

Выбор рациональных параметров технологических условий процесса смешивания при получении кормовых брикетов

Евгения С. Шенцова,¹
Лариса И. Лыткина,¹
Оксана А. Апалихина,¹
Александр С. Муравьев² hntrun@mail.ru

¹ кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронеж. гос. ун-т. инж. техн., пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394066, Россия

² отдел стандартизации и метрологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Реферат. Смешивание ингредиентов – важнейшая технологическая операция при производстве кормовых брикетов. Технология предусматривает использование в качестве связующего вещества мелассу свеколовичную (подогретую до 30–40 °С). В ее состав вводят смесь солей микроэлементов (сульфат меди, сульфат цинка, карбонат кобальта, йодид калия, сульфат железа, сульфат марганца, селенит натрия), витамины, соль поваренную, оксид магния, кормовой известняк, монокальций фосфат и негашеную известь. Проведение исследований по выработке кормовых брикетов осуществлялось в лабораторных условиях с использованием экспериментального оборудования. Смеситель-реактор создавал условия для разогрева и поддержания температурного режима смешиваемой массы за счет протекающей химической реакции между водой, содержащейся в мелассе, и присутствующими оксидами кальция и магния. Выбор рациональных параметров процесса смешивания при получении кормовых брикетов позволяет обеспечить получение продукта высокого качества при минимальных энергетических затратах. Диапазоны изменения факторов входной информации выбирали с помощью центрального ротatableного униформ планирования, который позволял в ходе 56 экспериментов в 3-х кратной повторности получить уравнения регрессии, адекватно описывающие процесс смешивания. В качестве основных факторов были выбраны: содержание мелассы, %; содержание окиси кальция, %; частота вращения мешалки, об/мин; содержание соли в рецепте, %; температура смешивания, °С. Выходные факторы – производительность, кг/ч; энергозатраты, кВт·ч; однородность смешивания, %. В результате выполнения опытов получена информация о влиянии факторов и построена математическая модель процесса, позволяющая определить выходные параметры внутри выбранных интервалов варьирования входных факторов. Наибольшее влияние оказывает содержание мелассы в продукте, наименьшее – содержание соли в рецепте. Была проведена оценка эффективности смешивания трудно распределяемых компонентов, относящихся к важнейшим БАВ. Содержание (% от введенного) витаминов и микроэлементов в брикетах существенно не отличалось от значений, предусмотренных рецептом (не >10%). Степень однородности продукции по распределению витаминов и микроэлементов была на уровне 92,4–99,6%.

Ключевые слова: смешивание, брикеты, оптимизация

Mixing process in the preparation of feed pellets at technological conditions rational parameters choice

Evgenija S. Shentsova,¹
Larisa I. Lytkina,¹
Oksana A. Apalihina,¹
Aleksandr S. Muravev² hntrun@mail.ru

¹ bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394066, Russia

² department of standardization and metrology, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia

Summary. The mixing of ingredients – the most important process step in the manufacture of fodder pellets. The technology involves using molasses (warmed to 30–40 °C) as a binder. In its composition is administered a mixture of salts of trace elements (copper sulfate, zinc sulfate, cobalt carbonate, potassium iodide, ferrous sulfate, manganese sulfate, sodium selenite), vitamins, salt, magnesium oxide, feed limestone, mono calcium phosphate and lime. Research on the development of feed pellets were carried out in laboratory conditions using experimental equipment. Mixer-reactor created the conditions for heating and temperature control of mass be mixed due to the occurring chemical reaction between water contained in the molasses, and the presence of oxides of calcium and magnesium. The choice of rational parameters of the mixing process upon receipt of fodder pellets allows to provide the high quality product with minimal energy costs. The ranges of the input information factors selected with the aid of a central rotatable uniforms-planning allowed with 56 experiments in a third-multiple replication to obtain the regression equation adequately describing the mixing process. The main factors were: the content of molasses, %; the content of calcium oxide, %; frequency of rotation of the stirrer, rpm; the content of salt in the recipe, %; the temperature of blending, °C. Output factors – productivity, kg/h; energy consumption, kWh; homogeneity of mixing, %. In the result of experiments impact factors and mathematical model of the process that allows to define output parameters within chosen ranges of variation of input factors are obtained. Greatest influence – the content of molasses in the product, the lowest – content of salt in the recipe. Efficiency of mixing hard distributed components pertaining to the most important biologically active substances was evaluated. Content (% of entered) of vitamins and minerals in the pellets did not differ significantly from the values provided by the recipe (not >10%). The degree of homogeneity of the products on the distribution of vitamins and minerals were at the level to 92.4–99.6%.

Keywords: mixing, pellets, optimization

Для цитирования

Шенцова Е. С., Лыткина Л. И., Апалихина О. А., Муравьев А. С. Выбор рациональных параметров технологических условий процесса смешивания при получении кормовых брикетов // Вестник ВГУИТ. 2016. № 3. С. 61–67. doi:10.20914/2310-1202-2016-3-61-67

For citation

Shentsova E. S., Lytkina L. I., Apalihina O. A., Muravev A. S. Mixing process in the preparation of feed pellets at technological conditions rational parameters choice. *Vestnik VSUET* [Proceedings of VSUET]. 2016. no. 3. pp. 61–67. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2016-3-61-67

Введение

Скармливание животным полнорационных комбикормов, рецептура которых составлена с учетом их потребностей, является надежным способом обеспечения их организма необходимыми веществами, в том числе минеральными. При отсутствии таких кормов животноводческие хозяйства вынуждены восполнять недостаток ряда компонентов, используя специальные добавки, внося в них недостающие минеральные и биологически активные вещества (БАВ). Используемые для балансирования и обогащения кормов соли микроэлементов не всегда имеются в хозяйствах, поэтому применяют готовые минеральные смеси и брикеты-лизунцы [1].

Кормовые брикеты-лизунцы являются одним из видов углеводно-витаминно-минеральных добавок. Существующие технологии мелассированных лизунцов можно разделить на несколько групп. В связи с этим, производство такой продукции имеет те или иные отличия. Последовательность технологических операций при одном из таких методов производства включает дозирование, смешивание ингредиентов, подачу продукта в специальные формы. В этом смысле весьма показательна технология [2], предусматривающая подготовку мелассы свекловичной, ее подогрев до 30–40°C и используют в качестве связующего вещества. При этом в нее добавляют смесь солей микроэлементов, таких как, сульфат меди, сульфат цинка, карбонат кобальта, йодид калия, сульфат железа, сульфат марганца, селенит натрия, а также витамины А, Д, Е, соль поваренную, причем в минеральную составляющую дополнительно вводят оксид магния, кормовой известняк, монокальций фосфат и негашеную известь. 1,00; витамин Е 2,50–0,40; соль поваренная 133,00–164,20; известь негашеная – остальное [3].

Среди используемых в производстве брикетов компонентов особое место принадлежит смеси химических отвердителей – оксидов металлов и связующим веществам, и прежде всего мелассе.

Ввод мелассы в состав смеси осложняет смешивание вследствие высокой вязкости, затрудняет задачу и ввод затвердителей и других минеральных компонентов. Поэтому к смешиванию перечисленных трудно распределяемых компонентов при производстве кормовых брикетов предъявляются высокие требования для обеспечения высокой однородности и стабильности продукции. Представленный выше состав брикета в исследованиях явился модельным.

Выбор рациональных параметров процесса смешивания при получении кормовых брикетов позволит обеспечить получение

продукта высокого качества при минимальных энергетических затратах.

Проведение исследований по выработке кормовых брикетов осуществлялось в лабораторных условиях с использованием специального экспериментального оборудования. Смеситель-реактор создавал условия для разогрева и поддержания температурного режима смешиваемой массы за счет протекающей химической реакции между водой, содержащейся в мелассе, и присутствующими оксидами кальция и магния. Такая реакция имела решающее значение при формировании консистенции исходной смеси, ее однородности и создании прочностных характеристик (структуры) полученных кормовых брикетов. Условием течения такой реакции является предварительный нагрев мелассы в соответствии с предложенной технологической схемой.

Выбор диапазонов изменения факторов входной информации осуществляли с помощью центрального ротатабельного униформлирования [4–6], который позволял в ходе 56 экспериментов в 3-х кратной повторности получить уравнение регрессии, адекватно описывающий реальный процесс смешивания ингредиентов при создании комбикормовых брикетов. В качестве основных факторов, влияющих на эффективность процесса, были выбраны: X_1 – содержание мелассы, %; X_2 – содержание окиси кальция, %; X_3 – частота вращения мешалки, об/мин; X_4 – содержание соли в рецепте, %; X_5 – температура смешивания, °С.

Критериями оценки влияния выбранных параметров являлись: Y_1 – производительность, кг/ч; Y_2 – энергозатраты, кВт·ч; Y_3 – однородность смешивания, %.

Однородность смешивания определяли по распределению витамина А в пробах продукции, отобранных при выходе из смесителя. Для определения содержания витаминов применяли метод высокоэффективной жидкостной хроматографии по ГОСТ 50928-96.

При обработке данных эксперимента модель процесса представлена уравнениями регрессии (1)–(3). Выбор интервалов изменения факторов обусловлен технологическими условиями процесса смешивания, а также технико-экономическими показателями. Для исследования применяли центральное композиционное ротатабельное униформ-планирование и выбран полный двухфакторный эксперимент. Порядок опытов рандомизировали посредством таблицы случайных чисел, что исключало влияние неконтролируемых факторов на результаты эксперимента. Пределы изменения исследуемых факторов приведены в таблице 1.

$$Y_1 = 51.5126 - 6.2261 \cdot X_1 - 1.9056 \cdot X_2 + 1.7908 \cdot X_3 - 1.5649 \cdot X_4 + 1.6723 \cdot X_5 + 1.0625 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0.625 \cdot X_2 \cdot X_4 + 0.75 \cdot X_3 \cdot X_5 - 0.8125 \cdot X_4 \cdot X_5 + 1.9176 \cdot X_4^2 \quad (1)$$

$$Y_2 = 0.527 + 0.0337 \cdot X_1 + 0.0246 \cdot X_2 + 0.0239 \cdot X_3 + 0.0179 \cdot X_4 - 0.0175 \cdot X_5 - 0.0128 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0.0121 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0.0184 \cdot X_2 \cdot X_5 + 0.0247 \cdot X_3 \cdot X_4 - 0.022 \cdot X_1^2 + 0.033 \cdot X_2^2 \quad (2)$$

$$Y_3 = 88.9765 - 4.0041 \cdot X_1 + 1.1063 \cdot X_2 + 1.4645 \cdot X_3 - 1.1412 \cdot X_4 + 1.2935 \cdot X_5 + 0.7812 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0.7187 \cdot X_3 \cdot X_5 + 0.7188 \cdot X_4 \cdot X_5 - 0.9933 \cdot X_1^2 \quad (3)$$

Таблица 1

Основные характеристики плана эксперимента

Table 1

The main characteristics of the experiment plan

Условия планирования Planning conditions	Кодированное значение Coded value	Пределы изменения факторов Limits of change factors				
		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
		50	14	50	15	60
Основной уровень Center point	0	10	6	10	5	10
Верхний уровень Low level	+1	60	20	60	20	70
Нижний уровень High level	-1	40	10	40	10	50
Верхняя «звёздная точка» Top axial point	+2.3784	73.7841	26.8921	73.7841	26.8921	83.7841
Нижняя «звёздная точка» Bottom axial point	-2.3784	26.2159	3.1079	26.2159	3.10793	36.2159

Число опытов в матрице планирования для пяти входных параметров равно 56. При обработке результатов эксперимента были применены следующие статические критерии: проверка однородности дисперсий – критерий Кохрена, значимость коэффициентов уравнений

регрессии – критерий Стьюдента, адекватность уравнений – критерий Фишера. В результате статистической обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии, адекватно описывающие данный процесс под влиянием исследуемых факторов:

$$Y_1 = 51.5126 - 6.2261 \cdot X_1 - 1.9056 \cdot X_2 + 1.7908 \cdot X_3 - 1.5649 \cdot X_4 + 1.6723 \cdot X_5 + 1.0625 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0.625 \cdot X_2 \cdot X_4 + 0.75 \cdot X_3 \cdot X_5 - 0.8125 \cdot X_4 \cdot X_5 + 1.9176 \cdot X_4^2 \quad (4)$$

$$Y_2 = 0.527 + 0.0337 \cdot X_1 + 0.0246 \cdot X_2 + 0.0239 \cdot X_3 + 0.0179 \cdot X_4 - 0.0175 \cdot X_5 - 0.0128 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0.0121 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0.0184 \cdot X_2 \cdot X_5 + 0.0247 \cdot X_3 \cdot X_4 - 0.022 \cdot X_1^2 + 0.033 \cdot X_2^2 \quad (5)$$

$$Y_3 = 88.9765 - 4.0041 \cdot X_1 + 1.1063 \cdot X_2 + 1.4645 \cdot X_3 - 1.1412 \cdot X_4 + 1.2935 \cdot X_5 + 0.7812 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0.7187 \cdot X_3 \cdot X_5 + 0.7188 \cdot X_4 \cdot X_5 - 0.9933 \cdot X_1^2 \quad (6)$$

Анализ уравнений регрессии (4)–(6) позволяет выделить факторы, оказывающие наиболее существенное влияние на рассматриваемый процесс смешивания компонентов кормовых брикетов. Оказалось, что при проведенной оценке наибольшее влияние оказывает содержание мелассы в продукте, наименьшее содержание соли в рецепте. Причем знак плюс перед коэффициентом при линейных членах указывает на то, что при увеличении входного параметра значение выходного параметра увеличивается.

$b_2 : b_1 = 0.30$; $b_3 : b_1 = -0.29$; $b_4 : b_1 = 0.25$;
 $b_5 : b_1 = -0.27$; $b_3 : b_2 = -0.94$; $b_4 : b_2 = 0.82$;
 $b_5 : b_2 = -0.88$; $b_4 : b_3 = -0.87$; $b_5 : b_3 = 0.93$;
 $b_5 : b_4 = -1.07$.

Степень влияния параметров относительно друг друга в уравнении (2):

Степень влияния параметров относительно друг друга в уравнении (3):

$b_2 : b_1 = 0.73$; $b_3 : b_1 = 0.7$; $b_4 : b_1 = 0.48$;
 $b_5 : b_1 = -0.52$; $b_3 : b_2 = 0.97$; $b_4 : b_2 = 0.73$;
 $b_5 : b_2 = -0.71$; $b_4 : b_3 = 0.75$; $b_5 : b_3 = -0.97$;
 $b_5 : b_4 = -0.97$.

Степень влияния параметров относительно друг друга в уравнении (4):

$$b_2 : b_1 = -0.27 ; b_3 : b_1 = -0.36 ; b_4 : b_1 = 0.29 ;$$

$$b_5 : b_1 = -0.32 ; b_3 : b_2 = 1.32 ; b_4 : b_2 = -1.03 ;$$

$$b_5 : b_2 = 1.17 ; b_4 : b_3 = -0.78 ; b_5 : b_3 = -1.13 ;$$

$$b_5 : b_4 = -1.13.$$

Полученные уравнения (2)–(4) нелинейны. В результате выполнения пятидесяти шести опытов получена информация о влиянии факторов и построена математическая модель процесса, позволяющая рассчитать удельную производительность, энергозатраты, однородность смешивания внутри выбранных интервалов варьирования входных факторов.

Задача оптимизации сформулирована следующим образом: найти такие соотношения компонентного состава массы кормовых брикетов, которые бы в широком диапазоне изменения входных параметров процесса смешивания поз-

волили достичь максимальную удельную производительность и однородность, а также минимум энергозатрат при получении продукции.

Общая математическая постановка задачи оптимизации представлена в следующем виде:

$$q = q(Y_1, Y_2, Y_3) \rightarrow opt \text{ при } x \in D.$$

Определим область значений:

$$D : Y_1 (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5) \rightarrow \max$$

$$Y_2 (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5) \rightarrow \min$$

$$Y_3 (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5) \rightarrow \max$$

В таблице 2 сведены оптимальные интервалы изменения параметров X_i для всех исследуемых выходных факторов. Согласно критерию оптимизации для принятия окончательного решения по выбору оптимальных режимов исследуемого процесса необходимо решить компромиссную задачу, накладывая оптимальные интервалы параметров X_i друг на друга.

Таблица 2

Интервалы входных параметров

Table 2

Range of input factors variation

Y	$X_1, \%$		$X_2, \%$		$X_3, \text{об/мин}$		$X_4, \%$		$X_4, \text{°C}$	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Y_1	30	60	3	30	60	70	3	30	70	80
Y_2	60	70	20	30	60	70	20	30	40	60
Y_3	30	50	20	30	50	70	3	15	60	70

В результате были получены рациональные значения интервалов входных факторов: $X_1 = 40\text{--}47 \%$; $X_2 = 9.5\text{--}19 \%$; $X_3 = 50\text{--}60 \text{об/мин}$; $X_4 = 9,5\text{--}19 \%$; $X_5 = 65\text{--}70 \text{°C}$.

Для проверки правильности полученных результатов был поставлен ряд параллельных экспериментов, полученные результаты попадали в рассчитанные доверительные интервалы по всем критериям качества. При этом среднеквадратичная ошибка не превышала 5,2%.

На рисунках (1–3) показаны Кривые равных значений выходных параметров, которые представляют научный интерес, позволяют определять значения входных параметров в исследуемой области значений, и прогнозировать возможные значения данных параметров вне её. На рисунке 4 показаны номограммы

для определения значений выходных параметров в исследуемой области значений.

Решена задача оптимизации, которая позволила выделить рациональную область изменения входных факторов по трем критериям посредством компромиссных решений.

В ходе исследований была проведена оценка эффективности смешивания трудно-распределяемых компонентов, относящихся к важнейшим биологически активным веществам [6]. Содержание (% от введенного) витаминов и микроэлементов в кормовых брикетах существенно не отличалось от значений, предусмотренных рецептом. Разница не превысила 10%. Степень однородности продукции по распределению витаминов и микроэлементов была на уровне 92.4–99.6% (таблица 3).

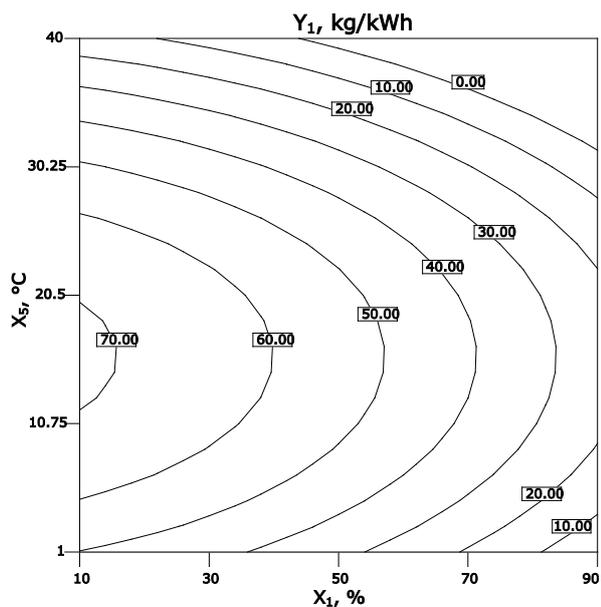


Рисунок 1. Кривые равных значений удельной производительности Y_1 , кг/кг ч от содержания мелассы X_1 , % и температуры смешивания X_5 , °C

Figure 1. Scatter plot of specific capacity Y_1 kg/h from the molasses content X_1 , % and mixing temperature X_5 , °C

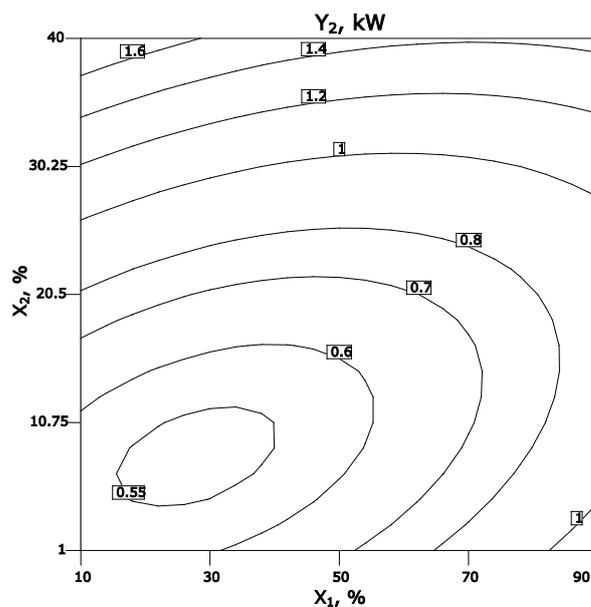


Рисунок 2. Кривые равных значений энергозатрат Y_2 , кВт от содержания мелассы X_1 , % и содержания окиси кальция X_2 , %

Figure 2. Scatter plot of energy consumption Y_2 , kW from molasses content X_1 , %, and the salt content in the recipe X_2 , %

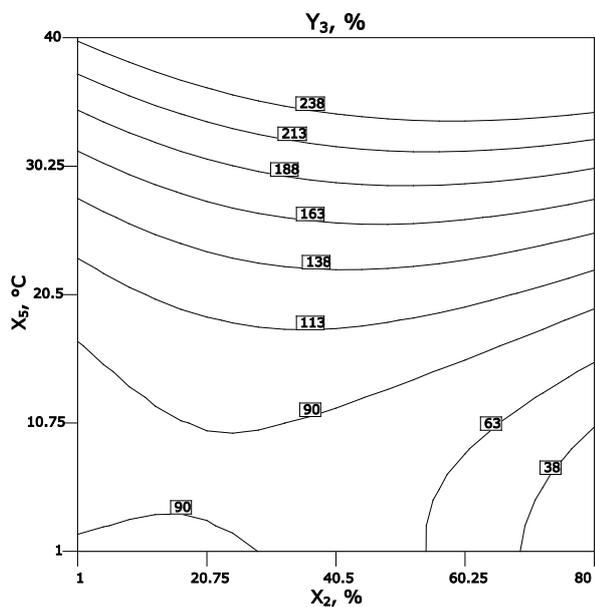


Рисунок 3. Кривые равных значений однородности смешивания Y_3 , % от содержания окиси кальция X_2 , % и температуры смешивания X_5 , °C

Figure 3. Scatter plot of mixing uniformity Y_3 , % from mixing temperature X_5 , °C and the salt content in the recipe X_2 , %

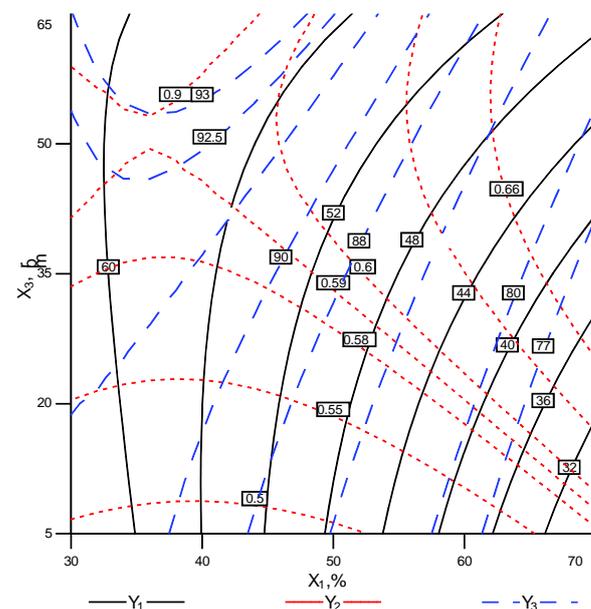


Рисунок 4. Номограмма для определения значений удельной производительности Y_1 , кг/кг·ч; энергозатрат Y_2 , кВт и однородности смешивания Y_3

Figure 4. The nomogram for determining the specific performance values Y_1 , kg/kg·h; power consumption, Y_2 , kW and mixing uniformity Y_3

Оценка эффективности смешивания компонентов в брикетах

Table 3

Evaluating the effectiveness of mixing the components in briquettes

Биологически активные вещества Biologically active substances	Содержание в брикетах-лизунцах биологически активных веществ, % от введенного The content of briquette-licks biologically active substances (% of the administered)	Степень однородности продукции по распределению биологически активных веществ, % The degree of product homogeneity in the distribution of biologically active substances, %
A, mg/g	94.7	96.3
D, mg/g	82.5	93.8
E, mg/g	87.2	99.6
Калий иодид Potassium iodide	95.9	96.8
Селенит натрия Sodium selenite	91.1	92.4
Сульфат цинка Zinc sulfate	96.6	93.2
Карбонат кобальта Cobalt carbonate	93.9	97.4

Заключение

Оценка качества смешивания свидетельствует о возможности эффективного смешивания трудно распределяемых компонентов при получении кормовых брикетов –лизунцов в рациональной области изменения технологических параметров, полученных при статистической обработке экспериментальных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1 Шевцов А. А., Дранников А. В., Лыткина Л. И., Шенцова Е. С. и др. Научно-практические основы энерго и ресурсосберегающих процессов для получения кормовых добавок из растительного сырья: монография. Воронеж: ВГУИТ, 2015. 268 с.

2 Пат. № 2335920 Россия МПК кл.⁷ А23К 1/16, А23К 1/175, А23К 1/02, Способ приготовления кормовой добавки для крупного рогатого скота / В.А. Храмов. № 2006147032/13; Заявл. 27.12.2006; Оpubл. 20.10.2008. Бюл. № 29

3 Пат. № 2595177 Россия МПК кл.⁷ А23К 10/33 Способ производства брикетов кормовых и линия для его осуществления / Е.С. Шенцова, О.А. Ападикина, А.В. Дранников, А.А. Шевцов. № 2015100166/13; Заявл. 13.01.2015; Оpubл. 10.08.2016. Бюл. № 23

4 Myers R. H., Montgomery D. C., Anderson-Cook C. M. Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments. John Wiley & Sons, 2016.

5 Moon Y.-H., Yang J., Koo B.-C., An J.-W. et al. Analysis of factors affecting miscanthus pellet production and pellet quality using response surface methodology // BioResources. 2014. V. 9. № 2. P. 3334–3346.

6 Stark C. R., Jones F. T., Quality assurance programs in feed manufacturing // Feedstuffs. 2012. № 16. P. 60–65.

Данная математическая модель может быть использована при разработке конструкции смесителя и способа управления технологическими параметрами процесса смешивания. Проведенная оценка эффективности показала, что математическая модель обеспечивает высокое качество получаемой продукции.

7 Фролова Л.Н., Василенко В.Н., Копылов М.В., Дерканосова А.А. и др. Оптимизация параметров процесса получения биотоплива методами математического моделирования // Вестник Международной академии холода. 2015. № 3. С. 63-67.

8 Мезенова О.Я., Потапова В.А. Оптимизация рецептуры рыборастительных снeков // Вестник Международной академии холода. 2015. № 3. С. 19-22.

9 Zaporozhtseva L.A., Marysheva Y.V. Economic opportunities of development for agricultural enterprises in crisis conditions // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2016. V. 52. № 4. P. 59-64.

10 Войнов Е.С. Ветеринарно-санитарная оценка кормов используемых для кормления домашних животных // Биотика. 2015. Т. 7. № 6. С. 46-50.

REFERENCES

1 Shevtsov A. A., Drannikov A. V., Lytkina L. I., Shentsova E. S. et al. Nauchno-prakticheskie osnovy energo i resursosberegayushhix processov dlya polucheniya kormovykh dobavok iz rastitel'nogo syr'ya: monografiya [Scientific and practical bases of energy and resource saving processes for the production of feed additives from vegetable raw materials: monograph] Voronezh, VGUIT, 2015. 268 p. (in Russian).

2 Khramov V. A. Sposob prigotovleniya kormovoi dobavki dlya krupnogo rogatogo skota [A method for preparing a feed additive for cattle] Patent RF, no. 2335920, 2008. (in Russian).

3 Shentsova E. S., Apalihina O. A., Drannikov A. V., Shevtsov A. A. Sposob proizvodstva briketov kormovykh i liniya dlya ego osushchestvleniya [A method of producing fodder and briquette line for its implementation] Patent RF, no. 2595177, 2016. (in Russian).

4 Myers R. H., Montgomery D. C., Anderson-Cook C. M. Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments. John Wiley & Sons, 2016.

5 Moon Y.-H., Yang J., Koo B.-C., An J.-W. et al. Analysis of factors affecting miscanthus pellet production and pellet quality using response surface methodology. BioResources, 2014, vol. 9, no. 2, pp. 3334–3346.

6 Stark C. R., Jones F. T., Quality assurance programs in feed manufacturing. Feedstuffs, 2012, no. 16, pp. 60–65.

7 Frolova L.N., Vasilenko V.N., Kopylov M.V., Derkanosova A.A. et al. Optimization of the parameters of the process of biofuel production methods of mathematical modeling. *Vestnik MAKh*. [Proceedings of the International Academy of Refrigeration] 2015, no. 3, pp. 63-67. (in Russian).

8 Mezenova O.Ya., Potapova V.A. Optimization of the formulation ryborastitelnykh snacks. *Vestnik MAKh*. [Proceedings of the International Academy of Refrigeration] 2015, no. 3, pp. 19-22. (in Russian).

9 Zaporozhtseva L.A., Marysheva Y.V. Economic opportunities of development for agricultural enterprises in crisis conditions. Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2016, vol. 52, no. 4, pp. 59-64.

10 Voinov E.S. Animal health assessment of feed used for feeding pets. *Biotika* [Biotics] 2015, vol. 7, no. 6, pp. 46-50. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Евгения С. Шенцова д. т. н., профессор, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Лариса И. Лыткина д. т. н., профессор, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Оксана А. Апалихина аспирант, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Александр С. Муравьев к. т. н., инженер, отдел стандартизации и метрологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, hntrun@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Евгения С. Шенцова предложила методику проведения эксперимента и организовала производственные испытания

Лариса И. Лыткина консультация в ходе исследования

Оксана А. Апалихина обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

Александр С. Муравьев написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 05.07.2016

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 13.08.2016

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Evgenija S. Shentsova doctor of technical sciences, professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia

Larisa I. Lytkina doctor of technical sciences, professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia

Oksana A. Apalihina graduate student, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia

Aleksandr S. Muravev candidate of technical sciences, engineer, department of standardization and metrology, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, hntrun@mail.ru

CONTRIBUTION

Evgenija S. Shentsova proposed a scheme of the experiment and organized production trials

Larisa I. Lytkina consultation during the study

Oksana A. Apalihina review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Aleksandr S. Muravev wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 7.5.2016

ACCEPTED 8.13.2016