

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ СМЕШИВАНИЯ И ДОЛИ МЕНЬШЕГО КОМПОНЕНТА НА ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ МЕШАЛКИ ЛОПАСТНОГО СМЕСИТЕЛЯ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ЛОПАТКАМИ

Фомина Мария Владимировна, аспирант, ФГОУ ВО «Пензенская государственная технологическая академия».

440014, Пенза, ул. Ботаническая, 30.

E-mail: konovalov-penza@rambler.ru

Коновалов Владимир Викторович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Технология машиностроения», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет».

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

E-mail: konovalov-penza@rambler.ru

Терюшков Вячеслав Петрович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технический сервис машин», ФГОУ ВО «Пензенская государственная технологическая академия».

440014, Пенза, ул. Ботаническая, 30.

E-mail: konovalov-penza@rambler.ru

Чупшев Алексей Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технический сервис машин», ФГОУ ВО «Пензенская государственная технологическая академия».

440014, Пенза, ул. Ботаническая, 30.

E-mail: konovalov-penza@rambler.ru

Ключевые слова: смешивание, неравномерность, смеситель, лопастная, энергоёмкость, длительность.

Цель исследования – обоснование зоны работоспособности предложенного смесителя с вертикальным валом и лопастной мешалкой, на краях лопастей которой закреплены синусоидальные лопатки. Данные исследований свидетельствуют, что, в силу имеющейся кинетики смешивания, все смесители в начале периода смешивания существенно улучшают качество смеси, после чего наблюдается стабилизация качественных показателей, а в ряде случаев начинается и сегрегация смеси. Характер изменения равномерности смеси носит вид показательной функции от времени смешения. В связи с этим стоит задача выявления зоны работоспособности и возможности самого применения лопастного смесителя предлагаемой конструкции применительно приготовлению сухих кормовых смесей. Актуально изготовление концентратных смесей (комбикорма полнорационного, комбикормов-концентратов или кормо-лекарственных смесей) на основе покупного БВД и собственного фуража. Задачи исследований – установление функциональной зависимости между технологическими параметрами смесителя (доля контрольного компонента и длительность смешения) и показателями технологического процесса (неравномерность смеси и скорректированная энергоёмкость смешения с учетом равномерности смеси); выявление рациональных значений технологических параметров смесителя, обеспечивающих требуемое качество смеси и минимальную энергоёмкость смесиобразования. Дается описание и конструктивная схема смесителя сухих материалов периодического действия. Описаны методика и результаты экспериментальных исследований смесителя. Представлены выражения, описывающие: неравномерность смеси и энергоёмкость перемешивания в зависимости от доли контрольного компонента и длительности смешения; потребную длительность смешения в зависимости от доли контрольного компонента. Построены двумерные сечения поверхностей отклика исследуемых показателей. На основе анализа приведенных графиков обоснована зона работоспособности смесителя: доля контрольного компонента не менее 3%; при доле контрольного компонента 5% длительность смешения – 300 с, при доле контрольного компонента 10% длительность смешения – 200 с.

В современном сельском хозяйстве широко используются различные смеси [1-3] и композиционные материалы, получаемые на их основе [4-7]. Для приготовления указанных смесей используется широкий спектр устройств и агрегатов, к числу которых относятся как шнековые экструдеры и прессы [8], так и специализированные и универсальные смесители [9-11]. Наибольшее распространение получили лопастные смесители различной конструкции и принципа действия [1-3, 12-14]. Имеющиеся данные свидетельствуют [13-15], что, в силу имеющейся кинетики смешивания, все смесители в начале периода смешивания существенно улучшают качество смеси, после чего наблюдается стабилизация качественных показателей, а в ряде случаев начинается и сегрегация смеси. Характер изменения равномерности смеси носит вид показательной функции от времени смешения. В связи с этим стоит задача выявления зоны работоспособности и возможности самого применения лопастного смесителя предлагаемой конструкции применительно приготовлению сухих кормовых смесей. На настоящий момент актуально изготовление концентратных смесей (комбикорма полнорационного, комбикормов-концентратов или кормо-лекарственных смесей) на основе покупного БВД и собственного фуража [9-12].

Цель исследования – обоснование зоны работоспособности предложенного смесителя с вертикальным валом и лопастной мешалкой, на краях лопастей которой закреплены синусоидальные лопатки.

Задачи исследований – установление функциональной зависимости между технологическими параметрами смесителя (доля контрольного компонента и длительность смешения) и показателями технологического процесса (неравномерность смеси и скорректированная энергоёмкость смешения с учетом равномерности смеси); выявление рациональных значений технологических параметров смесителя, обеспечивающих требуемое качество смеси и минимальную энергоёмкость смесеобразования.

Материалы и методы исследований. Для приготовления сухих концентратных смесей предлагается использовать смеситель с лопастной мешалкой и вертикальной цилиндрической емкостью, у которого на концах лопастей установлены дополнительные лопатки [14-16].

Смеситель (рис. 1) установлен на раме и состоит из цилиндрической смесительной емкости, установленной вертикально, и системы электропривода. Внутри смесительной емкости в подшипниковых опорах установлен вертикальный вал с установленной жестко на нём лопастной мешалкой. Лопасти мешалки плоские, установлены радиально и повернуты на угол α , обеспечивая подъем материала при своем движении. На краях лопастей установлены лопатки с синусоидальным профилем. Линия, соединяющая передний и задний края лопаток, образует с днищем смесительной емкости угол α наклона лопаток. Перед работой смесителя включается его привод и загружаются сверху через загрузную горловину компоненты: первый – наполнитель с большей долей, затем меньший компонент, и далее компоненты по возрастанию массы. Выгрузка готовой смеси производится при открытии бокового выгрузного отверстия в нижней части емкости.

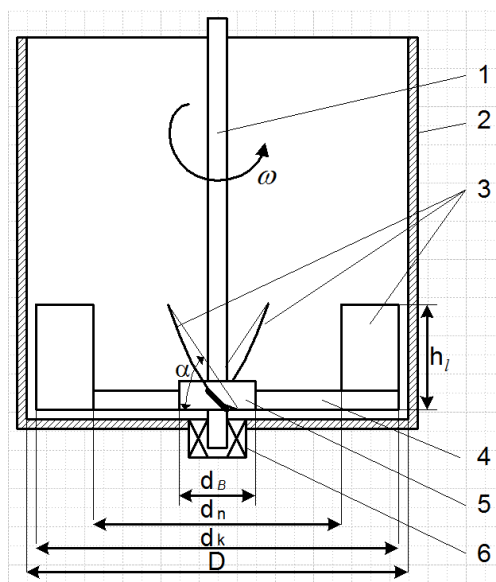


Рис. 1. Схема размещения лопастей в смесительном аппарате:

1 – вал приводной; 2 – емкость смесительная; 3 – лопатка; 4 – лопасть радиальная мешалки; 5 – втулка крепежная мешалки; 6 – подшипниковая опора нижняя

Для проверки работоспособности смесителя объемом 30 л при степени заполнения 70% дертовой смесью с плотностью вороха 710 кг/м^3 проведены исследования, позволяющие установить влияние доли контрольного компонента D_k (%) на длительность смешения компонентов T (с) при соблюдении зоотехнических требований на качество смеси.

При проведении исследований контрольным компонентом смеси являлись зерна ячменя, внесенные в заданном количестве от массы смеси согласно плану эксперимента (0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0%). При этом количество проб – 20 шт., масса пробы – 100 г. Исходя из априорной информации [9-13], длительность смешения в опытах была 120, 240, 360, 480 с. Мощность установленного электродвигателя у смесителя – 2,2 кВт. Обработка результатов эксперимента осуществлялась компьютерной программой Statistica, построение двумерных сечений поверхностей откликов факторов – Mathcad. При этом производилось контролирование неравномерности смеси ν (коэффициент вариации содержания контрольного компонента в пробах), затрачиваемой мощности N привода, энергоёмкости смесеобразования Y , а так же скорректированной энергоёмкости Y_k смешения с учетом равномерности смеси [16]:

$$Y_k = Y / (1 - \nu / 100). \quad (1)$$

Результаты исследований. Результаты проведенных исследований представлены на рисунке 2. В результате обработки результатов экспериментов статистически установлено уравнение регрессии (рис. 3) неравномерности смеси от доли контрольного компонента D_k (%) и длительности смешения T (с):

$$\nu = 4,492192 + \frac{10,52454}{D_k} + \frac{725,499927}{T} + \frac{1656,802}{D_k \cdot T}. \quad (2)$$

Значения коэффициента корреляции $R = 0,97880$ и данные F -тест = 0,92654945 свидетельствуют об адекватности выражения опытным данным.

По мере роста доли контрольного компонента и увеличения длительности смешения у смеси улучшается качество. Но интенсивность улучшения качественных показателей уменьшается. Это связано с кинетикой процесса смешения, описываемого показательной функцией.

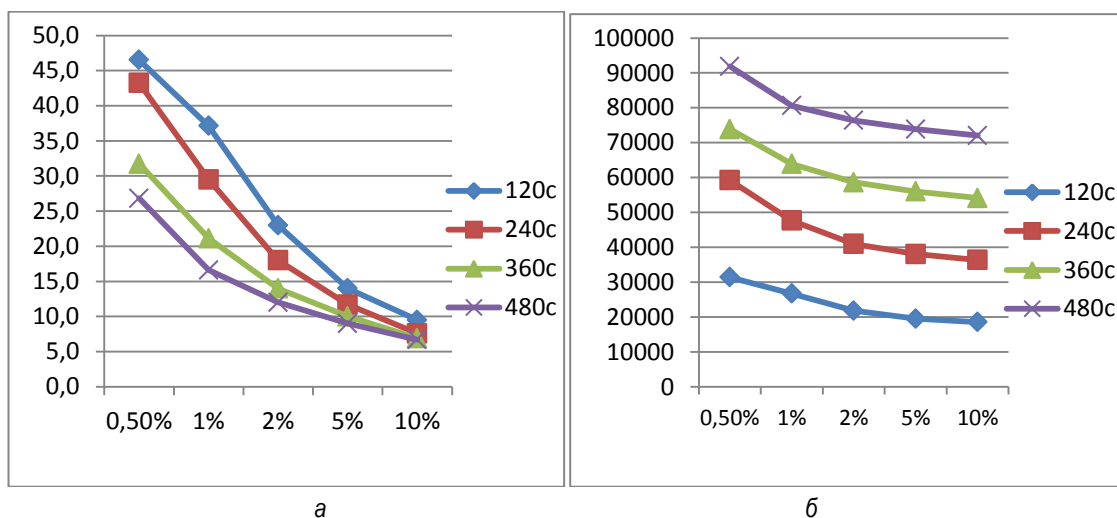


Рис. 2. Результаты исследований влияния доли контрольного компонента D_k (%) и длительности смешения T (с): а – на неравномерность смеси ν (%); б – на скорректированную энергоёмкость смешения Y_k (Дж/кг)

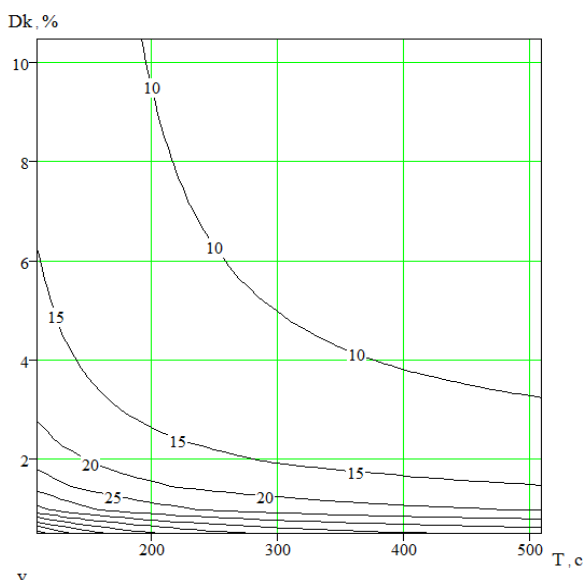


Рис. 3. Двумерное сечение поверхности отклика доли контрольного компонента D_k (%) и длительности смешения T (с) на неравномерность смеси ν (%)

В результате обработки полученных данных выявлено уравнение регрессии на скорректированную энергоёмкость смешения Y_k (Дж/кг) от ранее указанных факторов (рис. 4):

$$Y_k = 1543,66 + 146,41 \cdot T + \frac{13026,7}{D_k} + \frac{-208161}{T} + \frac{-225007}{D_k \cdot T} + \frac{-0,9053}{1 - \frac{71,9846}{D_k \cdot T}}. \quad (3)$$

Значения коэффициента корреляции $R = 0,99976$ и данные F -тест $= 0,99918$ свидетельствуют об адекватности разработанной модели с 99% доверительной вероятностью.

Характер неравномерности смеси ν стремится к гиперболической зависимости, когда показатель функции стремится к какому-либо значению, не достигая его (в данном случае – к значению, близкому к нулю).

Тенденции изменения величины скорректированной энергоёмкости смешения Y_k показывают рост энергоёмкости по мере увеличения длительности смешения. Увеличение доли контрольного компонента уменьшает затраты энергии. Наложение обоих графиков друг на друга свидетельствует о резком снижении (с 75000 до 30000 Дж/кг) энергоёмкости смешения при увеличении доли контрольного компонента (с 3 до 10%), т.е. в 2,5 раза.

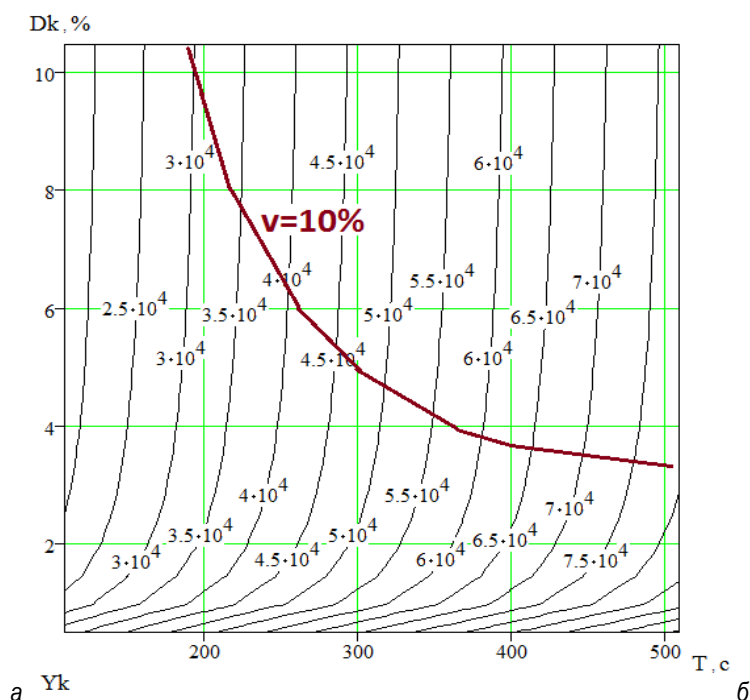


Рис. 4. Двумерное сечение поверхности отклика скорректированной энергоёмкости смешения Y_k (Дж/кг) в зависимости: а – от доли контрольного компонента D_k (%); б – от длительности смешения T (с)

На основании формулы (2) и условия обеспечения зоотехнических требований ($\nu = 10\%$) проведен ряд математических преобразований, что дало возможность выявить выражение потребной длительности смешения T_{zoo} , с (рис. 5):

$$T_{zoo} = \frac{72549990 \cdot D_k + 165680000}{550781 \cdot D_k - 1052454} \quad (4)$$

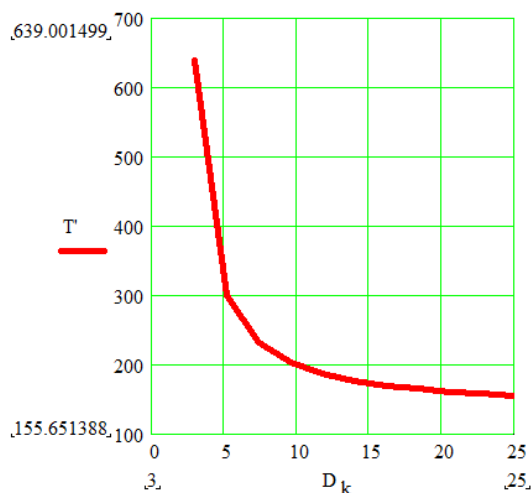


Рис. 5. Влияние доли контрольного компонента D_k (%) на потребную длительность смешения T (с)

При доле контрольного компонента менее 5% длительность смешения резко увеличивается. При доле контрольного компонента более 10% время смешения незначительно уменьшается.

Числовые значения энергоёмкости смешения и скорректированной энергоёмкости смешения с учетом равномерности смеси показывают схожие тенденции и различаются величиной значений с учетом неравномерности смеси.

Характер изменения показателей соответствует графику (рис. 6). Стабилизация энергоёмкости наблюдается при доле контрольного компонента более 10%. Энергоёмкость резко растёт при доле контрольного компонента D_k менее 5%.

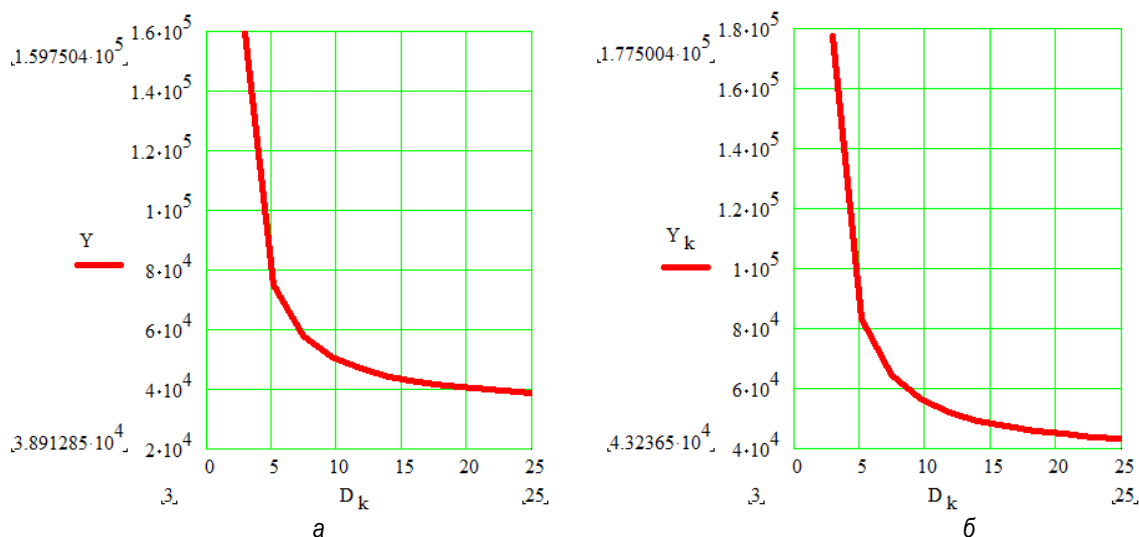


Рис. 6. Влияние доли контрольного компонента D_k (%):
а – на энергоёмкость смешения Y (Дж/кг); б – на скорректированную энергоёмкость смешения Y_k (Дж/кг)

Заключение. Зона работоспособности мешалки смесителя определяется долей контрольного компонента D_k – не менее 3%. При этом по сравнению с $D_k = 10\%$ энергоёмкость смешения Y увеличивается от 50000 до 140000 Дж/кг, т.е. в 2,8 раза. Длительность смешивания увеличивается от 200 до 600 с (в 3 раза). Рационально использовать мешалку смесителя при доле контрольного компонента D_k от 5%. При этом по сравнению с $D_k = 10\%$ энергоёмкость смешения Y увеличивается от 50000 до 80000 Дж/кг, т.е. в 1,6 раза. Длительность смешивания увеличивается от 200 до 300 с (в 1,5 раза).

Библиографический список

1. Сыроватка, В. И. Ресурсосбережение при производстве комбикормов в хозяйствах // Техника и оборудование для села. – 2011. – № 6. – С. 22-25.
2. Чупшев, А. В. Оптимизация параметров смесителя по минимуму энергоёмкости перемешивания / А. В. Чупшев, В. В. Коновалов, С. С. Петрова // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2009. – № 3. – С. 72-76.
3. Чупшев, А. В. К обоснованию параметров быстроходного смесителя / А. В. Чупшев, В. В. Коновалов, В. П. Трюшков, С. С. Петрова // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2008. – № 3. – С. 151-154.
4. Бормотов, А. Н. Математическое моделирование структуры композитов в виде рациональных функций по крайним точкам области планирования / А. Н. Бормотов, И. А. Прошин, С. В. Тюрденева // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2013. – № 12 (16). – С. 272-280.
5. Бормотов, А. Н. Многокритериальный синтез сверхтяжелого композита / А. Н. Бормотов, И. А. Прошин // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2009. – № 4. – С. 29-36.
6. Бормотов, А. Н. Метод построения многофакторных нелинейных моделей на примере математического моделирования композитов специального назначения / А. Н. Бормотов, И. А. Прошин // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2013. – № 12 (16). – С. 264-271.
7. Бормотов, А. Н. Многокритериальный синтез сверхтяжелого композита / А. Н. Бормотов, И. А. Прошин, А. Ю. Кирсанов, Е. М. Бородин // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2010. – Т. 6, № 7. – С. 98-104.

8. Чупшев, А. В. Влияние диаметра лопастей и их числа на неравномерность смеси и энергоемкость смешивания / А. В. Чупшев, В. В. Коновалов, В. П. Терюшков // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В. П. Горячкина. – 2008. – № 2. – С. 132-133.
9. Коновалов, В. В. Моделирование качества смешивания сыпучих материалов барабанным смесителем / В. В. Коновалов, Н. В. Димитриев, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2013. – №9, Т.1. – С. 77-85.
10. Коновалов, В. В. Аналитическое определение производительности винтового смесителя-конвейера / В. В. Коновалов, А. С. Фомин, В. П. Терюшков, А. В. Чупшев // Нива Поволжья. – 2014. – № 1(30). – С. 63-70.
11. Новиков, В. В. Определение объемного расхода экструдата в зоне прессования одношнекового пресс-экструдера / В. В. Новиков, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова [и др.] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – № 1 (75). – С. 91-94.
12. Коновалов, В. В. Оптимизация параметров барабанного смесителя / В. В. Коновалов, Н. В. Димитриев, А. В. Чупшев, В. П. Терюшков // Нива Поволжья. – 2013. – № 4 (29). – С. 41-47.
13. Коновалов, В. В. Моделирование процесса непрерывного приготовления смеси смесителем-дозатором экструдера / В. В. Коновалов, В. В. Новиков, Д. Н. Азиаткин, А. С. Грецов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 3. – С. 72-78.
14. Коновалов, В. В. Моделирование изменения равномерности смеси при ступенчатом смешивании / В. В. Коновалов, А. В. Чупшев, М. В. Фомина, А. С. Калиганов // Нива Поволжья. – 2013. – № 3 (28). – С. 77-83.
15. Коновалов, В. В. Моделирование подачи материала при разгрузке вертикального смесителя / В. В. Коновалов, А. С. Калиганов, М. В. Фомина, А. В. Чупшев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2014. – № 6 (22). – С. 67-74.
16. Коновалов, В. В. Обоснование конструктивно-режимных параметров смесителя сухих кормов с плоскими лопастями / В. В. Коновалов, В. Ф. Дмитриев, М. В. Коновалова // Научное обозрение. – 2011. – № 1. – С. 24-28.