

## ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ БУНКЕРНОГО УСТРОЙСТВА

**Прусов Максим Владимирович**<sup>1</sup>, старший преподаватель кафедры «Технологии грузовой и коммерческой работы, станции и узлы»

**Павлушин Андрей Александрович**<sup>2</sup>, доктор технических наук, профессор кафедры «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

**Курдюмов Владимир Иванович**<sup>2</sup>, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Самарский государственный университет путей сообщения

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

<sup>1</sup>443052 г. Самара, ул. Заводское шоссе, д.18, ауд.9323 (9-й учебный корпус): тел. 89277102757; e-mail: mak-prusov@yandex.ru

<sup>2</sup>432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, дом 1; тел.: 89050359200; e-mail: andrejpavlu@yandex.ru.

**Ключевые слова:** комбикорма, бункер, оптимальные параметры, загрузка, хранение, выгрузка.

На основании ранее проведённых теоретических исследований были установлены основные конструктивные параметры устройства, такие как угол установки решет, количество решет в бункере; места расположения решет в бункере; минимальные размеры щели и перемычки в решетке. Установлено, что для того, чтобы определить оптимальную ширину щели в решетке, необходимо знать высоту слоя сыпучего материала, проходящего в щель элемента бункерного устройства и скорость сыпучего материала на второй перемычке. Для обеспечения оптимальной работы элемента (решета) устройства управления технологическим процессом загрузки, хранения и выгрузки необходимо, чтобы загружаемый материал равномерно проходил по решетке, то есть, чтобы пропускная способность каждой щели устройства была одинаковой. Полученные уравнения позволяют определить минимальную ширину щели в зависимости от радиуса частицы сыпучего материала, скорости падения материала на решетку, коэффициента трения, ширины перемычки решета. Для экспериментальных исследований создана и апробирована лабораторная модель устройства бункерного типа. Модель позволяет оперативно изменять такие параметры, как: угол наклона решета, ширину щели в решетке, длину решета, расстояние между решетками и высоту загруженного слоя. При этом выявлено, что на процесс загрузки оказывают влияние коэффициенты равномерности распределения сыпучего материала по всему сечению ёмкости, а также коэффициент сегрегации материала при заполнении загрузочного устройства. Методика проведения экспериментов включала в себя определение параметров разрабатываемого бункерного устройства: угла наклона решета, длины решета, ширины щели в решетке и интервала между решетками. Исходные уровни были выбраны на основе анализа предшествующих исследований процесса загрузки сыпучих материалов. По итогам проведённых исследований определены оптимальные значения основных параметров разрабатываемого устройства в зависимости от вида загружаемого материала: угол наклона решета - 36...38°; длина решета 0,19...0,28 м; расстояние между решетками - 2,3...2,8 м. Полученные числовые значения параметров можно использовать при проектировании бункеров или силосов аналогичного назначения.

### Введение

На основании результатов проведённых теоретических изысканий [1] нами была изготовлена лабораторная модель бункерного устройства прямоугольной формы [2] с высотой ёмкости 3 м (рис.). Внутренние размеры ёмкости составляют 0,5×0,5 м. Параметры внутренних решет - 0,49×0,49 м. Расстояние между нижней кромкой загрузочного бункера и верхней частью ёмкости – 1 м.

Лабораторная установка позволяет оперативно изменять следующие параметры: угол наклона решета  $\beta$  от 25° до 65°; ширину щели в решетке  $a$  от 0,005 м до 0,025 м; длину решета  $l$  от 0,25 м до 0,45 м; расстояние между решетками

$H/V$  от 1 до 3; высоту загруженного слоя от 0 м до 3 м.

При этом следует отметить, что на процесс загрузки влияют коэффициенты равномерности распределения сыпучего материала по всему сечению ёмкости, а также коэффициент сегрегации материала при заполнении загрузочного устройства [3...6].

Для определения равномерности распределения груза по площади сечения и сегрегации необходимо использовать съёмное дно специальной конструкции - решетку с ячейками, пронумерованными индексами  $i$ , где  $i = 1...25$  (рис., позиция 4). Съёмное дно устанавливают внутри ёмкости на различных уровнях по высоте, что

позволяет изменять высоту свободного падения материала. Конструкция съёмного дна представляет собой систему коробов одинаковой ёмкости с одинаковыми площадями поперечного сечения. Сыпучий материал в силос подают из накопительного бункера, расположенного над силосом.

#### Материалы и методы исследований

Равномерность распределения исследуемого материала по поперечному сечению ёмкости оценивали по следующей методике [7...11]. Содержимое каждой ячейки взвешивали и определяли отношение массы каждой ячейки к общей массе навески по формуле:

$$\mu_i = \frac{m_i}{M}, \quad (i = 1 \dots 25), \quad (1)$$

где  $m_i$  - масса материала в  $i$ -той ячейке,

$$M = \sum_{i=1}^{25} m_i$$

кг;  $M$  - масса навески, кг.

При идеально равномерном потоке в каждую ячейку поступает одинаковое количество материала. Отсюда средневзвешенное значение этого отношения:

$$\bar{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^{25} m_i}{Mn^2} = \frac{1}{n^2}, \quad (2)$$

где  $n$  - количество ячеек в одном ряду; так как решётка имеет квадратную форму и содержит 5 рядов по 5 ячеек, то  $n = 5$ .

Степень равномерности распределения потока материала по горизонтальному сечению ёмкости оценивали величиной

$$q_p = 1 - \frac{s}{\bar{\mu}} \quad (3)$$

где  $s$  - среднеквадратическое отклонение:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_i (\mu_i - \bar{\mu})^2}{n^2}}. \quad (4)$$

При идеально равномерном потоке  $s = 0$ ,  $q_p = 1$ .

Для определения сегрегации после загрузки навески массой  $M$  содержимое  $i$ -той ячейки массой  $m_i$  разделяли на классификаторе на фракции. При этом для каждой ячейки было определено процентное содержание контрольной фракции по формуле:

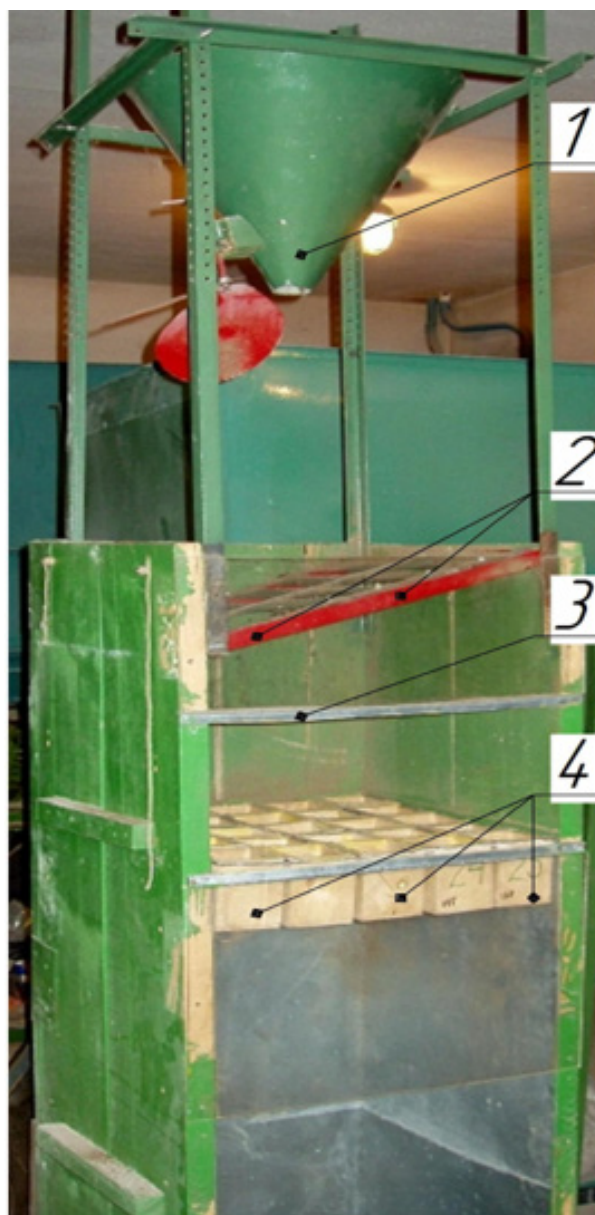


Рис. - Конструкция лабораторной установки:

1 - загрузочный бункер; 2 - распределительное решето; 3 - корпус ёмкости; 4 - мерные ячейки

$$\lambda_p = \frac{(m_i)_p}{m_i} \cdot 100, \quad p = 1 \dots P, \quad (5)$$

где  $P$  - масса контрольных фракций, кг;  $m_i$  - масса материала в  $i$ -той ячейке, кг;  $(m_i)_p$  - масса  $p$ -ой контрольной фракции, кг.

Степень сегрегации оценивали величиной  $q_c$ .

$$q_c = 1 - \frac{s_\lambda}{\lambda_p}; \quad (6)$$

$$s_{\lambda} = \sqrt{\frac{\sum_i (\lambda_{pi} - \bar{\lambda}_p)^2}{n^2}} \quad (7)$$

где  $\bar{\lambda}_p$  - содержание контрольной

фракции в исходном материале (или расчетное значение согласно рецепту);  $\lambda_{pi}$  - содержание контрольной фракции массой  $m_i$  в  $i$ -той ячейке.

Для оптимизации кинематического режима был задействован обобщенный критерий оптимизации, учитывающий вышеприведенные показатели работы бункерного устройства [12...16].

При этом обобщенный критерий оценки определяли по формуле:

$$E = K_p \left( \frac{q_{pi} - q_{po}}{q_{po}} \right)^2 + K_c \left( \frac{q_{ci} - q_{co}}{q_{co}} \right)^2, \quad (8)$$

где  $q_{pi}$ ,  $q_{ci}$  - экспериментальные коэффициенты равномерности и сегрегации соответственно;  $q_{po}$ ,  $q_{co}$  - оптимальные коэффициенты равномерности и сегрегации соответственно;  $K_p$ ,  $K_c$  - коэффициенты значимости (0,3 и 0,7 соответственно).

#### Результаты исследований

Методика проведения экспериментов включала в себя определение параметров разрабатываемого бункерного устройства: угла наклона решета, длины решета, ширины щели в решете и интервала между решетками. Исходные уровни были выбраны нами на основе анализа предшествующих исследований процесса

загрузки сыпучих материалов [17...20].

Наименование и уровни варьирования изучаемых факторов приведены в таблице 1.

#### Обсуждение

Результаты проведенных экспериментальных исследований были обработаны нами при помощи программы Statistica [21]. Данные, полученные после проведения исследований в соответствии с матрицей эксперимента, позволили получить адекватные уравнения регрессии (в раскодированном виде) зависимости обобщенного критерия качества загрузки  $E$  от искомым параметров для разных сыпучих материалов:

1) уравнение регрессии для цеолита:

$$E = -0,42 + 0,02\beta + 0,3a + 0,02l - 0,17h - 0,0006\beta a - 0,0008\beta l - 0,003\beta h - 0,01al + 0,27ah - 0,016lh - 0,005\beta ah - 0,003alh + 0,0002\beta l \times h + 0,0005\beta^2 - 0,055a^2 + 0,0003l^2 + 0,143h^2; \quad (9)$$

2) уравнение регрессии для отрубей:

$$E = 0,3549 - 0,0386\beta - 0,0473a + 0,1176l - 0,3735h - 0,0022\beta a - 0,0074al - 0,0073ah - 0,0071lh - 0,0662a^2 + 0,1196h^2; \quad (10)$$

3) уравнение регрессии для шрота:

$$E = 0,68 - 0,0003\beta + 0,1a + 0,01l - 0,2h + 0,0004\beta a - 0,0001\beta l + 0,0022\beta h - 0,003al + 0,08ah - 0,005lh - 0,002\beta ah + 0,0002alh + 0,00041\beta^2 - 0,022a^2 + 0,07h^2 \quad (11)$$

После решения уравнений (9, 10, 11) были найдены искомые параметры (табл. 2):

Использование предлагаемого устройства бункерного типа с указанными в таблице 2 оптимизированными параметрами позволяет

Таблица 1

#### Факторы, влияющие на процесс загрузки сыпучего материала

Факторы	Условное обозначение	Код	Уровни факторов			Интервал варьирования
			- 1	0	+ 1	
Угол наклона решетки, град	$\beta$	$X_1$	35	45	55	10
Ширина щели в решете, м	$a$	$X_2$	0,005	0,015	0,025	0,01
Длина решета, м	$l$	$X_3$	0,25	0,35	0,45	0,1
Шаг установки решет	$h_p/B$	$X_4$	1	2	3	1

Примечание:  $h_p$  - расстояние между решетками, м;  $B$  - ширина бункера, м.

Таблица 2

#### Оптимальные параметры разработанного устройства

Исследуемое сырье	№ решаемого уравнения регрессии	Оптимизированный параметр устройства			
		$\beta$ , град	$a$ , м	$l$ , м	$h_p/B$
Цеолит	9	36	0,008	0,274	2,8
Отруби	10	38	0,012	0,25	2,5
Шрот	11	36,4	0,011	0,19	2,3

обеспечить загрузку различных сыпучих материалов с максимально возможной равномерностью и при отсутствии их сегрегации.

#### **Заключение**

Экспериментальные исследования позволили определить оптимальные конструктивные параметры устройства бункерного типа, при которых обеспечивается равномерность загрузки и отсутствие сегрегации сыпучих материалов: угол наклона решета - 36...38°; длина решета - 0,19...0,28 м; отношение расстояния между решетками к ширине бункера - 2,3...2,8. Полученные числовые значения параметров можно использовать при проектировании бункеров или силосов аналогичного назначения.

#### **Библиографический список**

1. Прусов, М. В. Теоретическое обоснование параметров процессов загрузки, хранения и выгрузки комбикормов / М. В. Прусов, В. И. Курдюмов, А. А. Павлушин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2020. - № 1(49). - С. 6-14. - DOI 10.18286/1816-4501-2020-1-6-13.
2. Патент № 2219118 Российская Федерация, МПКВ65D 88/64. Бункер для сводообразующих сыпучих материалов : № 2002112529 : заявл. 13.05.2002 : опубл. 20.12.03 / Третьяков Г. М., Горюшинский В. С., Горюшинский И. В., Фролов Н. Н., Прусов М. В., Мосина Н. Н. – 5с.
3. Determination of the quantitative parameters of the air-product layer in the working chamber of a shredder / M. V. Chkalova, V. A. Shakhov, E. M. Burlutsky, V. D. Pavlidis // Achievements of science and technology of the agroindustrial complex. Scientific journal. – 2017. - № 12. - P. 57-60.
4. Gritsenko, G. M. Prerequisites for improving the strategic management of grain processing enterprises that have mixed fodder production. Fundamental research / G. M. Gritsenko, D. I. Svintsev // Scientific journal. – 2015. - № 10 (part 2). - P.362-365.
5. Finite element analysis of failed slope by shear strength reduction technique: a case study for Surabhi Resort Landslide, Mussoorie township, Garhwal Himalaya / V. Gupta, R. K. Bhasin, A. M. Kaynia, V. Umar, A. S. Saini, R. S. Tandon, T. Pabst // Geomatics Nat. Hazards Risk. - 2016. - № 7(5). – P. 1677–1690. - Doi:10.1080/19475705.2015.1102778, 2016.
6. Paramesh, V. Enhancing ecosystem services and energy use efficiency under organic and conventional nutrient management system to a sustainable arecanut based cropping system / V. Paramesh, V. Arunachalam, A. J. Nath // Energy. - 2019. - № 6. – P. 156-168.
7. Горюшинский, И. В. Технологические системы обеспечения сырьем комбикормовых и животноводческих предприятий : спец. 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Горюшинский Игорь Владимирович ; Оренбургский ГАУ. – Оренбург, 2005. – 298 с.
8. Мосина, Н. Н. Методика определения показателей процесса загрузки бункера сыпучим материалом / Н. Н. Мосина // Современные технологии, средства механизации и техническое обслуживание в АПК : сборник научных трудов Поволжской межвузовской конференции. – Самара : СГСХА, 2003. – С.55-57.
9. Parajuli, R. Can farmers mitigate environmental impacts through combined production of food, fuel and feed? A consequential life cycle assessment of integrated mixed crop-livestock system with a green biorefinery / R. Parajuli, T. Dalgaard, M. Birkved // SciTotal Environ. - 2018. - № 4. – P. 248-261.
10. Производство комбикормовой продукции в 2018 году // Комбикорма. - 2019. - № 3. - С. 13-23.
11. Energy budgeting of colocasia-based cropping systems in the Indian sub Himalayas / M. D. Tuti, V. Prakash, B. M. Pandey, R. Bhattacharyya, D. Mahanta, J. K. Bisht [et al.] // Energy. - 2012. - № 45. – P. 986-893.
12. Елизаров, В. П. Перспективные направления развития отечественной сельскохозяйственной техники / В. П. Елизаров, А. А. Артюшин, Ю. С. Ценч // Вестник ВИЭСХ. - 2018. - № 2 (31). - С. 12-18.
13. State program for the development of agriculture and regulation of markets for agricultural products, raw materials and food for 2013-2020 // Collection of legislation of the Russian Federation. – 2012. - № 30. - P. 146-158.
14. Liu, G. Energy analysis and economic assessment of a riceturtle-fish co-culture system / G. Liu, H. Huang, J. Zhou // Agroecol Sustain Food Syst. – 2019. - № 43. – P. 299-309.
15. A sustainability analysis of two rapeseed farming ecosystems in Khorramabad, Iran, based on energy and economic analyses / Z. Amiri, M. R. Asgharipour, D. E. Campbell, M. Armin // J. Clean Prod. – 2019. – 226. – P. 1051-1066.
16. Ледяев, Т. Б. Перспектива комбикормового производства в Российской Федерации

/ Т. Б. Ледяев // Территория инноваций. – 2017. - № 10 (14). - С. 68-71.

17. Comparing the environmental performance of mixed and specialised dairy farms: the role of the system level analysed / S. M. R. R. Marton, A. Zimmermann, M. Kreuzer, G. Gaillard // J. Clean Prod. – 2016. – 124. – P. 73 - 83.

18. Лукиенко, Л. В. Оборудование для производства комбикормовой продукции / Л. В. Лукиенко, А. О. Райков // Научные инновации - аграрному производству : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию юбилею Омского ГАУ. - 2018. - С. 229-231.

19. Коняев, Н. В. Проектирование энергоберегающего оборудования для комбикормо-

вого производства / Н. В. Коняев, А. С. Скворцов // Региональный вестник. - 2018. - № 4 (13). - С. 13-15.

20. Пахомов, В. И. Теоретические предположения для разработки методики проектирования модульного производства комбикормов / В. И. Пахомов, С. В. Брагинец, О. Н. Бахчевников // Инновационные технологии в науке и образовании (ИТНО-2017) : материалы V Международной научно-практической конференции. - 2017. - С. 229-232.

21. Халафян, А. А. Статистический анализ данных. STATISTIKA 6.0 / А. А. Халафян. – Москва, 2007. - 512 с.

### OPTIMIZATION OF DESIGN PARAMETERS OF HOPPER DEVICE

Prusov M. V<sup>1</sup>, Pavlushin A.A<sup>2</sup>, Kudymov V.I<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>FSBEI HE SamSTU (Samara State Transport university)

<sup>2</sup>FSBEI HE Ulyanovsk SAU

1443052 Samara, Zavodskoy high road, 18, aud.9323 (9th education building): tel. 89277102757; e-mail: mak-prusov@yandex.ru

2432017, Ulyanovsk, Novy Venets boulevard, 1; tel.: 89050359200; e-mail: andrejpavlu@yandex.ru.

*Key words:* feed, hopper, optimal parameters, loading, storage, unloading.

Based on previous theoretical studies, the main design parameters of the device were established, such as angle of installation of wire screens, the number of wire screens in hopper, the location of wire screens in hopper, and the minimum size of the gap and bridge in wire screens. It is established that in order to determine the optimal width of the gap in the wire screen, it is necessary to know the height of bulk material layer passing through the gap of the hopper device element and speed of bulk material on the second bridge. To ensure optimal operation of the element (wire screen) of the device for controlling technological process of loading, storage and unloading, it is necessary that loaded material passes evenly through the wire screen that is throughput capacity of each slot of the device is the same. The obtained equations allow us to determine the minimum gap width depending on the radius of bulk material particle, falling speed of the material on the screen, coefficient of friction and width of crossbar of the screen. For experimental research, a laboratory model of a bunker-type device was created and tested. The model allows you to quickly change parameters such as the angle of inclination of wire screen, gap width in the wire screen, the length of the wire screen, the distance between the wire screens and the height of the loaded layer. At the same time, it was found that the loading process is influenced by the coefficients of uniformity of distribution of bulk material over the entire cross-section of container, as well as the coefficient of material segregation when filling the loading device. The method of conducting experiments included determining the parameters of developed hopper device: the angle of inclination of the wire screen, the length of the wire screen, gap width in the screen and the interval between the sieves. The initial levels were selected based on analysis of previous studies of the bulk material loading process. The results of these studies identified the optimal values of main parameters of the developed device depending on the downloadable material: the angle of inclination of wire screen - 36...38°; length of wire screen...0,19 0,28 m; the distance between screens - 2,3...2,8 m. The obtained numerical values of parameters can be used in the design of bunkers or silos for similar purposes.

#### Bibliography

1. Prusov, M. V. Theoretical justification of parameters of feed loading, storage and unloading processes / M. V. Prusov, V. I. Kudymov, A. A. Pavlushin // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. - 2020. - № 1(49). - P. 6-14. - DOI 10.18286/1816-4501-2020-1-6-13.
2. Patent № 2219118 the Russian Federation, MPK65D 88/64. Free-formative hopper for bulk materials : № 2002112529 : applic. 13.05.2002 : publ. 20.12.03 / Tretyakov G. M., Goryushinsky V. S., Goryushinsky I. V., Frolov N. N., Prusov M. V., Mosina N. N. – 5p.
3. Determination of the quantitative parameters of the air-product layer in the working chamber of a shredder / M. V. Chkalova, V. A. Shakhov, E. M. Burlutsky, V. D. Pavlidis // Achievements of science and technology of the agroindustrial complex. Scientific journal. – 2017. - № 12. - P. 57-60.
4. Gritsenko, G. M. Prerequisites for improving the strategic management of grain processing enterprises that have mixed fodder production. Fundamental research / G. M. Gritsenko, D. I. Svintsev // Scientific journal. – 2015. - № 10 (part 2). - P.362-365.
5. Finite element analysis of failed slope by shear strength reduction technique: a case study for Surabhi Resort Landslide, Mussoorie township, Garhwal Himalaya / V. Gupta, R. K. Bhasin, A. M. Kaynia, V. Umar, A. S. Saini, R. S. Tandon, T. Pabst // Geomatics Nat. Hazards Risk. - 2016. - № 7(5). – P. 1677–1690. - Do i:10.1080/19475705.2015.1102778, 2016.
6. Paramesh, V. Enhancing ecosystem services and energy use efficiency under organic and conventional nutrient management system to a sustainable areca nut based cropping system / V. Paramesh, V. Arunachalam, A. J. Nath // Energy. - 2019. - № 6. – P. 156-168.
7. Goryushinsky, I. V. Technological systems for providing feed and livestock companies with raw materials: spec. 05.20.01 «Technology and means of mechanization of agriculture : the dissertation on competition of academic degree of the doctor of technical sciences / Goryushinsky Igor Vladimirovich ; Orenburg SAU. – Orenburg, 2005. – 298 p.
8. Mosina, N. N. Method for determining indicators of loading process of hopper with bulk material / N. N. Mosina // Modern technologies, means of mechanization and maintenance in agro-industrial complex: collection of scientific papers of the Volga interuniversity conference. – Samara : SSAA, 2003. – P.55-57.
9. Parajuli, R. Can farmers mitigate environmental impacts through combined production of food, fuel and feed? A consequential life cycle assessment of integrated mixed crop-livestock system with a green biorefinery / R. Parajuli, T. Dalgaard, M. Birkved // SciTotalEnviron. - 2018. - № 4. – P. 248-261.
10. Production of feed products in 2018 // Animal feed. - 2019. - № 3. - P. 13-23.
11. Energy budgeting of colocasia-based cropping systems in the Indian sub Himalayas / M. D. Tuti, V. Prakash, B. M. Pandey, R. Bhattacharyya, D. Mahanta, J. K. Bisht [et al.] // Energy. - 2012. - № 45. – P. 986-993.
12. Elizarov, V. P. Perspective directions of development of national agricultural machinery / V. P. Elizarov, A. A. Aryushin, Yu. S. Tsench // Vestnik of VIESH. - 2018. - № 2 (31). - P. 12-18.
13. State program for the development of agriculture and regulation of markets for agricultural products, raw materials and food for 2013-2020 // Collection of legislation of the Russian Federation. – 2012. - № 30. - P. 146-158.

14. Liu, G. *Energy analysis and economic assessment of a rice turtle-fish co-culture system* / G. Liu, H. Huang, J. Zhou // *Agroecol Sustain Food Syst.* – 2019. - № 43. – P. 299-309.
15. *A sustainability analysis of two rapeseed farming ecosystems in Khorramabad, Iran, based on emergy and economic analyses* / Z. Amiri, M. R. Asgharipour, D. E. Campbell, M. Armin // *J. Clean Prod.* – 2019. – 226. – P. 1051-1066.
16. Ledyayev, T. B. *Perspective of feed production in the Russian Federation* / T. B. Ledyayev // *Innovation territory.* – 2017. - № 10 (14). - P. 68-71.
17. *Comparing the environmental performance of mixed and specialised dairy farms: the role of the system level analysed* / S. M. R. R. Marton, A. Zimmermann, M. Kreuzer, G. Gaillard // *J. Clean Prod.* – 2016. – 124. – P. 73 - 83.
18. Lukienko, L. V. *Equipment for the production of feed products* / L. V. Lukienko, A. O. Raikov // *Scientific innovations for agricultural production: materials of the International research to practice conference dedicated to the 100th anniversary of Omsk SAU.* - 2018. - P. 229-231.
19. Konyaev, N. V. *Engineering of energy-saving equipment for feed production* / N. V. Konyaev, A. S. Skvortsov // *Regional Vestnik.* - 2018. - № 4 (13). - P. 13-15.
20. Pakhomov, V. I. *Theoretical background for the development of methods for designing modular feed production* / V. I. Pakhomov, S. V. Braginets, O. N. Bakhchevnikov // *Innovative technologies in science and education ITNO -2017* : materials of the V international research to practice conference. - 2017. - P. 229-232.
21. Khalafyan, A. A. *Statistical data analysis. STATISTIKA 6.0* / A. A. Khalafyan. – Moscow, 2007. - 512 p.