

УДК 631.663

DOI: 10.24412/1999-6837-2021-3-78-85

Анализ результатов экспериментальных исследований процесса смешивания при производстве субстратно-соево-корнеплодных кормовых добавок**Юрий Борисович Курков¹, Кирилл Михайлович Горбунов²**^{1,2} Дальневосточный государственный аграрный университет, Амурская область, Благовещенск, Россия¹ kurkov1@mail.ru

Аннотация. Приготовление кормовых добавок на основе соломенно-грибных субстратов, используемых при кормлении сельскохозяйственных животных, рационально осуществлять по схеме, включающей следующие операции: сбор и погрузка соломенно-грибного субстрата → измельчение → дозирование → смешивание с продуктами переработки сои и измельченными корнеплодами с одновременным перераспределением влаги между компонентами смеси → прессование → сушка гранул или брикетов. Для получения однородного по составу и по влажности гранулята необходимо качественное выполнение операций смешивания и перераспределения влаги между компонентами смеси. Установлено, что осуществление процесса перераспределения влаги между компонентами возможно при их взаимодействии с пальцевыми рабочими органами, а также при перемещении винтовым рабочим органом. Получены уравнения регрессии процесса смешивания с одновременным перераспределением влаги между компонентами при производстве кормовых добавок для сельскохозяйственных животных на основе соломенно-грибного субстрата, определена степень влияния факторов на исследуемый процесс и установлены оптимальные значения технологических параметров процесса и конструктивно-режимных параметров смесителя-уплотнителя.

Ключевые слова: смешивание, перераспределение влаги, соломенно-грибной субстрат, оара, корнеплоды, уравнение регрессии, зависимость, параметры

Для цитирования: Курков Ю. Б., Горбунов К. М. Анализ результатов экспериментальных исследований процесса смешивания при производстве субстратно-соево-корнеплодных кормовых добавок // Дальневосточный аграрный вестник. 2021. Вып. 3 (59). С. 78–85.

Analysis of the results of experimental studies of the mixing process in the production of substrate-soy-root feed additives**Yuriy B. Kurkov¹, Kirill M. Gorbunov²**^{1,2} Far Eastern State Agrarian University, Amur region, Blagoveshchensk, Russia¹ kurkov1@mail.ru

Abstract. It is rational to prepare feed additives based on straw-mushroom substrates used for feeding farm animals according to a scheme that includes the following operations: collection and loading of straw-mushroom substrate → grinding → dosing → mixing with soybean processing products and crushed root crops with simultaneous redistribution of moisture between the components mixtures → pressing → drying of granules or briquettes. To obtain feed pellets that are homogeneous in composition and moisture content, it is necessary to perform high-quality mixing and redistribution of moisture between the components of the mixture. It was found that the implementation of the process of redistribution of moisture between the components was possible when they interact with digital working bodies, as well as when moving with a screw working body. The regression equations for the mixing process with the simultaneous redistribution of moisture between the components in the production of feed additives for farm animals based on straw-mushroom substrate were obtained, the degree of influence of factors on the process under

study was determined, and the optimal values of the technological parameters of the process and design-mode parameters of the mixer-sealant were determined.

Keywords: mixing, moisture redistribution, straw-mushroom substrate, okara, tuber crops, regression equation, dependence, parameters

For citation: Kurkov Yu. B., Gorbunov K. M. Analysis of the results of experimental studies of the mixing process in the production of substrate-soy-root feed additives. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik = Far Eastern Agrarian Herald*. 2021; 3 (59); 78–85.

Отходами технологического процесса выращивания высших грибов (*Pleurotus*) (вешенки) для использования в пищу человека является мицелиальная масса, которая содержит большой запас витаминов (E, B₂, B₁₂) и микроэлементов, таких как железо, цинк, медь, кобальт. Зоотехнические опыты, проведенные рядом авторов, подтверждают эффективность использования мицелиального субстрата вешенки в кормовых смесях при выращивании и продуктивном использовании ремонтных свинок, бычков, кроликов. Использование кормовых добавок с включением в них микорма позволяет увеличить ежесуточный прирост живой массы животных и снизить стоимость кормов [4, 3]. В то же время существенно повышается эффективность функционирования системы производства грибов рода «*Pleurotus*» за счет использования субстратных брикетов.

В то же время использование отработанных субстратных брикетов в кормлении животных сдерживается рядом причин. В частности, отсутствуют эффективные технологические линии для получения кормовых добавок с включением в них мицелиального субстрата грибов, и не обоснованы средства механизации для их производства.

Анализ технологий и технологических схем приготовления кормовых смесей, в состав которых входит мицелиальный субстрат вешенки, показал, что наиболее приемлемой является следующая схема: сбор и погрузка соломенно-грибного субстрата → измельчение → дозирование → смешивание с продуктами переработки сои и измельченными корнеплодами с одновременным перераспределением влаги между компонентами смеси → прессование → сушка гранул или брикетов [1, 2].

Так как используемые в составе смеси кормовые компоненты имеют различ-

ные физико-механические свойства, то для получения однородного по составу и по влажности гранулята необходимо качественное выполнение операций смешивания и усреднения (перераспределения) влаги в исходной смеси. В результате исследований установлено, что осуществление процесса усреднения (перераспределения) влаги между компонентами возможно при их перемещении винтовым рабочим органом [1].

Целью исследований является повышение эффективности технологического процесса смешивания измельченных соломенно-грибного субстрата, корнеплодов и соевой окары с одновременным перераспределением влаги между компонентами смеси путем обоснования технологических и конструктивно-режимных параметров исследуемого процесса и смесителя-уплотнителя.

Задачи исследований:

1) экспериментальным путем получить уравнения регрессии для процесса смешивания кормовых компонентов с одновременным перераспределением влаги между компонентами при производстве субстратно-соево-корнеплодных добавок для сельскохозяйственных животных;

2) определить характер влияния факторов на процесс смешивания кормовых компонентов с одновременным перераспределением влаги между ними;

3) определить оптимальные значения технологических и конструктивно-режимных параметров исследуемого процесса и смесителя-уплотнителя.

Материалы и методы. Для исследования процесса смешивания кормовых компонентов с одновременным перераспределением влаги между компонентами использовался смеситель-уплотнитель, схема которого приведена на рисунке 1.

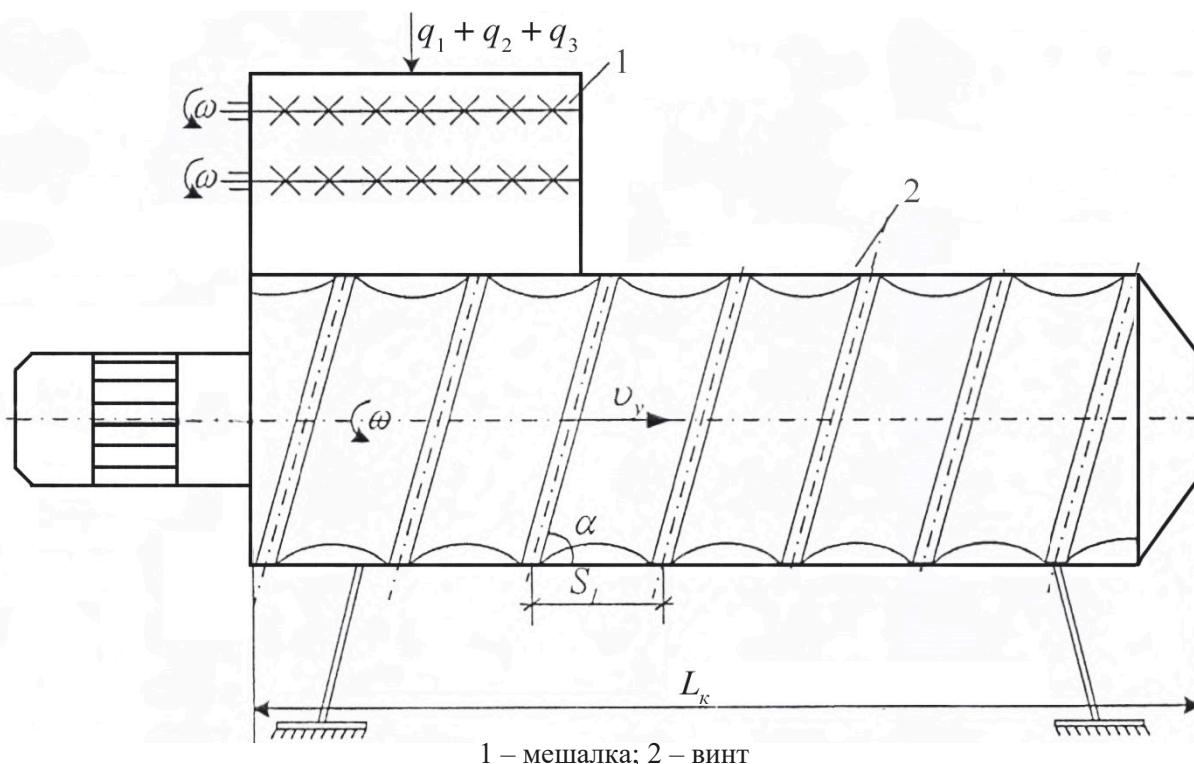


Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема смесителя-уплотнителя

Смеситель-уплотнитель состоит из двух блоков:

1) смесителя, выполненного в виде установленных в бункере и вращающихся в одном направлении двух мешалок, на валу которых имеются пальцы (лопасти);

2) вращающегося винта с расположенными под углом α и с заданным шагом S_l витков.

Процесс перераспределения влаги между компонентами происходит в результате их перемещения лопастями мешалки и винтовым рабочим органом [3].

Экспериментальное обоснование процесса перераспределения влаги при использовании смесителя-уплотнителя проводили для смеси, состоящей из входящих в весовом соотношении 1:1:1 измельченной моркови (картофеля), соевой окары и измельченных брикетов отработанного соломенно-грибного субстрата.

При выполнении технологического процесса смешивания и перераспределения влаги брикеты отработанного грибного субстрата измельчаются и затем дозированно подаются в мешалку. Также в мешалку подаются соевая окара и измельченная морковь (картофель). Далее полу-

ченная смесь формируется в гранулы, которые затем проходят процесс сушки.

В результате исследований установлены факторы, которые оказывают влияние на процесс смешивания и перераспределения влаги при использовании субстратно-соево-корнеплодных смесей. В качестве критерия оптимизации принят показатель однородности смеси $Y(\theta)$, %, определяемый по методу разделяющего признака (влажности), который позволяет установить качество смешивания и характер перераспределения влаги между компонентами смеси. Определено, что на исследуемый процесс оказывают влияние как конструктивные параметры мешалки и винта, так и физико-механические свойства компонентов смеси. Отсеивающим экспериментом выявлено, что наибольшее влияние оказывают следующие факторы: угловая скорость вращения лопастей мешалки $X_1 (\omega_m)$, c^{-1} ; шаг пальцев (лопастей) на валу мешалки $X_2 (t)$, мм и длина частиц соломенно-грибного субстрата $X_3 (l)$, мм [3]. Данные факторы были приняты для дальнейшего исследования процесса смешивания и перераспределения влаги при приготовлении субстратно-соево-корнеплодных добавок, уровни варьирования которых представлены в таблице 1.

Таблица 1

Уровни варьирования факторов для процесса смешивания и перераспределения влаги при приготовлении субстратно-соево-корнеплодных добавок

Уровни варьирования факторов	Факторы		
	$X_1/\omega_m, c^{-1}$	$X_2/t, мм$	$X_3/l, мм$
Верхний (+)	11,5	70	1,5
Основной (о)	9,5	60	1,0
Нижний (-)	7,5	50	0,5
Интервал варьирования	2,0	10	0,5

Результаты исследований. После реализации эксперимента по матрице планирования трехфакторного эксперимента по 15 опытам и получения данных проведена их статистическая обработка. При обработке полученных экспериментальных данных использовался программный пакет «Statistika».

В таблице 2 приведена матрица планирования эксперимента и результаты опытов по процессу смешивания с одновременным перераспределением влаги при приготовлении субстратно-соево-корнеплодных добавок. Выходной параметр Y_1/θ_1 принят для смеси, состоящей из измельчённых брикетов отработанного грибного субстрата, соевой окары и измельченной моркови, а параметр Y_2/θ_2 – для смеси, состоящей из измельчённых брикетов отработанного грибного субстрата, соевой окары и измельченного картофеля.

На основе проведенной математической обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии второго порядка, которые в кодированной форме имеют следующий вид:

$$Y_1 = 88,76 + 4,09 \cdot X_1 + 8,12 \cdot X_2 + 3,75 \cdot X_3 - 2,0 \cdot X_1 \cdot X_2 - 4,58 \cdot X_1^2 - 8,87 \cdot X_2^2 - 3,09 X_3^2 \rightarrow 100\% \quad (1)$$

$$Y_2 = 87,47 + 4,33 \cdot X_1 + 8,11 \cdot X_2 + 4,07 \cdot X_3 - 1,38 \cdot X_1 \cdot X_2 - 3,96 \cdot X_1^2 - 7,98 \cdot X_2^2 - 3,47 X_3^2 \rightarrow 100\% \quad (2)$$

Проверка по уровню значимости критерия Фишера (табл. 3) подтвердило, что уравнения регрессии достоверны.

Значения коэффициентов корреляции, близкие к единице ($R_1=0,986$, $R_2=0,985$), характеризуют высокую степень взаимосвязи переменных уравнений между собой.

Результаты проверки адекватности уравнений регрессии Y_1 и Y_2 приведены в таблице 4.

В раскодированной форме уравнения регрессии процесса смешивания имеют вид:

$$\theta_1 = -495,03 + 30,55 \cdot \omega_m + 125,56 \cdot t + 48,35 \cdot l - 1,0 \cdot \omega_m \cdot t - 1,14 \cdot \omega_m^2 - 8,87 \cdot t^2 - 12,36 \cdot l^2 \rightarrow 100\% \quad (3)$$

$$\theta_2 = -418,31 + 25,74 \cdot \omega_m + 109,21 \cdot t + 34,34 \cdot l - 0,69 \cdot \omega_m \cdot t - 0,99 \cdot \omega_m^2 - 7,98 \cdot t^2 - 13,89 \cdot l^2 \rightarrow 100\% \quad (4)$$

Полученные уравнения регрессии характеризуют процесс смешивания с одновременным перераспределением влаги между компонентами при приготовлении субстратно-соево-корнеплодных кормовых добавок посредством смесителя-уплотнителя [1].

На основе результатов обработки экспериментальных данных построены поверхности откликов однородности смеси с одновременным перераспределением влаги распределения влаги в смеси, включающей соломенно-грибной субстрат, соевую окару и измельченные в пасту морковь Y_1 и картофель Y_2 (рис. 2-7). При этом значение одного фактора устанавливалось на одном уровне при изменении значений двух других варьируемых факторов.

Таблица 2

**Матрица планирования эксперимента и результаты опытов по процессу
смешивания и перераспределения влаги при приготовлении
субстратно-соево-корнеплодных добавок**

Факторы в безразмерной системе координат			Факторы в натуральном масштабе			Выходной параметр	
X_1	X_2	X_3	X_1/ω_m	X_2/t	X_3/l	$Y_1/\Theta_1, \%$	$Y_2/\Theta_2, \%$
-1	-1	1	7,5	5,0	1,5	63,0	61,0
1	-1	-1	11,5	5,0	0,5	65,0	64,0
-1	1	-1	7,5	7,0	0,5	72,0	70,0
1	1	1	11,5	7,0	1,5	85,0	87,0
-1	-1	-1	7,5	5,0	0,5	52,0	54,0
1	-1	1	11,5	5,0	1,5	76,0	74,0
-1	1	1	7,5	7,0	1,5	83,0	85,0
1	1	-1	11,5	7,0	0,5	80,0	81,0
-1,215	0	0	7,07	6,0	1,0	79,0	77,0
+1,215	0	0	12,002	6,0	1,0	86,0	87,0
0	-1,215	0	9,5	4,785	1,0	66,0	68,0
0	+1,215	0	9,5	7,251	1,0	86,0	84,0
0	0	-1,215	9,5	6,0	0,3745	83,0	80,0
0	0	+1,215	9,5	6,0	1,6255	86,0	85,0
0	0	0	9,5	6,0	1,0	87,0	86,0

Таблица 3

Результаты регрессионного анализа зависимостей Y_1 и Y_2

Критерий	Стандартное отклонение	R-корреляции	Коэффициент детерминации (R^2)	F-критерий	Значимость F-критерия (P)
$Y_1 \rightarrow 100 \%$	2,961	0,986	0,973	19,745	0,002
$Y_2 \rightarrow 100 \%$	3,006	0,985	0,971	18,594	0,002

Таблица 4

Результаты проверки адекватности уравнений регрессии Y_1 и Y_2

Критерий	Коэффициенты уравнений регрессии									Заключение об адекватности	
	a_0	a_1	a_2	a_3	a_{12}	a_{13}	a_{11}	a_{22}	a_{33}		
										F_R	F_T
Y_1	88,76	4,09	8,12	3,75	-2,0	-	-4,58	-8,87	-3,09	19,74	3,59
Y_2	87,47	4,33	8,11	4,07	-1,38	-	-3,96	-7,98	-3,47	18,59	3,59

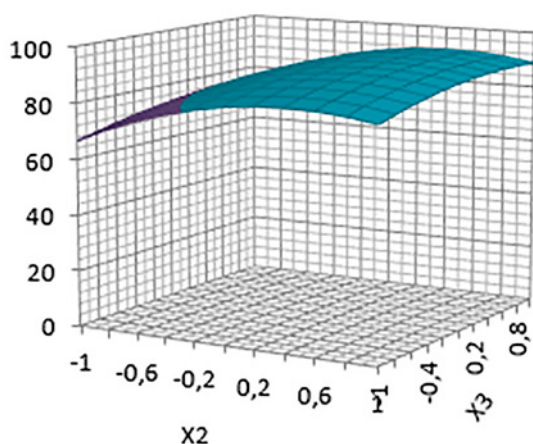


Рисунок 2 – Трехмерный график
 $Y_1=f(X_1=0,35;X_2;X_3) \rightarrow 100\%$

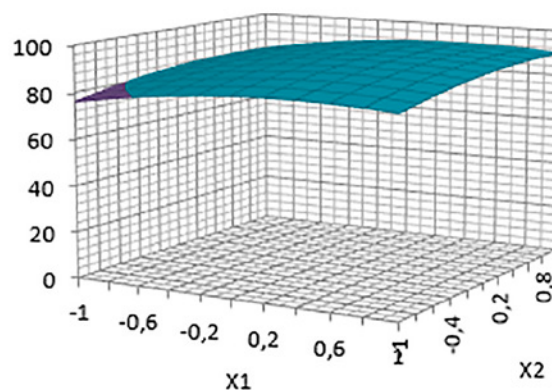


Рисунок 3 – Трехмерный график
 $Y_1=f(X_1;X_2=0,42;X_3) \rightarrow 100\%$

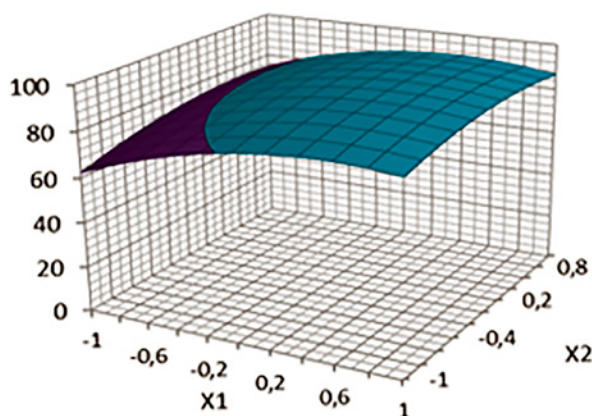


Рисунок 4 – Трехмерный график
 $Y_1=f(X_1;X_2;X_3=0,61) \rightarrow 100\%$

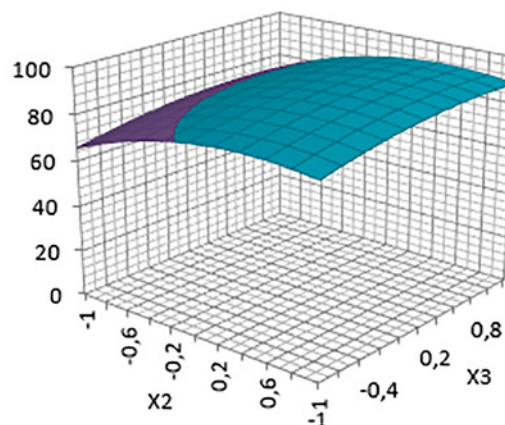


Рисунок 5 – Трехмерный график
 $Y_2=f(X_1=0,46;X_2;X_3) \rightarrow 100\%$

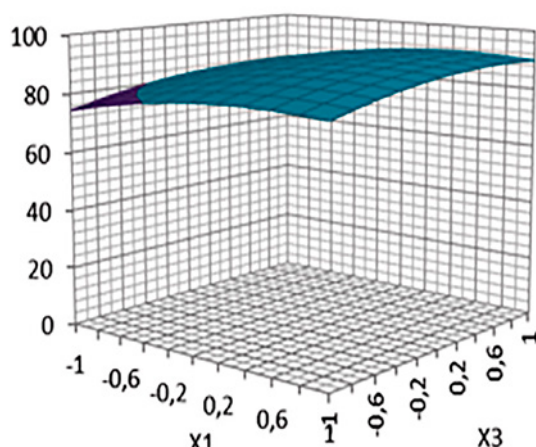


Рисунок 6 – Трехмерный график
 $Y_2=f(X_1;X_2=0,47;X_3) \rightarrow 100\%$

На основании анализа поверхностей отклика процесса смешивания грибного субстрата, соевой окары и измельченной в пасту моркови (рисунок 2–4) установлено, что наибольшее значение однородности смеси $\Theta_1=90-92\%$ зафиксировано при угловой скорости вращения лопастей мешалки $X_1(\omega_m)$ на уровне от 0,2 до 0,4 ($9,9-10,3 \text{ с}^{-1}$) и при шаге пальцев (лопастей) на валу мешалки $X_2(t)$ равном 0,2–0,6 (62–66 мм). Причем при увеличении угловой скорости вращения лопастей мешалки до $10,3 \text{ с}^{-1}$ наблюдается увеличение значения однородности смеси и соответственно увеличивается интенсивность перераспределения влаги в смеси. При дальнейшем увеличении ω_m процесс перераспределения влаги снижается.

При увеличении шага пальцев (лопастей) на валу мешалки $X_2(t)$ с 58 мм до 64 мм наблюдается наиболее интенсивное перемешивание компонентов и перераспределение влаги между ними, дальнейшее увеличение значений данного фактора ведет к снижению величины отклика.

При анализе зависимостей (рисунок 5–7) процесса смешивания грибного субстрата, соевой окары и измельченного в пасту картофеля установлено, что наибольшее значение однородности смеси и соответственно распределения влаги в смеси $\Theta_1=88-90\%$ зафиксировано при угловой скорости вращения лопастей мешалки $X_1(\omega_m)$ на уровне от 0,4 до 0,6 ($10,3-10,7 \text{ с}^{-1}$) и при шаге пальцев (лопастей) на валу мешалки $X_2(t)$ равном 0,4–0,6 (64–66 мм). Увеличение угловой скорости вращения лопастей мешалки до $10,3 \text{ с}^{-1}$ ведет к увеличению интенсивности перераспре-

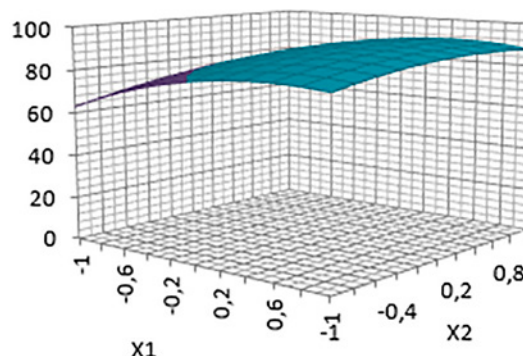


Рисунок 7 – Трехмерный график
 $Y_2=f(X_1;X_2;X_3=0,59) \rightarrow 100\%$

деления влаги в смеси. При дальнейшем увеличении ω_m эффективность процесса снижается.

Изменение шага пальцев (лопастей) на валу мешалки $X_2(t)$ при использовании картофеля в качестве связующего компонента в смеси незначительно сказывается на изменении величины отклика.

Оптимальные значения параметров процесса смешивания кормовых компонентов с одновременным перераспределением влаги между компонентами при использовании соломенно-грибного субстрата, соевой окары и измельченных в пасту моркови (картофеля) находятся в следующих пределах: ω_m – угловая скорость вращения лопастей мешалки смесителя $7-11 \text{ с}^{-1}$; t – шаг пальцев (лопастей) на валу мешалки 64–90 мм; l – длина частиц соломенного грибного субстрата 1,2–1,4 мм, угловая скорость вращения винта $\omega_v = 11-13 \text{ с}^{-1}$; шаг витков винта $S_L=23-46 \text{ мм}$. В этом случае однородность распределения влаги в смеси составляет $\Theta=89-92\%$.

Заключение. На процесс смешивания кормовых компонентов с одновременным перераспределением влаги между компонентами при использовании соломенно-грибного субстрата, соевой окары и измельченных в пасту моркови (картофеля) оказывают влияние как конструктивно-режимные параметры мешалки, так и параметры винта. Для обеспечения требуемой однородности смеси при производстве субстратно-соево-корнеплодных кормовых добавок необходимо, чтобы конструктивно-режимные параметры мешалки и винта находились в вышеприведенных пределах.

Список литературы

1. Доценко, С. М. Основы разработки смесителя-усреднителя для линии производства гранулята кроликам / С. М. Доценко, К. М. Горбунов, П. Н. Школьников, А. И. Гончарук, О. В. Гончарук // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2017. – №2. – URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/2/st_203.doc.
2. Курков, Ю. Б. Технологические схемы использования соломенно-грибных субстратов при приготовлении кормов для животных / Ю. Б. Курков, К. М. Горбунов // Тез. докл. всерос. науч.-практ. конф. «Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития» (Благовещенск, 17 апреля 2019 г.). – Благовещенск: Изд-во Дальневосточного гос. аграр. ун-та, 2019. – С. 35.
3. Надаринская, М.А. Субстрат вешенки обыкновенной в рационах молодняка крупного рогатого скота [электронный ресурс] / М. А. Надаринская, А. И. Козинец, О. Г. Голушко, Т. Г. Козинец. – URL: <https://revolution.allbest.ru/agriculture/00818058.html> (дата обращения: 15.11.2020).
4. Углов, В.Н. «Микорм» в составе кормосмесей при выращивании и продуктивном использовании ремонтных свинок: автореф. дис. на соиск. учён. степ. канд. с.-х. наук: 06.02.02 / Углов Виктор Николаевич ; Всероссийский научно-исследовательский институт животноводства РАСХН. Дубровицы, 2000. – 26 с.

Reference

1. Dotsenko, S. M., Gorbunov, K. M., Shkolnikov, P. N., Goncharuk, A. I., Goncharuk, O. V. Osnovy razrabotki smesitelya-usrednitelya dlya linii proizvodstva granulyata krolikam (Fundamentals of the development of a mixer-homogenizer for a line for the production of granules for rabbits), AgroEkoInfo: Electronic scientific and production journal, 2017, No 2, URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/2/st_203.doc.
2. Kurkov, Yu. B., Gorbunov, K. M. Tekhnologicheskie skhemy ispol'zovaniya solomennogribnykh substratov pri prigotovlenii kormov dlya zhivotnykh (Technological schemes for the use of straw-mushroom substrates in the preparation of animal feed) // Tез. report vseros. scientific and practical. conf. «Agropromyshlennyy kompleks: problemy i perspektivy razvitiya» (Blagoveshchensk, 17 apreliya 2019 g.), Blagoveshchensk, Izd-vo Dal'nevostochnogo gos. agrar. un-ta, 2019, PP. 35.
3. Nadarinskaya, M. A., Kozinets, A. I., Golushko, O. G., Kozinets, T. G. Substrat veshenki obyknovЕННОj v racionalah molodnyaka krupnogo rogatogo skota (Oyster mushroom substrate in the diets of young cattle) [electronic resource], URL: <https://revolution.allbest.ru/agriculture/00818058.html> (accessed: 15.11.2020).
4. Uglov, V. N. «Mikorm» v sostave kormosmesej pri vyrashchivanii i produktivnom ispol'zovanii remontnykh svinok («Micorm» as part of feed mixtures for growing and productive use of gilts), avtoref. dis. na soisk. uchen. step. kand. s.-kh. nauk (Author's abstract of PhD in Agricultural sci. diss.), 06.02.02, Uglov Viktor Nikolaevich, Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii Institut Zhivotnovodstva RASKhN, Dubrovitsy Moskovskoi oblasti, 2000, 26 p.

© Курков Ю. Б., Горбунов К. М., 2021

Статья поступила в редакцию 26.05.2021; одобрена после рецензирования 16.06.2021; принята к публикации 27.08.2021.

The article was submitted 26.05.2021; approved after reviewing 16.06.2021; accepted for publication 27.08.2021.

Информация об авторах

Курков Юрий Борисович, доктор технических наук, профессор, Дальневосточный государственный аграрный университет, e-mail: kurkov1@mail.ru;

Горбунов Кирилл Михайлович, аспирант, Дальневосточный государственный аграрный университет, e-mail: kurkov1@mail.ru.

Information of authors

Yuriy B. Kurkov, Doctor of Technical Sciences, Professor; Far Eastern State Agrarian University; e-mail: kurkov1@mail.ru;

Kirill M. Gorbunov, Postgraduate Student; Far Eastern State Agrarian University;; e-mail: kurkov1@mail.ru.