

УДК 631.363

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ СМЕСИТЕЛЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ С ВИНТОВЫМИ ЛОПАСТЯМИ

Борисова Марина Викторовна, аспирант кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства», ФГБОУ ВО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: morskay6363@mail.ru

Новиков Владимир Васильевич, канд. техн. наук, профессор кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства», ФГБОУ ВО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: morskay6363@mail.ru

Коновалов Владимир Викторович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Технология машиностроения», ФГБОУ ВО Пензенский ГТУ.

440039, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11.

E-mail: konovalov-penza@rambler.ru

Ключевые слова: смеситель, смешивание, лопасть, частота, лопастной, винтообразная.

Цель исследования – снижение энергозатрат лопастного смесителя для сыпучих материалов с обоснованием его конструктивных параметров. Приготовление кормовых смесей осуществляется в основном смесителями разнообразной конструкции, а так же экструдерами и иными шнековыми устройствами. Широкое распространение получили горизонтальные смесители с рабочим органом в виде лопастей, установленных на вращающемся валу. Их отличает способность за достаточно короткое время работы достигать необходимую равномерность смеси. Основным назначением предлагаемого смесителя является приготовление сухих смесей из сыпучих кормовых компонентов. В сельскохозяйственном производстве предполагаемым местом использования смесителя является приготовление смесей концентрированных кормов для животных. На основании обзора литературы и анализа технологического процесса смесителей в Самарской ГСХА разработана конструкция лопастного смесителя с винтовыми лопастями. Смеситель состоит из корпуса, в котором расположен горизонтальный вал мешалки смесителя с рабочими органами, выполненными в виде радиальных трапецевидных лопастей винтообразной формы. Предложенная форма лопасти позволяет получить ориентацию сил в заданном направлении таким образом, что суммарная (результатирующая) проекция силы сопротивления материала вдоль вала будет стремиться к нулю за счет изменяющегося угла профиля лопастей и изменяемой ширины лопасти. В тоже время на краю лопасти при определенном радиусе лопасти будет создаваться осевое усилие, способствующее выгрузке материала из смесителя через выгрузное отверстие. Приведены выражения удельных энергозатрат на смесеобразование, а так же длительность цикла работы смесителя. Получено выражение, позволяющее оценить среднюю скорость истечения сыпучего материала из выгрузного отверстия смесителя. Установлено, что положением шибера, регулирующего площадь выгрузного отверстия, можно влиять на объем порции, одновременно обрабатываемой мешалкой смесителя, что повлияет на степень заполнения смесителя и качество смеси.

ANALYTICAL DESCRIPTION OF THE MIXER PERFORMANCE FOR BULK MATERIALS WITH SCREW BLADES

Borisova M. V., Post-graduate Student of the department «Agricultural machines and mechanization of livestock breeding», FSBEI HE Samara SAA.

446442, Samara region, settlement Ust'-Kinel'sky, Uchebnaya street, 2.

E-mail: morskay6363@mail.ru

Novikov V. V., Candidate of Technical Sciences, Professor of the department «Agricultural machines and mechanization of livestock breeding», FSBEI HE Samara SAA.

446442, Samara region, settlement Ust'-Kinel'sky, Uchebnaya street, 2.

E-mail: morskay6363@mail.ru

Konovalev V. V., Doctor of Technical Sciences, Professor of the department «Engineering technology», FSBEI HE Penza State Technological University.

440039, Penza, Baydukova travel/Gagarina street, 1A /11.

E-mail: konovalov-penza@rambler.ru

Key words: mixer, mixing, blade, frequency, crew.

The aim of the study is to reduce the energy consumption of the blade mixer for bulk materials in regard to its design parameters. Preparation of feed mixtures is carried out mainly by mixers of various designs, as well as extruders and other auger equipment. Widespread horizontal mixers with blades mounted on a rotating shaft are widespread and used. They are distinguished by the ability to achieve the necessary smooth mixture within short operating time. The main purpose of the proposed mixer is the preparation of dry mixtures of bulk feed components. The intended use of the mixer is the preparation of concentrated animal feed in agricultural production. In Samara SAA, the design of the blade mixer with screw blades was developed based on the literature review and analysis of the technological process of mixers. The mixer consists of a body with a horizontal shaft with radial trapezoidal screw blades. The proposed blades allow to direct forces in such a way that the total (resulting) projection of the resistant force of the material along the shaft will tend to zero due to the changing angle of the profile and width of the blades. At the same time, an axial force will be created at the edge of the blade at a certain radius, which facilitates to unload mixer through the discharge opening. The expressions of specific energy consumption for mixing, as well as the work duration of the mixer cycle are given. An expression allowing estimation of an average flow rate of bulk material from the discharge opening of the mixer is obtained. It is established that the position of the gate regulating the area of the discharge opening can affect the volume of the portion simultaneously processed by the mixer, filling volume of mixer and the quality of the mixture.

Одной из основных задач при повышении продуктивности животных является производство высококачественных кормов. Из-за низкого качества корма и недостаточного количества питательных веществ, а так же при отсутствии его необходимого набора, заложенный природой потенциал животных реализуется лишь частично. Поскольку ни в одном виде корма нет полного набора всех потребных питательных веществ, кормовые смеси приготавливают из нескольких составляющих. В перспективе около 54% производимого в стране фуражного зерна будет перерабатываться комбикормовой промышленностью, а оставшиеся часть – использоваться для производства кормовых смесей непосредственно в хозяйствах [1, 2]. Приготовление кормовых смесей осуществляется в основном смесителями разнообразной конструкции, а так же экструдерами и иными шнековыми устройствами [6, 7]. Широкое распространение получили горизонтальные смесители с рабочим органом в виде лопастей, установленных на вращающемся валу. Их отличает способность за достаточно короткое время работы достигать необходимую равномерность смеси [3, 9]. Поэтому совершенствование конструкции лопастного смесителя является актуальной задачей. Основным назначением предлагаемого смесителя является приготовление сухих смесей из сыпучих кормовых компонентов. В сельскохозяйственном производстве предполагаемым местом использования смесителя является приготовление смесей концентрированных кормов для животных.

Цель исследований – снижение энергозатрат лопастного смесителя для сыпучих материалов с обоснованием его конструктивных параметров.

Задачи исследований – определить аналитические выражения, описывающие энергозатраты смешения, мощность на привод смесителя, его производительность; определить влияние конструктивных параметров смесителя на показатели его рабочего процесса.

Материалы и методы исследований. На основании обзора литературы и анализа технологического процесса смешивания зерновой смеси в Самарской ГСХА разработана конструкция лопастного смесителя сыпучих материалов (рис. 1) [3, 9].

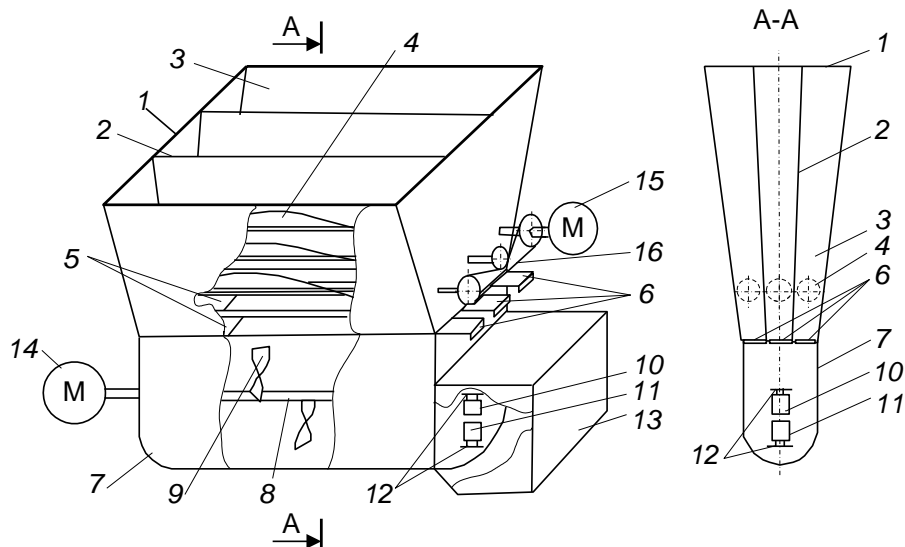


Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема смесителя зерновой смеси:

1 – бункер; 2 – перегородка; 3 – секции бункера; 4 – спиральный шнек; 5 – выгрузное окно; 6 – регулировочная заслонка; 7 – корпус смесителя; 8 – приводной вал мешалки; 9 – винтообразная трапециевидная лопасть; 10, 11 – выгрузное отверстие; 12 – шиберная задвижка; 13 – выгрузная горловина; 14 – электродвигатель привода смесителя; 15 – электродвигатель привода дозаторов; 16 – цепной привод дозирующих шнеков

Смеситель состоит из бункера 1, разделенного перегородками 2 на секции 3 для различных компонентов. С целью исключения сводообразования компонентов смеси в каждой секции 3 бункера установлены ворошители – спиральные шнеки 4. Они служат одновременно как для подачи компонентов к выгрузным окнам 5, так и для разрушения сводов во внутреннем пространстве отсеков. Снизу каждой секции 3 бункера, перекрывая выгрузное окно 5, установлен гравитационный дозатор, выполненный в виде регулировочных заслонок 6. Бункер 1 жестко закреплен сверху корпуса смесителя 7. Внутри цилиндрического смесителя расположен горизонтальный приводной вал 8 мешалки с рабочими органами, выполненными в виде радиальных винтообразных лопастей 9 трапециевидной формы.

При этом плоская развертка лопасти 9 представляет собой равнобедренную трапецию (рис. 2, а). Лопастей 9 закреплены на валу 8 узкой стороной трапеции под углом в 30 градусов от продольной оси вала 8. Горизонтальный вал 8 с прикрепленными винтообразными лопастями 9 образует мешалку смесителя. Привод вала 8 смесителя осуществляется электродвигателем 14, а привод спиральных шнеков 4 – электродвигателем 15. В зависимости от периодического или непрерывного режима работы смесителя открывается шибер нижнего 10 или верхнего 11 выгрузного отверстия смесителя.

Выгрузка готовой смеси из смесителя регулируется шиберными задвижками 12 через два выгрузных отверстия 10 и 11, расположенных одно под другим. Подача исходных компонентов из бункера 1 в корпус смесителя 7 осуществляется посредством спиральных шнеков 4 через цепную передачу 16 в выгрузные окна 5 [9]. Выгрузные окна 5 дозаторов расположены у торца смесителя в противоположном конце от выгрузных отверстий 10 и 11 смесителя.

Методика исследований предусматривает аналитическое определение взаимосвязей конструктивных и режимных параметров смесителя и показателей его работы.

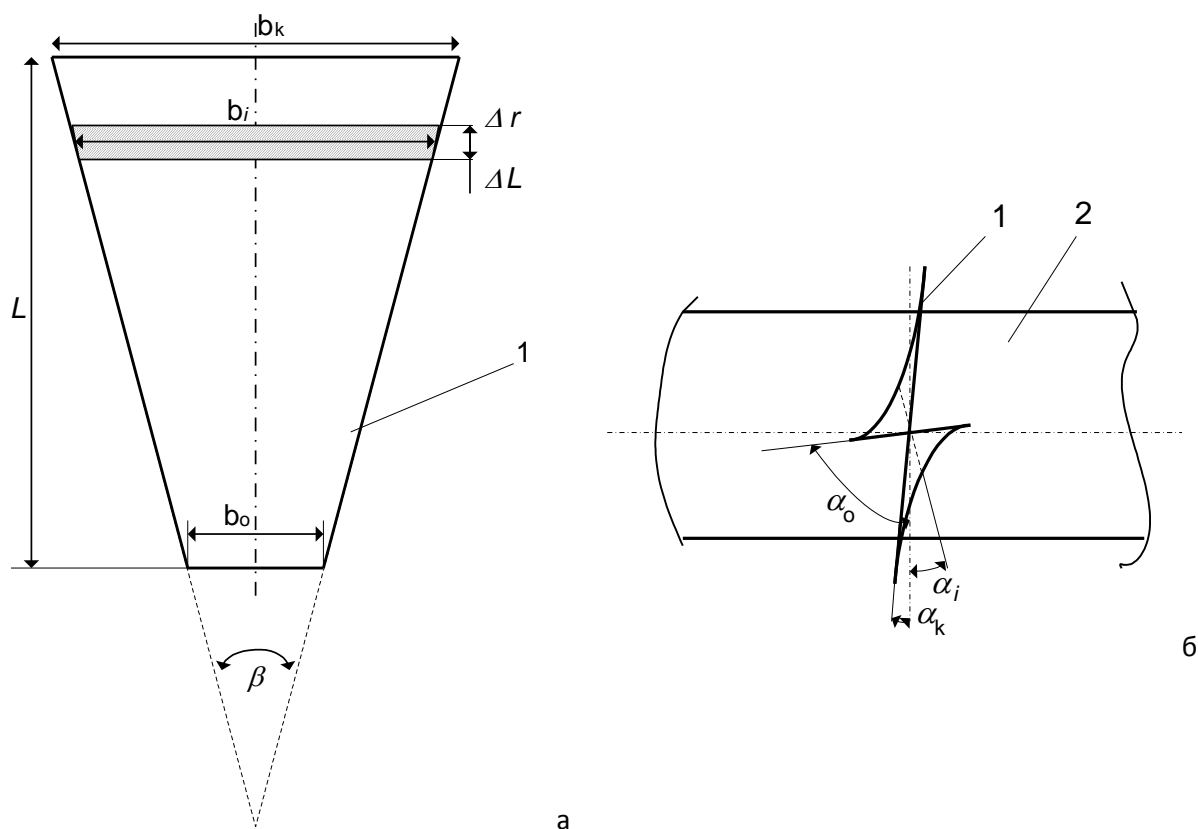


Рис. 2. Схема лопасти:

а – развертка; б – размещения на валу; 1 – винтообразная трапециевидальная лопасть; 2 – вал мешалки

Результаты исследований. При конструировании смесителей стоит задача сокращения энергозатрат на смесеобразование. Удельные энергозатраты можно определить [10]:

$$Y = \frac{A}{M} = \frac{\sum(N_i \cdot T_i)}{M}, \text{ Дж/кг}, \quad (1)$$

где A – работа, затраченная на приготовление смеси, Дж; M – масса приготовленной кормосмеси, кг; N_i – затраченная мощность на выполнение i -й операции технологического процесса, Вт; T_i – длительность выполнения i -й операции технологического процесса, с.

При этом соотношение $\frac{M}{\sum T_i}$ является производительностью смесительного агрегата в

составе смесителя и дозирующих устройств. Производительность каждого дозатора определяется долей конкретного компонента в составе рецептуры смеси. Суммарная производительность всех дозирующих устройств определяется производительностью смесителя, обеспечивающей соблюдение зоотехнических требований по показателям качества смеси, кг/с [10, 11]:

$$Q_{см} = \frac{M}{T_y}, \text{ кг/с}. \quad (2)$$

Цикл работы смесительного устройства как агрегата периодического действия будет включать операции:

$$T_y = T_z + T_c + T_p + T_b, \text{ с}, \quad (3)$$

где T_y – длительность цикла смесителя, с; T_z – длительность загрузки всех компонентов в смеситель, с; T_c – длительность смешивания компонентов, обеспечивающая надлежащее качество смеси, с; T_p – длительность непрерывной работы смесителя при одновременной загрузке компонентов и выгрузке

готовой смеси, с; T_b – длительность освобождения емкости смесителя от остатков (выгрузки) приготовленной смеси, с.

Цикл работы смесительного устройства как агрегата непрерывного действия будет включать операции:

$$T_u = T_z + T_c + T_p + T_b, \text{ с}, \quad (4)$$

где T_z – длительность предварительной загрузки всех компонентов в смеситель в начале цикла, с; T_c – длительность смешивания компонентов, обеспечивающая надлежащее качество смеси, с; T_p – длительность непрерывной работы смесителя при одновременной загрузке компонентов и выгрузке готовой смеси, с; T_b – длительность освобождения емкости смесителя от остатков приготовленной смеси в конце цикла, с.

В случае ежедневной работы смесителя и приготовления сухой смеси потребность в ежедневном опорожнении смесителя отсутствует, поэтому цикл его работы и энергозатраты сократятся. Цикл работы смесительного устройства составит:

$$T_u = T_p. \quad (5)$$

То есть, цикл может составлять одну операцию, связанную с одновременной подачей компонентов, их смешиванием в бункере смесителя и одновременной выгрузкой приготовленной смеси.

При этом потребная суммарная массовая подача (производительность) всех дозирующих устройств не должна превышать расчетную производительность смесительного устройства для обеспечения качества смеси, т.е.:

$$\sum Q_j \leq Q_c = \frac{V \cdot \varphi \cdot \rho}{T_c}, \text{ кг/с}, \quad (6)$$

где $\sum Q_j$ – суммарная производительность дозирующих устройств, кг/с; Q_c – техническая производительность смесителя, кг/с; V – объем смесителя, м³; φ – степень заполнения смесителя, доля; ρ – насыпная плотность смеси, кг/м³.

В зависимости от конструктивного совершенства мешалки смесителя потребная длительность смешивания будет изменяться. Чем совершеннее процесс смешивания смесителя, тем короче длительность T_c смешивания компонентов до достижения надлежащего качества смеси. В результате будет наблюдаться рост производительности смесителя. В ином случае потребуется уменьшение порции корма, подвергаемой единовременному воздействию мешалки смесителя. Уменьшение массы указанной порции корма снижает силовую нагрузку на рабочий орган, сокращая энергозатраты. Длительность такта T_c смешения компонентов определяется эмпирически.

Мощность, затрачиваемая на работу всего смесительного агрегата, определяется как суммарная мощность, потребляемая на привод всех устройств в его составе. При этом потребление энергии каждым вращающимся рабочим органом зависит от площади его поперечного сечения и окружной скорости. Мощность, затрачиваемая на привод лопастной мешалки N_m , можно определить на основании [7] с учетом площади контакта лопасти с материалом и геометрических параметров самих лопастей.

$$N_m = \sum_Z (F_{p_K} \cdot V_{p_K} + F_{o_K} \cdot V_{o_K}), \quad (7)$$

где Z – количество лопастей, контактирующих с материалом; F_p , F_o – радиальная и окружная составляющие силы сопротивления материала, действующего на лопасть, Н:

$$F_p = 9,81 \cdot \rho \cdot h_c \cdot S_l \cdot \text{tg}^2 \cdot (45^\circ + \chi/2) \cdot (\cos \alpha + f_1 \cdot \sin \alpha),$$

$$F_o = 9,81 \cdot \rho \cdot h_c \cdot S_l \cdot \text{tg}^2 \cdot (45^\circ + \chi/2) \cdot (\sin \alpha + f_1 \cdot \cos \alpha);$$

V_p , V_o – радиальная и окружная скорости точки приложения равнодействующей сил сопротивления материала, действующих на лопасть, м/с:

$$V_p = \omega \cdot [0,5 \cdot L \cdot \cos \gamma + b], \quad V_o = V_p \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha;$$

L – длина лопасти, м; b – ширина лопасти, м; h_c – средняя глубина погружения лопасти в смесь, м; $\chi = \arg \operatorname{tg}(f_1)$ – угол трения материала по лопасти, град.; f_1 – коэффициент трения материала по лопасти; γ – угол отгиба лопасти, 0 град.; α – угол установки лопасти к плоскости вращения, град.; S_L – площадь лопасти, м².

Согласно конструкции смесителя (рис. 1) текущая ширина лопасти относительно радиуса расположения ее поперечного сечения не постоянна и по форме трапецевидна. Текущая ширина лопасти изменяется по зависимости: $b_i = b_0 + L_i \cdot c_1$ в интервале длины лопасти $0 \leq L_i \leq L$. При этом текущий радиус расположения текущей ширины лопасти запишется: $r_i = 0,5d + L_i$. Интервал изменения радиуса r расположения текущей ширины лопасти составит: $0,5d \leq r_i \leq 0,5D$, где d – диаметр вала смесителя, м; D – диаметр мешалки, м. Текущий угол α_i , соответствующий ширине лопасти b_i , определится как $\alpha_i = \alpha_0 + L_i \cdot c_2$.

Соответственно, задаваясь шириной лопасти у ее основания и вершины ($b_0; b_k$), или углом установки лопасти ($\alpha_0; \alpha_k$), можно определить коэффициенты для расчета параметров сечения лопасти:

$$c_1 = \frac{b_k - b_0}{L}; \quad c_2 = \frac{\alpha_k - \alpha_0}{L}.$$

Примем, что номер текущих значений факторов i изменяется от 1 до k , тогда длина интервала изменения длины лопасти составит: $\Delta L = \frac{L}{k}$. Текущая длина лопасти определится следующим образом $L_i = (i - 0,5) \cdot \Delta L$.

Площадь сегмента длины лопасти составит: $S_{L_i} = \Delta L \cdot b_i$.

В таком случае, составляющие мощности запишутся:

$$F_{pi} = 9,81 \cdot \rho \cdot S_{L_i} \cdot \Delta L \cdot \operatorname{tg}^2 \cdot (45^\circ + \chi/2) \cdot [\cos \alpha_i + f_1 \cdot \sin \alpha_i];$$

$$F_{oi} = 9,81 \cdot \rho \cdot S_{L_i} \cdot \Delta L \cdot \operatorname{tg}^2 \cdot (45^\circ + \chi/2) \cdot [\sin \alpha_i + f_1 \cdot \cos \alpha_i];$$

$$V_{pi} = \omega \cdot (0,5 \cdot L_i + b_i); \quad V_{oi} = V_p \cdot \cos \alpha_i \cdot \sin \alpha_i;$$

$$N_m = \sum_Z \sum_{i=1}^k (F_{pi} \cdot V_{pi} + F_{oi} \cdot V_{oi}). \quad (8)$$

При вращении вала лопастного смесителя (при движении твердого тела в сыпучей среде в зависимости от геометрии лопасти) в смеси возникают силы, различные по величине и направлению. Рациональный выбор формы лопасти позволяет получить ориентацию сил в заданном направлении таким образом, что суммарная (результатирующая) сила будет превосходить все остальные, и это означает, что будет происходить перемещение смеси согласно конструкционному предназначению, ускоряя смешение компонентов.

Предложенная конструкция смесителя предполагает помимо создания дополнительного силового фактора (вращательный момент) возникновение сил, коаксиальных оси вала – в связи с наличием угла «атаки» α поверхности лопасти (рис. 2, 3).

Однако в связи с предложенной формой лопасти угол α является переменным и может изменяться, причем возможна проекция лопасти в интервале углов от 0 до 90° (рис. 3). Из этого следует, что по мере удаления от оси вала осевая сила будет изменяться с учетом как ширины лопасти, так и угла расположения элементарного участка лопасти. Это повлияет на величину момента окружной силы.

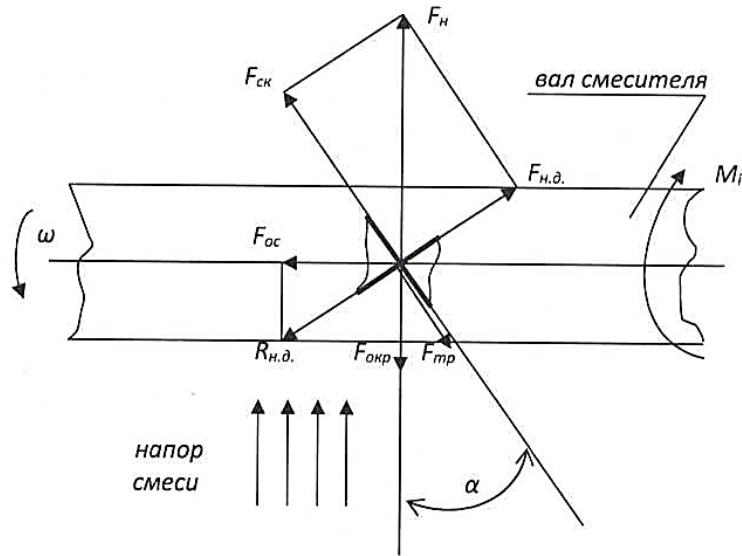


Рис. 3. Схема сил, возникающих при винтообразной форме лопасти:
 F_N – сила давления напора материала, Н; $F_{ск}$ – скатывающая сила, Н; $F_{н.д.}$ – сила нормального давления на лопасть, Н;
 $F_{тр}$ – сила трения, Н; $F_{ос}$ – осевая сила, Н; $R_{н.д.}$ – сила реакции нормального давления, Н;
 M_i – вращательный момент от частицы на вал, Н·м

Осевая сила $F_{ос}$, создаваемая одной лопастью определяется, Н:

$$F_{ос} = \int_{r_0}^{r_k} \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} \cdot \sin \alpha_i \cdot \cos \alpha_i \cdot b_i \cdot \cos \gamma \cdot r_i^3 \cdot dr. \quad (9)$$

Принимая осевую скорость постоянной ($\mathcal{G}_{cp} = const$) по всей длине смесителя и обозначая ее \mathcal{G}_{cp} , можно получить выражение для осевой скорости смеси на выходе из смесителя:

$$\mathcal{G}_{cp} = \frac{\int_{r_0}^{r_k} \frac{\rho \cdot \omega^3}{2} \cdot \sin \alpha_i \cdot \cos \alpha_i \cdot b_i \cdot \cos \gamma \cdot r_i^4 \cdot dr}{\int_{r_0}^{r_k} \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} \cdot \sin \alpha_i \cdot \cos \alpha_i \cdot b_i \cdot \cos \gamma \cdot r_i^3 \cdot dr} = \frac{\rho \cdot \omega^3 \cdot \int_{r_0}^{r_k} \sin \alpha_i \cdot \cos \alpha_i \cdot r_i^4 \cdot dr}{2 \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} \cdot \cos \gamma \cdot \int_{r_0}^{r_k} \sin \alpha_i \cdot \cos \alpha_i \cdot r_i^3 \cdot dr}$$

или

$$\mathcal{G}_{cp} = \omega \cdot \frac{\int_{r_0}^{r_k} \sin 2\alpha_i \cdot r_i^4 \cdot dr}{\int_{r_0}^{r_k} \sin 2\alpha_i \cdot r_i^3 \cdot dr}, \text{ м/с.} \quad (10)$$

Роль функции $f(\alpha) = \sin 2\alpha$ можно оценить лишь в том случае, если она будет выражена через радиус r_i и войдет в общее подынтегральное выражение. Однако в указанном виде (например, при аппроксимировании параболой) подынтегральное выражение становится громоздким и неудобным в применении.

Поэтому с погрешностью функцию ($\sin 2\alpha$) можно выразить при помощи теоремы о средней, на примере работы [10]. Тогда среднее значение функции ($\sin 2\alpha$) на интервале углов $[0; \pi/2]$, будет равно $(2/\pi)$.

Подставив полученное значение в подынтегральное выражение и производя необходимые сокращения, можно получить достаточно практичное выражение:

$$g_{cp} = \omega \cdot \frac{\int_{r_0}^{r_k} r_i^4 \cdot dr}{\int_{r_0}^{r_k} r_i^3 \cdot dr} = \frac{4}{5} \cdot \omega \cdot \frac{r_k^5 - r_0^5}{r_k^4 - r_0^4}, \text{ м/с.} \quad (11)$$

Полученное выражение (11) с некоторой погрешностью позволяет оценить среднюю скорость истечения сыпучего материала из выходного отверстия смесителя. Полагая, что пропускная способность (массовая подача) дозаторов на выгрузке материала компонентов смеси Q_v является функцией плотности смеси, скорости истечения и площади выгрузного отверстия (в непрерывном режиме работы смесителя, сколько материала компонентов загрузится, столько же и выгрузится готовой смеси, т.к. выгружается избыток материала из заполненного смесителя), можно выделить положение шиберов, изменяющего площадь выгрузного окна в качестве регулятора объема постоянно перемешиваемого материала. Остальные два параметра являются квазистабильными, поэтому площадь выгрузного отверстия определится, м²:

$$S = \frac{\sum Q_j}{k \cdot \rho \cdot g_{cp}}, \text{ м}^2, \quad (12)$$

где g_{cp} – средняя скорость выхода смеси по выходному сечению смесителя, м/с; k – степень заполнения площади выгрузного окна; $\sum Q_j$ – фактическая производительность загрузки смесителя по поступающему материалу компонентов смеси из дозаторов, кг/с.

С учетом выражения (11) пропускная способность выгрузного отверстия смесителя выражается:

$$\sum Q_j = k \cdot \rho \cdot g_{cp} \cdot S = k \cdot \rho \cdot \frac{4}{5} \cdot \omega \cdot \frac{r_k^5 - r_0^5}{r_k^4 - r_0^4} \cdot S, \text{ кг/с.} \quad (13)$$

Выражение (12) свидетельствует, что изменение массовой подачи компонентов смеси влияет на степень заполнения площади выгрузного отверстия. С одной стороны, положение шиберов, регулирующего открытием площадь выгрузного отверстия, должно позволять выгружаться приготовленной смеси, с другой стороны, увеличение высоты размещения шиберов увеличивает время заполнения смесителя, а следовательно увеличивает массу смешиваемой одновременно смеси в смесителе. Тем самым, положением шиберов можно регулировать массу смешиваемой порции смеси. В зависимости от массы порции смеси изменяется требуемое время смешения до достижения зоотехнических требований. Изменяя суммарную производительность дозаторов, можно настроить смесительный агрегат в составе дозаторов и смесителя на приготовление качественной смеси. После настройки положения шиберов нежелательно его постоянно изменять. Опорожнение смесителя производится при открытии нижнего выгрузного отверстия вторым шибером.

Заключение. Проведенные исследования позволили определить аналитические выражения, описывающие мощность на привод смесителя, его производительность и составляющие времени цикла, а также удельные энергозатраты смешения компонентов. Выявлено влияние конструктивных, кинематических и технологических параметров на показатели работы лопастного смесителя. К числу основных факторов, влияющих на показатели рабочего процесса, относятся частота вращения (угловая скорость) мешалки смесителя, количество ее лопастей, угол установки лопастей и их параметры. С учетом влияния установленных параметров следует осуществлять выбор факторов при проведении экспериментальных исследований.

1. Сыроватка, В. И. Ресурсосбережение при производстве комбикормов в хозяйствах / В. И. Сыроватка // Техника и оборудование для села. – 2011. – №6. – С. 22-26.
2. Сыроватка, В. И. Новые технические решения приготовления комбикормов в хозяйствах / В. И. Сыроватка, Н. В. Обухова, А. С. Комарчук // Кормопроизводство. – 2010. – № 7. – С. 42-45.
3. Новиков, В. В. Методологические основы и обоснование структурно-функциональной схемы зерновой смеси / В. В. Новиков, М. В. Борисова // Эксплуатация автотракторной и сельскохозяйственной техники: опыт, проблемы, инновации, перспективы : сб. науч. трудов. – Пенза, 2017. – С. 82-88.
4. Коновалов, В. В. Оптимизация параметров барабанного смесителя / В. В. Коновалов, Н. В. Дмитриев, А. В. Чупшев, В. П. Терюшков // Нива Поволжья. – 2013. – № 4(29). – С. 41-47.
5. Коновалов, В. В. Аналитические аспекты гравитационного смешивания барабанных устройств / В. В. Коновалов, Н. В. Дмитриев, В. П. Терюшков, А. В. Чупшев // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 2. – С. 40-46.
6. Мартынова, Д. А. Повышение эффективности процесса производства экструдированных кормовых продуктов за счет изменения конструктивных параметров шнека пресс-экструдера : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Мартынова Дарья Александровна. – Оренбург : Оренбургский государственный университет. – 2017. – 167 с.
7. Механизация и технология производства продукции животноводства : учебное пособие / В. Коба, Н. Брагинец, Д. Мурусидзе, В. Некрашевич. – М. : Колос, 1999. – 528 с.
8. Борисова, М. В. Рациональное деформирование лопастей смесителя и его влияние на динамику процесса / М. В. Борисова, В. В. Новиков, А. Ю. Титов // Инновационные достижения науки и техники АПК : сб. науч. трудов. – Кинель, 2018. – С. 376-379.
9. Пат. 179164 Российская Федерация. Смеситель зерновой смеси / Новиков В. В., Борисова М. В., Грецов А. С. [и др.]. – № 2017136899 ; заявл. 19.10.2017; опубл. 03.05.2018, Бюл. № 13. – ? с.
10. Петрова, С. С. Сравнительные исследования смесителя с круглыми и плоскими лопастями / С. С. Петрова, В. П. Терюшков, А. В. Чупшев, М. В. Коновалова // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2011. – № 3. – С. 121-124.
11. Коновалов, В. В. Аналитическое обоснование длительности цикла работы смесителя периодического действия / В. В. Коновалов, М. В. Фомина, В. П. Терюшков, А. В. Чупшев // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 3. – С. 10-15.

References

1. Syrovatka, V. I. (2011). Resursosberezheniye pri proizvodstve kombikormov v hoziaistvakh [Resource saving by production of compound feeds in farms]. *Tekhnika i oborudovanie dliya sela – Machinery and equipment for the village*, 6, 22-26 [in Russian].
2. Syrovatka, V. I., Obukhova, N. V., & Komarchuk, A. S. (2010). Novye tekhnicheskie resheniia prigotovleniia kombikormov v hozyaistvakh [New technical solutions of preparation of compound feeds in farms]. *Kormoproizvodstvo – Fodder Production*, 7, 42-45 [in Russian].
3. Novikov, V. V., & Borisova, M. V. (2017). Metodologicheskie osnovy i obosnovanie strukturno-funktionalnoi skhemy zernovoi smesi [Methodological basis and justification of the structurally functional scheme of grain mix]. *Operation of autotractor and agricultural machinery: experience, problems, innovations, prospects '17: sbornik nauchnykh trudov – collection of proceedings*. (pp. 82-88). Penza [in Russian].
4. Konovalov, V. V., Dmitriev, N. V., Chupshev, A. V., & Terushkov, V. P. (2013). Optimizaciia parametrov barabannogo smesitelia [Optimization of parameters of the rotary drum mixer]. *Niva Povolzhia – Niva Povolzhya*, 4(29), 41-47 [in Russian].
5. Konovalov, V. V., Dmitriev, N. V., Terushkov, V. P., & Chupshev, A. V. (2016). Analiticheskie aspekty gravitacionnogo smeshivaniia barabannykh ustroystv [Analytical aspects of gravitational mixing of drum devices]. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskohozyaistvennoi akademii – Bulletin Samara state agricultural academy*, 2, 40-46 [in Russian].
6. Martinova, D. A. (2017). Povysheniye effektivnosti processa proizvodstva ekstrudirovannykh kormovykh produktov za schet izmeneniia konstruktivnykh parametrov shneka press-ekstrudera [Increase in efficiency of process of production of extruded fodder products due to change of design data of the screw of a press extruder]. *Candidate's thesis*. Orenburg [in Russian].
7. Koba, V., Braginetz, N., Murusidze, D., & Nekrasevich, V. (1999). Mekhanizaciia i tekhnologiia proizvodstva produkci zhivotnovodstva [Mechanization and technology of livestock production]. Moscow: Kolos [in Russian].
8. Borisova, M. V., Novikov, V. V., & Titov, A. Yu. (2018). Racionalnoe deformirovanie lopastej smesitelia i ego vliianie na dinamiku processa [The rational deformation of the blades of the mixer and its influence on the dynamics of the

process]. Innovations of science and technology of agrarian and industrial complex '18: *sbornik nauchnykh trudov – collection of proceedings*. (pp. 376-379). Kinel: RIO Samarskoi GSKHA [in Russian].

9. Novikov, V. V., Borisova, M. V., Grecov, A. S., Kotov, D. N., & Konovalov, V. V. (2018) Smesitel zernovoi smesi [Mixer Grain mixture] *Patent 179164, Russian Federation, 2017136899* [in Russian].

10. Petrova, S. S., Terushkov, V. P., Chupshev, A. V., & Konovalova, M. V. (2011). Sravnitelnye issledovaniia smesitelia s kruglymi i ploskimi lopastiami [Comparative studies of the mixer with round and flat blades]. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskohozyaistvennoi akademii – Bulletin Samara state agricultural academy*, 3, 121-124 [in Russian].

11. Konovalov, V. V., Fomina, M. V., Terushkov, V. P., & Chupshev, A. V. (2015). Analiticheskoe obosnovanie dlitelnosti cikla raboty smesitelia periodicheskogo deistviia [An analytical study of the cycle duration of operation of the mixer periodic action]. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskohozyaistvennoi akademii – Bulletin Samara state agricultural academy*, 3, 10-15 [in Russian].