



УДК 631. 363.082. 622

Л.А. Ковалева, С.П. Волков,
С.М. Доценко, В.А. Широков

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ БЕЛКОВО-МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ И ЛИНИИ ДЛЯ ЕЕ ПРОИЗВОДСТВА

В статье обоснованы технологическая линия, а также параметры получения белково-минеральной добавки для сельскохозяйственной птицы, базовой машиной которой является смеситель-гранулятор.

Ключевые слова: кормовая добавка, технология, процесс, смеситель-гранулятор, линия, экономическая эффективность.

L.A.Kovaleva, S.P.Volkov,
S.M.Dotsenko, V.A.Shirokov

THE SUBSTANTIATION OF THE PROCESS PARAMETERS FOR OBTAINING PROTEIN-MINERAL ADDITIVE AND THE LINE FOR ITS PRODUCTION

The production line and the parameters for obtaining protein-mineral additive for the agricultural poultry where the role of the basic machine is performed by the mixer-granulator are substantiated in the article.

Key words: feed additive, technology, process, mixer-granulator, line, economic efficiency.

Введение. Соевое зерно и продукты его переработки широко используются в питании людей, а также кормлении животных и птицы во многих странах мира. В нашей стране соя не нашла должного применения как фуражная культура. Однако включение сои в рационы молодняка сельскохозяйственной птицы в количестве до 30 % от массы концентрированных кормов позволит исключить дефицит белка, незаменимых аминокислот, микроэлементов, жиров и витаминов. Анализ литературных источников по материалам, полученным отечественными и зарубежными учеными, показал, что использование сои в виде белковой добавки эффективно для сельскохозяйственной птицы всех видов и всех возрастов.

Однако наличие в нативной сое антипитательных веществ, таких как ингибитор трипсина, уреазы и т.д., не позволяет применять ее в неподготовленном виде.

Учеными и практиками разработан ряд способов, позволяющих снизить уреазную активность сои и продуктов ее переработки. При этом реализация таких способов затруднительна из-за отсутствия специального технологического оборудования и технических средств.

Так, в настоящее время отсутствуют технологии и технические средства, позволяющие получить формованный продукт в виде гранул из влажной белковой массы для молодняка сельскохозяйственной птицы.

В связи с изложенным исследование, направленные на разработку технических средств для получения белкового гранулята для птицы, являются актуальными.

Цель исследования. Обоснование параметров процесса получения белково-минеральной кормовой добавки и линии для ее получения.

Задачи исследования:

- теоретически обосновать параметры смесителя-гранулятора;
- на основе данного обоснования предложить конструкцию смесителя-гранулятора;
- получить математические модели процесса и научно обосновать оптимальные параметры смесителя-гранулятора;
- разработать схему линии для производства белково-минеральной добавки и определить ее технико-экономическую эффективность.

Материалы и методы исследования. В основу рабочего процесса получения гранул влажного пресования положен принцип колебательного воздействия на двухкомпонентную влажную высокобелковую

смесь с последующим ее транспортированием и продавливанием через отверстия формирующей матрицы. Колебательные воздействия на смешиваемую массу обеспечиваются шнековым рабочим органом, ось вращения которого не совпадает с его продольной осью, а смещена на величину эксцентриситета e (рис. 1) [1]. Из рисунка 1 следуют зависимости:

$$l = h \cdot \cos \alpha ; \quad (1)$$

$$e = l \cdot \operatorname{tg} \alpha ; \quad e = h \cdot \sin \alpha = \frac{l}{\operatorname{ctg} \alpha} , \quad (2)$$

где l – длина корпуса шнека, м; h – длина винтовой поверхности шнека, м.

Для обычного горизонтального шнекового смесителя производительность определяется по известной формуле, кг/с

$$Q = 0,25\pi(D^2 - d^2)v\rho\delta , \quad (3)$$

где D – наружный диаметр шнека, м; d – внутренний диаметр шнека, м; v – осевая скорость движения продукта, м/с; ρ – плотность кормовой смеси, кг/м³; δ – коэффициент наполнения шнека.

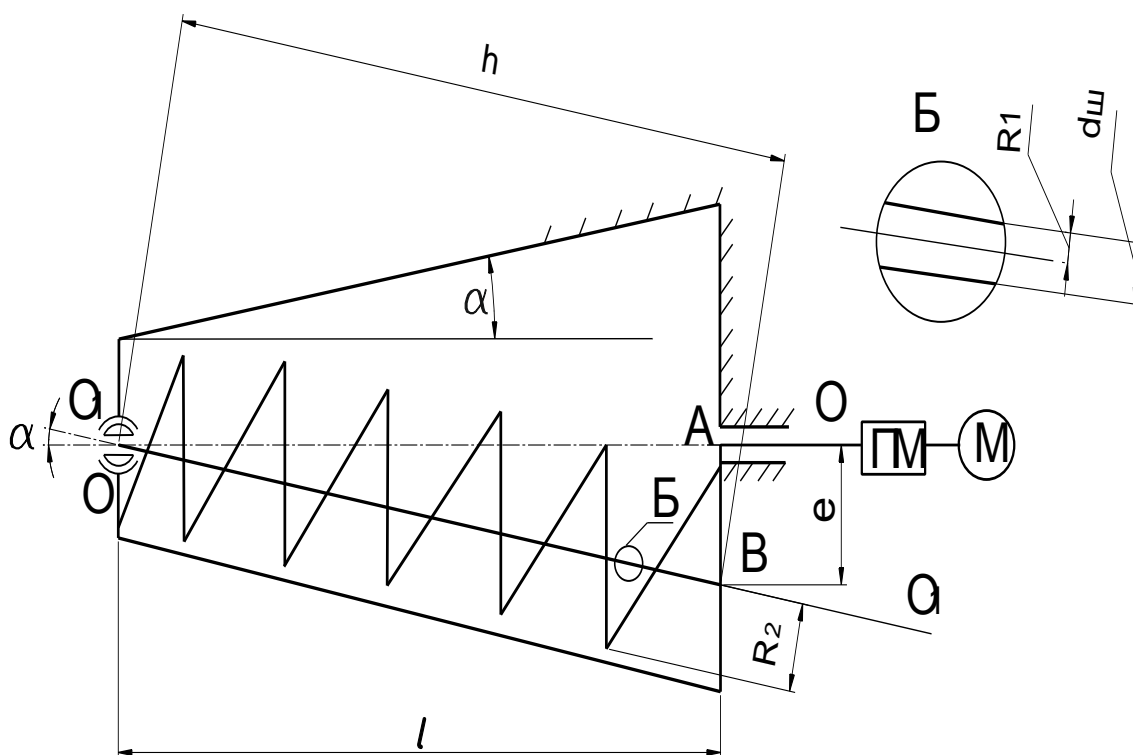


Рис. 1. Схема к определению параметров шнекового смесителя

Анализ показывает, что в отличие от обычного горизонтального смесителя коэффициент наполнения δ рассматриваемого нами винтового шнекового смесителя является переменной величиной в течение периода T установившегося режима работы, определяемого зависимостью $T = 2\pi/\omega$.

Проведя мысленное поперечное сечение шнека на расстоянии Z от начала оси oZ (рис.2), получаем зависимость: $\frac{e(Z)}{e} = \frac{l-Z}{l}$ или $e(Z) = \frac{l-Z}{l} e$. (4)

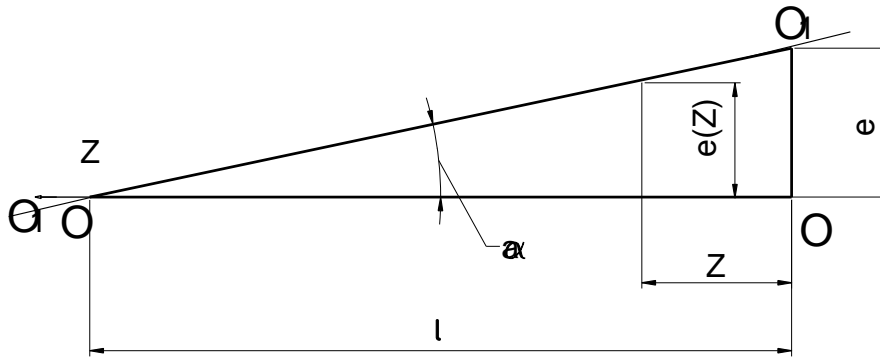


Рис. 2. Схема к определению производительности шнекового смесителя

Для поперечного сечения шнека в момент времени t , когда вектор $\vec{e}(Z)$ (или вектор \vec{e}) находится под углом $\gamma = \omega t$ к оси x (рис. 3), определим коэффициент наполнения $\delta(\gamma)$ при заданной величине γ и уровне массы H .

Выделим отрезок $\Delta(\gamma)$, определяющий глубину погружения нижней кромки винтовой поверхности шнека в белковую массу.

Рассмотрим сегмент $B_1 C_2 B_2 C_1 B_1$ высотой $C_1 C_2 = \Delta(\gamma)$ и радиусом R_2 . Высота $\Delta(\gamma)$ сегмента при заданных значениях H , γ и R_2 , согласно рисунку 3, равна, м

$$\Delta(\gamma) = R_2 + (e \cdot \sin \gamma) - H. \quad (5)$$

При этом угол β (угол $B_2 O_1 C_2$) определяется по зависимости

$$\beta = \arccos \frac{R_2 - \Delta(\gamma)}{R_2}. \quad (6)$$

Площадь сегмента $B_1 C_2 B_2 C_1 B_1$ определяет активную площадь поперечного сечения шнека, воздействующую на белковую массу, а поэтому необходимо найти эту площадь.

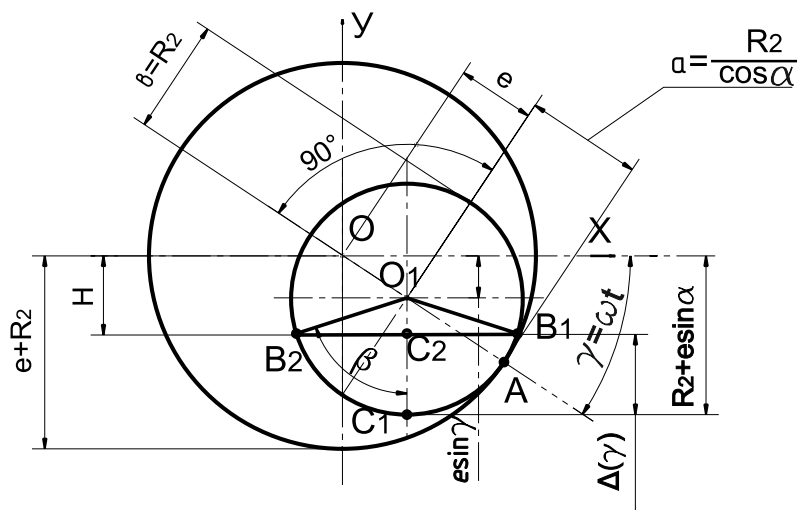


Рис. 3. Схема к определению коэффициента наполнения шнека

Площадь сегмента $B_1 C_2 B_2 C_1 B_1$ равна разности площадей сектора $O_1 B_1 C_1 B_2 O_1$ и треугольника $B_2 O_1 B_1 C_2 B_2$.

Площадь сектора $O_1 B_1 C_1 B_2 O_1$ равна

$$S_{O_1 B_1 C_1 B_2 O_1} = \beta \cdot R_2^2. \quad (7)$$

Площадь треугольника $B_2 O_1 B_1 C_2 B_2$ определяется как

$$S_{B_2 O_1 B_1 C_2 B_2} = (R_2 - \Delta(\gamma)) \cdot \sqrt{2R_2 \cdot \Delta(\gamma) - \Delta^2(\gamma)}. \quad (8)$$

Тогда площадь сегмента $B_1 C_2 B_2 C_1 B_1$ найдем как

$$S_{B_1 C_2 B_2 C_1 B_1} = \left(\arccos \frac{H - e \sin \gamma}{R_2} \right) R_2^2 + (H - e \sin \gamma) \sqrt{R_2^2 - (H - e \sin \gamma)^2}. \quad (9)$$

В равенстве (9) первое слагаемое примем равным А, а второе – В.

В конечном итоге получим формулу для определения коэффициента наполнения шнека смесителя в следующем виде:

$$\delta(\omega t) = \frac{A + B}{\pi(R_2^2 - R_1^2)}. \quad (10)$$

С учетом выражения (10) формула для определения производительности шнекового смесителя со смещенной осью вращения шнека имеет вид

$$Q(\omega t) = \pi(R_2^2 - R_1^2) \cdot v\rho \cdot \delta(\omega t) = v\rho(A + B). \quad (11)$$

Из рисунка 3 следует, что $\delta(\omega t)$ изменяется в пределах от max значения до min. При этом: max $\delta(\omega t)$ при $\gamma = \omega t = \frac{\pi}{2} + \kappa \cdot 2\pi$, где $\kappa = 0, 1, 2, \dots$;

$$\min \delta(\omega t) \gamma = \omega t = \frac{3}{2}\pi + \kappa \cdot 2\pi, \text{ где } \kappa = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Тогда средний коэффициент наполнения шнека определится как

$$\delta_{cp}(\omega t) = \frac{1}{\pi(R_2^2 - R_1^2)} \cdot \frac{1}{T} \int_0^T (A + B) dt. \quad (12)$$

Производительность смесителя за период T установившегося режима работы

$$Q_{cm} = \frac{1}{T} v\rho \left[\left(\arccos \frac{H - e \cdot \sin(\omega t)}{R_2} \right) R_2^2 + (H - e \cdot \sin(\omega t)) \sqrt{R_2^2 - (H - e \cdot \sin(\omega t))^2} \right] dt. \quad (13)$$

На основании проведенного анализа разработана конструктивно-технологическая схема смесителя-гранулятора (рис. 4) [2–4].

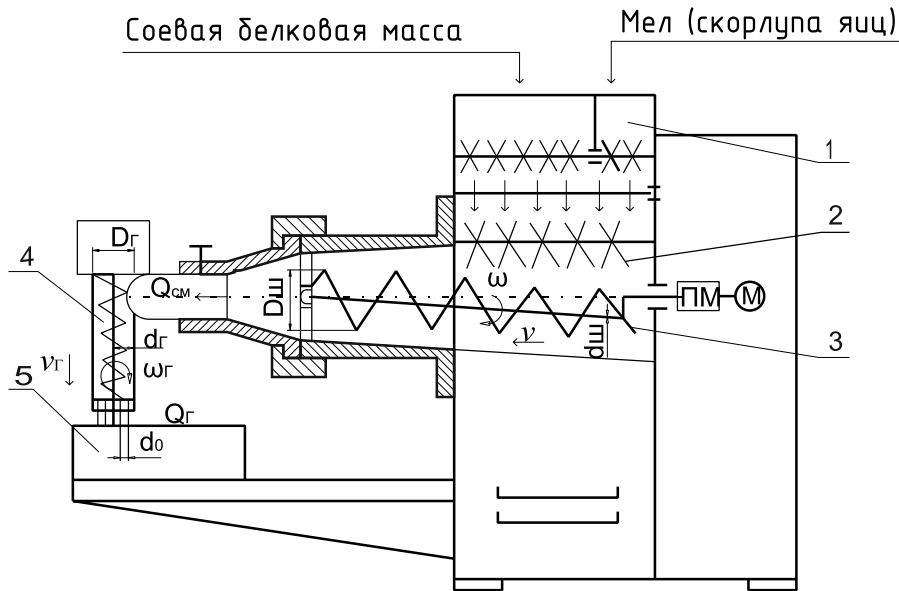


Рис. 4. Схема смесителя-гранулятора: 1 – дозаторы; 2 – ворошители; 3 – шнековый смеситель; 4 – гранулятор; 5 – лоток

Смеситель-гранулятор обеспечивает получение гранул различного диаметра в зависимости от их назначения. Полученный в таком смесителе-грануляторе продукт направляется на сушку, а затем по назначению. Принцип его действия заключается в следующем.

Предварительно полученный соевый белковый продукт загружается в бункер-дозатор 1. В этот же бункер-дозатор загружается мел или скорлупа яиц в порошковой форме, согласно применяемому рациону для птицы. В дозе, определенной рационом, компоненты подаются в шнековый смеситель кормов 3. При этом шнек 3 сконструирован таким образом, что при транспортировке указанных выше компонентов он обеспечивает их смешивание путем периодического встряхивания компонентов, один из которых имеет консистенцию, близкую к творожной массе.

Далее смесь направляется в прессующий узел гранулятора 4, откуда в виде влажных гранул попадает на лоток 5. После этого лоток с влажными гранулами устанавливается в сушильный шкаф «Универсал» с девятью режимами сушки.

Производительность гранулирующего узла данного технического средства определили из условия

$$Q_{см} \leq Q_{Г} = (D_{Г}^2 - d_{Г}^2) \cdot S_{Г} \cdot \omega_{Г} \cdot \rho_{Г} \cdot \delta_{Г} \cdot \beta, \quad (14)$$

где $D_{Г}, d_{Г}$ – соответственно внешний диаметр винта и вала, м; $S_{Г}$ – шаг винта гранулятора, м; $\omega_{Г}$ – угловая скорость вращения винта гранулятора, c^{-1} ; $\rho_{Г}$ – плотность гранул, $кг/м^3$; $\delta_{Г}$ – коэффициент заполнения винта гранулятора.

С учетом формулы (11), при $\omega t = \pi/2$, получили выражение для определения плотности влажных гранул

$$\rho_{Г} = \frac{8\nu\rho\left[\arccos\frac{H-e}{R_2}R_2^2 + (H-e)\sqrt{R_2^2 - (H-e)^2}\right]}{(D_{Г}^2 - d_{Г}^2) \cdot S \cdot \omega_{Г} \cdot \delta_{Г}}. \quad (15)$$

Мощность, затрачиваемая на привод смесителя-гранулятора, равна

$$N_{смГ} = (N_{см} + N_{Г} + N_{xx}) / \eta_{мп} \cdot \eta_{дв}, \quad (16)$$

где $N_{см}$ – мощность, затрачиваемая на процессы смешивания и транспортировки белковой массы, кВт;
 $N_{Г}$ – мощность, затрачиваемая на процесс гранулирования (уплотнения) массы, кВт; N_{xx} – мощность холостого хода, кВт; $\eta_{тр}, \eta_{дв}$ – КПД трансмиссии и электродвигателя при нормальной нагрузке.

В результате обработки априорной информации и проведения поисковых исследований выделены значимые факторы, оказывающие наибольшее влияние на исследуемый процесс: длина кривошипа – e , мм; шаг винта шнека – t , мм; угловая скорость вращения шнека – ω , c^{-1} .

Обозначения и уровни варьирования факторов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Факторы и уровни их варьирования

Уровень факторов	Факторы		
	Длина кривошипа	Шаг винта шнека	Угловая скорость вращения шнека
	X_1/l , мм	X_2/t , мм	X_3/ω , c^{-1}
Верхний	7,5	25	15
Основной	5	20	10
Нижний	2,5	15	5
Интервал варьирования	2,5	5	5

После реализации эксперимента по матрице 3^x -уровневого плана и получения значений критериев оптимизации для откликов (θ – однородность смеси, % и $N_э$ – энергоемкость, кВт·с/кг) проведена обработка полученных результатов и построены математические модели в виде уравнений регрессии:

для однородности смешивания

$$\theta = -59,677 + 8,892e + 8,869t + 5,509\omega - 0,280et - 0,240e\omega - 0,180t\omega - 0,124t^2 \longrightarrow \max; \quad (17)$$

для энергоемкости

$$N_э = 38,705 + 1,054e + 5,438t + 0,888\omega - 0,123t^2 \longrightarrow \min. \quad (18)$$

Таблица 2

Результаты регрессионного анализа

Критерий	a_0	a_1	a_2	a_3	a_{12}	a_{13}	a_{23}	a_{22}	Заключение об адекватности	
									F_R	F_T
Y_1/θ	91,472	2,231	3,451	3,548	-3,500	-3,000	-4,500	-3,112	5,2864	3,79
$Y_2/N_э$	112,130	2,636	2,442	4,442	-	-	-	-3,094	8,2636	5,96

Анализ частных коэффициентов корреляции показал, что на процесс получения гранулированной смеси наибольшее влияние оказывают длина кривошипа e (фактор X_1) и шаг винта шнека t (фактор X_2).

Адекватность моделей подтверждается с вероятностью $P=0,95$ при коэффициентах корреляции $R_1=0,92$ и $R_2=0,93$ неравенством $F_R > F_T = 5,28 > 3,79$ и $8,26 > 5,96$ (табл. 2).

Проведенный анализ и решение полученных уравнений регрессии позволили определить оптимальные значения параметров, которые равны: длина кривошипа – 2,5 мм; шаг винта шнека – 24,15 мм; угловая скорость вращения шнека – 13,8 c^{-1} .

При указанных выше значениях параметров однородность смешивания равна 95,0 %, а энергоемкость – $N_э=39,3$ кВт·с/кг.

В ходе эксперимента установлена зависимость прочности гранул Pr от времени их сушки t . Данная зависимость, после соответствующей математической обработки, аппроксимирована уравнением следующего вида:

$$Pr = 96,07 - 147,79 e^{-0,114t} \quad (19)$$

Учитывая тот факт, что прочность гранул – это параметр, который задается технологическими требованиями, необходимо пользоваться выражением, с помощью которого можно определить время сушки [5]

$$t = 43,9 - 8,8 \ln(96,07 - Pr) \quad (20)$$

Производственные испытания проводились в кормоприготовительном цехе ЗАО «Никольская птицефабрика» Амурской области. Кормосмесь готовилась по рецепту ПК-5-1-89, в котором соевый и подсолнечниковый шрот, рыбная и мясокостная мука заменялись соевой белковой массой.

Соевая белковая масса, получаемая на оборудовании цеха, соответствовала требованиям ТУ 929110-001-22192276-96 «Белок соевый», гигиенический сертификат №103 от 05.07.96.

Технологический процесс производства данного кормового продукта осуществлялся по следующей схеме: замачивание семян сои → измельчение → экстракция белка → нагрев суспензии → коагуляция → отжим → дозирование белковой массы и мела (скорлупы яиц) → смешивание → гранулирование → сушка → хранение → реализация.

На рисунке 5 представлена конструктивно-технологическая схема линии получения гранулята [6].

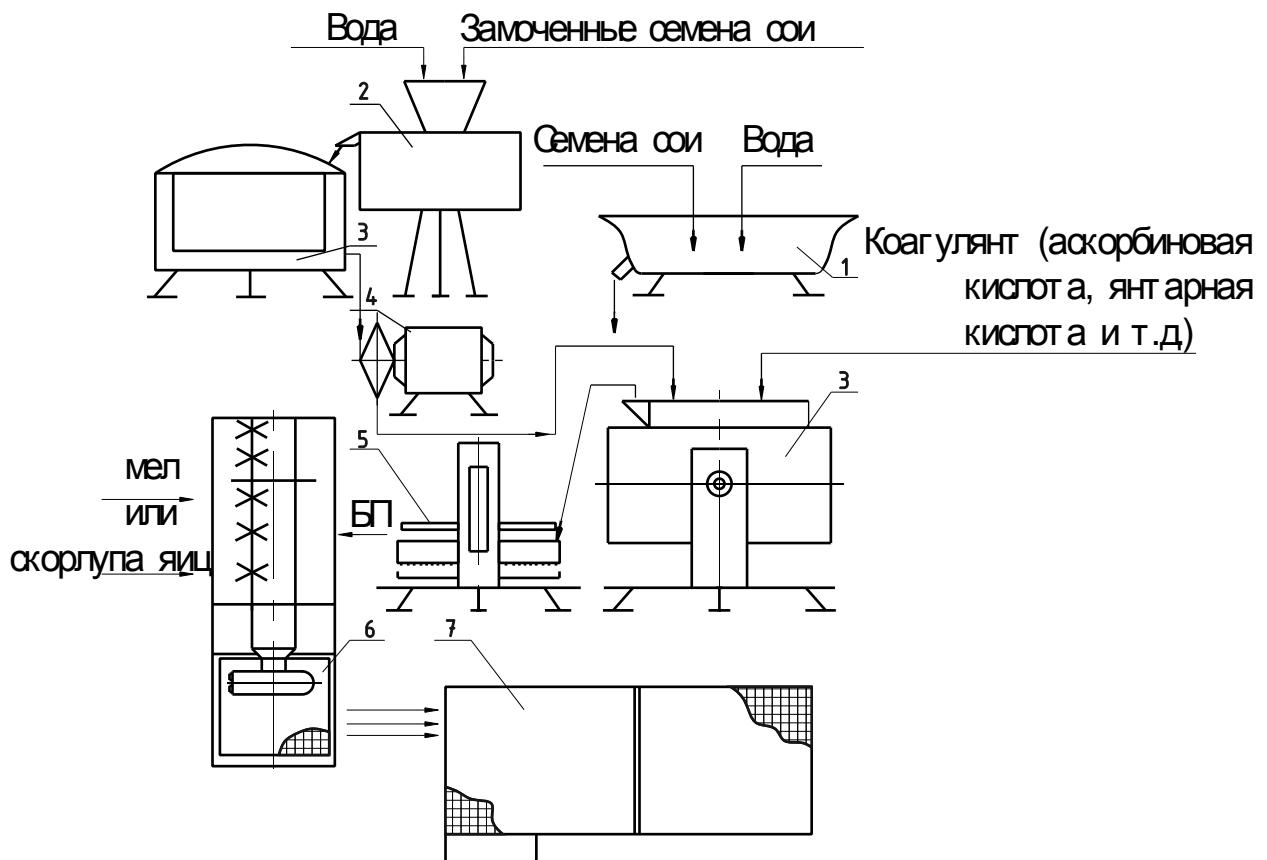


Рис. 5. Конструктивно-технологическая схема линии приготовления белково-минерального гранулята для птиц: 1 – ванна; 2 – измельчитель-экстрактор; 3 – котлы; 4 – насос; 5 – пресс; 6 – смеситель-гранулятор; 7 – сушильный шкаф; БП – белковый продукт

Выводы. В результате анализа установлено, что наиболее рациональным и перспективным направлением в разработке шнековых смесителей для получения белково-минеральных композиций является создание смесителей-грануляторов со смещенной осью вращения шнекового рабочего органа.

Теоретические исследования рабочего процесса смесителя-гранулятора со шнеком, имеющим смещенную ось вращения, позволили обосновать конструктивно-режимные параметры смесителя-гранулятора и получить аналитическое выражение для расчета плотности влажных гранул на стадии проектирования указанных технических средств.

В результате экспериментальных исследований получены математические модели процесса смешивания белково-минеральных компонентов рациона птицы, на основании которых обоснованы оптимальные параметры смесителя-гранулятора.

Экспериментальным путем установлена зависимость прочности белково-минеральных гранул от времени их сушки, с учетом начальной и конечной плотности.

В результате сравнительной технико-экономической оценки разработанного смесителя-гранулятора установлено, что он имеет на 25 % меньшую металлоемкость, на 92–144 % меньшую энергоемкость в сравнении с оборудованием ОГМ-0,8. Годовой экономический эффект по приведенным затратам равен 866886,6 руб. для птицефермы на 10666 бройлеров. При этом верхняя лимитная цена комплекта оборудования разработанной линии составляет 464895,2 рублей.

Литература

1. *Доценко С.М., Ковалева Л.А.* Расчет технологической линии производства соевой белковой добавки для цыплят // *Механизация и электрификация сельского хозяйства.* – 2007. – № 9. – С. 21–22.
2. *Доценко С.М., Ковалева Л.А.* Обоснование технологических и конструктивно-режимных параметров смесителя-гранулятора // *Сб. науч. тр. / РАСХН, Дальневост. науч.-метод. центр. ВНИИ сои.* – Благовещенск, 2007. – С. 181–190.
3. Рекомендации по разработке технологической линии и технических средств получения высокобелковых гранулированных кормовых смесей для с.-х. птицы / *С.М. Доценко, С.П. Волков, Л.А. Ковалева [и др.]*. – Благовещенск: Тип. УВД по Амурской области, 2007. – 30 с.
4. *Ковалева Л.А.* Обоснование технологии и параметров линии получения высокобелковой соевой добавки с.-х. птице в виде гранулята // *Вестник ДальГАУ.* – Благовещенск, 2007. – № 3. – С. 99–102.
5. *Доценко С.М., Ковалева Л.А.* Методика расчета технологической линии получения белкового гранулята // *Сб. науч. тр. / РАСХН, Дальневост. науч.-метод. центр. ВНИИ сои.* – Благовещенск, 2007. – С. 191–193.
6. Научные основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием соевого компонента для с.-х. птицы / *С.Н. Воякин, С.М. Доценко, Л.А. Ковалева [и др.]*. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2013. – 206 с.

