DOI: 10.17117/na.2015.09.784

Поступила (Received): 24.09.2015

<http://ucom.ru/doc/na.2015.09.784.pdf>

Оболенский Н.В., Булатов С.Ю., Свистунов А.И. Разработка лабораторной установки для смешивания компонентов комбикорма

Obolenskiy N.V., Bulatov S.U., Svistunov A.I. Development of the laboratory setup for the mixing of feed ingredients

Представлены разработка лабораторной установки смешивания компонентов комбикормов, а также результаты теоретических и экспериментальных исследований, направленных на выявление зависимости её удельной работы от конструктивных и технологических параметров. Рекомендованы следующие значения исследованных факторов: частота вращения смешивающего органа $n = 45 \text{ мин}^{-1}$, угол подъема винтовой линии $\theta = 50^\circ$, время смешивания $t = 60 \dots 100 \text{ с}$.

Ключевые слова: ферментированных кормов, энергозатраты

Оболенский Николай Васильевич

Доктор технических наук, профессор
Нижегородский государственный инженерно-экономический университет
г. Княгинино, ул. Октябрьская, 22 а

Булатов Сергей Юрьевич

Кандидат технических наук, доцент
Нижегородский государственный инженерно-экономический университет
г. Княгинино, ул. Октябрьская, 22 а

Свистунов Александр Иванович

Аспирант
Нижегородский государственный инженерно-экономический университет
г. Княгинино, ул. Октябрьская, 22 а

Presents the development of a laboratory setup of a fodder mixing and the results of theoretical and experimental research aimed at identifying the dependence of its specific work on the structural and technological parameters. Recommended the following values of IP-following factors: the frequency of rotation of the mixing body $n = 45 \text{ min}^{-1}$, the angle of elevation helix $\theta = 50^\circ$, the mixing time $t = 60 \dots 100 \text{ sec}$.

Key words: fermented feed, energy costs

Obolenskiy Nikolay Vasilievich

Doctor of Engineering Sciences, Professor
Nizhny Novgorod state engineering-economic university
Knyagino, Oktyabskaya st., 22 a

Bulatov Sergey Urevich

Candidate of Technical Sciences, associate Professor
Nizhny Novgorod state engineering-economic university
Knyagino, Oktyabskaya st., 22 a

Svistunov Aleksandr Ivanovich

Graduate student
Nizhny Novgorod state engineering-economic university
Knyagino, Oktyabskaya st., 22 a

Для эффективного кормления животных используют комбикорма, себестоимость которых значительно меньше, если их приготовление происходит непосредственно в хозяйстве. С этой целью авторами разработана линия приготовления ферментированных кормов [1], смеситель-ферментатор [2, 3], а

также проанализировано влияние конструкционных и технологических параметров измельчителя грубых кормов на его удельную работу [4].

Равномерность смешивания различных компонентов комбикормов напрямую зависит от конструкционных особенностей смесителей и режимов их работы. Несмотря на большое количество разработанных конструкций смесителей изученность происходящих в них процессов довольно низка, а организация эффективного процесса смешивания компонентов с получением соответствующих зоотехническим требованиям смесей является на сегодняшний день актуальной задачей.

Авторами разработана лабораторная установка (рис.1), на которой произведены исследования процесса смешивания при следующих начальных параметрах смешивающего органа:

- внешний ленточный шнек с высотой витков $h=50$ мм, диаметром $D=260$ мм и шагом $L=80$ мм;
- внутренний шнек с высотой витков $h=75$ мм, диаметром $D=150$ мм и шагом $L=120$ мм

Рис. 1. Лабораторная установка для исследования процесса смешивания

При проведении экспериментальных исследований смешивали 20 кг пшеницы и 2 кг пшена в течение 7 мин.

Взятие проб производили с помощью разработанного авторами пробоотборника (рис. 2), состоящего из внешней трубы, в которой установлена внутренняя труба с перегородками. Закрытый пробоотборник погружают в смесь, поворачивают внутреннюю трубу относительно внешней, открывая при этом прорезь на внешней трубе. Ждут, когда в ячейки пробоотборника засыпится материал и затем перекрывают прорезь, поворачивая внутреннюю трубу.

Пробоотборник выполнен с таким расчетом, чтобы в каждую его ячейку помещалась проба с минимально допустимой массой, обеспечивающей достоверность качества смеси. Массы пробы рассчитывали по формуле [5].

$$G_M = \frac{1,26 \cdot 10^4 \cdot d^3 \cdot \rho}{c_0}, \quad (1)$$

где d – среднеарифметический диаметр ключевого компонента, см; ρ – плотность материала частиц, г/см³; c_0 – заданная концентрация ключевого компонента.

Рис. 2. Пробоотборник: а – схема; б – фото;

1 – внешняя труба; 2 – внутренняя труба с перегородками; 3 – рукоятка

Анализ взятых проб проводили гравиметрическим методом.

Для оценки процесса смешивания приняты показатели, используемые, в частности, в пищевой промышленности, где к качеству смешивания и однородности материала предъявляются высокие требования. Соотношение коэффициента вариации и качества смеси представлены в таблице [6].

Таблица 1. Соотношение коэффициента вариации и качества смеси

Пределы коэффициента вариации	Качество смеси
$V_c < 5\%$	отличное
$5\% < V_c < 7\%$	хорошее
$7\% < V_c < 15\%$	удовлетворительное
$V_c > 15\%$	плохое

Коэффициент вариации вычисляли по формуле [5].

$$V_c = \frac{\sqrt{\frac{\sum (c_i - \bar{c})^2}{n-1}}}{\bar{c}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где c_i – текущее значение концентрации контрольного компонента; $\bar{c}$ – среднеарифметическое значение концентрации контрольного компонента; n – число проанализированных проб.

Энергоемкость процесса оценивали удельными энергозатратами, т. е., затратами электроэнергии, необходимыми на смешивание материала, отнесенные к массе этого материала.

Результаты исследований. С целью исследования влияния времени смешивания на критерии оптимизации опыты проводили на различных частотах вращения смешивающего органа. Выбор пределов его частоты вращения проводили из условия равенства линейной скорости внешнего шнека 1,2 м/с [5]. С учетом геометрических размеров смесителя скорость вращения задавали равной 30, 35, 40, 45, 50 мин⁻¹.

Результаты однофакторных экспериментов по изучению влияния частоты вращения смешивающего органа и времени смешивания на коэффициент неоднородности представлены в виде графиков (рис. 3).

Рис. 3. Влияние частоты вращения смешивающего органа на качество смешивания:

- $n = 30$ мин⁻¹;
- - - $n = 35$ мин⁻¹;
- ... $n = 40$ мин⁻¹;
- $n = 45$ мин⁻¹;
- - - $n = 50$ мин⁻¹

Анализ зависимостей показывает, что с увеличением частоты вращения смешивающего органа, время смешивания уменьшается. Причем наибольшее влияние оказывает частота вращения в пределах от 30 до 40 мин⁻¹ на интервале 40...100 с.

Через 60 с после начала процесса смешивания коэффициент неоднородности смеси при $n = 40...50$ мин⁻¹ достигал допустимых зоотехническими требованиями норм $v = 10$ %, а при увеличении длительности смешивания в течение еще 100 с он составлял около 5 % и в дальнейшем изменялся с незначительными колебаниями. То есть первые 60 с работы наблюдалось конвективное смешивание, далее оно протекало за счет явления диффузии, и после 160 с работы наблюдали явление сегрегации.

При частоте вращения $n = 35$ мин⁻¹ качество смеси, при котором $v = 10$ % достигается при 100 с после начала смешивания, а $v = 5$ % – через 160 с.

При частоте вращения вала смесителя 30 мин⁻¹ необходимое качество смеси не обеспечивается даже в течение 7 мин работы [6].

Анализируя полученные результаты, можно отметить, что с увеличением частоты вращения приводного вала смесителя с 40 до 50 мин⁻¹ коэффициент вариации изменяется незначительно. В связи с этим построены зависимости, характеризующие изменение удельных энергозатрат от частоты вращения в

момент времени, при котором коэффициент неоднородности смеси составлял 5 и 10 % (рис. 4).

Рис. 4. Влияние частоты вращения смешивающего органа на удельную энергоёмкость:

— $\nu = 5\%$;
 - - $\nu = 10\%$

Как видно из графиков, наименьшая энергоёмкость наблюдается при $n = 35 \text{ мин}^{-1}$ (для $\nu = 10\%$) и $n = 40 \text{ мин}^{-1}$ (для $\nu = 5\%$), а с увеличением частоты вращения отмечается их рост, что связано с увеличением сопротивления смешивающего материала.

В ходе проведения лабораторных исследований определено влияние угла подъема винтовой линии витков шнеков смешивающего органа. По результатам опытов построены графики, характеризующие влияние угла подъема винтовой линии θ шнеков и частоты вращения вала (при $n = 35, 40, 45 \text{ мин}^{-1}$) на коэффициент неоднородности (рис. 5) при времени смешивания 100 с (в выбранный период времени коэффициент неоднородности соответствовал зоотехническим требованиям при $\theta = 90^\circ$ на всех исследуемых частотах вращения смешивающего органа).

Рис. 5. Влияние угла подъема винтовой линии шнеков и частоты вращения на коэффициент неоднородности смеси:

— $n = 35 \text{ мин}^{-1}$;
 - - $n = 40 \text{ мин}^{-1}$;
 ···· $n = 45 \text{ мин}^{-1}$

Как видно из графика, с увеличением θ с 50 до 90° на всех исследуемых режимах коэффициент неоднородности возрастает на 52...67%. При угле подъема винтовой линии, равном 30° коэффициент вариации выше 10 %. Это связано с уменьшением осевой силы, что приводит к ухудшению условий смешивания.

Наилучшие результаты достигаются при смешивании шнеками с углом подъема винтовой линии 50°. Для сравнения энергоэффективности построены сравнительные графики для этого случая при различных частотах вращения (рис.6). Удельные энергозатраты достигают наименьшего значения при $n = 40$ мин⁻¹ для $v = 10$ % и $n = 45$ мин⁻¹ для $v = 5$ % и составляют соответственно 0,67 и 1,2 $\frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{т}}$.

Рис. 6. Влияние частоты вращения смешивающего органа на удельные энергозатраты при использовании шнеков с углом подъема винтовой линии 50°

Для исследования влияния времени смешивания на качество смеси проведены опыты со шнеками с углом подъема винтовой линии 50° при $n = 35, 40, 45$ мин⁻¹ (рис. 7). Наименьшее время смешивания, при котором v составляет 5 %, наблюдается при $n = 45$ мин⁻¹ и составляет 80 с. При n , равном 40 и 35 мин⁻¹ время смешивания равно соответственно 100 и 130 с.

Рис. 7. Изменение коэффициента неоднородности смеси при использовании шнеков с углом подъема винтовой линии 50° в зависимости от частоты вращения и времени смешивания:

— $n = 35 \text{ мин}^{-1}$; $n = 40 \text{ мин}^{-1}$; - - - $n = 45 \text{ мин}^{-1}$

При разработке лабораторной установки использованы рекомендации работы [7].

Вывод. В результате проведенных опытов можно рекомендовать следующие значения исследуемых факторов: частота вращения смешивающего органа $n = 45 \text{ мин}^{-1}$, угол подъема винтовой линии $\theta = 50^\circ$, время смешивания $t = 60 \dots 100 \text{ с}$.

Список используемых источников:

1. Линии приготовления ферментированных кормов / Оболенский Н. В., Вандышева М. С. Миронов К. Е., Свистунов А. И., Смирнов Р. А. // Современные тенденции в образовании и науке: сб. науч. тр. по материалам междунар. науч.-практ. конф. 28 ноября 2014 г.: Часть 1. Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком». 2014. С. 122-127.
2. Оболенский Н. В., Свистунов А. И. Смеситель-ферментатор для получения кормов с высоким содержанием белка. // Вестник НГИЭИ. Сер. техн. науки. Вып. 6(37). Княгинино: НГИЭИ. 2014. С. 89-94.
3. Оболенский Н. В., Булатов С. Ю., Свистунов А. И. / Смеситель-ферментёр для кормов // Сельский механизатор. № 4. 2014. С. 26, 27,
4. Оболенский Н. В., Вандышева М. С. Влияние конструкционных и технологических параметров измельчителя грубых кормов на его удельную работу. / Научный альманах. № 2 (4). 2015. С. 114-119. DOI: 10.17117/na.2015.02.114
5. Макаров Ю. И. Аппараты для смешивания сыпучих материалов. М.: Машиностроение. 1973. 216 с.
6. <http://www.inta.ru/mass-media/news/metodika-otsenki-kachestva-smesheniya/>
7. Оболенский Н. В. Памятка аспиранту и соискателю ученой степени кандидата наук: методическое пособие. Княгинино: НГИЭИ, 2011. 86 с.

© 2015, Оболенский Н.В., Булатов С.Ю.,
Свистунов А.И.
Разработка лабораторной установки для
смешивания компонентов комбикорма

© 2015, Obolenskiy N.V., Bulatov S.U., Svistunov A.I.
Development of the laboratory setup for the mixing of
feed ingredients