

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ СЫПУЧИХ КОРМОВ В АЭРОДИНАМИЧЕСКОМ СМЕСИТЕЛЕ

В. Н. Николаев, Е. В. Зязев

Приготовление высококачественных кормовых смесей непосредственно в сельскохозяйственных предприятиях требует разработки новых конструкций смесителей. Комбинирование нескольких технологических операций в одном устройстве для приготовления смеси из сыпучих компонентов является актуальной задачей, и для решения ее предложена эффективная конструкция аэродинамического смесителя. В аэродинамическом смесителе реализован способ приготовления смеси за счет совместной дозированной подачи воздуха и ее кормовых компонентов в одну камеру смешивания путем создания в ней разрежения центробежным вентиляторным колесом. Цель исследования – экспериментальное обоснование основных конструктивно-режимных параметров аэродинамического смесителя сыпучих кормов, обеспечивающих высокое качество их смеси. В результате определяющими качественными и количественными показателями были выбраны следующие: количество лопаток центробежного колеса $k = 8$ шт.; частота вращения центробежного лопастного колеса $\omega = 318 \text{ с}^{-1}$; количество всасывающих патрубков $m = 6$ шт.; высоты лопаток колеса $h = 0,078$ м. Выполнение нескольких технологических операций аэродинамическим смесителем позволяет снизить энергоемкость процесса приготовления сыпучей кормовой смеси при достаточной производительности в условиях сельскохозяйственных предприятий. При работе на выбранных рациональных параметрах производительность аэродинамического смесителя в производственных условиях составила 2 т/ч, при удельных энергетических затратах 0,55 кВт·ч/т и при высоком качестве смеси 93–95 %.

Ключевые слова: аэродинамический смеситель, сыпучие корма, пневмотранспорт, вентиляторное колесо, концентрация.

Применение ресурсосберегающих технологий и машин при приготовлении кормовых смесей позволяет повысить эффективность животноводства. Здоровье сельскохозяйственных животных, их высококачественная продукция во многом зависят от полноценного кормления сбалансированными смесями, содержащими сыпучие компоненты, чаще всего в виде комбикормов.

Показатель качества комбикормов и сыпучих кормовых смесей – высокая однородность смеси, и для достижения требуемых ее значений используются различные по конструкции смесители, кроме них необходимы дозирующие и транспортирующие технические средства. В целом процесс приготовления сыпучей кормовой смеси является довольно энергоемким и требует разработки новых ресурсосберегающих машин [1, 2, 3].

Одним из них может быть аэродинамический смеситель сыпучих кормов, в котором совмещены операции одновременной дозиро-

ванной подачи нескольких компонентов в одну камеру смешивания за счет создания в ней разрежения.

Основная цель исследования – экспериментальное обоснование основных конструктивно-режимных параметров аэродинамического смесителя сыпучих кормов, обеспечивающих высокое качество их смеси.

Задачи исследования:

– разработать конструктивно-технологическую схему аэродинамического смесителя сыпучих кормов;

– экспериментально обосновать его основные параметры;

– установить зависимости изменения качества смеси от основных параметров аэродинамического смесителя.

Материалы и методы исследования

Реализация в предлагаемом аэродинамическом смесителе сыпучих кормов эффективного метода смешивания, в котором частицы корма

приводятся в псевдооживленное состояние, позволяет получить высокооднородную смесь различных компонентов. Конструктивно-технологическая схема аэродинамического смесителя сыпучих кормов представлена на рисунке 1 [7].

Работа аэродинамического смесителя заключается в следующем. Необходимое разрежение в камере смешивания 4 создается лопатками 8 центробежного вентиляторного колеса 7 при вращении его от электродвигателя 6. При этом посредством входных патрубков 5, закрепленных на боковой поверхности камеры смешивания 4, одновременно засасываются потоки воздуха с взвешенными в нем отдельными сыпучими компонентами смеси. В цилиндрической камере смешивания 4 они приобретают вращательное движение, что способствует интенсивному их перемешиванию, далее поток этой смеси поступает на вентиляторное колесо 7 и лопатками выбрасывается на внутреннюю поверхность крышки 2 и далее в конический корпус 1. Здесь осуществляется разделение сыпучей смеси от воздуха за счет действия вихревого потока, который образовывается из-за скругленной формы крышки 2, центробежных сил, сил трения и тяжести.

Конический корпус 1 заполняется сыпучей смесью до определенного уровня, находящегося ниже конуса 9 для эффективного разделения частиц смеси от воздуха. Воздух направляется в конус 9 и удаляется через выходные патрубки 3, а сыпучая кормовая смесь выпускается из конического корпуса 1 через патрубок 10.

При всасывании отдельных компонентов смеси с воздухом одновременно происходит их дозирование посредством регулирования «живого» сечения входных патрубков 5.

Аэродинамический смеситель может работать самостоятельно или в составе технологических линий по приготовлению сыпучих кормовых смесей [6].

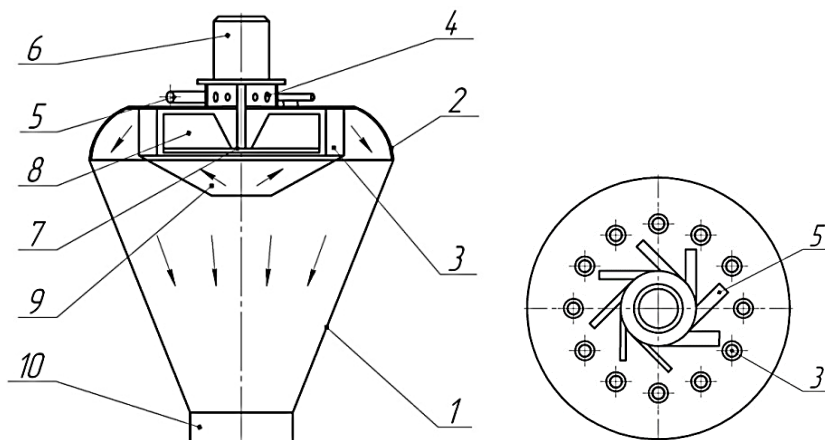
Во время экспериментов с аэродинамическим смесителем по определению однородности смеси в качестве компонентов исследуемой сыпучей кормовой смеси использовались дерть пшеничная среднего размола (размер частиц от 1 до 1,8 мм) и горох (контрольный компонент).

Качество процесса смешивания сыпучих кормов считается удовлетворительным, если величина коэффициента вариации v для смеси, содержащей 1% и более контрольного компонента, не превышает 10%, а степень однородности M составляет не менее 90% [7].

Многофакторный эксперимент позволил нам подтвердить выбор основных параметров предлагаемого смесителя: количество лопаток колеса k , угловая частота вращения лопастного колеса ω , количество всасывающих патрубков m и высота лопаток колеса h .

Для реализации эксперимента был принят близкий к D-оптимальному план типа В4, построенный на гиперкубе, содержащий относительно небольшое число опытов $N = 2^k + 2k = 24$ [4].

В качестве математической модели функции отклика был принят полином второго порядка:



1 – конический корпус; 2 – крышка; 3 – выходные патрубки; 4 – камера смешивания; 5 – входные патрубки; 6 – электродвигатель; 7 – вентиляторное колесо; 8 – лопатки; 9 – конус; 10 – патрубок выпуска частиц

Рис. 1. Аэродинамический смеситель сыпучих кормов



$$Y = b_0 + \sum_i b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_i b_{ii} x_i^2, \quad (1)$$

где b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – коэффициенты полинома;

x_i, x_j, x_{ij} – значения приведенных факторов в кодированном виде, которые представлены в таблице 1.

Опыты выполнялись с трехкратной повторностью. После определения коэффициентов регрессии уравнение в раскодированном виде примет вид:

$$\begin{aligned} M = & -0,7023\omega - 0,0395km - 4389,2800h^2 - \\ & -0,68540m^2 - 0,000974\omega^2 - 4,5580mh + \\ & + 0,071369\omega h - 0,0017620\omega m - 0,02266kh - \quad (2) \\ & -101,2947 + 9,0951m + 7,0404k + \\ & + 693,3520h - 0,2316k^2 - 0,009067k\omega. \end{aligned}$$

Результаты и обсуждение

В результате исследований уравнений регрессии и поиска рациональных параметров были получены следующие значения, приведенные в таблице 2.

С увеличением количества лопаток колеса k степень однородности смеси повышается вследствие роста интенсивности воздействия рабочего колеса на поток. Это приводит к повышению скорости закручивания потока на выходе колеса, дальнейшее увеличение количе-

ства лопаток не приводит к улучшению качества смеси.

Наиболее существенный вклад в изменение критерия оптимизации вносит угловая частота вращения лопастного колеса ω . С ее увеличением качество смеси повышается и остается стабильным из-за роста скорости закручивания потока на колесе.

С увеличением количества всасывающих патрубков m до 6 и высоты лопаток колеса h до 0,08 м качество смеси повышается, но в дальнейшем немного ухудшается из-за увеличения подачи сыпучих кормов и снижения закручивания потока на колесе в толще сыпучего корма.

Наибольшее влияние из основных факторов на процесс смешивания в аэродинамическом смесителе оказывают количество лопаток колеса k и угловая частота вращения лопастного колеса ω , от которых зависит интенсивность равномерного циркуляционного движения корма.

При поиске рациональных параметров аэродинамического смесителя при фиксированных значениях количества всасывающих патрубков $m = 6$ и высоты лопаток колеса $h = 0,078$ м было получено уравнение регрессии в раскодированном виде:

$$\begin{aligned} M = & 6974 \cdot \omega + 6,8015 \cdot k - 46,21 - \\ & - 97,396 \cdot \omega^2 - 2316 \cdot k^2 - 90,67 \cdot k \cdot \omega. \quad (3) \end{aligned}$$

Таблица 1 – Факторы, интервалы и уровни варьирования

Обозначение фактора		Наименование фактора	Уровень варьирования			Шаг варьирования	Формула перехода
код.	нат.		верх. +1	ниж. -1	опт. 0		
X1	k , шт.	количество лопаток колеса	12	6	9	3	$k = 3X1 + 9$
X2	ω , с ⁻¹	угловая частота вращения лопастного колеса	350	250	300	50	$\omega = 50X2 + 300$
X3	m , шт.	количество всасывающих патрубков	8	4	6	2	$m = 2X3 + 6$
X4	h , град.	высота лопаток колеса	100	50	75	25	$h = 25X4 + 75$

Таблица 2 – Результаты поиска рациональных параметров

Критерий оптимизации		Рациональные параметры			
Наименование	Обозначение	m , шт.	ω , с ⁻¹	k , шт.	h , м
Степень однородности	M , %	8	318,8	6	0,078

Для визуальной оценки влияния того или иного параметра на изменение степени однородности построена согласно модели, выраженной уравнением 3, поверхность отклика на рисунке 2.

Поверхность отклика показывает, что увеличение количества лопаток и угловой частоты вращения лопастного колеса приводит к повышению однородности смеси. Результаты экспериментальных исследований устанавливают взаимосвязь основных конструктивно-кинематических параметров рабочего органа аэродинамического смесителя с его выходными характеристиками.

В результате поиска области рациональных значений степени однородности, применительно к уравнению регрессии, получили следующие результаты:

- максимальное значение степени однородности $M = 93,7\%$;
- количество лопаток лопастного колеса $k = 8$ шт.;
- угловая частота лопастного колеса $\omega = 318 \text{ с}^{-1}$.

При работе в выбранных рациональных режимах производительность аэродинамического смесителя в производственных условиях составила 2 т/ч, при удельных энергетических затратах 0,55 кВт·ч/т и при высоком качестве смеси 93–95%.

Выводы

В разработанном аэродинамическом смесителе реализован эффективный способ приготовления сыпучей смеси посредством совместной дозированной подачи воздуха и ее кормовых компонентов в одну камеру смешивания путем создания в ней разрежения.

Экспериментально обоснованы основные параметры аэродинамического смесителя и определены рациональные их значения: количества лопаток колеса $k = 8$ шт.; частоты вращения лопастного колеса $\omega = 318 \text{ с}^{-1}$; количество всасывающих патрубков, $m = 6$ шт.; высота лопаток колеса $h = 0,078 \text{ м}$.

Получены уравнения регрессии, адекватно описывающие реальный процесс смешивания в аэродинамическом смесителе сыпучих кормов. Установлены зависимости изменения качества смеси от основных параметров аэродинамического смесителя. При работе на выбранных рациональных параметрах производительность аэродинамического смесителя в производственных условиях составила 2 т/ч, при удельных энергетических затратах 0,55 кВт·ч/т и при высоком качестве смеси 93–95%.

Список литературы

1. Афанасьев В. А. Современное состояние и перспективы развития комбикормовой промышленности Российской Федерации // Вест-

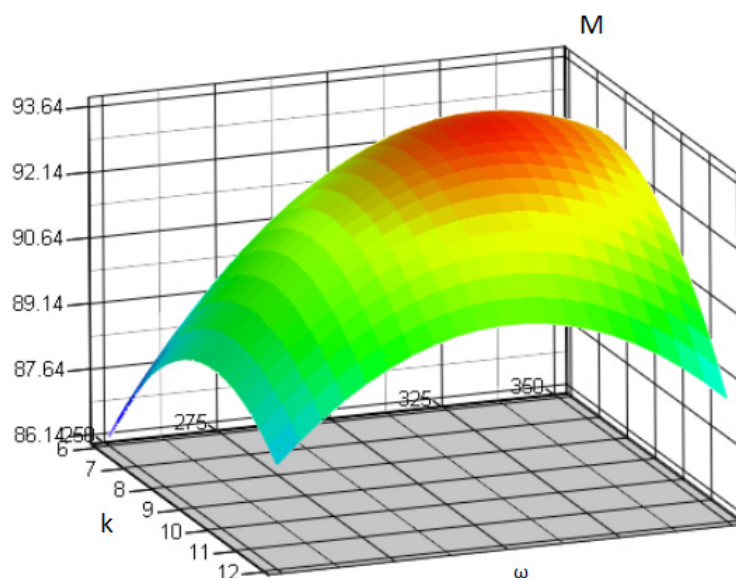


Рис. 2. Зависимость степени однородности сыпучей смеси M , %, от изменения количества лопаток k , шт., и угловой частоты вращения лопастного колеса ω , с^{-1}



ник Воронежского государственного аграрного университета. 2012. № 3 (34). С. 116–124.

2. Брагинец С. В., Бахчевников О. Н., Хлыстунов В. Ф. Интеграция модульных технологических линий в состав действующих малых комбикормовых заводов // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 4 (24). С. 8–19.

3. Дорохов А. С., Чилингарян Н. О. Состояние и перспективы развития комбикормовой промышленности в Российской Федерации // Аграрный вестник Урала. 2020. № 07 (198). С. 75–84. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-198-7-75-84.

4. Мельников С. В., Алешкин В. Р., Рошин П. М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Л. : Колос, 1980.

5. Пат. РФ № 104480. Аэродинамический смеситель / В. Н. Николаев, Н. С. Сергеев, В. И. Шатруков, Е. В. Зязев ; опубл. в Б.И., 2011. № 14.

6. Технология и технические средства для приготовления сыпучих кормовых смесей на базе аэродинамического смесителя / Н. С. Сергеев [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 6 (50). С. 64–67.

7. Сыроватка В. И., Жданова Н. В., Обухов А. Д. Установка для повышения однородности смешивания лечебных кормов и премиксов // Российская сельскохозяйственная наука. 2018. № 6. 62–64. DOI: 10.31857/S250026270001840-9.

Николаев Владислав Николаевич, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО Южно-Уральский государственный аграрный университет.

E-mail: tmgnikolaev@mail.ru.

Зязев Евгений Владимирович, ассистент, кафедра «Тракторы, сельскохозяйственные машины и земледелие», ФГБОУ ВО Южно-Уральский государственный аграрный университет.

E-mail: zuy@inbox.ru.

* * *