

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

УДК 631.363.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ КОРМОВ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ СМЕСИТЕЛЕ

С.В. БРАГИНЕЦ, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник

В.Ф. ХЛЫСТУНОВ, д-р. техн. наук, главный научный сотрудник

О.Н. БАХЧЕВНИКОВ, канд. техн. наук, научный сотрудник

А.С. АЛФЁРОВ, канд. техн. наук, научный сотрудник

М.В. ЧЕРНУЦКИЙ, младший научный сотрудник

ФГБНУ «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства», г. Зерноград, Ростовская область

INVESTIGATION OF PROCESS MIXING COMPONENTS OF FEEDS IN HORIZONTAL MIXER

S. V. BRAGINETS, Candidate of technical sciences, Leading scientific associate

V. F. KHLYSTUNOV, Doctor of technical sciences, Chief scientific associate

O. N. BAKHCHEVNIKOV, Candidate of technical sciences, Scientific associate

A. S. ALFEROV, Candidate of technical sciences, Scientific associate

M. V. CHERNUTSKIY, Junior scientific associate

FSBSI North-Caucasian Scientific Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture, Zernograd, Rostov region

Аннотация. Изложены результаты экспериментальных исследований процесса приготовления трехкомпонентной кормосмеси в горизонтальном смесителе. Определены рациональные значения параметров и режимов работы смесителя, соответствующие зоотехническим требованиям по неравномерности смешивания при условии минимальной энергоемкости процесса смешивания компонентов.

Annotation: The results of experimental process investigations of preparation of three-component combined feed in horizontal mixer have been stated. The rational importances of operating modes and parameters of mixer, relevant to zootechnical demands for unevenness mixing granting of minimum power capacity of process components mixing are determined.

Ключевые слова: кормосмесь, компоненты корма, горизонтальный смеситель, частота вращения вала смесителя, неравномерность смешивания, удельная энергоемкость смешивания, коэффициент заполнения смесительной камеры, продолжительность смешивания.

Keywords: combined feed, feed components, horizontal mixer, rotational frequency of mixer's shaft, inequality mixing, specific power capacity of mixing, space factor of mixing chamber, mixing time.

Введение. В настоящее время актуальной задачей, стоящей перед животноводством, является снижение себестоимости приготовления кормосмесей, в частности смешивания их компонентов, для чего необходимо снижать энергоемкость этого процесса [4, 5]. При этом важным условием является снижение неоднородности смешивания компонентов кормов [7].

Для приготовления кормосмесей в условиях сельхозпредприятий наиболее подходят смесители периодического действия (порционные) [8, 10]. Среди них широкое распространение получили смесители с лопастными рабочими органами, предназначенные для смешивания сухих и жидких компонентов [6], а также шнековые смесители, в основном применяемые для смешивания сухих компонентов. Совместить достоинства двух этих типов машин позволяют смесители с комбинированным рабочим органом (шнеко-лопастные) [9]. Поэтому исследование и оптимизация их технологических параметров являются актуальными.

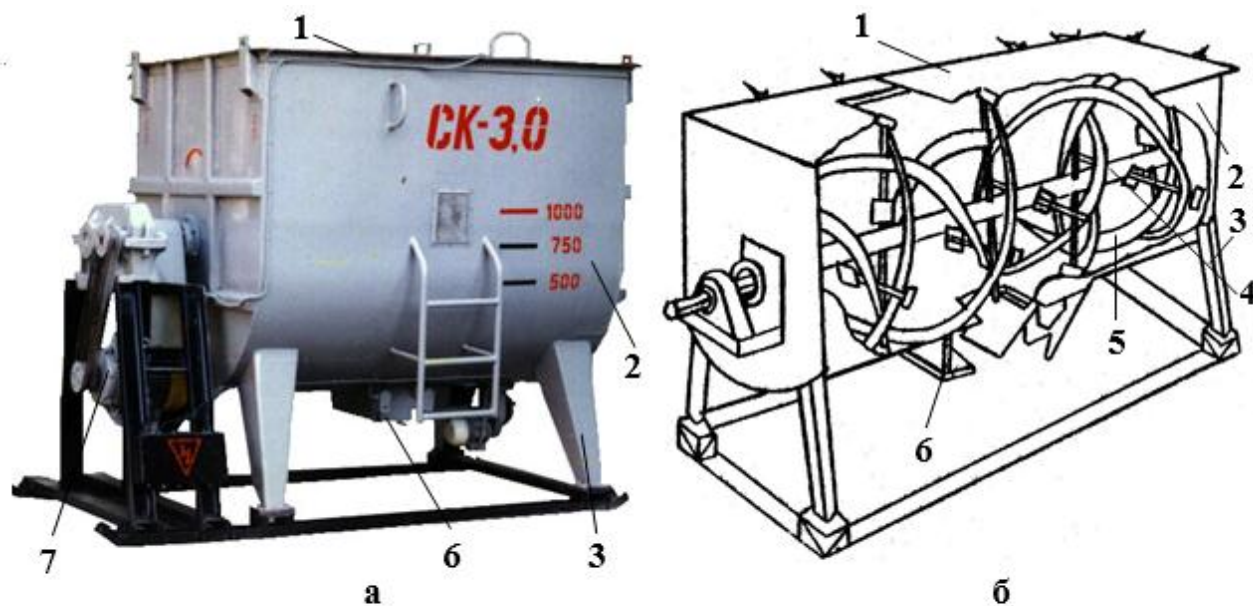
Цель исследования – обоснование рациональных параметров и режимов горизонтального шнеко-лопастного смесителя периодического действия для

достижения наименьшей энергоемкости приготовления трехкомпонентной кормосмеси при условии соблюдения зоотехнических требований к качествуготавливаемых кормов по неравномерности смешивания. Для достижения поставленной цели необходимо установить функциональные зависимости между факторами процесса приготовления трехкомпонентной смеси; выявить рациональные значения технологических параметров процесса смешивания, обеспечивающие надлежащее качество смеси и наименьшую энергоемкость процесса смешивания.

Материалы и методы исследования. Экспериментальные исследования проводили на горизонтальном шнеколопастном смесителе кормов периодического действия СК-3,0, разработанном в СКНИИМЭСХ. Смеситель кормов СК-3,0 (рис. 1) вместимостью 3 м³ предназначен для получения однородной смеси из сухих измельченных компонентов (зерновое, мучнистое, белково-минеральное сырье) и жидких добавок (масло растительное, меласса и др.) при порционном (периодическом) режиме работы. Он состоит из рамы, корпуса со смесительной камерой, в которой размещен вал со спиральной ленточной про-

тивоточной навивкой (шнек) и лопастями. Корпус имеет загрузочное и выгрузное окна с электрозадвижками, в его крышке установлены форсунки для пода-

чи жидкого сырья. Предусмотрена возможность установки корпуса на тензометрические датчики.



а – общий вид; б – конструктивная схема

1 – крышка; 2 – корпус со смесительной камерой; 3 – рама; 4 – вал с ленточной навивкой (шнек); 5 – лопасти вала; 6 – выгрузное окно; 7 – электропривод

Рисунок 1 – Горизонтальный смеситель кормов СК-3,0

При вращении вала под действием его комбинированных рабочих органов происходит смешивание компонентов, при этом ленточная навивка вала и его лопасти создают противоточное движение частиц, способствующее равномерному распределению компонентов вготавливаемой смеси. Под действием лопастей происходит циркуляция смешиваемых компонентов от одной торцевой стенки к другой, в то время как под действием вала (шнека) они, перемешиваясь, перемещаются вдоль него.

В качестве критериев, характеризующих эффективность смешивания, были приняты неравномерность распределения контрольного компонента в смеси и удельная энергоёмкость процесса.

Основную долю в рационах кормления в настоящее время занимают измельченные зерновые компоненты, поэтому в качестве основного компонента (наполнителя) смеси в экспериментах использовали измельченную пшеницу влажностью не более 15% с насыпной плотностью 750 кг/м³. В ходе опытов приготавливали трехкомпонентную смесь в составе: измельченная пшеница – 98%, измельченная поваренная соль – 1%, подсолнечное масло – 1% (по массе).

В качестве контрольных компонентов для определения неравномерности смешивания использовали измельченную поваренную соль (сухой компонент) и подсолнечное масло (жидкий компонент) [1]. Распределение контрольных компонентов определяли в 20 пробах массой 50 г каждая, отобранных из различных

точек смесительной камеры после завершения смешивания (Испытание сельскохозяйственной техники. Машины и оборудование для приготовления кормов. Программа и методы испытаний. РД 10.19.2-90. – М., 1991. – 94 с.). Отбор конкретной пробы производился по ГОСТ 13496.0-80. Содержание сухого контрольного компонента (поваренной соли) в пробах определяли ионометрическим методом по ГОСТ 13496.1-98. Содержание жидкого контрольного компонента (подсолнечного масла) в пробах определяли путем экстракции сырого жира из продукта растворителем по ГОСТ 13496.15-97. В качестве показателя неравномерности смешивания использовали коэффициент вариации фактического распределения контрольного компонента в пробах v , %.

Удельную энергоёмкость процесса смешивания $W_{уд}$ определяли как общую энергоёмкость, измеряемую посредством счетчика трехфазного электрического, отнесенную к массе кормосмеси.

Частоту вращения вала смесителя изменяли установкой сменных шкивов и контролировали по показаниям оптического тахометра.

При проведении эксперимента был реализован пятиуровневый план второго порядка. Опыты при реализации плана проводили в трехкратной повторности [2, 3]. План проведения экспериментов предусматривал варьирование тремя независимыми факторами, влияющими на процесс смешивания (табл.).

Таблица – Факторы и уровни их варьирования

Фактор	Кодированное обозначение	Диапазон варьирования	Интервал варьирования
Частота вращения вала, мин ⁻¹	x_1	20 – 40	5
Коэффициент заполнения камеры смесителя	x_2	0,4 – 0,6	0,05
Продолжительность (время) смешивания, мин	x_3	2 – 6	1

В качестве критериев оптимизации были выбраны: y_1 – неравномерность смешивания наполнителя с сухим компонентом, y_2 – неравномерность смешивания наполнителя с жидким компонентом, y_3 – удельная энергоёмкость процесса смешивания. При этом следует отметить, что из них значимость показателя неравномерности смешивания значительно выше, чем у последнего фактора, который должен рассматриваться как вспомогательный.

Результаты исследований. В результате обработки результатов экспериментов в программе Statistica были получены уравнения регрессии в закодированном виде и определены соответствующие коэффициенты корреляции:

$$y_1 = 4,56 - 0,72x_1 + 0,31x_2 + 0,59x_3 - 0,09x_1x_2 - 0,21x_1x_3 + 0,32x_2x_3 + 0,29x_1^2 + 0,86x_2^2 + 0,44x_3^2,$$

коэффициент корреляции $R_1 = 0,9567$;

$$y_2 = 5,19 - 0,58x_1 - 0,11x_2 + 0,28x_3 - 0,16x_1x_2 + 0,39x_1x_3 - 0,18x_2x_3 + 0,42x_1^2 + 0,55x_2^2 + 0,27x_3^2,$$

коэффициент корреляции $R_2 = 0,9613$;

$$y_3 = 1,26 + 0,61x_1 + 0,82x_2 - 0,17x_3 + 0,20x_1x_2 - 1,05x_1x_3 + 0,97x_2x_3 + 0,33x_1^2 + 0,37x_2^2 + 0,14x_3^2,$$

коэффициент корреляции $R_3 = 0,9841$.

После обработки экспериментальных данных в программе Statistica были построены графические зависимости критериев оптимизации от уровня варьирования факторов, представляющие собой совмещенные двумерные сечения поверхностей отклика второго порядка. В частности, были построены зависимости неравномерности смешивания компонентов v от продолжительности смешивания t и коэффициента заполнения смесительной камеры k_z (рис. 2), неравномерности смешивания компонентов v от продолжительности смешивания t и частоты вращения вала смесителя n (рис. 3), а также удельной энергоёмкости этого процесса $W_{уд}$ от частоты вращения вала смесителя n и коэффициента заполнения смесительной камеры k_z (рис. 4).

При анализе полученных зависимостей установлено, что при увеличении продолжительности смешивания в пределах 4 мин неоднородность получаемой смеси снижается. Однако, увеличение продолжительности смешивания свыше 4 мин ведет к увеличению неоднородности смеси, что можно объяснить преобладанием сегрегации сухих компонентов над их смешиванием. Выявлено, что для получения однородной смеси, в состав которой входят сухие и жидкие компоненты, рациональная продолжительность смешивания составляет 4 мин., а для смеси сухих компонентов – 3 мин.

Рациональное значение коэффициента заполнения камеры смесителя составляет 0,50-0,55, при этом агрегатное состояние компонентов (сухие или жид-

кие) практически не влияет на неоднородность смешивания.

В зависимости от агрегатного состояния вводимых компонентов частота вращения вала смесителя более значительно влияет на неравномерность смешивания, чем остальные факторы. Так, наименьшая неравномерность смешивания по контрольному сухому компоненту (соль) составляет 4,1% при частоте

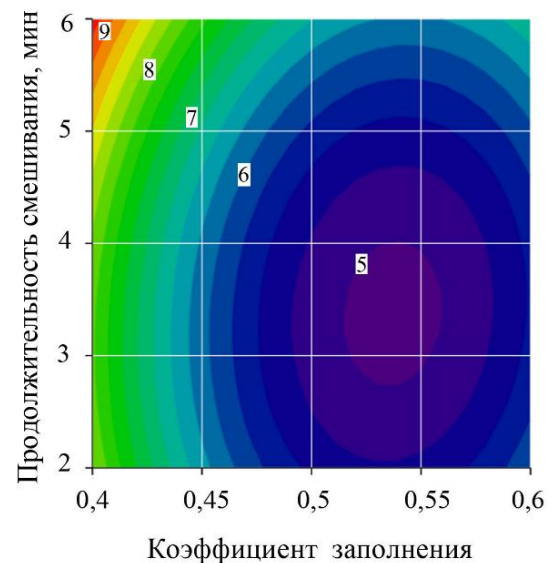


Рисунок 2 – Влияние продолжительности смешивания и коэффициента заполнения смесительной камеры на неравномерность смешивания (контрольный компонент – поваренная соль)

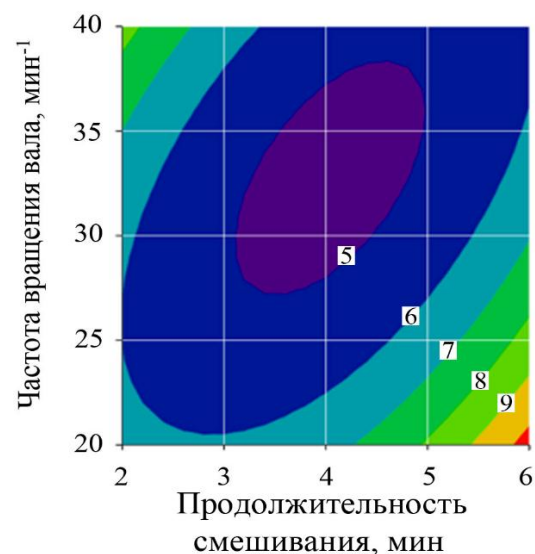


Рисунок 3 – Влияние продолжительности смешивания и частоты вращения вала смесителя на неравномерность смешивания (контрольный компонент – подсолнечное масло)

вращения вала 25 мин^{-1} , а наименьшая неравномерность смешивания по контрольному жидкому компоненту (масло) составляет 4,9% при частоте вращения вала 40 мин^{-1} . Поэтому необходимо подбирать частоту вращения вала таким образом, чтобы получить требуемую по зоотехническим требованиям неоднородность. При варьировании продолжительности смешивания и частоты вращения вала установлено, что для достижения минимальной неравномерности смешивания трехкомпонентной смеси в пределах 4,10-4,18% частота вращения вала должна составлять $30\text{-}35 \text{ мин}^{-1}$, а продолжительность смешивания – 3-4 мин. Производительность процесса смешивания при этих параметрах составляет 6 т/ч. Дальнейшее увеличение частоты вращения вала до 40 мин^{-1} ведет к увеличению неравномерности смешивания до 6%, а уменьшение частоты вращения вала смесителя менее 25 мин^{-1} увеличивает неравномерность смешивания до 10%.

Влияние изменения коэффициента заполнения камеры смесителя на неравномерность смешивания по сравнению с другими факторами менее значительно, однако не следует загружать в смеситель компоненты объемом менее 0,50 и более 0,55 от общего объема смесительной камеры.

Удельная энергоёмкость процесса смешивания снижается при уменьшении всех трех факторов, однако их уменьшение ниже рациональных значений приведет к увеличению неравномерности смешивания, что неприемлемо. Установлено, что при соблюдении приведенных выше рациональных значений технологических параметров процесса смешивания ($n = 30\text{-}35 \text{ мин}^{-1}$, $k_z = 0,50\text{-}0,55$, $t =$

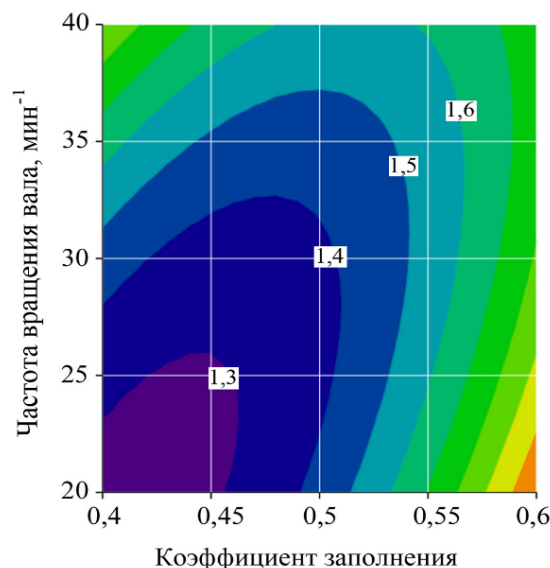


Рисунок 4 – Влияние частоты вращения вала смесителя и коэффициента заполнения смесительной камеры на удельную энергоёмкость процесса смешивания

3-4 мин) его удельная энергоёмкость не превысит 1,65 кВт·ч/т.

Выводы. В результате проведенных исследований определены рациональные значения параметров и режимов работы горизонтального порционного смесителя вместимостью $3,0 \text{ м}^3$ с шнеколопастным рабочим органом при приготовлении кормосмесей, отвечающие зоотехническим требованиям по неравномерности смешивания при условии минимальной энергоёмкости процесса смешивания компонентов.

Список литературы

1. Алфёров А.С. Экспериментальные исследования процесса смешивания сухих и жидких компонентов комбикормов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012. № 10 (96). С. 115-118.
2. Использование статистических методов при решении прикладных задач в сельскохозяйственном производстве / В.С. Газалов [и др.]. Зерноград: СКНИИМЭСХ, 2011. 74 с.
3. Грачев Ю.П., Плаксин Ю.М. Математические методы планирования эксперимента. М.: ДеЛи Принт, 2005. 296 с.
4. Пахомов В.И., Смоленский А.В., Алфёров А.С. Оборудование для приготовления полнорационных комбикормов в условиях хозяйств // Вестник Донского государственного технического университета. 2012. Т. 12. № 7 (68). С. 108-114.
5. Пахомов В.И., Смоленский А.В., Чапский П.А. Технологии и технические средства для производства полнорационных кормосмесей в условиях автономных сельхозпредприятий. Зерноград: ГНУ СКНИИМЭСХ, 2010. 112с.
6. Пахомов В.И. Проектирование и расчет технологических линий подготовки и раздачи кормосмесей дифференцированного состава многофункциональными агрегатами / В.И. Пахомов, М.А. Тищенко, С.В. Брагинцев, А.В. Яковлев, М.В. Чернуцкий, И.И. Тищенко. Зерноград: СКНИИМЭСХ, 2013. 220 с.
7. Сыроватка В.И., Обухова Н.В., Комарчук А.С. Новые технические решения приготовления комбикормов в хозяйствах // Кормопроизводство. 2010. № 7. С. 42-45.
8. Хлыстунов В.Ф. Параметры сечения потоков циркуляции смешиваемых кормов в наклонном одношнековом порционном смесителе / В.Ф. Хлыстунов, С.В. Брагинцев, М.В. Чернуцкий, А.Н. Токарева // Вестник Донского государственного технического университета. 2016. Т. 12. № 1 (68). С. 108-114.
9. Хлыстунов В.Ф. Совершенствование технического оснащения системы жизнеобеспечения свиней. Зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 2009. 232с.
10. E.L. Paul, V.A. Atiemo-Obeng, S.M. Kresta. Handbook of industrial mixing: science and practice. Hoboken, New Jersey: JohnWiley&Sons, Inc., 2004. 1432 p.