



## ТЕХНИКА

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, уреаза 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 исследования, 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 прессования положен принцип колебательного воздействия на двухкомпонентную влажную высокобелковую

смесь с последующим ее транспортированием и продавливанием через отверстия формующей 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;  $\rho$  – плотность кормовой смеси, кг/м<sup>3</sup>;  $\delta$  – коэффициент наполнения шнека.

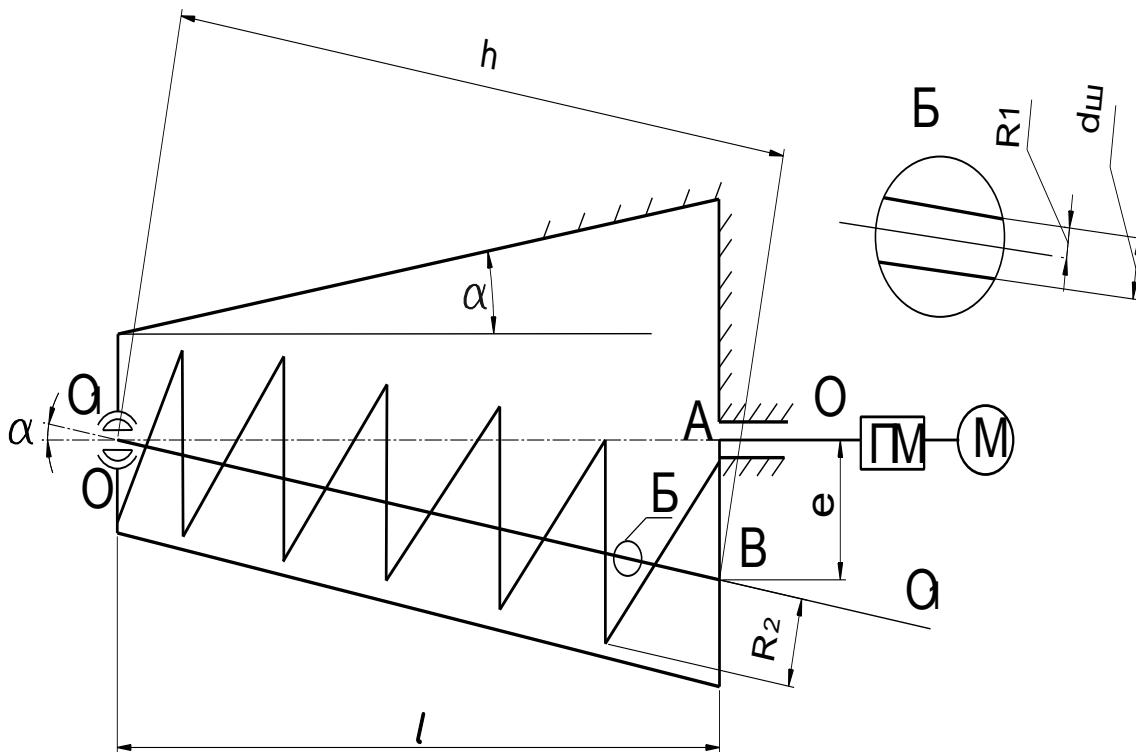


Рис. 1. Схема к определению параметров шнекового смесителя

Анализ показывает, что в отличие от обычного горизонтального смесителя коэффициент наполнения  $\delta$  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 о $Z$  (рис.2), получаем зависимость:  $\frac{e(Z)}{e} = \frac{l-Z}{l}$  или  $e(Z) = \frac{l-Z}{l} e$ . (4)

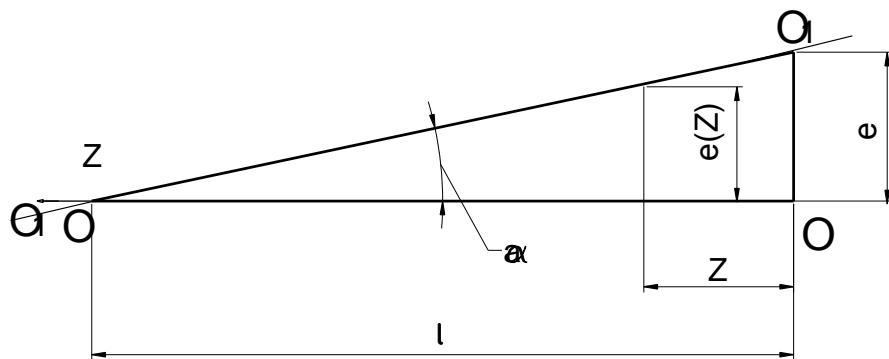


Рис. 2. Схема к определению производительности шнекового смесителя

Для поперечного сечения шнека в момент времени  $t$ , когда вектор  $\bar{e}(Z)$  (или вектор  $\bar{e}$ ) находится под углом  $\gamma = \omega t$  к оси  $x$  (рис. 3), определим коэффициент наполнения  $\delta(\gamma)$  при заданной величине  $\gamma$  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  $H$ ,  $\gamma$  и  $R_2$ , согласно рисунку 3, равна, м

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

При этом угол  $\beta$  (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.

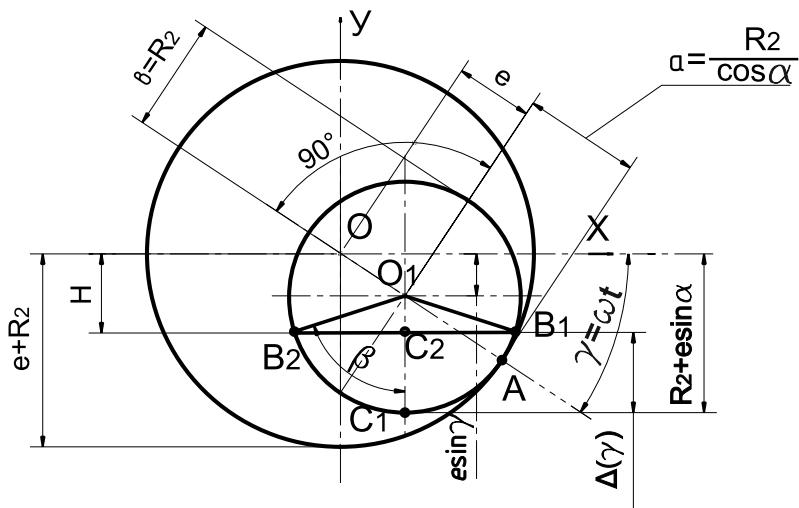


Рис. 3. Схема к определению коэффициента наполнения шнека

Площадь сегмента  $B_1C_2B_2C_1B_1$  равна разности площадей сектора  $O_1B_1C_1B_2O_1$  и треугольника  $B_2O_1B_1C_2B_2$ .

Площадь сектора  $O_1B_1C_1B_2O_1$  равна

$$S_{O_1B_1C_1B_2O_1} = \beta \cdot R_2^2. \quad (7)$$

Площадь треугольника  $B_2O_1B_1C_2B_2$  определяется как

$$S_{B_2O_1B_1C_2B_2} = (R_2 - \Delta(\gamma)) \cdot \sqrt{2R_2 \cdot \Delta(\gamma) - \Delta^2(\gamma)}. \quad (8)$$

Тогда площадь сегмента  $B_1C_2B_2C_1B_1$  найдем как

$$S_{B_1C_2B_2C_1B_1} = (\arccos \frac{H - e \sin \gamma}{R_2}) R_2^2 + (H - e \sin \gamma) \sqrt{R_2^2 - (H - e \sin \gamma)^2}. \quad (9)$$

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 Т установившегося режима работы

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

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

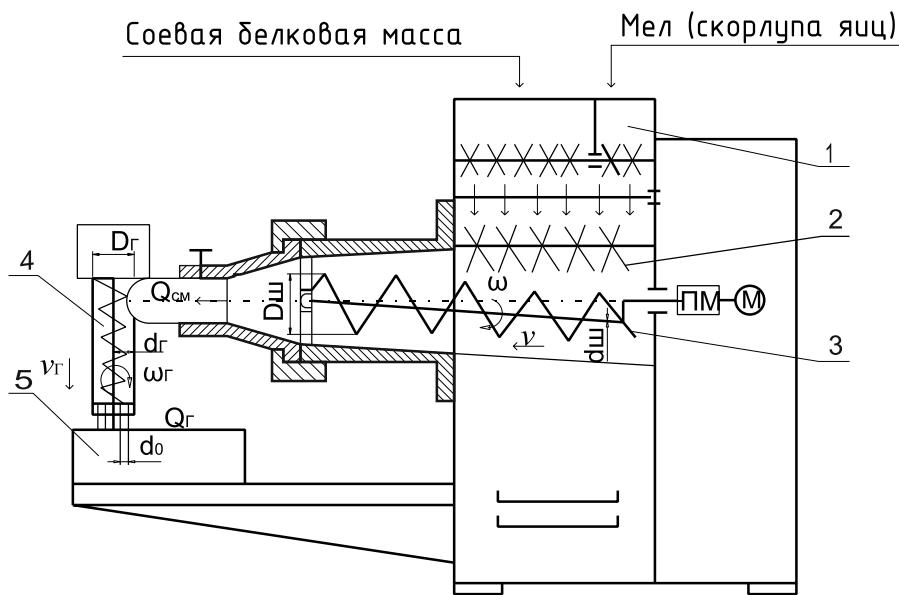


Рис. 4. Схема смесителя-гранулятора: 1 – дозаторы; 2 – ворошители; 3 – шнековый смеситель; 4 – гранулятор; 5 – лоток

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

$$Q_{cm} \leq Q_g = (D_g^2 - d_g^2) \cdot S_g \cdot \omega_g \cdot \rho_g \cdot \delta_g / 8, \quad (14)$$

где  $D_g, d_g$  – соответственно внешний диаметр винта и вала, м;  $S_g$  – шаг винта гранулятора, м;  $\omega_g$  – угловая скорость вращения винта гранулятора,  $c^{-1}$ ;  $\rho_g$  – плотность гранул,  $kg/m^3$ ;  $\delta_g$  – коэффициент заполнения винта гранулятора.

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

$$\rho_g = \frac{8v\rho[(\arccos \frac{H-e}{R_2})R_2^2 + (H-e)\sqrt{R_2^2 - (H-e)^2}]}{(D_g^2 - d_g^2) \cdot S \cdot \omega_g \cdot \delta_g}. \quad (15)$$

Мощность, затрачиваемая на привод смесителя-гранулятора, равна

$$N_{cmg} = (N_{cm} + N_r + N_{xx}) / \eta_{mp} \cdot \eta_{ob}, \quad (16)$$

где  $N_{cm}$  – мощность, затрачиваемая на процессы смещивания и транспортировки белковой массы, кВт;  $N_\Gamma$  – мощность, затрачиваемая на процесс гранулирования (уплотнения) массы, кВт;  $N_{xx}$  – мощность холостого хода, кВт;  $\eta_{mp}, \eta_{\partial\omega}$  – 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 –  $\omega$ , с<sup>-1</sup>.

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
	$X_1/e$ , мм	$X_2/t$ , мм	$X_3/\omega$ , с <sup>-1</sup>
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<sup>k</sup>-уровневого плана и получения значений критериев оптимизации для откликов ( $\theta$  – однородность смеси, % и  $N_3$  – энергоемкость, кВт·с/кг) проведена обработка полученных результатов и построены математические модели в виде уравнений регрессии:

для однородности смешивания

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

для энергоемкости

$$N_3 = 38,705 + 1,054e + 5,438t + 0,888\omega - 0,123t^2 \longrightarrow \min. \quad (18)$$

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	
	$F_R$	$F_T$								
$Y_1/\theta$	91,472	2,231	3,451	3,548	-3,500	-3,000	-4,500	-3,112	5,2864	3,79
$Y_2/N_3$	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 с<sup>-1</sup>.

При указанных выше значениях параметров однородность смешивания равна 95,0 %, а энергоемкость –  $N_3=39,3$  кВт·с/кг.

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

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

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

$$t=43,9-8,8\ln(96,07-\text{Пр}). \quad (20)$$

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 супензии → 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].

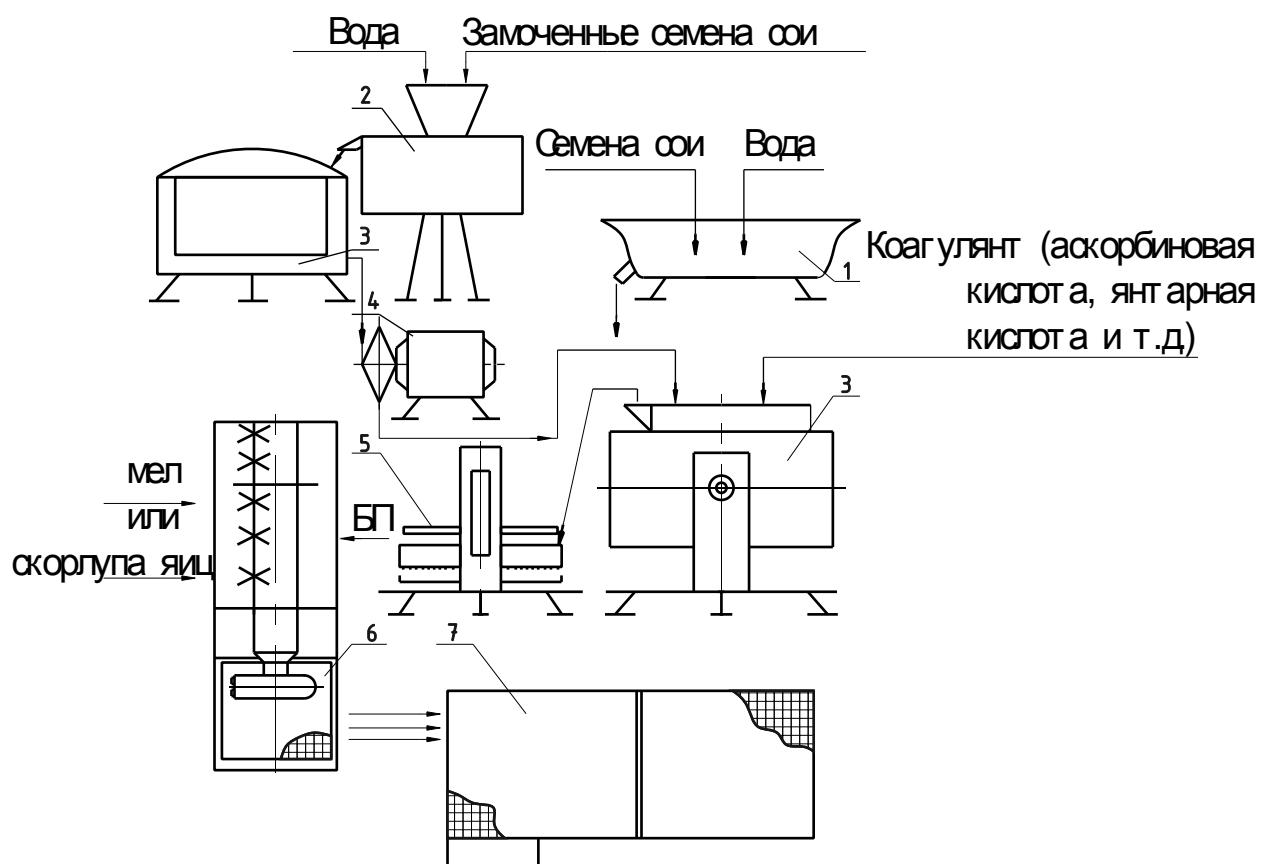


Рис. 5. Конструктивно-технологическая схема линии приготовления белково-минерального гранулята для птицы: 1 – ванна; 2 – измельчитель-экстрактор; 3 – котлы; 4 – насос; 5 – пресс; 6 – смеситель-гранулятор; 7 – сушильный шкаф; БП – белковый продукт

**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 смещивания 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 1066 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.

