

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОГО ПРИГОТОВЛЕНИЯ СМЕСИ СМЕСИТЕЛЕМ-ДОЗАТОРОМ ЭКСТРУДЕРА

Коновалов Владимир Викторович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Теоретическая и прикладная механика» ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия».

440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30.

Тел.: 8(412) 628-272.

Новиков Владимир Васильевич, канд. техн. наук, проф. кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства», ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8а.

Тел.: 8(84663) 46-3-46.

Азиаткин Дамир Нариманович, аспирант кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8а.

Тел.: 8-927-607-43-33.

Грецов Алексей Сергеевич, аспирант кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства», ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8а.

Тел.: 8-927-012-70-86

Ключевые слова: смеситель, мешалка, лопасть, емкость, смесь, мощность, равномерность, крутящий, момент.

Приведены схемы функционирования экструзионного агрегата и его смесителя-дозатора. Представлены результаты теоретических исследований рабочего процесса приготовления смесей, идущих на экструдирование смесителем-дозатором непрерывного действия. Даны теоретические выражения, позволяющие установить влияние конструктивных параметров на мощность, затрачиваемую на процесс перемешивания. Также представлены выражения по определению объема емкости исходя из длительности перемешивания и равномерности получаемой смеси.

Для эффективного использования концентрированных кормов планируется около 54% производимого в стране фуражного зерна перерабатывать комбикормовой промышленностью, оставшаяся часть – использовать для производства комбикормов непосредственно в хозяйствах. В связи с этим возрастет потребность в смесительных агрегатах, способных приготавливать качественные смеси в хозяйствах с низкой энергоемкостью [1]. Учитывая повышение питательности смеси при ее экструзии, высокочувствительные и высокопроизводительные устройства комбикормовых заводов, разработка смесителя-дозатора, способного приготавливать с минимальными энергозатратами предварительные смеси для экструдирования в условиях животноводческих хозяйств является актуальной научной задачей. Известные в настоящее время смесители и дозаторы разнообразны по конструкции, принципу действия и способу реализации технологического процесса [1-4]. Однако далеко не все они способны быстро приготовить смесь надлежащего качества из экструдированных компонентов и с необходимой производительностью подавать ее в экструдер, обеспечивая при этом необходимый подпор материала в пресс экструдера, повышающий его производительность.

Цель исследования – моделирование технологического процесса смесителя-дозатора с учётом влияния его конструктивно-кинематических параметров, в задачи исследования входили – разработка конструктивно-технологической схемы смесителя-дозатора; определение оценочных критериев технологического процесса; определение функциональных зависимостей влияния конструктивно-кинематических параметров смесителя-дозатора на показатели его работы; определение зависимостей поправочных коэффициентов для определения потребной мощности привода и качества смеси.

Проведенный анализ технических средств для приготовления экструдированных смесей из сухих концентрированных кормов и используемых для этого технологических линий позволил рассматривать процесс приготовления экструдированных смесей на основе взаимодействия дозирующих, смесительных и экструдированных устройств [1-8] и обосновать применение дозаторов и смесителей непрерывного действия в составе агрегата для приготовления экструдата концентрированных смесей идущих на приготовление комбикормов.

Для улучшения распределения компонентов в смеси предлагается применить предварительное перемешивание компонентов, за счет которого уменьшается вероятность попадания завышенной доли контролируемого компонента в гранулу экструдата. Это наиболее важно при внесении ядовитых веществ, а также компонентов смеси, существенно различающихся по гранулометрическому составу и физико-

механическим свойствам. Вначале, в результате взаимодействия части кормовых компонентов, происходит получение первичной смеси, которая дополнительно перемешивается на последующих этапах приготовления экструдата. При работе всего агрегата (в состав которого входит пресс-экструдер, смеситель-дозатор и дозаторы компонентов экструдруемой смеси) дозаторы компонентов обеспечивают нормирование подачи компонентов в состав смеси; смеситель-дозатор перемешивает компоненты, равномерно распределяя компоненты в объеме и образуя смесь, а также обеспечивает надлежащее поступление (нормированную подачу) указанной смеси в экструдер; пресс-экструдер дополнительно перемешивает компоненты смеси, сжимает, нагревает и измельчает массу смеси, а также выдавливает образованную массу через фильеры для ее экструзии.

На значения оценочных критериев протекающего процесса оказывают влияние внутренние факторы, обусловленные внутренней структурой и параметрами дозирующих и смесительных устройств. Таковыми являются конструктивно-кинематические параметры дозаторов и смесителей, а также иных элементов конструкции экструдера. При этом, основной задачей конструктора является определение оптимальных, либо рациональных значений обобщенных параметров устройств (рис.1) X_{dk} , X_{di} , X_{dc} , X_{s1} , X_{s2} , X_{s3} с целью доведения показателей Y_4 до значений, соответствующих рецепту и соответствии зоотехническим требованиям показателей Y_2 , Y_3 , а также стремлении суммарных значений Y_3 , Y_{mn} – к минимуму.

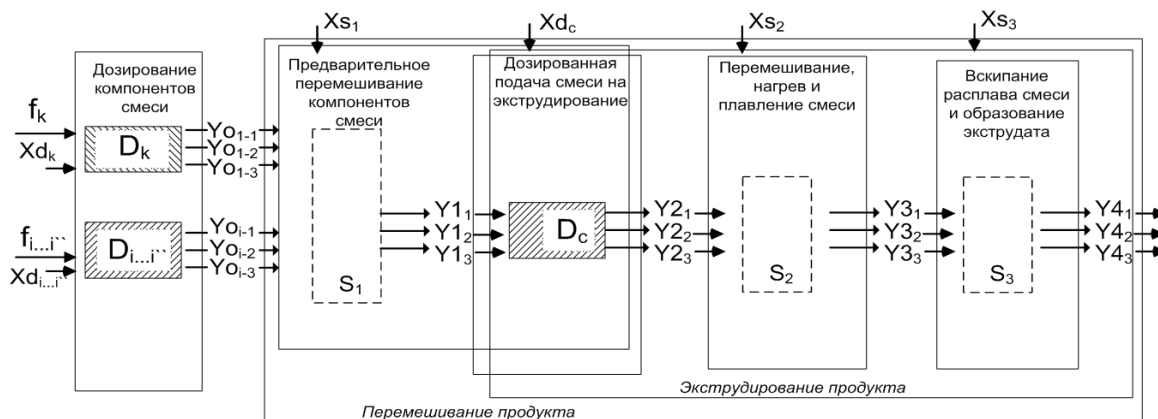


Рис. 1. Структурная схема функционирования линии приготовления гранул экструдата концентрированных кормов:

D_k , D_{i-i} – дозатор кормового компонента, поступающего на смешивание для последующей экструзии, соответственно: k – контролируемого, $i-i$ – неконтролируемого; D_c – дозатор смеси, идущей на экструзию; S – смесительное устройство, включающий в себя смесительные устройства предварительного (S_1) смешивания, и основного (S_2) смешивания в процессе нагрева и плавления смеси, дополнительного (S_3) смешивания в процессе вскипания экструдата; f_k , f_{i-i} – обобщенный статистический показатель, характеризующий гранулометрический состав кормовых компонентов смеси, поступающих на дозирование, их физико-механические свойства; X_{dk} , X_{di} , X_{dc} – обобщенное значение внутреннего фактора дозирующего устройства кормового компонента смеси; X_{s1} , X_{s2} , X_{s3} – обобщенное значение внутреннего фактора смесительных устройств предварительного, основного и дополнительного смешивания соответственно; Y_{oi-1} , Y_{oi-2} , Y_{oi-3} – производительность (массовая подача) i -го (или иного, соответственно) кормового компонента, поступающего на смешивание, отклонение от заданного значения подачи, неравномерность подачи; Y_{2-1} , Y_{2-2} , Y_{2-3} – производительность (массовая подача) предварительной смеси, поступающей на экструдирование, отклонение от заданного значения подачи, неравномерность подачи; Y_{11} , Y_{12} , Y_{13} , ... Y_{41} , Y_{42} , Y_{43} – доля компонента в смеси, отклонение доли компонента от рецепта, качество смеси (неравномерность смешивания /коэффициент вариации/, равномерность смешивания) смесительных устройств предварительного, основного и дополнительного смешивания

Обобщенные показатели, характеризующие энергоемкость Y_3 , материалоемкость и надежность Y_{mn} системы средств механизации приготовления кормов, в структурную схему (рис. 1) условно не введены.

Из-за ступенчатого перемешивания компонентов, предварительная смесь должна соответствовать показателям, обеспечивающим получение надлежащего качества смеси на заключительных этапах.

В ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия» изготовлен смеситель-дозатор (рис. 2), состоящий из корпуса 1, представляющего собой две последовательные емкости, разделяемые диском 12. Внутри первой из них установлены радиальные лопасти 4. Между диском 12 и корпусом 1 имеется зазор. Нижняя часть корпуса 1 выполнена в виде усеченного конуса. Возле выгрузного отверстия корпуса установлены лопатки 15, а над ними спиральные лопасти 13. В центре нижней емкости корпуса 1 расположен шнек 14. Имеется отдельный привод на радиальные лопасти 4 и шнек 14 [8].

Верхняя и нижняя навивка шнека 14 выполнены различного шага и направления. Такая конструкция позволяет компенсировать осевые силы, возникающие на нижней навивке и дополнительно перемешивать корм. Лопатки 15 служат для сводоразрушения и дополнительного перемешивания корма.

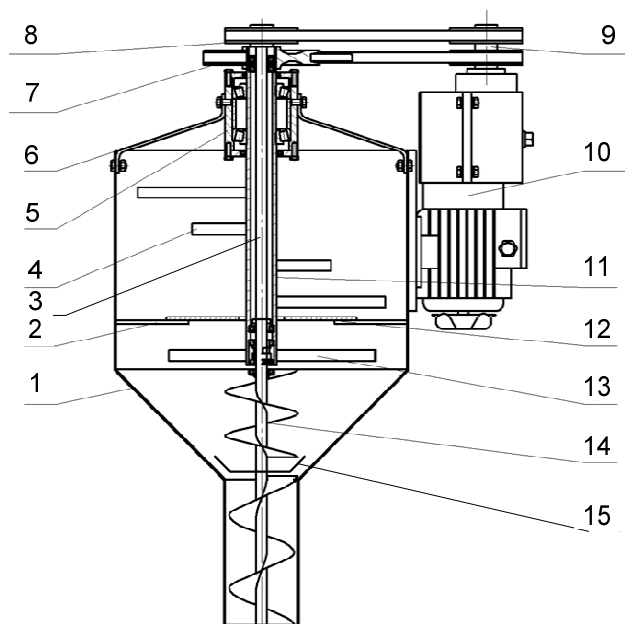


Рис. 2. Схема смесителя-дозатора концентрированных кормов для приготовления предварительной смеси, поступающей на экструзию:

1 – корпус; 2 – луч; 3 – вал; 4 – радиальные лопасти; 5 – подшипниковый узел; 6 – распорки; 7 – шкив привода лопастного вала; 8 – шкив привода шнекового вала; 9 – блок шкивов; 10 – мотор-редуктор; 11 – вал привода лопастей; 12 – диск; 13 – спиральные лопасти; 14 – шнек; 15 – лопатки

Смеситель-дозатор работает следующим образом. После загрузки компонентов включается мотор-редуктор 10 и начинают вращаться вал 3 со шнеком 14 и лопатками 15, и вал 11 привода лопастей 4 и 13. В результате воздействия лопастей 4 корм, находящийся выше диска 12 активно перемешивается. Часть корма просыпается в зазор между торцом диска 12 и корпусом 1 к лопаткам 15, расположенным в нижней части корпуса 1. Корм, поступивший к верхней навивке шнека 14, поднимается витками вверх и подаётся к спиральным лопастям 13. Спиральные лопасти сдвигают корм к периферии корпуса 1. В результате происходит взаимодействие ранее поступившего корма с его новой порцией, ссыпающейся из наддискового пространства. Часть перемешанного корма, не увлечённого в циркуляцию верхней навивкой шнека 14, ссыпается в нижнюю горловину корпуса 1. Здесь корм захватывается нижней навивкой шнека 14 и подаётся с уплотнением в загрузочную зону пресс-экструдера.

Лопастей 4 будем считать лопастной мешалкой, лопатки 15 – якорной мешалкой, а шнек 14 – шнековой мешалкой.

Для определения энергоемкости смесеобразования экструдата Y (Дж/кг) требуется знать затраченную энергию (работу) и массу приготовленного экструдата, соответственно, по аналогии с

$$Y = \frac{\sum A'}{M} = \frac{\sum N_j \cdot T}{Q_{ЭК} \cdot T} + \frac{\sum N_j}{\sum Q_{Д_j}} + \frac{N_{ЭК}}{Q_{ЭК}} = \frac{\sum T_i}{Q_{ЭК}} + \frac{\sum N_j}{\sum Q_j} + \frac{N_{ЭК}}{Q_{ЭК}}, \quad (1)$$

где A' – работа, затраченная на выполнение всех операций в процессе работы агрегата приготовления экструдата, Дж; M – масса приготавливаемой порции экструдата, кг; N_i – мощность, необходимая на привод i -го рабочего органа смесителя, Вт; N_j – мощность, необходимая на привод дозатора j -го компонента смеси, Вт; $N_{ЭК}$ – мощность, необходимая на привод рабочего органа экструдера, Вт.

Средняя производительность смесителя-дозатора $Q_{см}$, кг/с, составит ту же величину, что и у экструдера ввиду последовательного их расположения:

$$Q_{см} = Q_{ЭК} \leq \sum Q_{Д_j}. \quad (2)$$

Средняя суммарная производительность (подача) дозаторов $Q_{д}$, кг/с, также будет равна производительности экструдера $Q_{ЭК}$. Средняя величина подачи не должна быть меньше производительности экструдера. В случае если производительность экструдера меньше суммарной подачи дозаторов компонентов, то будет происходить периодическое приостановление работы дозаторов. При этом следует обеспечить одновременное прекращение подачи компонентов смеси дозирующими устройствами и одновременное начало их работы.

Расчёт мощности на работу перемешивающих устройств (комбинированного рабочего органа) определяем как совокупность затрат мощности на привод отдельных их элементов. Компьютерная программа по определению мощности привода смесителя осуществляет расчет в соответствии с формулами

РД 26-01-90-85 для аппаратов с вертикальными перемешивающими устройствами. Учитывая различия свойств жидкости и сыпучих материалов, в формулу мощности введены поправочные коэффициенты k_{n1}, k_{n2} , для которых уточнены значения используемых рабочих органов.

Метод расчёта смесителя (РД 26-01-90-85) основан на составлении и решении уравнения равенства моментов сил, приложенных к перемешиваемой среде мешалкой и уравниваемых стенками и перегородками корпуса смесительного аппарата:

$$M_{кр} = M_{кор} + M_{вн}, \quad (3)$$

где $M_{кр}$ – крутящий момент, т.е. момент сил, возникающих при вращении лопастей мешалки; $M_{кор}$, $M_{вн}$ – моменты сил сопротивления вращению, возникающие на стенках корпуса аппарата и внутренних устройствах при воздействии материала соответственно.

Момент сил, возникающих при вращении лопастей мешалки, Н·м:

$$M_{кр} = z_m \cdot \zeta \cdot K_1, \quad (4)$$

где z_m – число мешалок на валу перемешивающего устройства; ζ – коэффициент сопротивления перемещению мешалки; K_1 – коэффициент пропорциональности мощности перемешивания:

$$K_1 = (\psi_1 + \psi_2)^2, \quad (5)$$

где ψ_1, ψ_2 – параметры профиля окружной скорости материала.

Значения ψ_1 и ψ_2 связаны соотношением $\psi_2 = -s_1 - s_2 \cdot \psi_1$, при этом: $s_1 = 0,5$, $s_2 = 1,25$, если $\Gamma_D > 1,5$, $s_1 = \frac{7 \cdot \Gamma_D - 6}{21 \cdot \Gamma_D^{20}}$, $s_2 = \frac{28 \cdot \Gamma_D - 27}{21 \cdot \Gamma_D^{20}}$, если $\Gamma_D \leq 1,5$; $\Gamma_D = \frac{D}{d_m}$ – симплекс геометрического подобия; D , d_m – диаметры ёмкости и мешалки, м;

Моменты сил сопротивления вращению, возникающие на стенках корпуса:

$$M_{кор} = \frac{\pi \cdot \lambda \cdot \gamma}{2,2 \cdot Re_{ц}^{0,25}} \cdot \Gamma_D^{2,75} \cdot v_{cp}^{1,75}, \quad (6)$$

где $\lambda = \Gamma_D / (20,35 \cdot \Gamma_D - 19,1)$ – коэффициент сопротивления корпуса аппарата; $\gamma = l \cdot H / D + p$ – параметр высоты заполнения аппарата ($l = 4$ для аппарата с отражательными перегородками и $l = 8$ – без перегородок, $p = 2$ для полностью заполненного и $p = 1$ для аппарата со свободной поверхностью материала); $Re_{ц}$ – циркуляционный критерий Рейнольдса; v_{cp} – относительная осредненная окружная скорость течения жидкости в аппарате, м/с.

При $\Gamma_D > 1,5$ для мешалок с горизонтальными лопастями:

$$v_{cp} = \frac{1 + 0,4 \cdot \psi_1 + 0,5 \cdot \psi_2 + 2 \cdot (1 + \psi_1 + \psi_2) \cdot \ln(\Gamma_D)}{2 \cdot \Gamma_D}. \quad (7)$$

Моменты сил сопротивления вращению, возникающие на стенках внутренних устройств ёмкости смесительного аппарата равны нулю ввиду их отсутствия. Ввиду малой мощности затрачиваемой спиральным ворошителем (материал смеси практически не взаимодействует со спиральными лопастями 13) указанное слагаемое в балансе мощности не указано. Учитывая, что в процессе работы рассматриваемого смесителя-дозатора перемешиваемые компоненты являются сыпучими и обладают определённой текучестью, при проведении теоретических исследований рабочего процесса допускаем справедливость указанных выражений. Для устранения неизбежно возникающих погрешностей результатов вводим поправочные коэффициенты и уточняем числовые значения мощности с учётом коэффициентов. Слагаемые мощности привода комбинированного рабочего органа определены с учетом используемых конструктивных параметров (рис. 3).

Мощность, потребляемая приводом якорного ворошителя (лопаток 15) определится с учетом вышеуказанных положений, Вт:

$$N_{ня} = K_{ня} \cdot \rho_c \cdot n_d^3 \cdot D_m^5, \quad (8)$$

где $K_{ня} = \frac{\pi^2}{2} \cdot \lambda_{я} \cdot \frac{h_{я}}{D_m} \cdot Z_m \cdot \frac{1}{Re_{я}} \cdot \left(1 - \left(\frac{d_o}{D_m}\right)^2\right)$ – коэффициент мощности; ρ_c – плотность вороха смеси, кг/м³; n_d – частота вращения вала шнековой и якорной мешалки, с⁻¹; D_m – диаметр якорной мешалки, м; $\lambda_{я}$ – коэффициент сопротивления корпуса аппарата для якорной мешалки; $h_{я}$ – высота якорной мешалки, м; Z_m – количество лопаток якорной мешалки, шт.; d_o – ширина лопатки якорной мешалки, м.

Мощность, потребляемая приводом шнековой мешалки, Вт:

$$N_{ш} = K_{ш} \cdot \rho_c \cdot n_d^3 \cdot D_{ш}^5, \quad (9)$$

где $K_{ш} = \frac{\pi^2}{6} \cdot \lambda_{ш} \cdot \frac{H}{D_{ш}} \cdot \frac{\left(\frac{S_{ш}}{D_{ш}}\right)^{1,7}}{Re_{ш}} \cdot \left(1 - \left(\frac{d_b}{D_{ш}}\right)^3\right)$ – коэффициент мощности; $D_{ш}$ – диаметр шнековой мешалки, м; $\lambda_{ш}$ – коэффициент сопротивления корпуса аппарата для шнековой мешалки; H – высота шнековой мешалки, м; $S_{ш}$ – шаг шнека, м.

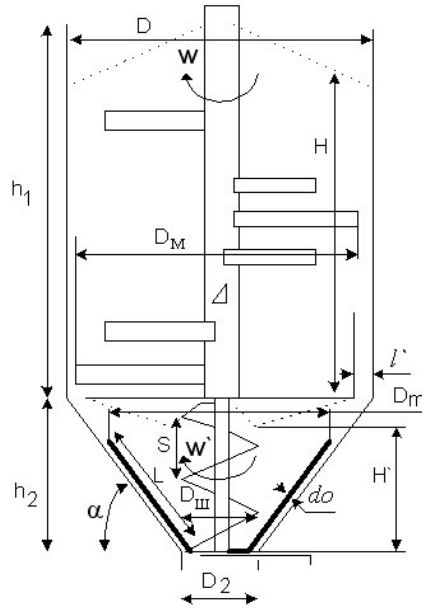


Рис. 3. Схема используемых обозначений размеров смесителя-дозатора

Мощность, потребляемая приводом дозирующего устройства смесителя-дозатора, Вт:

$$Nn_d = (N_{dxx} + Nn_{я} + Nn_{ш}) \cdot k_{n1}, \quad (10)$$

где k_{n1} – поправочный коэффициент; N_{dxx} – мощность холостого хода привода дозатора, Вт.

Поправочный коэффициент k_{n1} для конической ступени смесителя:

$$k_{n1} = 4,150633 - 0,07297 \cdot S + 0,000289 \cdot L + 0,110748 \cdot n + 0,000422 \cdot S^2 + 0,000394 \cdot n^2 - 0,00056 \cdot S \cdot L - 8,1 \cdot 10^{-5} \cdot L \cdot n - 5,47171 \cdot n/S, \quad (11)$$

где S – шаг шнека, мм; L – длина лопасти ворошителя (якорная мешалка), мм; n – частота вращения якорной мешалки, мин⁻¹.

Мощность, потребляемая приводом лопастной мешалки, Вт:

$$Nn_m = K_{NM} \cdot \rho_c \cdot n_c^3 \cdot D_m^5, \quad (12)$$

где $K_{NM} = 3,87 \cdot \lambda_m \cdot Z_M \cdot K_1$ – коэффициент мощности; n_c – частота вращения вала лопастной мешалки, с⁻¹; D_m – диаметр лопастной мешалки, м; λ_m – коэффициент сопротивления корпуса аппарата для лопастной мешалки; Z_M – количество лопастей лопастной мешалки, шт.

Мощность, потребляемая приводом смесителя-дозатора, Вт:

$$Nn_{\partial} = (N_{cxx} + Nn_{\partial} + Nn_m) \cdot k_{n2}, \quad (13)$$

где k_{n2} – поправочный коэффициент; N_{cxx} – мощность холостого хода привода лопастной мешалки, Вт.

Поправочный коэффициент k_{n2} для лопастной мешалки смесителя:

$$k_{n2} = 0,181723 \cdot Z_M + 0,013287 \cdot n - 0,00167 \cdot Z_M \cdot n - 0,000047 \times n^2 - 0,00138 \cdot Z_M^2 + 0,00000401 \cdot n^2 \cdot Z_M, \quad (14)$$

где n_c – частота вращения лопастной мешалки, мин⁻¹.

Длительность перемешивания смеси определяется на основе объема смеси, режима смешивания и необходимого количества воздействий лопастей для достижения потребной равномерности смеси [9]. Объем смесителя может быть определен [2] по формуле

$$V = \frac{Q}{T \cdot \rho}. \quad (15)$$

Количество воздействий за время перемешивания T составит, раз:

$$k_b = T \cdot n \cdot Z_M. \quad (16)$$

Отсюда потребное время смешивания, с:

$$T = k_b \cdot \frac{k_v}{n \cdot Z_M}, \quad (17)$$

где k_v – поправочный коэффициент, учитывающий турбулизацию материала.

Зависимость влияния количества потребного воздействия лопастей k_b на качество смеси с учетом доли контролируемого компонента D_k и массы материала M при степени заполнения емкости смесителя около 50% определяется выражениями с учетом неравномерности смеси (коэффициента вариации содержания контрольного компонента) $v_c=10$ или 5% [9]:

$$k_{b10}=0,1488823 \cdot \exp(\exp(0,8239655/D_k - 0,0109336 \cdot M/D_k)) \times \exp(2,391923 + 0,0924484 \cdot M - 0,188577/(D_k \cdot M)) - 0,371118, \quad (18)$$

$$k_{b5}=0,7511183 \cdot \exp(\exp(0,263152/D_k - 0,0072607 \cdot M/D_k)) \times \exp(5,03166 + 0,0021487 \cdot M - 0,041901/(D_k \cdot M)) - 305,827. \quad (19)$$

Кроме того, в ряде литературных источников утверждается, что процесс смешивания может быть изучен по аналогии с процессом диффузии. Согласно этой аналогии, для степени равномерности имеем уравнение [10]

$$\Theta = 1 - e^{-k \cdot T}. \quad (20)$$

Равномерность смешивания можно также определить через коэффициент вариации содержания контрольного компонента в пробах – так называемую неравномерность смеси:

$$\Theta = 1 - v_c.$$

(21)

В таком случае неравномерность смеси запишется:

$$v_c = e^{-k \cdot T}.$$

(22)

После выражения времени смешивания через конструктивные параметры получим выражение неравномерности смеси:

$$v_c = e^{-k \cdot k_b \cdot \frac{k_v}{n \cdot Z_M}}.$$

(23)

При ступенчатом смешивании качество смеси через промежуток времени смешивания T_c (на данной ступени смешивания) определится:

$$\Theta_k = 1 - e^{-k(T_H + T_c)}, \quad (24)$$

где T_H – условное время смешивания, определяемое как время смешивания для изменения качества смеси от нуля до качества смеси соответствующего началу смешивания на данной ступени смешивания.

Коэффициент k , учитывающий интенсивность перемешивания конической ступени смесителя-дозатора (рис. 4):

$$k' = 0,00033 \cdot n \cdot (-11453,2 + 4,373 \cdot 10^7 \cdot Re_{ш} - 144327 \cdot Fr_{ш} + 1,106 \cdot 10^9 \cdot Re_{ш} \cdot Fr_{ш} + 1,522 \cdot 10^6 \cdot Re_m - 255811 \cdot Fr_m - 1,483 \cdot 10^8 \cdot Re_m \cdot Fr_m), \quad (25)$$

где n – частота вращения рабочего органа, c^{-1} ; $Re_{ш}$ – число Рейнольдса для шнекового рабочего органа; $Fr_{ш}$ – число Фруда для шнекового рабочего органа; Re_m – число Рейнольдса для ворошителя (якорной мешалки); Fr_m – число Фруда для ворошителя (якорной мешалки).

Коэффициент k , учитывающий интенсивность перемешивания для цилиндрической ступени смесителя-дозатора:

$$k = 0,0000277 \cdot n \cdot (3134,467 - 1,013 \cdot Re_m - 208,691 \cdot Fr_m + 1,077 \cdot 10^5 \cdot Re_m \cdot Fr_m - 2073,2/Z_m), \quad (26)$$

где n – частота вращения рабочего органа, c^{-1} ; Re_m – число Рейнольдса для лопастной мешалки; Fr_m – число Фруда для лопастной мешалки.

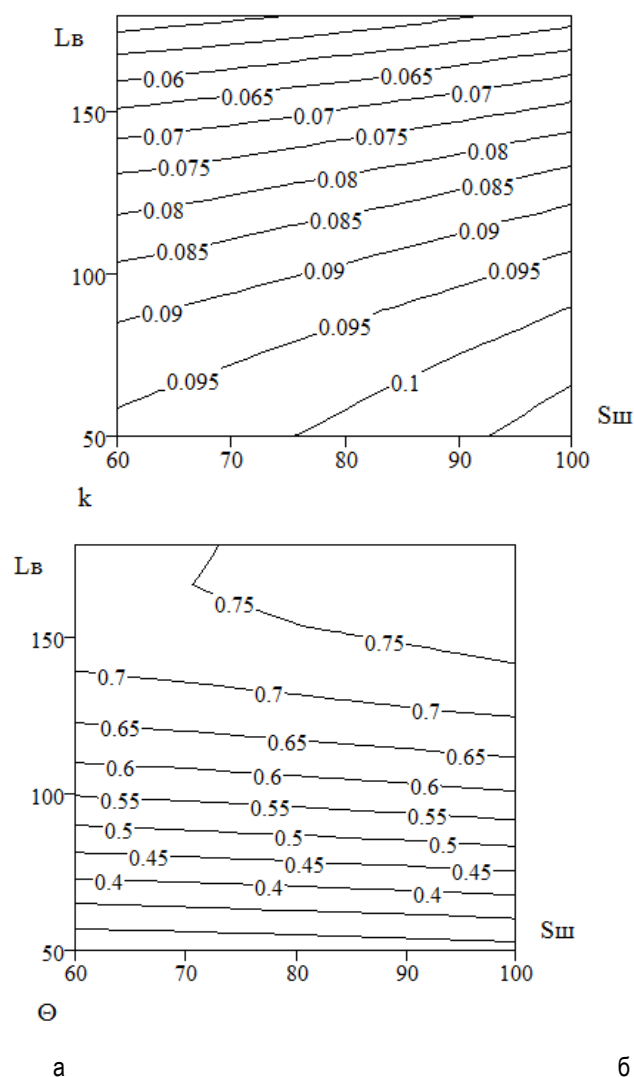


Рис. 4. Результаты компьютерного моделирования показателя степени смешивания k и равномерности смеси Θ (0,01%) в зависимости от шага винта шнека $S_{ш}$ и длины лопатки $L_{в}$, м

В качестве примера компьютерной реализации полученных выражений для конической части смесителя представлена функция показателя k в зависимости от чисел Рейнольдса и Фруда (как производных показателей от длины лопасти и шага витков шнека) при частоте вращения рабочего органа 35 мин⁻¹ с учетом числа лопаток $Z_m=2$ и заходности шнека $z_{ш}=1$ (рис. 4, а), а также установлена для указанных значений k функция однородности смеси (рис. 4, б) используя вышеуказанные зависимости.

Таким образом, полученные выражения позволяют определить основные параметры смесителя-дозатора непрерывного действия, а реализованная математическая модель в виде компьютерной программы – определить влияние конструктивных параметров на рабочий процесс.

Библиографический список

1. Сыроватка, В. И. Ресурсосбережение при производстве комбикормов хозяйствах // Техника и оборудование для села. – 2011. – №6. – С. 22-25.
2. Новиков, В. В. Обоснование параметров лопастной мешалки / В. В. Новиков, С. П. Симченкова, В. И. Курдюмов // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2011. – №2(14). – С.104-108
3. Коновалов, В. В. Влияние технологических параметров на показатели работы смесителя микродобавок / В. В. Коновалов, А. В. Чупшев // Нива Поволжья. – 2009. – №2(11). – С. 76-81.
4. Терюшков, В. П. Обоснование параметров конического смесителя / В. П. Терюшков, В. В. Коновалов, И. А. Боровиков, В. Ф. Дмитриев // Вестник СГАУ им Н.И. Вавилова. – 2006. – №6. – С.48-50

5. Коновалов, В. В. Смеситель жира и концентрированных кормов / В. В. Коновалов, А. А. Курочкин, К. М. Мишин // Животновод. – 2003. – №2. – С. 27.
6. Боровиков, И. А. Смеситель сухих кормов / И. А. Боровиков, В. В. Коновалов, С. В. Гусев, В. П. Терюшков // Техника и оборудование для села. – 2006. – №7. – С.15.
7. Курочкин, А. А. Устройство для ввода жира в концентрированные корма / А. А. Курочкин, В. В. Коновалов, К. М. Мишин // Комбикорма. – 2002. – №7. – С. 18.
8. Пат. 2435461 Российская Федерация. Смеситель-дозатор пресс-экструдера / Иноземцева Л. В., Коновалов В. В., Новиков В. В., Азиаткин Д. В. – № 2010125628 ; заявл. 22.06.2010 ; опубл. 10.12.11, Бюл. №34. – С. 5.
9. Коновалов, В. В. Определение потребного количества воздействий лопастей на смесь / В. В. Коновалов, А. В. Чупшев, В. П. Терюшков // Научно-технический прогресс в животноводстве: стратегия машинно-технологического обеспечения производства продукции на период до 2020 г. : сб. тр. – Подольск, 2009. – Т. 20, ч. 3. – С. 107-115.
10. Стукалкин, Ф. Г. Исследование кормосмесителей непрерывного действия и методика их расчета : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Стукалкин Ф. Г. – Ленинград, 1965. – 21 с.