

На правах рукописи



**ФИЛИПЦОВ Павел Владимирович**

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ  
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОУСВОЯЕМЫХ  
КОМБИКОРМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВАКУУМНОГО  
НАПЫЛЕНИЯ**

Специальности 05.18.12 – «Процессы и аппараты пищевых производств» и 05.18.01 – «Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства»

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Воронеж – 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ФГБОУ ВО «ВГУИТ»)

Научные руководители – доктор технических наук, профессор

**Афанасьев Валерий Андреевич,**

доктор технических наук, доцент

**Фролова Лариса Николаевна**

Официальные оппоненты – **Панин Иван Григорьевич,**

доктор технических наук, старший научный сотрудник (ООО «Авита»), генеральный директор

**Ситников Николай Юрьевич**

кандидат технических наук, (ГП «Русмит»), директор по комбикормовому производству

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», г. Воронеж

Защита состоится «16» сентября 2021 г. в 13<sup>30</sup> ч. на заседании совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д 212.035.01 при ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» по адресу: 394036, г. Воронеж, проспект Революции, 19, конференц-зал.

Отзывы (в двух экземплярах) на автореферат, заверенные гербовой печатью учреждения, просим направлять в адрес совета университета.

Автореферат размещен в сети Интернет на официальных сайтах Высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации <https://vak.minobrnauki.gov.ru> и ФГБОУ ВО «ВГУИТ» <http://www.vsuet.ru> «06» июля 2021 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «ВГУИТ».

Автореферат разослан «09» августа 2021 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д 212.035.01

профессор

А.В. Дранников



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы (ФНТП), утвержденная Постановлением Правительства Российской Федерации от 25 августа 2017 г. № 996, определила основные приоритеты: формирование условий для развития научной, научно-технической деятельности и получение результатов, необходимых для создания технологий, продукции, товаров и оказания услуг, обеспечивающих независимость и конкурентоспособность отечественного агропромышленного комплекса. По итогам 2020 года в России было произведено свыше 32 млн т комбикормов. Анализ производства комбикормов в России по видам животных в 2020 году показывает доминирующее производство комбикормов для птиц – 42 %, значительные объемы производства комбикормов для свиней – 24 %, невысокие объемы производства комбикормов для КРС – 21 % и небольшие объемы производства комбикормов для остальных – 13 %, в частности, для рыб и пушных зверей – 4 %.

Отличительная особенность производства комбикормов для этой категории - существенное содержание жира (для рыб ценных пород – до 35 %, для пушных зверей и непродуктивных животных – 12-15 %) и белка предпочтительно животного происхождения. Хотя рыбохозяйственный фонд внутренних пресноводных водоемов России включает в себя 22,5 млн га озер, 4,3 млн га водохранилищ, 0,96 млн га сельскохозяйственных водоемов комплексного назначения, 142,9 тыс. га прудов и 523 тыс. км рек, Россия производит лишь 0,3 % мировой продукции аквакультуры. Среди основных причин неэффективного развития отрасли следует выделить недостаточное использование селекционных достижений, дефицит качественного отечественного рыбопосадочного материала, высокую импортозависимость и технологическое отставание по кормам для аквакультуры, низкий уровень профилактики и борьбы с болезнями, устаревшие производственные мощности и материально-техническая база рыбоводных предприятий.

Немногочисленные российские предприятия,

вырабатывающие комбикорм для рыб (доля продукции отечественных предприятий на рынке комбикормов для лососевых, осетровых, сиговых и сомовых рыб по разным оценкам колеблется в пределах 5-10 %), используют импортные технологии, оснащены импортным технологическим оборудованием. В состав рецептов комбикормов для рыб включается преимущественно импортное сырье. Из-за высокой стоимости таких комбикормов значительно увеличивается стоимость и товарной рыбной продукции.

Повысить продуктивность ценных пород рыб и пушных зверей можно, только увеличив в рационе долю протеина и жира. Использование экструзионной обработки зерновых и зернобобовых культур, вакуумного напыления жировитаминных добавок и дражирования позволяет поучить высокоусвояемые комбикорма.

Сдерживающим фактором в применении высокоусвояемых комбикормов с вакуумным напылением жидких компонентов является отсутствие научного обоснования их применения для повышения усвояемости и поедаемости комбикормов. В связи с этим весьма актуально обоснование выбора высокоусвояемых комбикормов с вакуумным напылением жидких компонентов; изучение основных кинетических закономерностей процесса диффузии жидких компонентов, а также разработка новых видов вакуумных напылителей и дражировочных аппаратов.

Теоретические основы технологии высокоусвояемых комбикормов с вакуумным напылением жидких компонентов для ценных пород рыб и пушных зверей отражены в работах Перельдика Н.Ш., Паркалова И.В., Пономарева С.В., Афанасьева В. А., Харламова К.В., Балакирева Н.А., Квартниковой Е.Г., Егоровой С.В., Aarseth, K.A., Sørensen, M., Øverland, M., Storebakken, T., Li, Y., Li, J., Liu, Z., Ruan, R., Mao, Z. и др.

Работа проводилась в соответствии с планом госбюджетной НИР кафедры технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающих производств ФБГОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий».

**Цель диссертационной работы** – развитие научно-

практических основ процессов производства высокоусвояемых комбикормов с использованием вакуумного напыления; разработка конструкции вакуумного напылителя и перспективной технологии, направленной на повышение питательной ценности, усвояемости и поедаемости комбикормов для ценных пород рыб и пушных зверей.

В соответствии с целью решались **следующие задачи:**

– научное обоснование рецептуры высокоусвояемых комбикормов для ценных пород рыб и пушных зверей с использованием вакуумного напыления для повышения продуктивности;

– исследование кинетических закономерностей процесса диффузии жидких компонентов (растительное масло, рыбий жир и т.п.) внутрь экструдированных гранул с обоснованием рациональных параметров процесса диффузии;

– математическое моделирование процесса диффузии жидких компонентов (растительное масло, рыбий жир и т.п.) внутрь экструдированных гранул, разработка методики инженерного расчета вакуумного напылителя;

– разработка конструкции вакуумного напылителя, реализующего режим, обеспечивающий получение высокоусвояемых комбикормов с использованием вакуумного напыления для ценных пород рыб и пушных зверей;

– разработка технологии высокоусвояемых комбикормов с использованием вакуумного напыления для ценных пород рыб и пушных зверей, комплексной технологической линии производства высокоусвояемых комбикормов с использованием вакуумного напыления и разработка нормативно-технической документации;

– проведение испытаний разработанных видов высокоусвояемых комбикормов с использованием вакуумного напыления для определения эффективности их потребления и внедрение разработанных технологии и оборудования.

**Научная новизна.** Разработан концептуальный подход в создании новых видов высокоусвояемых комбикормов с использованием вакуумного напыления; разработаны конструкция вакуумного напылителя и перспективная технология, направленная на повышение питательной ценности, усвояемости и поедаемости

комбикормов.

Выявлены основные кинетические закономерности процесса диффузии жидких компонентов (растительное масло, рыбий жир и т.п.) внутрь экструдированных гранул с обоснованием рациональных параметров процесса диффузии.

Получена математическая модель процесса диффузии жидких компонентов (растительное масло, рыбий жир и т.п.) внутрь экструдированных гранул, позволяющая рассчитать профиль распределения значений концентраций жидких добавок по радиусу экструдированных гранул и определить продолжительность процесса диффузии.

Установлен характер влияния вакуумного напыления на усвояемость и поедаемость разработанных видов высокоусвояемых комбикормов.

**Практическая ценность.** Определены и обоснованы рациональные технологические режимы процесса диффузии жидких компонентов (растительное масло, рыбий жир и т.п.) внутрь экструдированных гранул при производстве высокоусвояемых комбикормов для ценных пород рыб и пушных зверей.

Получены рецепты высокоусвояемых комбикормов с использованием вакуумного напыления, обладающих высокой биологической и энергетической ценностью, сбалансированных по питательной ценности, способствующих росту привесов и снижению затрат корма.

Разработана методика инженерного расчета вакуумного напылителя, позволяющая рассчитать продолжительность технологического цикла работы вакуумного напылителя, сделать гидравлический расчет схемы вакуумного напыления и подобрать вспомогательное оборудование вакуум-линии.

Разработана конструкция вакуумного напылителя, реализующего режим, обеспечивающий получение высокоусвояемых комбикормов с использованием вакуумного напыления.

Разработана новая технология производства высокоусвояемых комбикормов с использованием вакуумного напыления. На основе экспериментальных исследований разработан стандарт организации СТО 9296-540-02068108-2021 (технические условия)

«Высокоусвояемые комбикорма с использованием вакуумного напыления для ценных пород рыб». Разработана комплексная технологическая линия производства высокоусвояемых комбикормов с использованием вакуумного напыления.

Достоверность научных разработок подтверждена промышленной производственной проверкой эффективности скармливания продукционных экструдированных комбикормов в кормлении осетровых рыб на крестьянском фермерском хозяйстве (КФХ) Малахов А.Е.

**Положения, выносимые на защиту:**

– рецептуры высокоусвояемых комбикормов для ценных пород рыб и пушных зверей с использованием вакуумного напыления для повышения продуктивности, обладающих высокой биологической и энергетической ценностью, сбалансированных по питательной ценности, способствующих росту привесов и снижению затрат корма;

– выявленные кинетические закономерности процесса диффузии жидких компонентов (растительное масло, рыбий жир и т.п.) внутрь экструдированных гранул с обоснованием рациональных параметров процесса диффузии; эффективность и обоснование выбора рациональных параметров процесса диффузии жидких компонентов (растительное масло, рыбий жир и т.п.) внутрь экструдированных гранул с использованием плавного, постепенного возрастания их концентрации;

– математическая модель процесса диффузии жидких компонентов (растительное масло, рыбий жир и т.п.) внутрь экструдированных гранул, позволяющая рассчитать характер изменения значений концентраций жидких добавок по радиусу экструдированных гранул и определить продолжительность процесса диффузии;

– эффективность использования высокоусвояемых комбикормов с использованием вакуумного напыления;

– технология производства высокоусвояемых комбикормов с использованием вакуумного напыления.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных научно-технических конференциях (Воронеж, 2020, 2021). Ре-

зультаты работы демонстрировались на конкурсе научных работ «Энергосберегающие процессы и аппараты в пищевых и химических производствах» (г. Воронеж, 2016), V Международной выставке изобретений и инноваций имени Н.Г. Славянова (г. Воронеж, 2020), на IX Агропромышленном конгрессе (г. Воронеж, 2019), по итогам которых работа награждена медалью и дипломами. Являлся лауреатом премии Правительства Воронежской области (г. Воронеж, 2020 г.)

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 15 работ, в том числе 5 статей в журналах, рекомендованных ВАК, 7 патентов РФ и 3 тезиса докладов.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 214 страницах машинописного текста, содержит 68 рисунков и 37 таблиц. Список литературы включает 196 наименований, в том числе 77 на иностранных языках. Приложения к диссертации представлены на 49 страницах.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, научная новизна и практическая значимость выполненных исследований.

**В первой главе** дана краткая характеристика процесса диффузии жидких компонентов, используемого в кормопроизводстве, систематизированы литературные данные о современном состоянии технологий по производству высокоусвояемых комбикормов с использованием вакуумного напыления для ценных пород рыб и пушных зверей, приведен обзор конструкций экструдеров и вакуумных напылителей, а также анализ математических моделей процесса диффузии жидких компонентов. На основании проведенного анализа сформулированы цель и задачи диссертационной работы и определены методы их решения.

**Во второй главе** приведено исследование диффузии жидких компонентов (растительное масло, рыбий жир и т.п.) внутри экструдированных гранул.

Объект исследований – рецептуры высокоусвояемых комбикормов, в состав которых входят рыбная мука, шрот (соевый, рапсовый, подсолнечный), зерновые культуры (пшеница, ячмень, овес, кукуруза и др.), отруби, растительное масло, рыбий и животный жир, витамины и др. Величина вакуума в напылителе изменялась в пределах 19,8–39,2 кПа, частота вращения лопастных валов – 30–45 мин<sup>-1</sup>; продолжительность заполнения вакуумного напылителя  $\tau_1 = 30-50$  с; продолжительность создания вакуума  $\tau_2 = 30-60$  с; продолжительность распыливания жидкости на экструдированные гранулы  $\tau_3 = 45-80$  с; продолжительность вакуумной компенсации  $\tau_4 = 100-220$  с; продолжительность выгрузки гранул  $\tau_5 = 30$  с. В качестве объекта исследования были использованы экструдированные гранулы (диаметр от 0,8 до 12,0 мм, влажность 6-8 %), полученные на одношнековом экструдере с предварительной влаготепловой обработкой в кондиционере-пропаривателе. В качестве жировых компонентов для нанесения на гранулы использовали нерафинированное подсолнечное масло, полученное холодным прессованием, рыбий и животный жир.

Особое внимание было обращено на такой важный параметр, как продолжительность вакуумной компенсации, т. е. время восстановления атмосферного давления в рабочей камере напылителя после вакуумного напыления жидких компонентов на поверхность экструдированных гранул. Установлено, что именно этот параметр, наряду с величиной вакуума в рабочей камере и пористостью гранул, определяет эффективность процесса диффузии жидких компонентов за счет создаваемого перепада давления.

На величину коэффициента утечки масла  $v = (m_{в.м} / m_{гр}) \cdot 100$  %, (где  $m_{в.м}$  – масса вытекшего масла, г;  $m_{гр}$  – начальная масса гранул до вытекания масла, г) из экструдированных гранул для рыб существенное влияние оказывали температура гранул и величина давления в вакуумном напылителе (рисунок 1). Повышение температуры в процессе хранения способствовало утечке масла из гранул вследствие снижения вязкости масла и изменения структуры гранул при декстринизации крахмала.

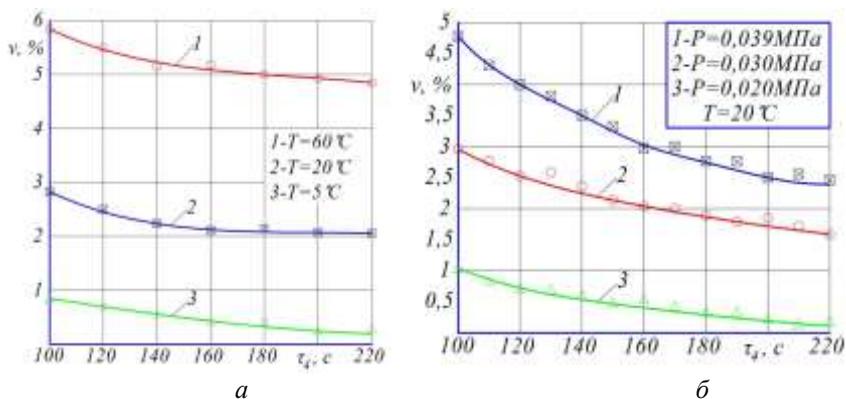


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента утечки масла из экструдированных гранул для рыб (осетровых) от продолжительности вакуумной компенсации при различных температурах (а): 1 – 60 °С; 2 – 20 °С; 3 – 5 °С при  $P = 0,030$  МПа; и давлениях (б): 1 – 0,039 МПа; 2 – 0,030 МПа; 3 – 0,020 МПа при  $T = 20$  °С

Установлено, что величина вакуума в напылителе гарантировала глубокое проникновение масла внутрь гранул, способствовала значительному снижению коэффициента утечки масла (с 3,2 до 0,5 % при продолжительности вакуумной компенсации и температуре 20 °С) (рисунок 1, б). В таблице 1 приведен химический состав экструдированных гранул для осетровых рыб без напыления и с напылением.

Т а б л и ц а 1 – Химический состав гранул для осетровых рыб без напыления и с напылением, %

Показатели	Гранулы без напыления	Гранулы с напылением
Влажность, %	6,2	6,1
Жир, %	5,8	32,5
Белок, %	50,5	36,7
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	458	580

Отличительной особенностью высокоусвояемых комбикормов для норок является относительно низкое содержание жира, которое колеблется в пределах от 4,0 до 5,3 %. Поэтому нет необходимости поддержания глубокого вакуума в рабочей камере вакуумного напылителя. Выявлено, что достаточной величи-

ной вакуума для глубокого проникновения жира вглубь экструдированных гранул является 0,91 МПа (рисунок 2). Если при напылении жировых добавок при атмосферном давлении 0,987 МПа коэффициент утечки масла из экструдированных гранул для норок составлял 0,8-2,4 % в зависимости от продолжительности вакуумной компенсации, то при давлении 0,91 МПа – 0,2-0,5 %.

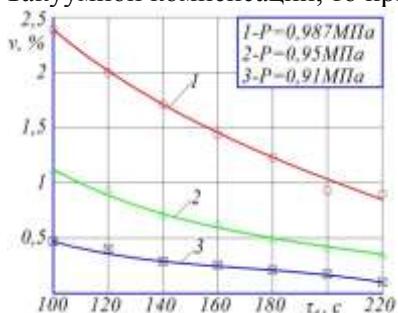


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента утечки масла из экструдированных гранул для норок от продолжительности вакуумной компенсации при различных давлениях МПа:

1 – 0,987; 2 – 0,950; 3 – 0,910  
при  $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

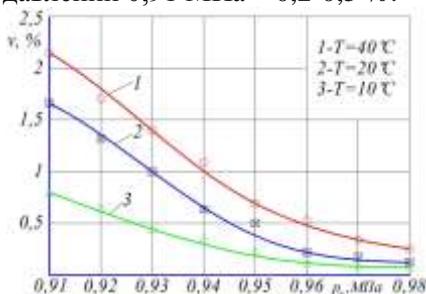


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента утечки масла из экструдированных гранул для норок от величины разрежения в рабочей камере напылителя при различных температурах,  $^\circ\text{C}$ : 1 – 40; 2 – 20; 3 – 10

Значительное влияние на коэффициент утечки масла из экструдированных гранул для норок оказывала температура: если при температуре гранул  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  коэффициент утечки масла составлял 0,3-2,2 % в зависимости от величины давления, то при температуре  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  – 0,1-0,8 % (рисунок 3)

**В третьей главе** приведено аналитическое решение дифференциального уравнения молекулярной диффузии жидких добавок в экструдированных гранулах:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = D_{\tau} \left( \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right). \quad (1)$$

с граничными условиями третьего рода (при условии поглощающей (адсорбционной) поверхности, т.е. когда  $c_{\text{г.пов}} = 0$ ):

$$-D_{\tau} \left( \frac{\partial c}{\partial n} \right)_n = \beta (c_{\tau} - c_{\tau, \text{пов}}) = \beta c_{\tau} \quad (2)$$

и начальными условиями

$$c(x, y, z, 0) = c_0. \quad (3)$$

Примем, что в процессе диффузии жидких добавок внутрь экструдированных гранул температура гранул и их теплофизические характеристики не изменяются, тогда для математического описания такой задачи используем решение нестационарной молекулярной диффузии в телах определенной геометрической формы (неограниченный цилиндр). В допущении постоянства концентрации жидких добавок, т. е.  $c_{\tau, \text{пов}} = \text{const}$ , решение имеет следующий вид

$$\theta = \frac{c_{X=1} - c}{c_{X=1}} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \sin \mu_n}{\mu_n + \sin \mu_n \cos \mu_n} \left( \cos(\mu_n X) \exp(-\mu_n^2 \text{Fo}) \right), \quad (4)$$

где  $c$  – концентрация жидких добавок в экструдированных гранулах;  $c_{\tau, \text{пов}} = c_{X=1}$  – концентрация жидких добавок в экструдированных гранулах на их поверхности;  $(\partial c_{\tau} / \partial n)_n$  – градиент концентрации жидких добавок в непосредственной близости от поверхности гранул;  $D_{\tau}$  – коэффициент молекулярной диффузии жидких добавок в экструдированных гранулах, м/с;  $c_0$  – начальная концентрация жидких добавок в экструдированных гранулах ( $c_0 = 0$ );  $\beta$  – коэффициент массоотдачи, м/с;  $\theta = (c_{X=1} - c) / c_{X=1}$  – безразмерная концентрация жидких добавок в экструдированных гранулах;  $X = x / \delta$  – безразмерная координата;  $\mu_n$  – представляет собой корни характеристического уравнения  $\text{ctg} \mu_n = \mu_n / \text{Bi}$ ;  $\text{Bi} = \beta \delta / D_{\tau}$  – число Био;  $\text{Fo} = D_{\tau} \tau / \delta^2$  – критерий Фурье или безразмерное время;  $\delta = 2r$  – половина толщины гранулы, м.

Тогда для рассматриваемого случая уравнение (4) с учетом того, что концентрация жидких добавок на оси цилиндра (экструдированных гранул) ( $X = 0$ ), и учитывая, что при  $\text{Fo} \geq 0,3$  ряд быстро сходится, поэтому, отбросив все члены ряда, кроме первого, получим следующее уравнение:

$$\theta_{x=0} = \frac{4}{\pi} \exp \left[ - \left( \frac{\pi}{2} \right)^2 \text{Fo} \right]. \quad (5)$$

Логарифмируя выражение (5) и решая его относительно критерия Фурье, получим уравнение для определения продолжительности процесса диффузии:

$$\tau = \left( \frac{2\delta}{\pi} \right)^2 \frac{1}{D_\tau} \ln \left( \frac{1}{\theta_{x=0}} \cdot \frac{4}{\pi} \right), \quad (6)$$

или

$$D_\tau = \left( \frac{2\delta}{\pi} \right)^2 \frac{1}{\tau} \ln \left( \frac{1}{\theta_{x=0}} \cdot \frac{4}{\pi} \right). \quad (7)$$

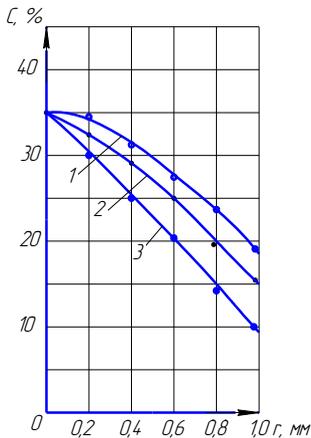


Рисунок 4. - Зависимость изменения концентрации жидких добавок от глубины проникновения внутрь экструдированных гранул при различных величинах разряжения в рабочей камере вакуумного напылителя  $P$ , МПа: 1 - 0,02; 2 - 0,03; 3 - 0,04

С помощью формулы (7) определяем численные значения коэффициентов диффузии  $D_\tau$ , используя для этого время и концентрацию жидких добавок на поверхности экструдированных гранул  $c_{\tau,п}^*$  и  $c_{x=1}$  в центре цилиндра (гранулы) ( $x = \delta$ )  $c_{x=0} = c$ .

Для процесса диффузии жидких добавок внутрь экструдированных гранул по традиционной технологии в дражировочном аппарате были получены значения коэффициента диффузии жидких добавок  $D_\tau = 4,78 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 / \text{с}$ , а с применением вакуумной обработки увеличилось до  $D_\tau = 6,112 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 / \text{с}$ .

Затем, используя решение (7), определим профиль распределения расчетных значений концентраций жидких добавок по радиусу экструдированных гранул (рисунок 4). Сравнение расчетных кривых и экспериментальных данных показывает хорошую

сходимость: среднееквадратичное отклонение не превышало 14,3 %.

**В главе 4** приведены рецептуры экструдированных комбикормов с вакуумным напылением, расчет которых был произведен с помощью программы «ЭкоКорм» и специальных кормовых таблиц. Объектом исследования являлись экструдированные комбикорма с вакуумным напылением: стартовый производственный для осетровых рыб массой от 5 до 100 г (ОСП), производственный оптимальный (ОПО), производственный экономичный (ОПЭ) (для рыб массой от 100 и более 500 г), для маточного стада (ОМ) (таблица 2).

Т а б л и ц а 2 – Состав незаменимых аминокислот в рецептах экструдированных полнорационных комбикормов для осетровых рыб, г/в кг корма

Незаменимые аминокислоты	Рецепты кормов			
	ОСП	ОПО	ОПЭ	ОМ
Лизин*	31,3	26,9	26,2	30,8
Метионин+цистин	11,0	9,4	8,8	10,3
Триптофан	4,5	4,4	4,3	4,8
Аргинин	28,7	23,3	24,6	28,0
Гистидин	12,3	11,6	11,0	13,0
Лейцин	33,6	30,8	31,2	33,3
Изолейцин	16,5	21,5	14,8	16,5
Фенилаланин	25,1	21,4	22,3	23,5
Треонин	20,2	16,8	13,7	14,8
Валин	28,0	21,0	20,8	23,0

\* – без дополнительного введения в рецептуру

Комбикорма обеспечены витаминами и минеральными элементами за счет витаминно-минерального премикса отечественного производства П-110-1, П-110-2 и комплексом незаменимых жирных кислот ПНЖК (витамин F) (таблица 3).

Анализ питательности каждого из компонентов комбикорма сделал возможным замену дорогостоящего животного сырья на более экономичное растительное сырье и жировые отходы. Желатинизация крахмала, впитывание им жира являются важными характеристиками, влияющими на питательные и экологические аспекты комбикорма для осетровых рыб. Введение антиокислителей в кормовую смесь комбикормов (или жир)

Т а б л и ц а 3 – Рецепты экструдированных комбикормов с вакуумным напылением для осетровых рыб (ОПО, ОПЭ, ОМ, ОСП)

Кормовые компоненты	Заменители	Стартовый (ОСП) продукционный (от массы 5 г до массы 100 г)	Производственные (ОП) для рыб от 5 г и более		Для маточного стада (ОМ)
			Оптимальный (ОПО) (от 100 г до 500 г)	Экономичный (ОПЭ) (от 500 г и более)	
Мука рыбная (ПР 63)	-	36,0	27,4	24,8	35,0
Соевый концентрат (ПР 65)	Мука рыбная	7,0	-	-	5,0
Мука мясная (ПР 68)	Мука рыбная, соевый концентрат	8,0	4,0	4,4	4,0
Мука мясокостная (ПР 36)	-	-	5,3	4,1	4,0
Дрожжи кормовые (ПР 30)	-	-	3,0	4,0	-
Мука кровяная (ПР 80)	-	8	8,0	8,0	8,0
Мука кукурузная	Ячмень	4,75	4,0	3,5	4,5
Соевый шрот (ПР 42)	-	-	8,7	10,0	9,05
Пшеница	Ячмень	6	7,0	7,0	7,0
Кукурузный глютен (ПР 59)	-	18	15,3	12,72	12,0
Шрот подсолнечный (ПР 33) (рапсовый)	Шрот кориандровый, жмых амаранта	-	6,4	7,8	-
Рыбий жир	-	10	6,4	8,0	7,8
Подсолнечное масло	Фосфатиды	-	1,5	2,7	1,2
L - лизин	-	0,2	0,3	0,4	-
Фитаза (Натурфос - 10006)	-	-	0,02	0,03	-
Субтилис	-	0,4	0,4	0,3	0,3
Оксикап	-	0,05	0,05	0,05	0,05
Карбонат кальция	-	0,3	0,6	0,6	0,3
Монокальций фосфат	-	0,3	0,6	0,6	0,3
Премикс П-110-2	-	1,0	1,0	1,0	1,5



дом полного зоотехнического анализа. Основным принципом в разработке рецептов экструдированных комбикормов с вакуумным напылением заключался в соотношении питательных веществ (рисунок 6). Как показали зоотехнические исследования, полученные рецептуры комбикормов для пушных зверей способствовали повышенной усвояемости комбикормов, увеличению массы молодняка пушных зверей, удешевлению процесса кормления и повышению интенсивности роста и качества шкурки.

**В пятой главе** приведено описание разработанной конструкции вакуумного напылителя (рисунок 7), технологической линии производства высокоусвояемых комбикормов с использованием вакуумного напыления а (рисунок 8).

Ожидаемый экономический эффект от промышленного внедрения ресурсосберегающей технологии и получения высокоусвояемых комбикормов для осетровых рыб составит 1400,5 тыс. р.

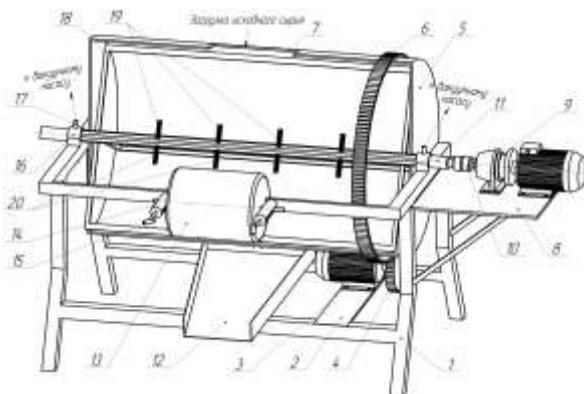


Рисунок 7 – Вакуумный напылитель: 1 – станина; 2 – пластина; 3 – электродвигатель; 4 – зубчатая шестерня; 5 – цилиндрический барабан; 6 – зубчатый венец; 7 – загрузочное отверстие; 8 – площадка; 9 – мотор-редуктор; 10 – муфта; 11 – вал; 12 – лоток; 13 – валик; 14 – подпружиненные регулирующие устройства; 15 – рукоятка; 16 – подшипниковые опоры; 17 – патрубок; 18 – рамная мешалка; 19 – насадки; 20 – распылительные форсунки

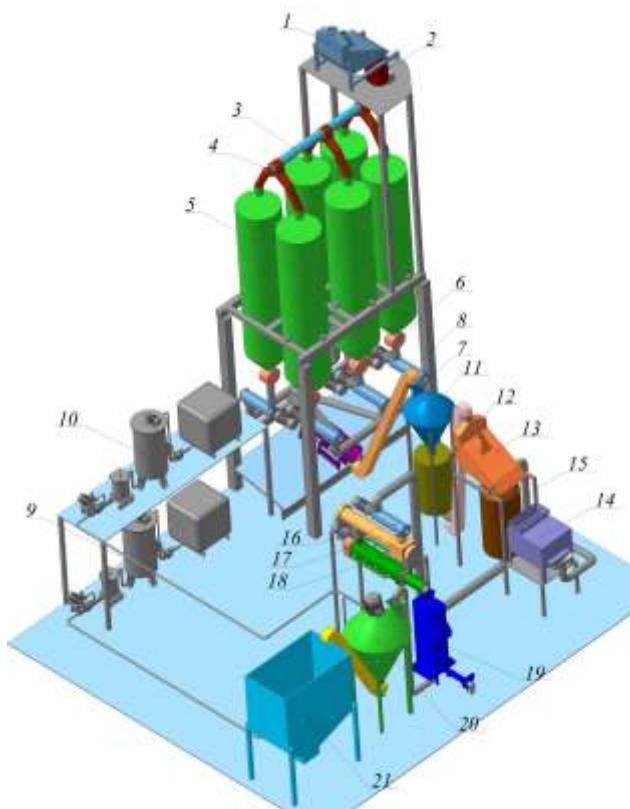


Рисунок 8 – Технологическая линия производства высокоусвояемых комбикормов с использованием вакуумного напыления: 1 – просеиватель; 2-магнитная колонка; 3-питатель шнековый; 4-перекидной клапан; 5 -бункеры; 6-дозаторы; 7 –порционные весы; 8- нория; 9-установка ввода рыбьего жира; 10-установка ввода животного жира; 11 – смеситель; 12 – подсмесительный бункер; 13- просеивающая машина; 14 – дробилка;15-бункер; 16-питатель шнековый; 17 – кондиционер-пропариватель; 18 – экструдер; 19 – сушилка-охладитель; 20 – дражировочный аппарат; 21 – бункер готовой продукции.

## Основные выводы и результаты

1. Разработаны рецептуры высокоусвояемых комбикормов с использованием вакуумного напыления для ценных пород рыб и пушных зверей для повышения продуктивности и снижения конверсии корма.

2. Выявлены кинетические закономерности процесса диффузии жидких компонентов (растительное масло, рыбий жир и т.п.) внутрь экструдированных гранул с обоснованием рациональных параметров процесса диффузии; установлен характер влияния их технологических параметров.

3. Разработана математическая модель процесса диффузии жидких компонентов (растительное масло, рыбий жир и т.п.) внутрь экструдированных гранул, которая позволяет рассчитать характер изменения концентрации жидких добавок по радиусу экструдированных гранул и определить продолжительность процесса диффузии; разработана методика инженерного расчета вакуумного напылителя.

4. Проведенные исследования по определению эффективности потребления разработанных видов высокоусвояемых комбикормов с использованием вакуумного напыления для ценных пород рыб и пушных зверей показали, что их применение способствует снижению затрат корма на 8-12 % за счет лучшей переваримости питательных веществ.

5. Разработан стандарт организации СТО 9296-540-02068108-2021 (технические условия) «Высокоусвояемые комбикорма с использованием вакуумного напыления для ценных пород рыб».

6. Разработана технология и конструкция вакуумного напылителя, реализующего режим, обеспечивающий получение высокоусвояемых комбикормов с использованием вакуумного напыления.

7. Разработана комплексная технологическая линия производства высокоусвояемых комбикормов с использованием вакуумного напыления, применение которой позволит повысить усвоение комбикорма за счет улучшения вкусовых качеств и питательной ценности липидного комплекса.

**Основные положения диссертации опубликованы  
в следующих работах:**

**Публикации в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ**

1. Афанасьев, В.А. Автоматизированные линии ввода жидких компонентов (мелассы) в комбикорма / В.А. Афанасьев, В.В.

Щеблыкин, П.В. Филипцов // Сахар. – 2018. – № 8 (12). – С. 53-55.

2. Афанасьев, В. А. Разработка экструдированных комбикормов для пушных зверей / В. А. Афанасьев, А. Н. Остриков, В. Н. Василенко, Л. Н. Фролова, П.В. Филипцов // Кормопроизводство. – № 5. – 2019. – С. 42-46.

3. Афанасьев, В. А. Расчет горелок инфракрасного нагрева микронизатора с использованием биометана / В. А. Афанасьев, А. Н. Остриков, И. С. Богомолов, Д. А. Нестеров, П. В. Филипцов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2020. – № 82 (1). – С. 17-26.

4. Остриков, А. Н. Математическое моделирование процесса диффузии жидких добавок внутрь экструдированных гранул комбикорма для рыб ценных пород / А. Н. Остриков, И. С. Богомолов, П. В. Филипцов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2020. – № 82 (3). – С. 19-23.

5. Афанасьев, В. А. Разработка технологии высокоусвояемых комбикормов с вакуумным напылением жидких компонентов / В. А. Афанасьев, А.Н. Остриков, И.С. Богомолов, П.В. Филипцов, Л.Н. Фролова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2021. Т. 83. № 1. С. 94–101

#### **Патенты на изобретения**

6. Пат. 2621998 РФ, МПК В01F7/02 (2006.01). Эмульсер / Остриков А.Н., Горбатова А.В., Филипцов П.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий». – № 2016110837, заявл. 24.03.2016; опубл 08.06.2017, Бюл. № 16.

7. Пат. 2736115 РФ, МПК А23G 3/26 (2020.08). Аппарат для вакуумного напыления жировитаминных добавок / Афанасьев В.А., Василенко В.Н., Фролова Л.Н., Копылов М.В., Богомолов И.С., Филипцов П.В.; заявитель и патентообладатель АО «Научно-производственный центр «ВНИИ комбикормовой промышленности». – № 2020101246, заявл. 10.01.2020; опубл. 11.11.2020, Бюл. № 32.

8. Пат. 2736134 РФ, МПК А23N 17/00. Технологическая линия производства комбикормов нового поколения для пушных зверей / Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Желтоухова Е.Ю., Бого-

молов И.С., Филипцов П.В.; заявитель и патентообладатель АО «Научно-производственный центр ВНИИ комбикормовой промышленности». – № 2020101247, заявл. 10.01.2020; опубл. 11.11.2020, Бюл. № 32.

9. Пат. 2728603 РФ, МПК А23N 17/00. Технологическая линия производства полнорационных комбикормов / Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Богомолов И.С., Филипцов П.В., Нестеров Д.А.; заявитель и патентообладатель АО «Научно-производственный центр ВНИИ комбикормовой промышленности». – № 2019125075, заявл. 06.08.2019. опубл. 30.07.2020, Бюл. № 22.

10. Пат. 2728338 РФ, МПК В02В 3/00. Центробежный шелушитель / Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Богомолов И.С., Филипцов П.В., Нестеров Д.А.; заявитель и патентообладатель АО «Научно-производственный центр ВНИИ комбикормовой промышленности». – № 2019125076, //Заявл 06.08.2019. //Опубл. 29.07.2020, Бюл. № 22.

11. Пат. 2740018 РФ, МПК В01D 53/62, В01D 53/48. Комбинированная технологическая линия производства флокированных хлопьев для стартерных и престартерных комбикормов для молодняка сельскохозяйственных животных с использованием очищенного биогаза / Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Шевцов А.А., Терехина А.В., Филипцов П.В., Богомолов И.С., Сизиков К.А.; заявитель и патентообладатель АО «Научно-производственный центр ВНИИ комбикормовой промышленности». – № 2020101151, // Заявл 10.01.2020//. Опубл. 30.12.2020, Бюл. № 12.

12. Пат. 2749885 РФ, МПК А23N 17/00. Технологическая линия производства комбикормов нового поколения для пушных зверей / Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Богомолов И.С., Филипцов П.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий». – № 2020125173, Заявл 29.07.2020. Опубл. 18.06.2021, Бюл. № 17.

### **Статьи и материалы конференций**

13. Разработка конструкции дражировочного аппарата для вакуумного напыления жировитаминных добавок / В.А. Афанасьев, И.С. Богомолов, А.Н. Остриков, М.В. Копылов, П.В. Фи-

липов // Матер. междунар. науч.-технич. конф. «Инженерия перспективного продовольственного машиностроения на основе современных технологий». Воронеж. гос. ун-т инж. технол. – Воронеж: ВГУИТ, 2020. – С. 149-152.

14. Особенности производства экструдированных комбикормов-концентратов для пушных зверей / В.А. Афанасьев, И.С. Богомолов, П.В. Филипов // Матер. LIX отчетной науч. конф. преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2020 год; В 3 ч. Ч. 2. – Воронеж: ВГУИТ, 2021. – С. 37-38.

15. Эксергетический анализ производства экструдированных комбикормов с вакуумным напылением / Василенко В.Н., Фролова Л.Н., Филипов П.В., Драган И.В., Жильцова С.И. // Сб. статей IX Междунар. науч.-техн. конф., «Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений» – Воронеж : ВГУИТ, 2021.– 514-516 с.

Подписано в печать 06.07.2021. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ .

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»  
(ФГБОУ ВО «ВГУИТ»)

Отдел полиграфии ФГБОУ ВО «ВГУИТ»

Адрес университета и отдела полиграфии

394036, Воронеж, пр. Революции, 19