

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ БЕЛКОВО-УГЛЕВОДНЫХ ГРАНУЛ

В статье приведены новые научные данные о получении белково-углеводных гранул для рыб. В результате теоретического анализа и совокупности факторов, влияющих на процесс приготовления гранулята для рыб, авторами обоснована модель оценки процесса получения гранул любого состава и свойств.

Ключевые слова: водостойкие корма для рыб, факторы, смеситель-гранулятор, сушка, технологическая линия, гранулят.

*E.A. Neretina, M.A. Zaytseva,
S.M. Dotsenko, V.A. Makarov*

THE PROCESS PARAMETER SUBSTANTIATION OF THE PROTEIN-CARBOHYDRATE GRANULES OBTAINING

The new scientific data about the protein-carbohydrate granule obtaining for fish are given in the article. As a result of the theoretical analysis and the set of factors that influence on the granulate preparing process for fish the authors substantiated the assessment model for the obtaining process of granules of any composition and properties.

Key words: waterproof fish feed, factors, mixer-granulate, drying, technological line, granulate.

Введение. При производстве товарной рыбы на долю кормов приходится около 50 % общих затрат. В связи с этим получение максимального биологического и экономического эффекта можно добиться только при рациональном кормлении рыбы. Высокая биологическая эффективность кормов для рыб может быть достигнута при соответствующем их качестве и количестве с учетом потребностей рыбного организма в структурных элементах питания [1].

С 2007 года отрасль рыбоводства включена в национальный приоритетный проект «Развитие АПК». В этой связи в федеральном бюджете на развитие рыбной отрасли заложены средства, направленные на приобретение техники, модернизацию технологии производства, приобретение рыбопосадочного материала, а также другие нужды предприятий, занятых в аквакультуре. При этом товаропроизводители получили доступ к долгосрочным кредитам с субсидированием процентных ставок из федерального бюджета на развитие рыбопроизводства.

Однако в настоящее время развитие рыбохозяйственной деятельности в нашей стране всё ещё сдерживается из-за отсутствия рациональных технологий и технических средств приготовления кормов для рыб. В то же время известны схемы кормления рыб с применением рационов, содержащих соевые, высокобелковые продукты в виде полужирной сои, соевого шрота и жмыха, однако при их использовании не обеспечивается высокая эффективность получения рыбной продукции товаропроизводителями.

Таким образом, анализ проведенных исследований и практика показывают, что при соответствующих способах обработки семян сои с помощью определенных технических средств можно получить эффективные кормовые продукты для рыб. В связи с этим исследования, направленные на совершенствование технических средств приготовления белково-углеводных гранул для рыб с использованием соевого компонента, являются актуальными.

Цель исследований. Повышение эффективности процесса приготовления гранулированных кормовых смесей для рыб путем обоснования параметров смесителя-гранулятора и процесса сушки гранул.

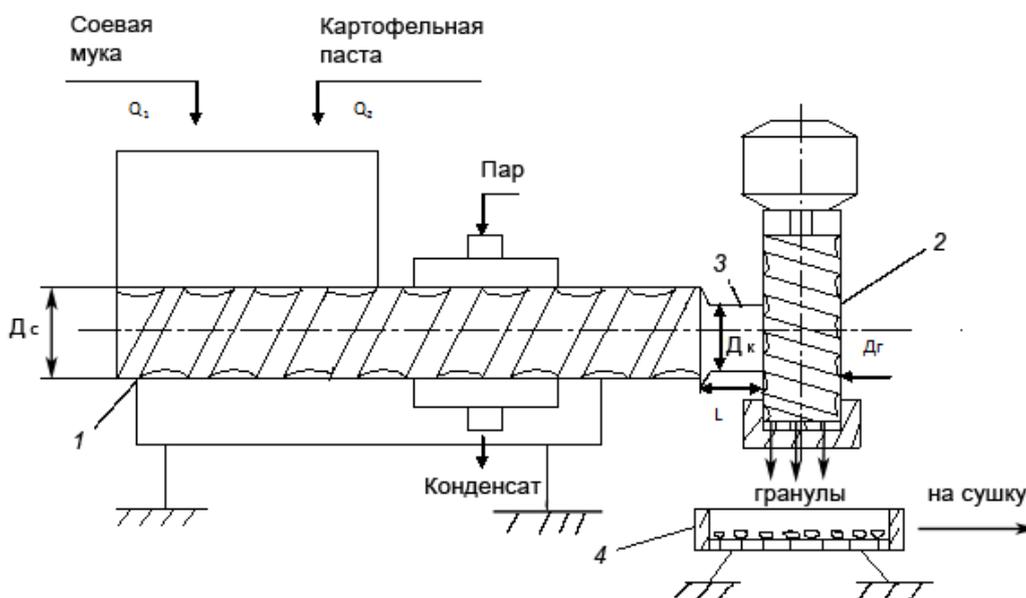
Задачи исследований. Провести теоретический анализ процесса перераспределения влаги между компонентами и обосновать режимные параметры смесителя-гранулятора; получить аналитическую модель оценки процесса приготовления гранулята, связывающую качественные показатели работы и конструктивно-режимные параметры смесителя-гранулятора.

Материалы и методы исследований. Рабочей гипотезой при проведении данных исследований принято предположение, что получить качественную гранулированную кормовую смесь для рыб можно на основе бинарной композиции: необезжиренная термообработанная соевая мука + картофельная паста путем перераспределения влаги между компонентами в процессе их транспортирования с последующим уплотнением в компрессионной камере с помощью специального смесителя-гранулятора при соответствующих рациональных

значениях его конструктивно-режимных параметров, обеспечивающих эффективное относительное перераспределение частиц компонентов, с исключением воздушных пор в продукте, а также формование влажных гранул и их сушку.

Общим методологическим подходом к проведению исследований по данному направлению является системный подход, учитывающий взаимосвязь факторов в их совокупности. В аналитических исследованиях использованы положения и методы теоретической механики, математического анализа, а также механики сплошных сред. Экспериментальные исследования проводились на пилотных установках с использованием методов планирования многофакторного эксперимента. Обработка и анализ полученных данных осуществлялись с помощью методов математической статистики.

Результаты исследований и их обсуждение. На основании проведенного анализа существующих способов и конструкций смесителей-грануляторов [2] нами разработана конструктивно-технологическая схема (рис.) гранулятора кормовых смесей на основе бинарной композиции соевая мука + картофельная паста. Отличительной особенностью данной конструкции является наличие так называемой компрессионной камеры.



Конструктивно-технологическая схема смесителя-гранулятора: 1 – смеситель; 2 – гранулятор; 3 – компрессионная камера; 4 – лоток сетчатый

Наличие данной камеры позволяет создать в ней давление и удалить воздушные порывы в структурной сетке полученного продукта, создав благоприятные условия для получения более прочных гранул.

На основе двухкомпонентной смеси процесс получения гранул с минимальной возможной крошимостью характеризуется в первую очередь равномерностью перераспределения влаги между углеводным компонентом, имеющим $W = 50-60\%$ влаги, и белковым, имеющим $W = 8-10\%$ влаги.

При этом в процессе такого перераспределения влаги углеводный компонент «отдает» влагу, а белковый – «получает» ее. Причем в процессе «получения» такой влажности белковым компонентом происходит набухание белковых веществ, находящихся в соевой муке.

Следовательно, процесс отдачи влаги можно представить как уменьшение массы единицы объема углеводного продукта на величину ΔW^p , то есть

$$W_{ук}^H - W_{ск}^H = \Delta W^p, \quad (1)$$

где $W_{ук}^H$ – начальная влажность углеводного компонента смеси;

$W_{ск}^H$ – начальная влажность соевого компонента смеси.

При завершении процесса перераспределения влажность в двухкомпонентной композиции составит:

$$W_{CM} = \frac{W_{ук} G_{ук} + W_{ск} G_{ск}}{G_{ук} + G_{ск}}, \quad (2)$$

где $G_{ук}$ – масса углеводного компонента;
 $G_{ск}$ – масса соевого компонента.

Для процесса убывания влаги в углеводном компоненте дифференциальное уравнение имеет вид:

$$\frac{dW_{ук}}{dt} = -\varphi W_i; \quad W_i > 0; \quad \varphi > 0, \quad (3)$$

где φ – коэффициент пропорциональности.

При этом значение W_i в определенном объеме V углеводного компонента определяется как содержание влаги в его элементарных объемах V :

$$W_i = \int_0^V W_i(V) dV, \quad (4)$$

где dV – функция распределения содержания влаги в элементарных объемах углеводного компонента.

Разделяя переменные, получаем:

$$\frac{dW_i}{dt} = -\varphi \cdot t. \quad (5)$$

Проинтегрировав уравнение (5), имеем:

$$\ln W_i = \varphi t + \ln C;$$

$$W_i = C \cdot e^{-\varphi t}.$$

При начальном значении времени, равном $t = 0$,

$$W_i = W_{ук}^H, \quad (6)$$

где $W_{ук}^H$ – содержание влаги в углеводном компоненте в начальный момент времени (при его загрузке).

Тогда зависимость изменения перехода влаги из углеводного компонента в соевый имеет следующий вид:

$$W_i = W_{ук}^H \cdot e^{-\varphi t}. \quad (7)$$

Продолжительность перехода влаги от углеводного компонента к соевому определится как

$$t_y = \frac{2,3}{\varphi} \lg W_{ук}^K, \quad (8)$$

где $W_{ук}^K$ – содержание влаги в углеводном компоненте по окончании процесса перераспределения влаги между компонентами смеси.

При этом интенсивность перераспределения влаги между компонентами составит:

$$v = W_{ук}^к e^{-\varphi t} \quad (9)$$

В то же время, согласно принятой нами модели перераспределения влаги между углеводным и белковым компонентами, в последнем происходит приращение массы влаги.

В соответствии с этим положением степень приращения влаги составит:

$$\Sigma = \frac{W_{ук}^н - W_{ук}^к}{W_{ук}^н} 100\%, \quad (10)$$

или

$$\Sigma = \left(\frac{W_{ук}^к}{W_{ук}^н} - 1 \right) 100. \quad (11)$$

Прирост содержания влаги в соевом компоненте за время ее перераспределения в системе углеводный компонент – соевый компонент определится как

$$\frac{dW_i^n}{dt_n} c (W_{ск}^к - W_{ск}^i), \quad (12)$$

где t_n – время перехода влаги в состав соевого компонента;
 c – коэффициент пропорциональности;
 $W_{ск}^к$ – конечная влажность соевого компонента;
 $W_{ск}^i$ – текущее значение влажности соевого компонента.
 Интегрирование выражения (20) дает значение коэффициента c :

$$c = \frac{1}{t_n} \ln \left(1 - \frac{W_{ск}^к}{W_{ск}^i} \right). \quad (13)$$

Из данного выражения получаем зависимость, определяющую значение продолжительности перераспределения влаги между углеводным и соевым компонентами:

$$t_n = \frac{1}{c} \ln \left(1 - \frac{W_{ск}^к}{W_{ск}^i} \right). \quad (14)$$

Вполне очевидно, что для получения прочных гранул влага в их составе должна быть распределена равномерно по объему. Следовательно, в процессе перемещения смеси компонентов их частицы должны перераспределяться полностью между собой в элементарных объемах так же, как и влага. Такое перераспределение частиц компонентов и их влаги должно закончиться вместе с окончанием продвижения продукта в камерах и смесителя и гранулятора.

Таким образом, должно быть соблюдено условие:

$$t_{см} = t_y = t_n. \quad (15)$$

При этом продолжительность смешивания определяется в зависимости от параметров рабочего процесса смесителя-гранулятора:

$$t_{см} \leq \frac{V_{см} \rho_{см}}{Q_{сз}}, \quad (16)$$

где $V_{см}$ – объем смешиваемых компонентов;
 $\rho_{см}$ – усредненная плотность компонентов смеси;
 $Q_{сз}$ – производительность смесителя-гранулятора.

Согласно условию (16), с учетом условия (15), а также выражений (8) и (14), можно записать:

$$Q_{сз} = \frac{\varphi_0 \cdot V \cdot \rho_{см}}{\lg(W_{ук}^H / W_{ук}^K)}, \quad (17)$$

где $\varphi_0 = \frac{2,3}{\varphi}$ или $Q_{сз} = c \cdot V \cdot \rho_{см} / \ln \left[1 - \left(\frac{W_{ск}^K}{W_{ск}^H} \right) \right]$. (18)

При этом

$$\varphi_0 / \lg \left(\frac{W_{ск}^K}{W_{ск}^H} \right) = c / \ln \left(1 - \frac{W_{ск}^K}{W_{ск}^H} \right). \quad (19)$$

Откуда

$$c = \varphi_0 \ln \left(1 - \frac{W_{ск}^K}{W_{ск}^H} \right) / \lg \left(\frac{W_{ск}^K}{W_{ск}^H} \right). \quad (20)$$

В выражениях (17) и (18) неизвестным параметром исследуемого рабочего процесса является плотность композиции в камере смесителя-гранулятора. Неизвестным также является и характер его изменений в процессе транспортирования, перераспределения компонентов и в конечном итоге уплотнения.

В этой связи необходимо разработать технологические подходы к приготовлению гранул однородной и плотной структуры с целью получения гранул с минимальным показателем крошимости, то есть оптимальной прочности.

Гипотетически нами принято, что крошимость гранулята зависит от степени уплотнения k_y продукта в компрессионной камере и подчиняется следующей зависимости:

$$K_p = 100 \cdot e^{-\nu \cdot k_y}, \quad (21)$$

где ν – эмпирический коэффициент.

Если учесть, что в камере смесителя-гранулятора степень уплотнения смешиваемых компонентов определяется наличием воздушных пор в некотором элементарном объеме, то на участке формования гранул необходимо преобразовать движущийся поток продукта таким образом, чтобы удалить воздух и исключить наличие таких пор в продукте.

По сути, возникает необходимость в разработке рационального способа преобразования движущегося потока продукта с целью получения однородной и плотной его структуры.

Решить данную техническую задачу для принятой схемы приготовления гранулированных смесей, а также используемых для их получения белкового и углеводного компонентов из сои и картофеля, возможно путем создания определенного подпора на выходном так называемом «прессующем» участке устройства.

С учетом неразрывности потока для принятой конструктивно-технологической схемы смесителя-гранулятора можно записать следующее условие:

$$F_{см} \rho_{см} V_{см} = F_{зр} \rho_{зр} V_{зр}.$$

Разделив правую и левую части на $\rho_{см}$, получим:

$$F_{см} \cdot v_{см} = F_{зр} \cdot v_{зр} \cdot \frac{\rho_{зр}}{\rho_{см}}. \quad (22)$$

Учитывая, что $\frac{\rho_{зр}}{\rho_{см}} = k_y$, где k_y – степень уплотнения, имеем

$$F_{см} \cdot v_{см} = F_{зр} \cdot v_{зр} \cdot k_y,$$

и тогда

$$k_y = \frac{F_{см} \cdot v_{см}}{F_{зр} \cdot v_{зр}}. \quad (23)$$

Анализ выражения (23) показывает, что при известных значениях параметров $F_{см}$ и $v_{см}$, а также заданном значении k_y , можно обосновать площадь $F_{зр}$ и, следовательно, геометрию камеры, обеспечивающую преобразование потока подачи смеси компонентов в сторону его уплотнения:

$$F_{зр} = \frac{F_{см} \cdot v_{см}}{k_y \cdot v_{зр}}. \quad (24)$$

Для камеры круглого сечения получим, что

$$D_k = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{см} \cdot v_{см}}{\pi \cdot (k_y \cdot v_{зр})}}. \quad (25)$$

Анализ составляющих в выражении (21) и (25) показывает, что параметры, входящие в них, связаны между собой следующей зависимостью:

$$K_p = 100 \cdot e^{\nu \left(\frac{\pi \cdot D_k^2 \cdot v_{зр}}{4 F_{см} \cdot v_{см}} \right)}, \quad (26)$$

$$K_p = 100 \cdot e^{0,785 \cdot \nu \cdot D_k^2 \cdot v_{зр} / 4 F_{см} \cdot v_{см}}. \quad (27)$$

Анализ выражения (27) показывает, что прочность гранул зависит как от параметров смесителя, так и от параметров компрессионной камеры.

Заключение. Таким образом, в процессе теоретических исследований получена аналитическая модель оценки процесса приготовления белково-углеводного гранулята. Данная модель характеризует взаимосвязь прочности получаемых гранул от параметров компрессионной камеры смесителя-гранулятора и позволяет на стадии проектирования данных устройств расчетным путём установить соотношение между диаметром D_k и дли-

ной L_k компрессионной камеры, значение которого должно находиться в пределах $1,46 - 1,50 = \frac{L_k}{D_k}$.

Литература

1. Комбикорма для рыб: производство и методы кормления / Е.А. Гамыгин, В.Я. Лысенко, В.Я. Спяров [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1989. – 168 с.
2. Воякин С.Н. Обоснование процесса и параметров компрессионной камеры смесителя-гранулятора кормов / С.Н. Воякин, А.Н. Вишневецкий, С.М. Доценко [и др.] // Вестн. КрасГАУ. – 2013. – № 12. – С. 208–213.



УДК 631.331

М.В. Пятаев, А.П. Зырянов, Н.А. Кузнецов

К ВОПРОСУ О МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕМЯН РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕМ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ЗЕРНОВОЙ СЕЯЛКИ

В статье рассматривается модель процесса распределения семян вертикальным распределителем пневматической сеялки. Модель получена на основе геометрической аналогии процесса.

Ключевые слова: *распределитель семян, зерновая сеялка, пневматическая высевальная система, равномерность распределения семян, геометрическая аналогия, моделирование.*

M.V. Pyataev, A.P. Zyryanov, N.A. Kuznetsov

TO THE ISSUE OF THE PROCESS MODELING OF THE SEED DISTRIBUTION BY THE DISTRIBUTOR OF THE PNEUMATIC GRAIN SEEDINGMACHINE

The process model of the seed distribution by the vertical distributor of the pneumatic seeding machine is considered in the article. The model is obtained on the basis of the process geometrical analogy.

Key words: *seed distributor, grain seeding machine, pneumatic seeding system, uniformity of seed distribution, geometric analogy, modeling.*

Введение. Одним из перспективных типов машин для посева зерновых культур являются на сегодня сеялки и посевные комплексы с пневматическими централизованными высевальными системами (ПЦВС). Наряду с высокой производительностью посевных агрегатов с машинами данного типа и значительным потенциалом их дальнейшего технического совершенствования в литературе часто отмечают и ряд недостатков. Одним из наиболее существенных является высокая неравномерность высева, которая на отдельных образцах машин может составлять 15 % и более. Анализ имеющихся технических и технологических решений, направленных на улучшение качественных показателей высева, показывает, что ряд из них позволяет в некоторой степени повысить поперечную равномерность высева, однако при этом могут возникать негативные моменты связанные, например, с травмированием семян, избыточным усложнением конструкции распределителей, повышением сопротивления высевальной системы и т.д. Объяснить подобное положение дел возможно либо отсутствием, либо слабой проработкой моделей, позволяющих наглядно описывать процесс распределения семян распределителем, а соответственно и целенаправленно совершенствовать его.

Цель исследований. Разработка модели процесса распределения семян распределителем вертикального типа с использованием приемов геометрической аналогии.

Методика и результаты исследований. В данном случае представляется возможным в первом приближении описать процесс движения и распределения семян в распределителе вертикального типа с помощью геометрической аналогии. За основу можно взять работы ученых, занимавшихся экспериментальными исследованиями движения аэросмесей в вертикальных трубопроводах. В соответствии с полученными данными характер распределения транспортируемых воздушным потоком частиц зернистого материала по сечению вертикального трубопровода можно представить в виде симметричной относительно вертикальной оси параболы [1, 2]. Пик данной параболы характеризует максимальную концентрацию зернистых частиц μ , которая на устойчивых режимах пневмотранспортирования совпадает с осью вертикального трубопровода (рис. 1):