

ЛБторедф  
С 28

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
ИМ. М.В.ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

СЕВОСТЬЯНОВ Александр Афанасьевич

УДК 636.085.55.002.2:639.3

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КОМБИКОРМОВ  
ДЛЯ ЛОСОСЕВЫХ РЫБ

Перечет 1987

Специальность 05.18.02 - технология зерновых,  
бобовых, крупяных продуктов и комбикормов

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Одесса - 1984

Работа выполнена в Одесском технологическом институте пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова и Латвийском филиале Всесоюзного научно-исследовательского института комбикормовой промышленности

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент И.К.ЧАЙКА

Официальные оппоненты: - доктор технических наук, профессор А.Д.ЧМЫРЬ  
- кандидат технических наук, В.И.ЛЕВЧЕНКО

Ведущая организация - Резекненский комбинат хлебопродуктов Министерства заготовок Латвийской ССР

✓ ОРЧУНБ

АРЕФ. Севостьянова

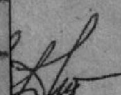
С 28 РАЗРАБОТКА ТЕХ

НОЛОГИИ ПРОИЗВ-ВА КОМБ

№ 014746 1984г.

24.01.91. Васюков

1984 г. в 10<sup>30</sup> час.  
№ 068.35.02 в Одесском  
промышленности имени М.В. Ло-  
лова, II2.  
ся в библиотеке Одесского  
промышленности им. М.В. Ломо-  
носова, 1984 г.

  
В.П.ДУТКО

ОНАХТ 31.05.12  
Разработка технологи



v014746

Актуальность работы. Постановлением ЦК КПСС и Совета Мини-  
стров СССР от 17 августа 1978 года "О мерах по дальнейше-  
му развитию рыбоводства и увеличению вылова рыбы в пресноводных  
водоемах страны", приказом Министра заготовок СССР № 321 от 17  
октября 1978 года поставлены задачи по разработке и промышлен-  
ному освоению специализированных технологических процессов про-  
изводства высококачественных комбикормов для различных видов и  
возрастных групп рыб. Предусмотрено в ближайшие годы организо-  
вать выработку таких комбикормов в объеме более 1,5 млн. тонн,  
что позволит рыбоводческим хозяйствам страны обеспечить выпуск  
продукции в количествах, намеченных Основными направлениями эконо-  
мического и социального развития СССР на 1981-1985 годы и на  
период до 1990 года, Продовольственной программой СССР.

Вопросам разработки технологии производства комбикормов  
для лососевых рыб до настоящего времени в стране не уделялось  
должного внимания, что существенно снижает возможность увеличе-  
ния объемов выращивания лососевых рыб, мясо которых обладает  
высокими вкусовыми и питательными свойствами.

Важное значение имеет совершенствование существующих спо-  
собов производства гранулированных комбикормов, применение кото-  
рых в настоящее время даёт возможность получить до 70% продук-  
ции в прудовых и до 100% в индустриальных рыбоводных хозяйствах.

Биологические особенности лососевых рыб предопределил  
специфические требования к комбикормам, в том числе к питатель-  
ности (содержание сырого протеина более 35%, сырого жира высоко-  
го качества 8...12%, углеводов не более 30%, в том числе сырой  
клетчатки не более 6% и т.д.) и физико-механическим свойствам  
(продолжительность плавления гранул на поверхности воды до двух  
минут, скорость их погружения 30...40 мм/с и другие).

Производство комбикормов для лососевых рыб на комбикормовых  
№ 014746

Одесский технологический институт пищевой промышленности

заводах по традиционной технологии способами сухого и влажного гранулирования не позволяет обеспечить выпуск готовой продукции, наиболее полно соответствующей биологическим особенностям данного вида рыб и способам выращивания. Использование таких комбикормов в промышленном рыбоводстве приводит к значительным потерям корма, достигающим 40...50%, что отрицательно сказывается на себестоимости рыбной продукции и санитарном состоянии водоемов.

На основании анализа данных, имеющихся в литературных, патентных и других источниках установлено, что наиболее эффективным способом производства для лососевых рыб гранулированных комбикормов является экструдирование, которое позволяет совместить процессы формования гранул и направленного изменения, в требуемых пределах, их физико-механических свойств, с целью снижения в 1,5...2,0 раза расхода комбикорма при скармливании.

Важность и актуальность решения указанных вопросов определили выбор темы диссертационной работы.

Цель работы. Целью работы является разработка и обоснование технологического процесса производства комбикормов повышенного качества для лососевых рыб. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

изучены основные свойства сырья и рассыпных комбикормов;

обоснована рациональная схема построения технологического процесса подготовки сырья и комбикормов к гранулированию;

исследован процесс экструдирования комбикормов и установлены оптимальные значения факторов, параметров и показателей качества продукции;

разработана и проверена в условиях опытно-промышленного производства принципиальная схема технологического процесса производства способом экструдирования комбикормов для лососевых рыб;

изучены свойства готовой продукции;

определены условия и сроки хранения комбикормов;

установлена эффективность использования экструдированных комбикормов в промышленном рыбоводстве;

разработаны предложения промышленности для освоения технологии.

Научная новизна. Обоснована технология производства способом экструдирования комбикормов, соответствующих требованиям современного индустриального рыбоводства (а.с. № 976914); установлены закономерности взаимодействия потоков увлажненного материала, параметров процесса и показателей качества продукции при экструдировании комбикормов для лососевых рыб на одночервячном прессе с формулирующим инструментом различного сопротивления; получена математическая модель процесса экструдирования с использованием информативного метода планирования многофакторного эксперимента и синтеза регрессионных моделей объекта на основе табличных данных, характеризующая в пределах области правомочности взаимосвязь основных факторов, параметров процесса и показателей качества продукции; усовершенствована конструкция и схема управления экструдером (а.с. № 944630); изучено влияние параметров процесса экструдирования, условий и сроков хранения на сохранность питательной ценности и санитарное состояние комбикормов для лососевых рыб.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены: на научных конференциях молодых ученых и специалистов ВНИИ комбикормовой промышленности (ВНИИКИ) (Рига, 1980 г., Воронеж, 1981 г.), на совещании в Совете Министров Латвийской ССР (май, 1981 г.), на координационном совете ВНИИКИ (Воронеж, 1981 г.), в Главкомбикорме Минзага СССР (Москва, 1981 г., 1982 г.), на НТС Минзага Латвийской ССР (Рига, 1980, 1981, 1982 гг.). Образцы готовой продукции экспонировались на ВДНХ Латвийской ССР (Рига, 1981 г.).

Публикация результатов. По теме диссертации опубликовано 5 статей и получено три авторских свидетельства.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов и предложений, списка использованной литературы, включающего 183 наименования, в том числе 34 иностранных и приложений. Работа изложена на 240 страницах машинописного текста, содержит 35 рисунков и 36 таблиц.

Практическая ценность и реализация результатов работы. Для внедрения в комбикормовой промышленности рекомендованы: принципиальная схема технологического процесса производства способом экструдирования комбикормов для товарных лососевых рыб; усовершенствованная конструкция и схема управления экструдером для выработки комбикормов в гранулированном виде; оптимальный режим производства экструдированных комбикормов для лососевых рыб; режимы хранения экструдированных комбикормов.

Основные результаты диссертационной работы использованы при создании опытно-промышленного производства способом экструдирования комбикормов в рыбколхозе "Царникава" Латвийской ССР.

Для организации специализированного промышленного производства экструдированных комбикормов для рыб (мощностью 30...33 тыс. т в год), разработаны предложения и проектная документация на реконструкцию цеха карбамидного концентрата Резекненского комбината хлебпродуктов Минзага Латвийской ССР.

Выданы исходные данные для разработки нормативно-технической документации на экструдированные комбикорма для товарных лососевых рыб.

Установлена эффективность использования экструдированных комбикормов для лососевых рыб в промышленном рыболовстве.

На защиту выносятся:

- технология производства способом экструдирования комбикор-

мов для лососевых рыб;

- математическая модель процесса экструдирования;
- оптимальный режим экструдирования и свойства готовой продукции;
- усовершенствованная конструкция и схема управления экструдером;
- режимы хранения экструдированных комбикормов для лососевых рыб.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассмотрены основные направления по совершенствованию техники и технологии производства гранулированных комбикормов и кормовых продуктов в нашей стране и за рубежом.

Исследованию процессов образования гранул из сырья растительного происхождения, продуктов микробиологического синтеза и комбикормов посвящены работы А.Д.Чмыря, Г.А.Фармана, В.М.Наумовича, В.П.Классена, В.Т.Егорова, М.П.Воларовича и др. Обобщение и анализ теоретических предпосылок и результатов исследований позволил установить разнообразие и одновременную сложность объяснения процесса образования гранул без исследования конкретного объекта, методов и условий гранулирования.

Экспериментальные исследования по гранулированию комбикормов для различных видов рыб выполнены в нашей стране Н.И.Полуниной, М.Я.Зицерман, В.И.Левченко, В.Я.Лысенко, а за рубежом В.Гастингом, Г.Пфостом, А.Хейдеманом, С.Вальтером и др. Работы указанных авторов были направлены на получение прочных и водостойких гранул способами сухого, влажного прессования, окатывания и организации производства комбикормов, в основном, для растительных видов рыб.

Анализ результатов рассмотренных работ позволил установить, что предложенные исследователями технические средства и режимы

гранулирования не обеспечивают требуемые показатели качества комбикормов для лососевых рыб; не достаточно изучен вопрос экструдирования комбикормов; не освещены вопросы экструдирования комбикормов с преобладающим содержанием сырья животного происхождения, в том числе влияние основных факторов и параметров процесса на показатели качества; не установлены условия и сроки хранения экструдированных комбикормов для лососевых рыб. В заключении главы сформулирована цель и задачи исследований.

Вторая глава посвящена рассмотрению физических, конструктивных и кинематических факторов, оказывающих влияние на параметры процесса гранулирования и свойства продукции. Анализ результатов исследований позволил сделать вывод о том, что на основе имеющихся данных и современном уровне теоретических разработок не представляется возможным без проведения экспериментальных исследований математически описать взаимосвязь факторов и параметров, проявляющихся на различных этапах технологического процесса и оказывающих доминирующее влияние на качество продукции.

Рассмотрение основных положений общей теории экструзии полимеров (Г.Шенкель, Э.Фишер и др.) позволило определить условия устойчивой работы одночервячного экструдера, закономерности движения потока материала под давлением в зависимости от конструктивных, кинематических, физических факторов и явилось основой для выбора конструкции экструдера, факторов, параметров процесса и планирования направленных экспериментальных исследований без создания нового экструзионного оборудования.

Третья глава посвящена выбору методики и технических средств для проведения исследований в соответствии с поставленной целью и задачами работы. Приведено описание экспериментальной базы и методик проведения исследований, определения показателей качества сырья и готовой продукции.

Экспериментальные исследования выполнены при следующих управляемых факторах:

- $X_1$  - частота вращения шнека питателя,  $c^{-1}$ ;
- $X_2$  - частота вращения червяка экструдера,  $c^{-1}$ ;
- $X_3$  - расход воды на увлажнение комбикорма,  $m^3/c$ ;
- $X_4$  - толщина матрицы, м;
- $X_5$  - диаметр отверстий в матрице, м.

В качестве выходных параметров, характеризующих основные показатели процесса экструдирования и качества продукции, выбраны:

- $Y_1$  - производительность экструдера, кг/с;
- $Y_2$  - продолжительность разбухания гранул, с;
- $Y_3$  - скорость погружения гранул, м/с;
- $Y_4$  - продолжительность плавления гранул, с;
- $Y_5$  - плотность гранул,  $кг/м^3$ ;
- $Y_6$  - изменение содержания витамина А,  $мг/г$ ;
- $Y_7$  - изменение содержания витамина В,  $мг/г$ ;
- $Y_8$  - прочность гранул при сжатии,  $н/м^2$ ;
- $Y_9$  - крошимость гранул, %;
- $Y_{10}$  - водостойкость, с;
- $Y_{11}$  - влажность гранул после матрицы, %;
- $Y_{12}$  - потребляемая экструдером мощность, кВт.

Для контроля процесса приняты следующие параметры: температура продукта в экструдере,  $^{\circ}C$ ; температуре гранул после матрицы,  $^{\circ}C$ ; давление в экструдере, Па; изменение содержания сырого протеина, %; изменение содержания сырого жира, %; изменение качества жира по показателям перекисного, кислотного и йодного чисел; изменение содержания витаминов  $B_1$  и  $B_2$ ,  $мг/кг$ ; объемная масса гранул,  $кг/м^3$ ; общая обсемененность микроорганизмами (содержание грибов и бактерий, тыс/г).

Исследования процесса экструдирования проводили на экспериментальном стенде (рис. I), созданном на базе серийного экструдера КМЗ-2, в конструкцию которого внесены изменения для стабилизации подачи исходного продукта, воды в червячный цилиндр и выпуска комбикорма в гранулированном виде.

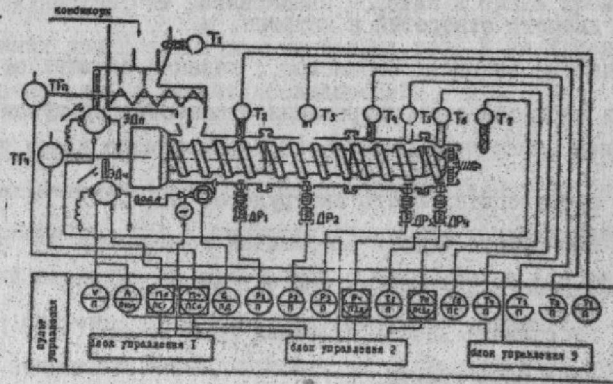


Рис. I. Функциональная схема экспериментального стенда

Схема управления приводом экструдера предусматривает возможность плавного регулирования частоты вращения червяка экструдера и стабилизацию её под нагрузкой, в заданных пределах, системой автоматического регулирования. Привод питателя также оснащен системой плавного регулирования частоты вращения.

Частоту вращения червяка экструдера и шнека питателя контролировали комплектами: датчик (тахогенератор) — показывающий прибор типа ИСТ-1 и ИСТ-2. Расход воды регулировали дистанционно, с контролем по показаниям расходомера УКН-25, ГОСТ 6019-73.

Измерение давлений производили в четырех точках по длине червячного цилиндра. В качестве первичных преобразователей использовали электроманометры типа ЭДМУ с пределами измерений от 0,3 до 8,0 МПа.

Температуру исходного комбикорма  $T_1$  и гранул  $T_7$  измеряли

комплектами: электрический термометр сопротивления — показывающий прибор. Контроль температуры в зонах приема и транспортирования продукта  $T_2, T_3, T_4$  проводили показывающими циферблатными биметаллическими термометрами. Питание первичных преобразователей температуры  $T_1, T_7$  и давления  $DP_1-DP_4$  обеспечивали от стабилизированного источника. В зоне выдавливания и перед матрицей контроль температур  $T_5$  и  $T_6$  осуществляли хромель-копелевыми термопарами с регистрацией показаний на приборах КСП-4.

Потребляемую приводом экструдера мощность определяли по показаниям вольтметра и амперметра. Дистанционное управление тремя и контроль четырнадцати параметров процесса проводили с помощью созданной системы управления, контроля и регистрации факторов и параметров процесса.

При экспериментальных исследованиях использовали рецепты комбикормов для лососевых рыб, действующие в системе Министерства заготовок и разработанные Балтийским научно-исследовательским институтом рыбного хозяйства (БалтНИИРХ).

Подготовку сырья, комбикорма и исследование процесса производства экструдированных комбикормов для лососевых рыб проводили на опытно-промышленной линии /4/, созданной в процессе выполнения данной работы.

Физико-механические свойства сырья, рассыпного комбикорма и готовой продукции изучали по стандартным методикам. Сыпучесть — на вибрационном приборе ВП-12А.

Содержание сырого протеина, витаминов, сырого жира, качество жира, санитарное состояние комбикормов до и после экструдирования и в процессе хранения определяла лаборатория биохимии и эффективности использования комбикормов Латвийского филиала ВНИИП. Анализы по содержанию углеводов и аминокислот выполнены во Всесоюзном селекционно-генетическом институте.

Хранение комбикормов в лабораторных условиях осуществляли в течение четырех месяцев при шести различных режимах со следующими параметрами воздуха: относительная влажность 50; 75 и 90% (температура 15°C), температура 0; 15 и 30°C (относительная влажность 40%). В производственных условиях хранение экструдированных комбикормов проводили в летний период, характеризующийся наиболее интенсивным производством, потреблением корма и неблагоприятными (для хранения) условиями окружающей среды. Продолжительность хранения - один месяц. Отбор образцов, определение биохимических и микробиологических показателей проводили через каждые две недели.

В связи с необходимостью исследования большого количества взаимодействующих факторов и параметров процесса, а также недостаточным уровнем априорной информации об объекте исследования, использован новый подход к планированию многофакторных экспериментов - метод информативного планирования и методика оптимизации, которые разработаны в Рижском политехническом институте для сложных технологических процессов, природа которых не поддается аналитическому описанию на основе имеющихся знаний.

Математическая задача, целью которой было выявление взаимосвязи показателей процесса экструдирования и качества готовой продукции от управляемых факторов, формировалась в виде аналитических выражений, показывающих, как параметры процесса и качество готовой продукции ( $Y_1 - Y_{12}$ ) зависят от влияния управляемых факторов ( $X_1 - X_5$ ) при оптимальном режиме экструдирования.

Построение уравнений регрессии проводили на основе табличных данных в виде суммы элементарных функций с соответствующими коэффициентами. Синтез уравнений из банка элементарных функций проводили в два этапа:

отбор из банка данных наиболее перспективных функций, дающих

минимум  $S_i$ ;

последовательная элиминация отобранных функций с целью определения уравнения и последующим выбором окончательного варианта уравнения по специальной диаграмме исключения  $\mathcal{B} = \mathcal{B}(P)$  и графику  $\mathcal{C} = \mathcal{C}(P)$ .

Аналогично получены уравнения регрессии для всех отобранных показателей  $Y_1 - Y_{12}$ .

Расчет планов и обработка табличных данных проводились по программе "EXPLA" на ЭВМ СМ-4 в Рижском политехническом институте. Для составления комплексного показателя качества, адекватного многокритериальной системе предпочтений, проведено нормирование показателей качества с целью их сопоставимости и равноправия. Наиболее важные специфические особенности системы предпочтений задавали тремя точками в пространстве показателей качества (крайняя допустимая, расчетная и идеальная) со шкалой сравнительной оценки точек.

Оптимизация процесса проводилась по вычислительной программе "SUPLEX" на ЭВМ СМ-4 в Рижском политехническом институте. Экспериментальные данные обрабатывали по стандартным методикам.

В четвертой главе приводятся результаты экспериментальных исследований по разработке технологического процесса производства экструдированных комбикормов для лососевых рыб, условий и сроков хранения готовой продукции, практической реализации работы.

При реализации плана экспериментов установлено, что нарушение основного условия устойчивой работы экструдера, т.е. темп подачи продукта питателем ( $Q_n$ ) больше пропускной способности червячного цилиндра ( $Q_u$ ), приводит к значительному усилению эффекта противодавления, увеличению обратного потока  $Q_p$  и потока утечки  $Q_L$ , распространению зоны повышенной температуры ( $T > 100^\circ\text{C}$ ) и давления ( $P_4 > 1,2 \dots 1,4 \text{ МПа}$ ) в направлении проти-

воположном движении продукта в червячном цилиндре. Аналогичный характер процесс имеет при следующих значениях управляемых факторов:  $X_4 > 0,02$  м,  $X_5 < 3,5 \cdot 10^{-3}$  м. Не установлено пропорциональности между давлением  $P_4$  и пропускной способностью матрицы ( $Q_M$ ). Полученные результаты подтверждают основные положения теории экструзии о существовании зависимости между  $Q$  матрицы, ее сопротивлением  $\omega_M$  и конструктивными характеристиками (толщина, диаметр отверстий и их количество), оказывающими основное влияние на характер движения продукта, развитие градиента давления и, соответственно, обратного потока  $Q_p$  и потока утечки  $Q_L$ .

В связи с тем, что при движении продукта в червячном цилиндре экструдера совмещены операции увлажнения, смешивания, пластификации и влаготепловой обработки под давлением, стабильный ввод воды в требуемых количествах ( $X_3$ ) является (при прочих равных условиях) основным по значимости фактором, который определяет параметры процесса экструдирования и качество продукции. Даже кратковременное прекращение подачи воды в червячный корпус экструдера приводит к резкому повышению температуры  $T_6$  перед матрицей, достигаемому  $100^\circ\text{C}$  от среднего значения, прекращению формирования гранул или выходу экструдера на "режим заклинивания".

В процессе исследований установлено наличие двух существенно отличающихся режимов экструдирования.

Первый режим характерен для толщины матрицы  $X_4 = 0,004 \dots 0,006$  м и высоких уровней расхода воды ( $X_3 = 10,9 \dots 21,7 \cdot 10^{-6}$  м<sup>3</sup>/с). По основным параметрам он соответствует процессу влажного прессования или "холодного" экструдирования:  $T_6 = 70 \dots 80^\circ\text{C}$ ,  $P_4 = 1,5 \dots 2,0 \cdot 10^5$  Па,  $U_5 > 1000$  кг/м<sup>3</sup>,  $U_{10} = 23,4 \dots 30,6 \cdot 10^3$  с, объемная масса более  $500$  кг/м<sup>3</sup>,  $U_I$  до  $0,14$  кг/с, энергоёмкость не превышает  $80 \dots 110 \frac{\text{кВт}\cdot\text{с}}{\text{кг}}$ . Низкие уровни  $T_6$  и  $P_4$  обуславливают повышенную влажность гранул ( $U_{II} = 13,3 \dots 23,0\%$ ) и необходимость дополнительной

сушки продукта в процессе послеэкструзионной обработки.

Второй режим соответствует общепринятым условиям процесса "горячего" экструдирования:  $T_6 = 130 \dots 160^\circ\text{C}$ ,  $P_4$  до  $10,0 \cdot 10^5$  Па, при температуре гранул ( $T_7$ )  $75 \dots 90^\circ\text{C}$ . Наибольшее проявление данного режим имеет при толщине матрицы  $X_4 = 0,007 \dots 0,010$  м. Перепад давления  $P_4$  и температуры  $T_6$  от приведенных значений до соответствующих условиям окружающей среды, имеющий место при выходе продукта из отверстий матрицы, обуславливает проявление эффекта сушки гранул методом "сброса давления", сопровождающейся снижением влажности гранул на  $5,0 \dots 7,0\%$  и образованием пористой структуры. Установлено, что для доведения готовой продукции до требований ТУ, достаточно охлаждения экструдированного комбикорма при общепринятых режимах на серийном оборудовании. Продукт имеет объемную массу менее  $500$  кг/м<sup>3</sup> и плотность  $U_5 < 1000$  кг/м<sup>3</sup>. Пористая структура обеспечивает способность гранул находиться на поверхности воды от нескольких секунд до 24 часов. Режим характеризуется повышенными энергозатратами, достигающими  $325 \frac{\text{кВт}\cdot\text{с}}{\text{кг}}$  и производительностью до  $0,07$  кг/с. Полученные зависимости распределения температуры и давления по длине червячного цилиндра позволили установить, что при высокотемпературных условиях процесса экструдирования температура гранул после матрицы ( $T_7$ ) не превышает температуру продукта в начале зоны выдавливания ( $T_4$ ), обеспечивая кратковременное воздействие (не более  $3 \dots 4$  с) повышенной температуры (более  $100^\circ\text{C}$ ) и давления на перерабатываемый комбикорм.

При исследовании влияния температуры и давления на биохимические показатели и санитарное состояние комбикормов выявлено, что при  $T_6$  до  $160^\circ\text{C}$  не происходит существенного снижения их питательной ценности. Наименее стойкий к высокотемпературному воздействию витамин А, содержание которого при  $T_6 = 160^\circ\text{C}$  уменьшилось на  $3,2\%$ ; витаминов В<sub>I</sub>, В<sub>2</sub> и Е — соответственно на  $3,3; 4,6; 6,7\%$ .

Комплексное воздействие температуры в головке экструдера ( $T_6 > 100^\circ\text{C}$ ) и давления ( $P_4 > 4,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ) обеспечивают полное обеззараживание экструдруемого комбикорма.

При реализации плана экспериментов установлено, что уменьшение количества отверстий в матрице ( $Z$ ) оказывает значительное влияние на параметры процесса и свойства готовой продукции. Результаты исследований приведены на рисунках 2 и 3.

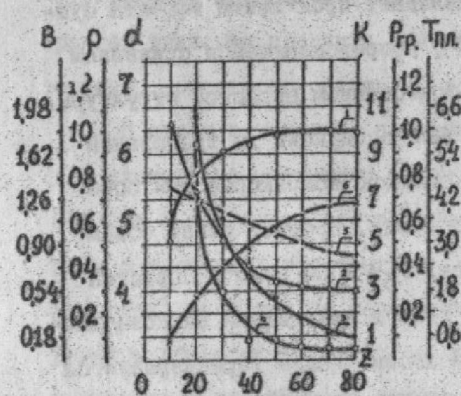


Рис. 2. Зависимость свойств гранул от количества отверстий в матрице ( $Z$ ).

- 1 - ( $\rho$ ) плотность, ( $1,0 \cdot 10^3$ ),  $\text{кг/м}^3$ ;  
 2 - ( $d$ ) диаметр, ( $1,0 \cdot 10^{-3}$ ), м;  
 3 - ( $V$ ) водостойкость, ( $1,0 \cdot 10^3$ ), с;  
 4 - ( $T_{\text{пл}}$ ) продолжительность плавления, ( $1,0 \cdot 10^2$ ), с;  
 5 - ( $P_{\text{гр}}$ ) прочность, ( $1,0 \cdot 10^{-2}$ )  $\text{н/м}^2$ ;  
 6 - ( $K$ ) крошимость, %.

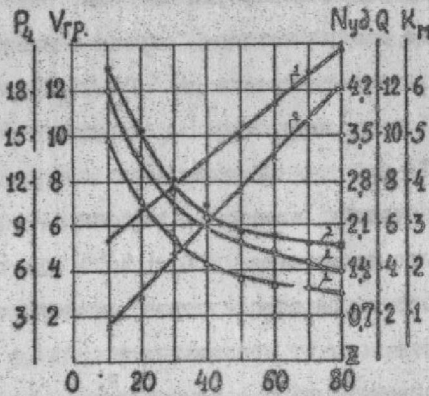


Рис. 3. Зависимость параметров процесса от количества отверстий в матрице ( $Z$ ).

- 1 - ( $V_{\text{гр}}$ ) скорость гранулирования, ( $1,0 \cdot 10^{-3}$ ) м/с;  
 2 - ( $P_4$ ) давление в головке экструдера, ( $1,0 \cdot 10^5$ ) Па;  
 3 - ( $N_{\text{уд}}$ ) удельная энергоёмкость, ( $1,0 \cdot 10^2$ )  $\frac{\text{кВт} \cdot \text{с}}{\text{кг}}$ ;  
 4 - ( $K_m$ ) константа матрицы, ( $1,0 \cdot 10^{-15}$ )  $\text{м}^3$ ;  
 5 - ( $Q$ ) производительность, ( $1,0 \cdot 10^{-2}$ )  $\text{кг/с}$ .

Уменьшение  $Z$  с 80 до 40 увеличивает энергоёмкость процес-

са ( $N_{\text{уд}}$ ) на  $72 \frac{\text{кВт} \cdot \text{с}}{\text{кг}}$ , скорость выхода гранул ( $V_{\text{гр}}$ ) на  $2,5 \cdot 10^{-3}$  м/с, давление ( $P_4$ ) на  $1,5 \cdot 10^5$  Па, диаметр гранул ( $d$ ) на  $0,3 \cdot 10^{-3}$  м, водостойкость ( $V$ ) на 400 с, продолжительность плавления ( $T_{\text{пл}}$ ) на 70 с, снижает производительность ( $Q$ ) на  $0,05$  кг/с, плотность ( $\rho$ ) на  $40,0$   $\text{кг/м}^3$ , крошимость ( $K$ ) на  $2,0\%$ . Еще более выраженная зависимость основных параметров процесса и свойств готовой продукции установлена при  $Z < 40$ . Полученные результаты могут быть реализованы при выработке готовой продукции со свойствами, приведенными на рис. 2 и отсутствии технических возможностей управления другими факторами, обеспечивающими достижение оптимальных условий экструдирования.

Используя табличные данные, полученные при реализации экспериментов, произведен отбор из банка перспективных функций и составлена регрессионная модель в виде комплекса уравнений для каждого  $Y_i$ . Синтезируя уравнения для  $Y_1 - Y_{12}$  с помощью комплекса программ "RESINT", получены искомые уравнения регрессии:

$$Y_1 = -72,1 + 461,0 \cdot Z_1 + \frac{3,4}{Z_1 \cdot Z_2};$$

$$Y_2 = 34,8 - \frac{49,5}{Z_1} + \frac{40,3}{Z_3} - 62,0 \cdot Z_1 \cdot Z_4 + 53,0 \cdot Z_3 \cdot Z_4;$$

$$Y_3 = 90,1 - \frac{12,4}{Z_2} - 17,6 \cdot Z_2 \cdot Z_5 - 12,3 \cdot Z_3^2 - \frac{12,1}{Z_3 \cdot Z_5};$$

$$Y_4 = -77,5 - \frac{36,1}{Z_2} + 33,9 \cdot Z_2 \cdot \frac{10,5}{Z_1} + 13,3 \cdot Z_4 - 11,2 \cdot \frac{Z_1}{Z_1};$$

$$Y_5 = 2630 - \frac{209,0}{Z_2} - \frac{426,0}{Z_2} + \frac{225,0}{Z_1} - 454,0 \cdot Z_2 - 907,0 \cdot Z_4 + \frac{181,0}{Z_3} - \frac{112,0}{Z_1 \cdot Z_4};$$

$$Y_6 = 1,82 + 0,81 \cdot Z_5 + \frac{2,32}{Z_1} - \frac{2,15}{Z_3} - \frac{1,98}{Z_1} \cdot Z_3;$$

$$Y_7 = 1,1 - 0,844 \cdot Z_3 - 0,39 \cdot Z_5 - \frac{0,27}{Z_1};$$

$$Y_8 = 9,55 + 5,95 \cdot Z_3 - \frac{5,54}{Z_2} + 2,01 \cdot Z_5 - 5,0 \cdot Z_1 \cdot Z_2;$$

$$Y_9 = 7,6 - 6,6 \cdot Z_4 - 0,85 \cdot Z_2 - \frac{2,5}{Z_4} + \frac{2,1}{Z_1} + \frac{1,8}{Z_3};$$

$$Y_{10} = 6,3 - 9,8 \cdot Z_1 + \frac{4,9}{Z_4} - \frac{2,1 \cdot Z_1^2}{Z_4} + 85,0 \cdot Z_2 \cdot Z_3 \cdot Z_4;$$

$$Y_{11} = 20,7 - \frac{18,2}{Z_2} - 60,0 \cdot Z_4 + \frac{16,7}{Z_1} + \frac{28,4}{Z_3} + 33,3 \cdot Z_3 - \frac{55,7}{Z_4} + 28,3 \cdot Z_2 + \frac{22,3}{Z_2 \cdot Z_4};$$

к. о. 14746

$$Y_{I2} = -113 + \frac{30,0}{Z_4} - \frac{11,0}{Z_3} + \frac{33,5}{Z_1} + 83,0 \cdot Z_1 \cdot Z_4$$

где  $Z_1 \dots Z_5$  - нормированные аргументы:

$$Z_1 = 0,143 + 0,0143X_1; \quad Z_2 = 1,36 + 0,0057X_2; \quad Z_3 = 0,417 + 0,000833X_3;$$

$$Z_4 = -0,0333 + 0,133X_4; \quad Z_5 = -7,5 + 2,0X_5.$$

Область правомочности зависимостей  $Y_{I1} \dots Y_{I2}$  лежит в следующих пределах:  $0,42 \leq X_1 \leq 1,50$ ;  $5,42 \leq X_2 \leq 8,33$ ;  $1,67 \leq X_3 \leq 21,6$ ;  $0,004 \leq X_4 \leq 0,011$ ;  $0,004 \leq X_5 \leq 0,0045$ .

Уравнения  $Y_{I1} \dots Y_{I2}$  выражают зависимость показателей процесса и качества готовой продукции от управляемых факторов, их сочетаний и являются математической моделью процесса экструдирования комбикормов для лососевых рыб в пределах области правомочности.

С использованием уравнений  $Y_{I1} \dots Y_{I2}$  получены зависимости в виде линий равного уровня для всех случаев, при фиксированных значениях  $X_{I-5}$  в сечении через среднюю точку области. Зависимость  $Y_2$  от  $X_1$  и  $X_3$  приведена на рис. 4.

Оптимизация, выполненная с помощью полученных регрессионных моделей и таблицы сравнительных оценок показателей качества, позволила установить оптимальные значения управляемых факторов процесса:  $X_1 = 0,9 \text{ с}^{-1}$ ;  $X_2 = 6,0 \text{ с}^{-1}$ ;  $X_3 = 21,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $X_4 = 9,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ;  $X_5 = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ .

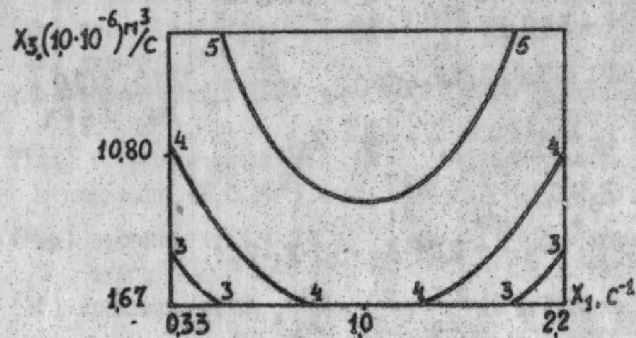


Рис. 4. Зависимость разбухаемости гранул ( $Y_2$ ) от частоты вращения питателя ( $X_1$ ) и расхода воды ( $X_3$ ). Значения уровней  $Y_2$  (б): 3-360; 4-450; 5-720.

При производственной проверке оптимального режима экструдирования, в условиях опытно-промышленного производства, расчетные значения управляемых факторов не были достигнуты только по  $X_1$ . Отклонение фактического значения от расчетного составило 1,11%. По всем параметрам ( $Y_{I1} \dots Y_{I2}$ ) полученные значения находились в области характерных значений таблицы сравнительной оценки показателей. Анализ полученных результатов позволил установить, что оптимальные значения факторов и параметров процесса воспроизводимы в производственных условиях, а показатели качества готовой продукции соответствуют требованиям промышленного рыбоводства к экструдированным комбикормам для лососевых рыб.

В процессе хранения комбикорма в лабораторных и производственных условиях выявлено, что при  $T \leq 30^\circ\text{C}$  и относительной влажности воздуха ( $\Psi$ ) не более 90%, в течение одного месяца не происходит существенная потеря кормовой ценности. При хранении в производственных условиях снижение содержания сырого жира составило 0,7%, сырого протеина - 1,9%. Показатели качества жира соответствовали требованиям ТУ. Аминокислоты, витамины  $B_1$  и  $B_2$  показали высокую стойкость в течение всего срока хранения.

Производственной проверкой эффективности использования экструдированных комбикормов при выращивании лососевых рыб установлено, что кормовой коэффициент не превышает 1,8-2,0 кг/кг (при среднем по стране 3,5 кг/кг), сокращение затрат протеина составило до 404 г/кг прироста рыбы, по сравнению с комбикормами промышленного производства. Народнохозяйственный эффект от эксплуатации опытно-промышленной линии и использования кормов за 1981-1983 гг. составил 394 тыс. рублей, или около 1000 руб/т по сравнению с комбикормами, вырабатываемыми по традиционной технологии.

На основании результатов исследований разработана принципиальная схема технологического процесса производства экструдиро-

ванных комбикормов для рыб (рис.5).

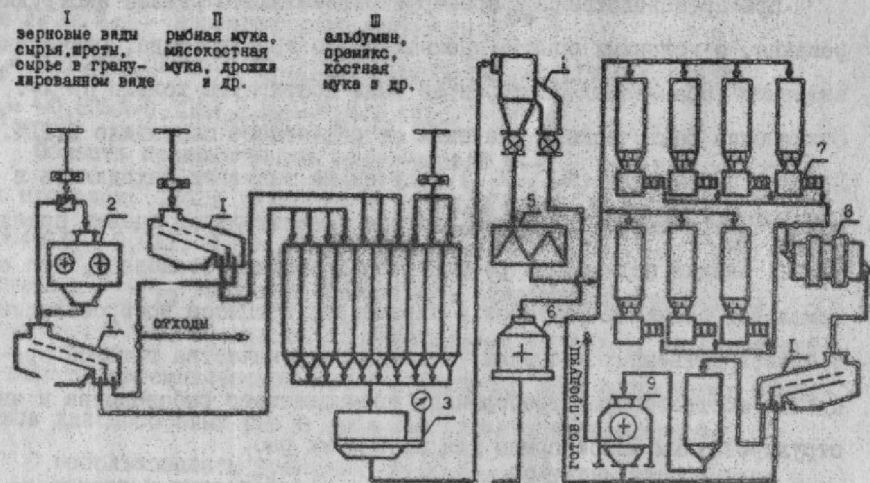


Рис.5. Принципиальная схема технологического процесса производства комбикормов для рыб способом экструдирования.

1-просеивающая машина; 2-измельчитель; 3-весовые дозаторы; 4-вымольная машина; 5-смеситель; 6-молотковая дробилка; 7-экструдер; 8-горизонтальный ленточный охладитель; 9-центробежный щеточный просеиватель.

#### ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Основана возможность производства комбикормов для рыб способом экструдирования с использованием отечественного оборудования.

2. Экспериментально определено, что при экструдировании комбикормов на одночервячном прессе с матрицами различного сопротивления, взаимодействие потоков материала, факторов и параметров процесса соответствует основным положениям теории экструзии неньютоновских масс, перерабатываемых с добавлением жидкой фазы.

3. Установлены два основных режима экструдирования комбикормов, соответствующих параметрам процессов "холодного" экструдирования и экструдирования при повышенных температуре и давлении, позволяющие вырабатывать комбикорма для различных видов рыб, в зависимости от их биологии и требований рыбоводства.

4. Определен оптимальный режим экструдирования комбикормов для ососевых рыб, получены значения управляемых факторов:  $X_1=0,9с^{-1}$ ;  $X_2=6,0с^{-1}$ ;  $X_3=21,6 \cdot 10^{-6} м^3/с$ ;  $X_4=9,25 \cdot 10^{-3} м$ ;  $X_5=4,0 \cdot 10^{-3} м$ .

5. Устойчивая работа экструдера обеспечивается при условии стабильного увлажнения комбикорма и температуре в зоне выдавливания не более  $160^{\circ}C$ . Совмещение процесса формирования гранул и их сушки методом "сброса давления" даёт возможность получения готовой продукции требуемой влажности и исключить из технологического процесса сушку комбикорма.

6. Характер изменения температуры и давления по длине червячного цилиндра экструдера обеспечивает кратковременное воздействие на продукт повышенной температуры и давления (не превышающее 4 с), что не приводит к существенному изменению питательной ценности комбикорма.

7. Получена математическая модель с использованием информативного метода планирования многофакторного эксперимента и методики оптимизации. Установлены зависимости параметров процесса и показателей качества продукции от управляемых факторов.

8. Разработан технологический процесс производства способом экструдирования комбикормов, отвечающих требованиям промышленного рыбоводства.

9. Производственной практикой установлено, что математическая модель достаточно точно отражает реальный процесс, а полученные зависимости и режим экструдирования являются оптимальными

для условий производства и требований к экструдированным комбикормам для лососевых рыб.

Ю. Продолжительность хранения экструдированных комбикормов для лососевых рыб в летний период не должна превышать одного месяца.

II. Для реализации результатов работы в промышленности рекомендуются: принципиальная схема технологического процесса производства способом экструдирования комбикормов для рыб; предложения по организации на базе цехов карбамидного концентрата специализированных промышленных производств; усовершенствованная конструкция и схема управления экструдером; оптимальный режим экструдирования комбикормов для лососевых рыб.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Румянцев О.Д., Севостьянов А.А., Ежимова С.М. Некоторые результаты использования экструдера КМЗ-2 в производстве гранулированных комбикормов для товарных рыб ценных видов. - Труды ВНИИ комбикормовой пром-сти, Воронеж. - М., 1981, вып. 18, с. 62-68.

2. А.с. 944630 (СССР). Устройство для управления работой гранулятора. /Латв. ф-л ВНИИКИ и ЦИТБ Запрыбы; О.Д. Румянцев, А.А. Севостьянов, В.А. Селито. - Заявл. 12.01.81, № 3237070/23-26. - Оpubл. в Б.И., 1982, № 27.

3. а.с. 957833 (СССР). Устройство для сушки и охлаждения кормовых материалов. /Латв. ф-л ВНИИКИ и ЦИТБ Запрыбы; О.Д. Румянцев, А.А. Севостьянов, В.А. Селито, - заявл. 12.01.81, № 3260164/30-15. - Оpubл. в Б.И., 1982, № 34.

4. А.с. 976914 (СССР). Линия производства гранулированных кормов для рыб. /Латв. ф-л ВНИИКИ и ЦИТБ Запрыбы; О.Д. Румянцев, А.А. Севостьянов, В.А. Селито, Л.Г. Сидоров, - заявл. 12.01.81, № 3236895/28-13, - Оpubл. в Б.И., 1982, № 44.

5. Севостьянов А.А. Экструдирование комбикормов для рыб. - Экспресс-информация /ЦНИИТЭИ Минзага, сер: Новое в производстве комбикормов, 1983, вып. 8, с. 4-16.

6. Севостьянов А.А. Производство комбикормов для различных возрастов рыб. - Труды ВНИИ комбикормовой пром-сти, Воронеж, - М., 1983, вып. 23, с. 70-71.

7. Севостьянов А.А., Яншевский Р.М., Букур И.В., Галиченко А.Г. Влияние условий хранения на качество экструдированного комбикорма для форели. - Труды ВНИИ комбикормовой пром-сти, Воронеж, М., 1983, вып. 23, с. 72-76.

8. Севостьянов А.А., Румянцев О.Д. Экспериментальные исследования процесса экструдирования комбикормов для рыб на модернизированном экструдере КМЗ-2. - В кн. "Искусственное кормление лососевых рыб при интенсивных методах воспроизводства", Рига, Авотс, 1984, с. 207-220.

*А.С. Румянцев*