МОДЕЛЬ КАЧЕСТВЕННО-МОЩНОСТНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ БАРАБАННОГО СМЕСИТЕЛЯ

*А.В. Чупшев¹, канд. техн. наук, доцент; В.В. Коновалов² доктор техн. наук, профессор;
К.П. Фудин², инженер*

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный аграрный университет»
г. Пенза, Россия, (8412) 628-542, chupshev.a.v@pgau.ru

ФГБОУ ВО ПензГТУ², (8412) 690-320, konovalov-penza@rambler.ru

На основании экспериментальных исследований в статье изложены вопросы повышения качественных показателей работы барабанного смесителя кормов, представлено описание его конструкции и принцип работы. Исследования проводились в соответствии с действующей методикой и материалами, представленными в статье. По результатам аппроксимации исходно рассчитанных значений качественно-мощностного показателя получена статистическая модель данного качественно-мощностного показателя (0,01 %·кВт). Осуществлен анализ величины ошибок расчетных данных на предмет соответствия исходным данным. После обработки полученных экспериментальных данных приведено описание графических зависимостей по влиянию конструктивных параметров рабочего органа барабанного смесителя на качественно-мощностной показатель. Увеличение высоты установки лопастей нежелательно свыше 0,16 м, а увеличение количества лопастей свыше восемь штук приводит к резкому ухудшению качественно-мощностного показателя. Даны соответствующие выводы по применению исследуемых конструктивных и режимных параметров при работе барабанного смесителя.

Ключевые слова: барабан, крылья лопасти, угол установки лопасти, энергоёмкость, смесь, приготовления смеси, перемешивание, контрольный компонент, модель смешивания.

Введение

Экспериментально доказано, что высокая продуктивность сельскохозяйственных животных и птицы, заложенная генетически, проявляется только при организации физиологически обоснованного и сбалансированного кормления [1]. Для этого необходимо, чтобы кормовой рацион удовлетворял потребностям животных во всех питательных веществах и ряда необходимых элементах. Поступление в организм животного нужного количества вещества должно осуществляться в определенном соотношении [2, 3]. Удовлетворить такое требование возможно при использовании готовых кормовых смесей, используя современный опыт в области биохимии и физиологии животных, с применением современного технологического оборудования [4]. Конечной операцией по приготовлению кормовых смесей является перемешивание ингредиентов компонентов в специальных машинах – смесителях. На сегодняшний день имеется разнообразное количество смешивающих устройств, которые применяются при приготовлении кормов [5, 6]. Зачастую не все кормоприготовительные устройства позволяют качественно и с минимальными затратами приготовить полнорационные смеси, что, в итоге приводит к увеличению

себестоимости приготавливаемого корма [7]. Простота и надежность конструкции некоторых смесителей, несмотря на свои недостатки, имеет высокие перспективы использования после модернизации рабочего органа.

Методы и материалы

Одними из широко распространённых в промышленности устройств являются барабанные смесители. По сравнению с лопастными устройствами данное конструктивное исполнение менее энергоёмко, при этом длительность перемешивания до требуемой равномерности смеси существенно ниже. В дальнейшем качество смеси практически не улучшается [8, 9].

Целью исследований являлось установление взаимного влияния конструктивных параметров лопастей барабанного смесителя на величину затрачиваемой мощности и качества смеси.

Методика исследований реализовывала получение уравнения регрессии взаимного влияния качества смеси и затрачиваемой мощности на основе результатов проведенных экспериментальных исследований и осуществленной статистической обработки полученных результатов. Повторность получения исходных показателей – трехкратная. Замеры мощности

производились комплектом измерительным К505 [10, 11]. При проведении исследований во вращающийся барабан смесителя загружалась масса корма, по прошествии двух минут осуществлялся замер мощности, а через 200 сек с момента начала смешивания бралось 20 проб для расчета коэффициента вариации содержания контрольного компонента – зерен ячменя. При проведении исследований изменялись: углы установки крыльев Г-образной лопасти, их высота и количество. Исследуемые

интервалы изменения указанных факторов визуализированы на графиках полученных результатов исследований. Основной конструкции барабанных смесителей является корпус, в котором закреплены лопасти, выполненные в виде Г-образной пластины. При вращении емкости барабана материал в ней образует постоянно перемещающуюся насыпь, на которую сверху сыплется материал, забираемый лопастями из нижней части насыпи.

Рис. 1. Схема перемешивающего аппарата барабанного смесителя: 1 – емкость барабана; 2 – лопасть; 3 – свободная поверхность сыпучего материала

Рис. 2. Схема движения частиц внутри вращающегося барабана: 1 – лопасть; 2 – емкость барабана; 3 – насыпь материала смеси

При вращении емкости 2 барабанного смесителя (рис. 2) с угловой скоростью ω лопастями 1 материал захватывается, поднимается на некоторую высоту (т. A_n), соответствующую центральному углу φ_n , после чего начинается сход частиц материала с лопастей 2 под действием сил гравитации с

образованием насыпи материала 3 внутри емкости.

В следствие поднятия компонентов смеси, рабочими органами 1 часть, которая не попала по направлению вращения, расположится левее у основания вороха 3. Смесь, направляемая с корпусом барабана, будет прижиматься центробежными силами

к стенкам корпуса 2 и, при этом, подниматься за счет вращения барабана. Рабочие органы, выполненные в виде Г-образных лопастей 1, способствуют задержке компонентов смеси на корпусе барабана. При увеличении высоты насыпи до определенного угла φ_n некоторая порция смеси смещается от края лопасти рабочего органа и направится за счет действия силы тяжести по закону баллистики. При достижении критического значения угла φ_k произойдет и перемещение материала, располагаемого у стенки корпуса барабана. Определив углы φ_n и φ_k , найдем ожидаемую зону разгрузки лопастей барабана и, соответственно, координаты поступления частиц на насыпь.

Частицы, упавшие на поверхность насыпи, будут частично скользить по ее поверхности к низу насыпи. Кроме того, совместно с другими частицами насыпи увлекутся во вращательное движение насыпи материала по некоторой спирали при вращении барабана. Оказавшись на расстоянии от стенки емкости менее S , частицы увлекутся во вращение барабана и направляются на последующий новый полет под действием гравитации [12, 13]. В результате чего осуществляется смещение компонентов материала в поперечном сечении относительно корпуса барабана, обеспечивая при этом их качественное смешивание.

Наклонив ось вращения корпуса барабана относительно горизонтали на угол α компоненты смеси переместятся по стенкам корпуса барабана к основанию емкости 2. При этом будет образовываться ворох материала 3 в продольной плоскости. Поэтому компоненты смеси у дна слеживаются и плохо перемешиваются из-за большой высоты материала. В следствие увеличения вороха материала, он постепенно смещается под уклон насыпи к загрузочному окну, способствуя усреднению состава в объеме смеси. При снижении угла установки корпуса барабана ($\alpha \rightarrow 0^\circ$) усреднение частиц улучшается, но перемешивание компонентов вдоль барабана ухудшается. Однако, степень наполнения материалом корпуса барабана снижается из-за риска выгрузки материала. При увеличении же угла установки корпуса ($\alpha \rightarrow 90^\circ$) снижается усреднение частиц в поперечном направлении, но перемещение частиц смеси вдоль корпуса барабана увеличивается до того момента, пока не образовалась застойная зона. Ввиду чего возможна максимальная степень заполнения корпуса барабана.

В основном, распространена бочкообразная форма барабана, по краям которого расположены усеченные неполные конусы.

Вопрос принудительного перемещения материала вдоль корпуса в производственных устройствах пока не решен [14].

Использование упоры на концах Г-образных лопастей, установленных под углом β к оси вращения, повышает трение в радиальном направлении, сохраняя возможность осевого движения с трением материала смеси по поверхности лопасти. Тем самым увеличивается продольное смещение смеси к днищу и, соответственно, степень заполнения емкости, что способствует усреднению материала в емкости. Следующая лопасть, установленная с противоположным углом, перемещает материал в противоположном направлении, но с меньшей интенсивностью.

Величина качественно-мощностного показателя P_v (0,01 %-кВт): рассчитывалась на основе средних значений коэффициента вариации содержания контрольного компонента v (0,01 %) и медианы амплитуды колебания значений затрачиваемой мощности P (кВт):

$$P_v = v \cdot P. \quad (1)$$

Результаты исследований

В результате аппроксимации исходно рассчитанных значений качественно-мощностного показателя по формуле 1 на основе результатов эксперимента, получена статистическая модель данного качественно-мощностного показателя (0,01 %-кВт):

$$P_v = 0,585147 + \left(0,585147 - 13,6932 \cdot h + 44,04056 \cdot h \cdot h + \frac{0,0152991}{Z} \right) \times \left(1,187 - \frac{10,1435}{\beta} + 0,003116 \cdot \gamma + 0,000072 \cdot \gamma^2 \right), \quad (2)$$

где h – высота крыльев лопастей, м; Z – количество лопастей, шт.; β – угол установки нижнего крыла лопасти относительно касательной в месте ее установки, град.; γ – угол установки верхнего крыла лопасти относительно касательной в месте ее установки, град.

Результаты F -test = 0,903473, а также коэффициента корреляции $R = 0,949945$ свидетельствуют об адекватности модели с 90 % вероятностью. Это подтверждают графики распределения величин ошибок (рис. 3) и соответствия расчетных значений опытным (рис. 4). Величина ошибок показывает наличие их малых значений и их группировку возле нуля. Расчетные значения хорошо соответствуют исходным данным.

Графический анализ влияния углов установки крыльев лопастей (рис. 5) на качественно-мощностной показатель

свидетельствует о наличии оптимальной величины угла установки верхнего крыла лопасти относительно касательной в месте

ее установки, соответствующего 18-25 градусам.

Рис. 3. График распределения величин ошибок на нормальной бумаге

Рис. 4. График соответствия расчетных значений опытным значениям

Рис. 5. Двумерное сечение поверхности отклика углов установки нижнего β и верхнего γ крыльев лопастей барабана относительно касательной в месте ее установки (град.) на качественно-мощностной показатель P_v (0,01 %·кВт)

Рис. 6. Двумерное сечение поверхности отклика модели влияния высоты h (м) и количества Z (шт.) лопастей барабана на качественно-мощностной показатель P_v (0,01 %·кВт)

У угла установки нижнего крыла лопасти относительно касательной в месте ее установки отсутствует оптимальное значение. По мере роста угла β улучшаются значения величины качественно-мощностного показателя. При этом, если при малых значениях данного угла показатель улучшался интенсивно, то с ростом угла β наблюдается стабилизация качественно-мощностного показателя. Тем самым, увеличение угла установки нижнего крыла лопасти более 45 градусов не дает существенного прироста результата.

Анализ характера изменения качественно-мощностного показателя (рис. 6) свидетельствует о минимизации его значений при высоте лопастей около 0,15-0,16 м. Отклонение высоты лопасти от указанного интервала приводит к ухудшению интегрированного показателя. Если с ростом количества лопастей от двух до шести наблюдается незначительное улучшение величины

данного показателя, при дальнейшем росте числа лопастей к восьми наблюдается резкое ухудшение значений. Поэтому оптимальна величина количества лопастей – шесть штук, при их высоте около 0,15 м.

Заключение

Оптимальная величина угла установки верхнего крыла лопасти относительно касательной в месте ее установки соответствующей 18-25 градусов. У угла установки нижнего крыла лопасти относительно касательной в месте ее установки отсутствует оптимальное значение. По мере роста угла нижнего крыла улучшаются значения величины качественно-мощностного показателя. Увеличение угла установки нижнего крыла лопасти более 45 градусов не дает существенного прироста результата. Минимум интегрированного показателя соответствует высоте лопастей около 0,15-0,16 м. Оптимальная величина количества лопастей – шесть штук.

Литература

1. Сыроватка В.И., Жданова Н.В. Инновационные машинные технологии и технические средства производства комбикормов. Инновации в сельском хозяйстве, 2018, № 2 (27), с. 272-277.
2. Сыроватка В.И., Мишуров Н.П. Перспективные направления технологии развития сельскохозяйственной системы производства комбикормов. ИнформАгро-2016: сборник материалов VIII международной научно-практической конференции. ФГБНУ Росинформагротех, 2016, с. 29-34.
3. Винники С., Романюк В., Савиных П.А., Скоркин В.К. Совершенствование технологии кормления высокопродуктивных коров. Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства, 2019, № 3 (35), с. 147-151.
4. Ведищев С.М., Хольшев Н.В., Прохоров А.В., Кажияхметова А.А., Бралиев М.К. Аналитическое исследование оптимальной частоты вращения комбинированных рабочих органов смесителя. Наука в центральной России, 2019, № 2 (38), с. 65-71.
5. Борисова М.В., Титов А.Ю., Новиков В.В., Коновалов В.В. Регрессионная модель производительности опорожнения тихоходного смесителя. Вестник Башкирского государственного аграрного университета, 2019, № 2 (50), с. 103-108.

6. Булатов С.Ю., Воронов Е.В., Шамин А.Е., Сергеев А.Г. Оценка равномерности распределения премиксов в полнорационных кормах при их подготовке в смесителях. Пермский аграрный вестник, 2019, № 3 (27), с. 4-12.
7. Терюшков В.П., Чупшев А.В., Широкова О.Н., Коновалова М.В. Определение энергоёмкости смесеобразования быстроходных смесителей. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии, 2009, № 3, с. 76-81.
8. Коновалов В.В., Фомина М.В., Терюшков В.П., Чупшев А.В. Аналитическое обоснование длительности цикла работы смесителя периодического действия. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии, 2015, № 3, с. 10-15.
9. Петрова С.С., Терюшков В.П., Чупшев А.В., Коновалова М.В. Сравнительные исследования смесителя с круглыми и плоскими лопастями. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии, 2011, № 3, с. 121-124.
10. Коновалов В.В., Чупшев А.В., Фомина М.В., Калиганов А.С. Моделирование изменения равномерности смеси при ступенчатом смешивании. Нива Поволжья, 2013, № 3 (28), с. 77-83.
11. Коновалов В.В., Калиганов А.С., Фомина М.В., Чупшев А.В. Моделирование подачи материала при разгрузке вертикального смесителя. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс, 2014, № 6 (22), с. 67-74.
12. Чупшев А.В., Коновалов В.В., Терюшков В.П., Шабурова Г.В. Аналитическое определение параметров лопастных смесителей для турбулентного перемешивания сухих смесей. Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2012, № 3 (89), с. 88-91.
13. Коновалов В.В., Чупшев А.В. Результаты теоретических исследований процесса перемешивания в смесителе периодического действия. Нива Поволжья, 2012, № 2, с. 51-55.
14. Коновалов В.В., Фомин А.С., Чупшев А.В., Терюшков В.П. Спирально-винтовой смеситель конвейер. Сельский механизатор, 2012, № 7, с. 7.

UDC 62-111.1

DOI 10.36461/NP.2020.56.3.002

MODEL OF THE QUALITY-POWER INDICATOR OF A ROTARY DRUM MIXER

A. V. Chupshev¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, V. V. Konovalov², Doctor of Technical Sciences, Professor, K. P. Fudin², engineer

FSBEI of Higher Education Penza State Agrarian University¹, (8412) 628-542,
chupshev.a.v@pgau.ru

FSBEI of Higher Education PenzSTU², (8412) 690-320, konovalov-penza@rambler.ru

Based on experimental studies, the article presents the issues of improving the quality indicators of the drum feed mixer, describes its design and operating principle. The research was conducted in accordance with the current methodology and materials presented in the article. Based on the results of approximation of the initially calculated values of the quality-power indicator, a statistical model of this quality-power indicator (0.01% kW) is obtained. The value of errors in the calculated data is analyzed for correspondence with the initial data. After processing the obtained experimental data, the description of dependence diagrams on the influence of the design parameters of the working body of the drum mixer on the quality and power indicator is shown. An increase in the height of the installation of blades is undesirable over 0.16 m, and an increase in the number of blades over eight leads to a rapid deterioration in the quantity-power indicator. The relevant conclusions on the application of the studied design and operating parameters in the working of the drum mixer are presented.

Keywords: drum, blade wings, blade pitch angle, power capacity, mix, mix preparation, mixing, control component, mixing model.

References:

1. Syrovatka V.I., Zhdanova N.V. Innovative machine technologies and technical facilities of mixed fodders production. Innovatsii v selskom hozyajstve, 2018, no. 2 (27), pp. 272-277.
2. Syrovatka V.I., Mishurov N.P. Perspective directions of technological developments of agricultural system productions of compound feeds. InformAgro-2016: collection of materials of the VIII international scientific and practical conference. FSBSI Rosinformagrotech, 2016, pp. 29-34.

3. Vinnitsky S., Romanyuk V., Savinykh P.A., Skorkin V.K. Improvement of high-production cows' feeding technology. Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva, 2019, No. 3 (35), pp. 147-151.
4. Vedishchev S.M., Kholshchev N.V., Prokhorov A.V., Khazhiyakhmetova A.A., Braliev M.K. Analytical study of the optimal speed of rotation of the combined working bodies of the mixer. Nauka v tsentralnoy Rossii, 2019, no. 2 (38), pp. 65-71.
5. Borisova M.V., Titov A.Yu., Novikov V.V., Konovalov V.V. Regression model of low-speed mixer emptying performance. Bulletin of the Bashkir State Agrarian University, 2019, no. 2 (50), pp. 103-108.
6. Bulatov S.Yu., Voronov E.V., Shamin A.E., Sergeev A.G. Evaluation of the distribution uniformity of premixes in complete feeds during its preparation in mixers Perm Agrarian Journal, 2019, no. 3 (27), pp. 4-12.
7. Teryushkov V.P., Chupshev A.V., Shirokova O.N., Konovalova M.V. Determination of the energy intensity of mixing of high-speed mixers. Proceedings of the Samara State Agrarian University, 2009, no. 3, pp. 76-81.
8. Konovalov V.V., Fomina M.V., Teryushkov V.P., Chupshev A.V. An analytical study of the cycle duration of operation of the mixer periodic action. Proceedings of the Samara State Agrarian University, 2015, no. 3, p. 10-15.
9. Petrova S.S., Teryushkov V.P., Chupshev A.V., Konovalova M.V. Comparative studies of a mixer with round and flat blades. Proceedings of the Samara State Agrarian University, 2011, no. 3, pp. 121-124.
10. Konovalov V.V., Chupshev A.V., Fomina M.V., Kaliganov A.S. Modeling of variations in the uniformity of the mixture during the mixing step. Volga Region Farmland, 2013, no. 3 (28), pp. 77-83.
11. Konovalov V.V., Kaliganov A.S., Fomina M.V., Chupshev A.V. Simulation of material supply during unloading of a vertical mixer. XXI Century: Resumes of the Past and Challenges of the Present plus, 2014, no. 6 (22), pp. 67-74.
12. Chupshev A.V., Konovalov V.V., Teryushkov V.P., Shaburova G.V. Analytical determination of parameters of blade mixers for turbulent mixing of dry mixes. Bulletin of the Altai State Agricultural University, 2012, no. 3 (89), pp. 88-91.
13. Konovalov V.V., Chupshev A.V. Results of theoretical studies of the mixing process in a batch-type mixer. Volga Region Farmland, 2012, no. 2, pp. 51-55.
14. Konovalov V.V., Fomin A.S., Chupshev A.V., Teryushkov V.P. Spiral-screw mixer conveyor. Selskiy Mehanizator, 2012, p. 7.