, t_l, s_{ш}) = -89,51 - 1714,89 \cdot t_l + 370,96 \cdot s_{ш} + 0,49 \cdot T + 0,64 \cdot \omega + 358791,62 \cdot t_l^2 + 42866,21 \cdot s_{ш}^2 \quad (9)$$

$$Ж(T, \omega, t_l, s_{ш}) = -5,51 - 6027,38 \cdot t_l + 3936,29 \cdot s_{ш} - 0,04 \cdot T - 0,45 \cdot \omega + 93365,87 \cdot t_l^2 - 39829,05 \cdot s_{ш}^2 \quad (10)$$

$$П(T, \omega, t_l, s_{ш}) = 9,45 - 170,03 \cdot t_l + 413,57 \cdot s_{ш} + 0,18 \cdot T - 0,63 \cdot \omega + 4819,63 \cdot t_l^2 - 4092,55 \cdot s_{ш}^2 \quad (11)$$

На рисунках 5 и 6 показаны некоторые графические зависимости показателей качества рапсового жмыха, полученного экструзионным способом, от толщины лопасти ( $t_l$ ) и шага винтовой лопасти шнека ( $s_{ш}$ ).

На основании полученных зависимостей выявили, что при увеличении температуры технологического процесса и скорости вращения шнека общая влага, массовая доля сырой клетчатки, сырого жира и протеина в рапсовом жмыхе уменьшается.

Анализируя влияние геометрических параметров шнека на качество рапсового жмыха, пришли к следующему обоснованному выводу: с увеличением толщины лопасти шнека общая влага, массовая доля сырой клетчат-

ки, сырого жира и протеина понижается, а с увеличением шага лопасти все эти же качественные показатели, наоборот, повышаются.

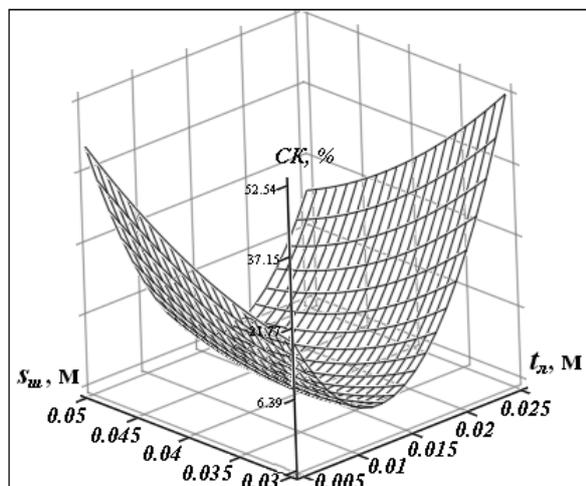


Рис. 5 – Зависимость качественного показателя рапсового жмыха массовой доли сырой клетчатки ( $СК$ ) от толщины лопасти ( $t_{л}$ ) и шага винтовой лопасти шнека ( $s_{ш}$ )

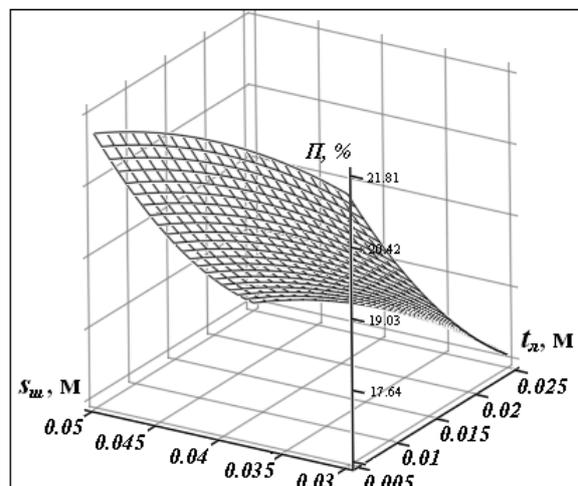


Рис. 6 – Зависимость качественного показателя рапсового жмыха массовой доли сырого протеина ( $П$ ) от толщины лопасти ( $t_{л}$ ) и шага винтовой лопасти шнека ( $s_{ш}$ )

**В пятой главе «СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ ОДНОШНЕКОВОГО ЭКСТРУДЕРА»** показано проведение векторной оптимизации, описаны новые конструкции экструдера, приведено экономическое обоснование модернизированной конструкции экструдера. Анализ физических экспериментов показал, что технико-экономические показатели и показатели качества готового продукта с заданными свойствами в большей степени зависят от толщины, высоты, шага лопасти шнека и скорости его вращения, а также от вида сырья (целое или измельченное).

На основании вычислительного эксперимента провели векторную оптимизацию геометрических, конструктивных и кинематических параметров экструдера по кпд семян рапса. Ввели следующие ограничения: мощность  $N < 5$  кВт, сила  $R < 10$  кН, коэффициент оттока жидкой фазы  $k > 0,3$ .

Приняв толщину лопасти шнека  $t_{л} = 0,009$  м, высоту лопасти  $b_{л} = 0,011$  м, варьировали шаг  $s_{ш}$ : 0,035; 0,04; 0,03; 0,045; 0,05 в (м). Получив графическую интерпретацию при скоростях вращения шнека  $\omega$ : 10, 13, 15, 20, 23 рад/с, установили, что наибольшее значение кпд при  $s_{ш} = 0,035$  м (рис. 7). Справа по мощности (6) и силе (7), действующей на рабочие органы, проходят 1–3 конструкции. Ограничения по коэффициенту оттока жидкой фазы (8) при скорости вращения шнека от 13 до 20 проходят 1–4 конструкции.

Далее, зафиксировав шаг  $s_{ш} = 0,035$  м, варьировали толщину лопасти шнека  $t_{л}$ : 0,003; 0,005; 0,007; 0,009; 0,011 в (м). Максимальное значение кпд у конструкции при  $t_{л} = 0,003$  м. Справа 2–5 конструкции не проходят по мощности при скорости вращения шнека  $\omega > 20$  рад/с. Ограничения по коэффициенту оттока жидкой фазы удовлетворяют при скорости вращения шнека в интервале от 13 до 20 рад/с для 1–3 конструкций, а для четвертой конструкции при скорости от 14 до 16 рад/с.

Приняв фиксированные значения  $s_{ш} = 0,035$  м и  $t_{л} = 0,003$  м, изменяли высоту лопасти шнека  $b_{л}$ : 0,013; 0,012; 0,014; 0,011; 0,01 в (м) (рис. 8). Справа 4–5 конструкции не проходят по мощности (6) при скорости вращения шнека  $\omega \approx 23$  рад/с. Удовлетворяют ограничения по оттоку жидкой фазы (8) 1–3 конструкции при скорости от 13 до 20 рад/с, а 4–5 конструкции при скорости вращения шнека от 15 до 16 рад/с. Максимальное значение кпд принимает при  $b_{л} = 0,013$  м.

Таким образом, для экструдирования семян рапса целесообразно применять шнек, имеющий шаг винтовой лопасти  $s_{ш} = 0,035$  м, толщину лопасти  $t_{л} = 0,003$  м, высоту лопасти  $b_{л} = 0,013$  м и скоростью вращения в интервале от 13 до 20 рад/с.

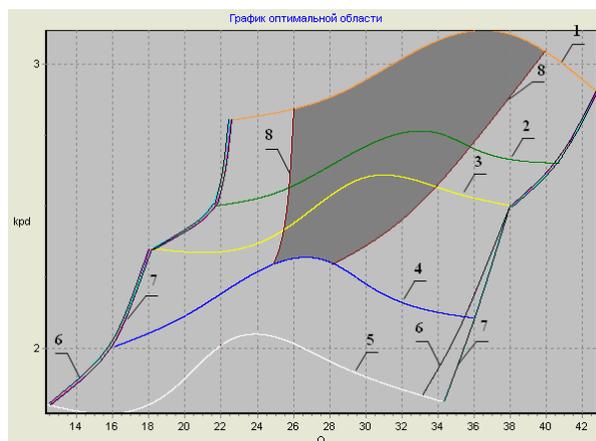


Рис. 7 – Построение оптимальной области (■) при изменении шага лопасти шнека  $s_{ш}$

1–5 – номера конструкций; 6 – ограничения по мощности  $N$ ; 7 – ограничения по силе  $R$ , действующей на рабочие органы; 8 – ограничения по коэффициенту оттока жидкой фазы

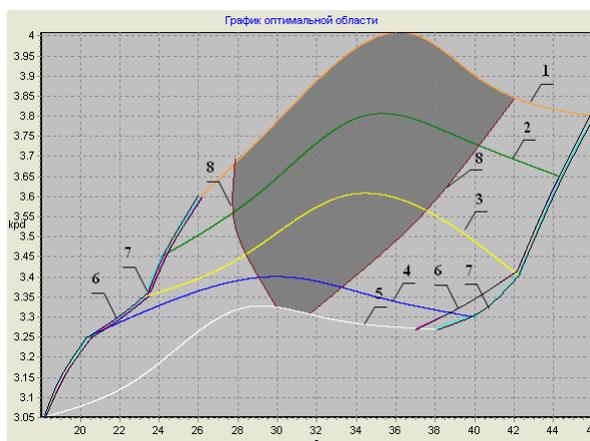


Рис. 8 – Построение оптимальной области (■) при изменении высоты лопасти шнека  $b_{л}$

Анализ проведенного параметрического синтеза позволил повысить производительность работы пресс-экструдера в среднем с 30 до 40 кг/с ( $\approx 33\%$ ), кпд с 3 до 4%, что оказало существенное влияние на технико-экономические показатели (табл. 1).

Таблица 1 – Техничко-экономические показатели

Показатели	Единицы измерения	Базовая конструкция	Модернизируемая конструкция
Производительность	кг/час	42,83	49,25
Фактический годовой объем продукции	т/год	85	98,60
Энергоемкость	кДж/кг	1695	1356
Количество рабочих	чел.	1	1
Годовая технологическая себестоимость	руб/год	251157,43	206114,49
Себестоимость единицы продукции	руб/т	12400,00	8680,00
Годовой экономический эффект	руб		45042,94

Изобретены конструкции пресс-экструдеров, которые разрушают клеточную структуру маслосодержащего сырья перед его сжатием и повышают выход технического растительного масла (патенты РФ на изобретения №2399493, 2401199). Для этого используется звездообразная промежуточная матрица (7) с лопастями и профильным каналом в виде ножа, имеющего острую режущую кромку (8) (рис. 9). Матрица жестко закрепляется на шнеке (4) либо на корпусе цилиндра (1) между двумя секциями транспортирования (5) и сжатия (6). Отсечение жидкой фазы и её истечение происходят через отверстия (2) для выхода масла, а отжатые семена рапса в виде жмыха переходят в секцию (3).

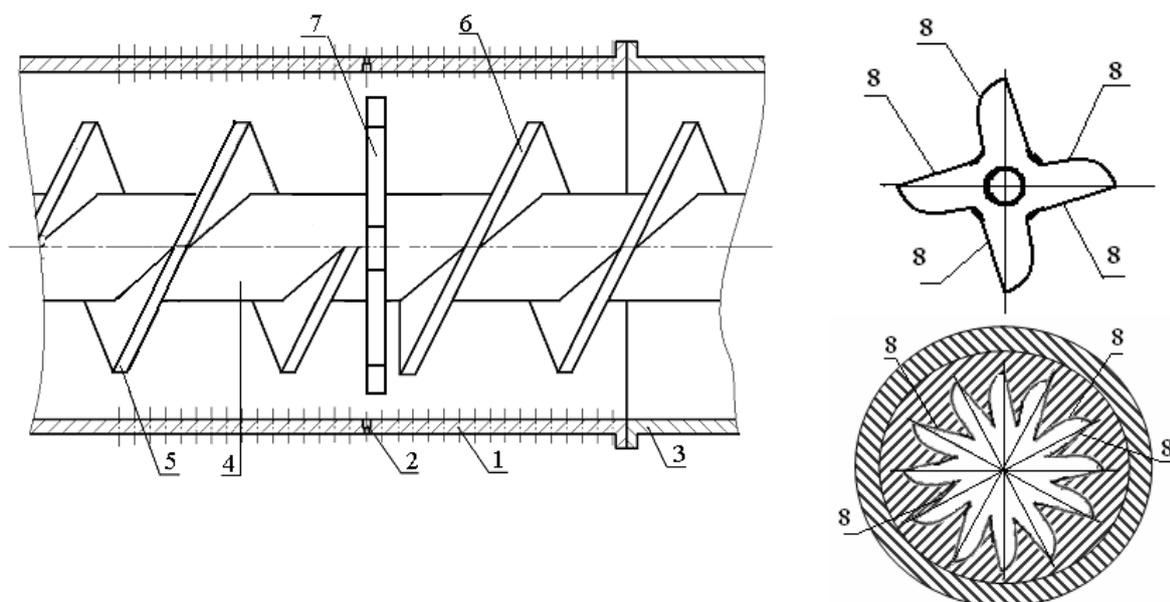


Рис. 9 – Конструкция маслопресса для отжима жидкой фазы

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ литературных источников показал, что экструзия является идеальным безотходным технологическим процессом в получении высококачественного рапсового масла – основы биодизеля и жмыха, как ценного компонента в кормлении сельскохозяйственных животных и птицы. Однако в настоящее время недостаточно информации для обоснования эффективных конструкций одношнековых экструдеров для производства рапсового масла и жмыха.

2. На основании системного подхода и реализации математической модели исследовано влияние геометрических и конструктивных параметров рабочих органов экструдера, скорости вращения шнека на отток жидкой фазы и качественных показателей рапсового масла и жмыха. Установлено, что на основании параметрического и структурного синтеза возможно получение конструкции экструдера с заданными технико-экономическими параметрами для конкретного применения.

3. Разработанная методика проведения физических экспериментальных исследований с учетом кинематических, геометрических и конструктивных параметров экструдера позволяет оценить качественные и количественные показатели масла и жмыха при экструдировании семян рапса как в целом, так и в измельченном виде.

4. Установлены диапазоны изменения качественных показателей масла: кислотное число ( $K$ ) 1,5–2,78 мг КОН/г; массовая доля влаги и летучих веществ ( $ВЛ$ ) 0,1–0,46%; массовая доля нежирных примесей ( $НЖ$ ) 0,11–0,33%; массовая доля фосфорсодержащих веществ ( $\Phi$ ) 0,2–1,15%, а также для жмыха общая влага ( $ОВ$ ) 3,09–7,47%; массовой доли сырой клетчатки ( $СК$ ) 12,6–16,5%; массовой доли сырого жира ( $Ж$ ) 15,79–38,71%, массовой доли сырого протеина ( $П$ ) 21,15–40,06% в зависимости от геометрических параметров шнека ( $s_{ш}$ ,  $t_{л}$ ) и скорости протекания технологического процесса ( $\omega$ ).

5. Полученные эмпирические зависимости, связывающие качественные показатели масла, как сырья для биотоплива, и качественные показатели жмыха, как кормового компонента, в зависимости от скорости протекания технологического процесса, температуры и геометрических параметров шнека дают возможность проектировать новые технические решения экструзионной техники и оборудования.

6. Проведенная векторная оптимизация позволила повысить КПД экструдера с 3 до 4% и производительность с 30 до 40 кг/ч при сохранении всех показателей качества как по маслу, так и по жмыху в заданных пределах. Для прессования семян рапса в целом и измельченном виде целесообразно применять шнек, имеющий шаг винтовой лопасти  $s_{ш} = 0,035$  м, высоту лопасти  $b_{л} = 0,013$  м, толщину лопасти  $t_{л} = 0,003$  м при скорости вращения от 13 до 20 рад/с.

7. Предложены новые конструкции (патенты РФ на изобретения 2399493 и 2401199), которые разрушают клеточную структуру маслосодержащего сырья перед его сжатием и повышают выход технического растительного масла. Разработанные программы для ЭВМ позволяют рассчитывать технико-экономические параметры технологического процесса и качественные показатели экструдированных продуктов (свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ №2009614615, №2011612043).

8. Расчет экономической эффективности показал целесообразность применения модернизированного экструдера, позволяющего увеличить производительность не менее чем на 16% и снизить энергоёмкость на 20%, а его внедрение позволит получить годовой экономический эффект 45042,94 руб.

## **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК**

1. Карташов, Л. П. Исследование влияния геометрических параметров шнека на производительность экструдера при экструдировании семян рапса / Л. П. Карташов, Т. М. Зубкова, М. А. Корякина // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2010. – № 4. – С. 70–72.

2. Карташов, Л. П. Совершенствование конструкции пресс-экструдера для отжима масла из семян масла / Л. П. Карташов, Т. М. Зубкова, М. А. Корякина // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2011. – № 4. – С. 73–74.

3. Корякина, М. А. Оптимизация параметров шнека экструдера для получения рапсового масла / М. А. Корякина // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2011. – № 3. – С. 69–72.

### **Статьи в журналах и сборниках научных конференций**

4. Зубкова, Т. М. Использование вычислительного эксперимента для проведения векторной оптимизации конструктивных параметров технологических объектов / Т. М. Зубкова, А. Н. Колобов, М. А. Корякина // Современные информационные технологии в науке, образовании и практике: материалы VII всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2008. – С. 87–91.

5. Зубкова, Т. М. Влияние геометрических параметров шнека на производительность экструдера при экструдировании масличного сырья / Т. М. Зубкова, М. А. Корякина // Научно-технический прогресс в животноводстве – стратегия машинно-технологического обеспечения производства продукции на период до 2020 г.: сборник научных трудов. Т. 20. Ч. 3 / ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемия, 2009. – С. 68–73.

6. Зубкова, Т. М. Использование вычислительного эксперимента для анализа технико-экономических показателей процесса экструдирования мас-

личного сырья / Т. М. Зубкова, М. А. Корякина // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии: сборник материалов четвертой Всероссийской научно-практической конференции. – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2009. – С. 487–489.

7. Зубкова, Т. М. Математическое моделирование процесса экструдирования с оттоком жидкой фазы / Т. М. Зубкова, М. А. Корякина // Современные информационные технологии в науке, образовании и практике: материалы VIII всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2009. – С. 95–96.

8. Зубкова, Т. М. Экспериментальные исследования работы экструдера с переменным шагом шнека при обработке семян рапса / Т. М. Зубкова, М. А. Корякина // Сборник научных трудов. Т. 21. Ч. 3 / РАСХН ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии. – Подольск, 2010. – С. 61–65.

9. Зубкова, Т. М. Исследование влияния геометрических параметров шнека экструдера на качество продукции и энергоёмкость технологического процесса / Т. М. Зубкова, М. А. Корякина // Современные информационные технологии в науке, образовании и практике: материалы IX всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). – Оренбург: ООО «КОМУС», 2010. – С. 5–8.

10. Патент RU № 2399493 С1, МПК В30В 9/14 Пресс для отжима масла из маслосодержащего сырья / заявители: Т. М. Зубкова, М. А. Корякина; патентообладатель ГОУ ВПО ОГУ. – № 2009107963/02. – Заявлено 05.03.2009. – Оpubл. 20.09.2010, Бюл. № 26.

11. Патент RU № 2401199 С1, МПК В30В 9/14 Пресс для отжима масла из маслосодержащего сырья / заявители: Т. М. Зубкова, М. А. Корякина; патентообладатель ГОУ ВПО ОГУ. – № 2009107962/02. – Заявлено 05.03.2009. – Оpubл. 10.10.2010, Бюл. № 28.

12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009614615. Программа для расчета показателей качества экструдированных продуктов / заявители: Т. М. Зубкова, А. Н. Колобов, М. А. Корякина. РОСПАТЕНТ – Заявка № 2009613523 – Заявлено 06.06.2009. – Оpubл. 28.08.2009.

13. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011612043. Расчет технико-экономических параметров одношнековых экструдеров / заявители: Т. М. Зубкова, Н. А. Мустюков, М. А. Корякина. РОСПАТЕНТ – Заявка № 2010617272 – Заявлено 19.11.2010. – Оpubл. 05.03.2011.

Корякина Марина Александровна

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОДНОШНЕКОВОГО  
ЭКСТРУДЕРА НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО  
СИНТЕЗА ДЛЯ ПРЕССОВАНИЯ СЕМЯН РАПСА

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано в печать 14.08.11.  
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 1,0. Печать трафаретная.  
Бумага офсетная. Заказ № 6357. Тираж 100 экз.

Издательский центр ОГАУ.  
460795, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, 18.  
Тел.: (3532) 77-61-43.

