






**Процессы и аппараты пищевых производств****Processes and devices for food production**DOI: <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-1-17-23>

Оригинальная статья/Research article

УДК 62-932.2

Open Access






Available online at [vestnik-vsuet.ru](http://vestnik-vsuet.ru)**Определение рациональных режимов работы пресс-гранулятора при производстве амидоминарального гранулированного свекловичного жома**

Алексей В. Дранников	<sup>1</sup>	<a href="mailto:drannikov@list.ru">drannikov@list.ru</a>	 0000-0002-3060-8688
Виталий Ю. Овсянников	<sup>1</sup>	<a href="mailto:ows2003@mail.ru">ows2003@mail.ru</a>	 0000-0001-9388-6303
Николай Ю. Ситников	<sup>2</sup>	<a href="mailto:sit-work@yandex.ru">sit-work@yandex.ru</a>	 0000-0002-3690-6336
Алексей Р. Бубнов	<sup>1</sup>	<a href="mailto:alex.bunov.97@mail.ru">alex.bunov.97@mail.ru</a>	 0000-0001-6532-5509
Александр С. Дубровин	<sup>1</sup>	<a href="mailto:kenjirun@mail.ru">kenjirun@mail.ru</a>	 0000-0003-0167-7235

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия<sup>2</sup> ООО "РУСМИТ", 396350, Воронежская область, Каширский р-он, Каширское село, ул. Мира, д.20, офис 1

**Аннотация.** Амидоминаральный гранулированный свекловичный жом является продуктом, который может использоваться в виде комбикорма для кормления КРС, так и как комбикормовая добавка в производстве комбикормов. Амидоминаральный гранулированный свекловичный жом по сравнению со свежим и сухим жомом, более богат и насыщен различными добавками которые положительно повлияют на аппетит и привес животных. Амидоминаральный свекловичный жом, с целью улучшения транспортировки и хранения имеет смысл в гранулировании. Таким образом для изучения взаимодействия различных факторов, влияющих на процесс гранулирования амидоминарального свекловичного жома, применяют математические методы планирования эксперимента. Математическое описание данного процесса может быть получено эмпирически. При этом его математическая модель имеет вид уравнения регрессии, найденного статистическими методами на основе экспериментов. В результате статистической обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии, адекватно описывающие процесс гранулирования амидоминарального свекловичного жома в пресс-грануляторе Б6-ДВГ. В результате проведенных исследований предложена модернизация данного оборудования.

**Ключевые слова:** гранулирование, статическая модель, амидоминаральный жом, рациональные параметры, модернизация**Determination of rational modes of operation of the press granulator in the production of amidomineral granulated beet pulp**

Alexey V. Drannikov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:drannikov@list.ru">drannikov@list.ru</a>	 0000-0002-3060-8688
Vitaly Yu. Ovsyannikov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:ows2003@mail.ru">ows2003@mail.ru</a>	 0000-0001-9388-6303
Nikolay Yu. Sitnikov	<sup>2</sup>	<a href="mailto:sit-work@yandex.ru">sit-work@yandex.ru</a>	 0000-0002-3690-6336
Alexey R. Bubnov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:alex.bunov.97@mail.ru">alex.bunov.97@mail.ru</a>	 0000-0001-6532-5509
Alexander S. Dubrovin	<sup>1</sup>	<a href="mailto:kenjirun@mail.ru">kenjirun@mail.ru</a>	 0000-0003-0167-7235

<sup>1</sup> Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia<sup>2</sup> LLC "RUSMIT", 396350, Voronezh region, Kashirsky district, Kashirskoe village, st. Mira, 20, office 1

**Abstract.** Amidomineral granulated beet pulp is a product that can be used as a compound feed for feeding cattle, and as a feed additive in the production of compound feeds. Amidomineral granulated beet pulp, compared with fresh and dry pulp, is richer and saturated with various additives that will positively affect the appetite and weight gain of animals. Amidomineral beet pulp, in order to improve transportation and storage, makes sense in granulation. Thus, mathematical methods of experiment planning are used to study the interaction of various factors affecting the process of granulation of amidomineral beet pulp. A mathematical description of this process can be obtained empirically. At the same time, his mathematical model has the form of a regression equation found by statistical methods based on experiments. As a result of statistical processing of experimental data, regression equations were obtained that adequately describe the process of granulation of amidomineral beet pulp in the B6-DVG granulator. As a result of the conducted research, the modernization of this equipment is proposed.

**Keywords:** granulation, static model, amidomineral pulp, rational parameters, modernization**Введение**

Получение амидоминарального гранулированного свекловичного жома поможет решить ряд задач развития сельского хозяйства и защиты экологии окружающей среды.

Для цитирования

Дранников А.В., Овсянников В.Ю., Ситников Н.Ю., Бубнов А.Р., Дубровин А.С. Определение рациональных режимов работы пресс-гранулятора при производстве амидоминарального гранулированного свекловичного жома // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 1. С. 17–23. doi:10.20914/2310-1202-2022-1-17-23

For citation

Drannikov A.V., Ovsyannikov V.Yu., Sitnikov N.Yu., Bubnov A.R., Dubrovin A.S. Determination of rational modes of operation of the press granulator in the production of amidomineral granulated beet pulp. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 1. pp. 17–23. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-1-17-23

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

По своему химическому составу – сухой свекловичный жом это: около 45% целлюлозы, и около 50% веществ на основе пектина. Содержание протеина – около 2%, сахаров – до 0,7%. Влажность не превышает 14%. прочая доля приводится на зольные и минеральные элементы, а также органические кислоты и витаминopodobные соединения.

Основным применением представляется – использование его в кормовых целях выкармливания КРС и остальных животных. По уровню питательности, он сопоставим с силосом кукурузы. Между тем, кормление сухим свекловичным жомом особенно уместно в сочетании с пробиотиками. Это необходимо ввиду того, что в нем содержится большое процентное наличие клетчатки.

При процедуре гранулирования к сухому свекловичному жому может быть добавлена меласса и другие добавки. Эта позволяет значительно улучшить кормовую питательность продукта.

### Материалы и методы

Для исследования взаимодействия различных факторов, влияющих на процесс гранулирования амидоминаерального свекловичного жома, применяются математические методы планирования эксперимента. Математическое описание данного процесса может быть получено эмпирически. При этом его математическая модель имеет вид уравнения регрессии, найденного статистическими методами на основе экспериментов.

Математическая модель изучаемого процесса представлена в виде полинома второй степени:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i X_i + \sum_{i=1}^n b_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j}^n b_{ij} X_i X_j \quad (1)$$

где  $b_0$  – свободный член уравнения, равный средней величине отклика при условии, что рассматриваемые факторы находятся на средних, «нулевых», уровнях;  $X$  – масштабированные значения факторов, которые определяют функцию отклика и поддаются варьированию;  $b_{ij}$  – коэффициенты двухфакторных взаимодействий, показывающие, насколько изменяется степень влияния одного фактора при изменении величины другого;  $b_{ii}$  – коэффициенты квадратичных эффектов, определяющие нелинейность выходного параметра от рассматриваемых факторов;  $i, j$  – индексы факторов;  $n$  – число факторов в матрице планирования.

Выбираем следующие основные факторы, влияющие на процесс гранулирования амидоминаерального свекловичного жома:

- $x_1$  – зазор между вальцом и матрицей, мм;
- $x_2$  – расход пара в пресс-гранулятор, кг/т;
- $x_3$  – количество поданного продукта, т/ч;
- $x_4$  – количество введенной мелассы, %

Все эти факторы не коррелируемы между собой. Пределы изменения исследуемых факторов приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Пределы изменения входных факторов

Table 1.

Limits of change in input factors

Условия планирования Planning conditions	Кодированное значение Coded value	Значения факторов в точках плана Values of factors in the points of the plan			
		$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$
Основной уровень   Basic level	0	403	1,15	20	2
Интервал варьирования   Variation interval	$\Delta$	15	0,175	15	0,5
Верхний уровень   Top level	+1	418	1,325	27,5	2,5
Нижний уровень   Lower level	-1	388	0,975	7,5	1,5
Верхняя «звездная» точка   Top "star" point	+2	433	1,5	35	3
Нижняя «звездная» точка   Lower "star" point	-2	373	0,8	5	1

### Результаты и обсуждение

Выбор интервалов изменения входных факторов обусловлен технологическими условиями процесса гранулирования амидоминаерального свекловичного жома, а также технико-экономическими показателями процесса [3].

Критериями оценки влияния входных факторов на процесс гранулирования амидоминаерального свекловичного жома являются:  $y_1$  – удельные энергозатраты процесса гранулирования,

отнесенные на 1 т, (кВт×ч) / т;  $y_2$  – крошимость гранул, %.

Выбор критериев оценки  $y$  обусловлен их наибольшей значимостью для процесса гранулирования амидоминаерального жома. Так,  $y_1$  определяет энергоёмкость процесса и является важным показателем в оценке его энергетической эффективности,  $y_2$  определяет крошимость гранул процесса гранулирования. Программа исследования была заложена в матрицу планирования эксперимента.

Для исследования применяем центральное композиционное ротатбельное униформпланирование и полный факторный эксперимент ПФЭ  $2^4$ . Число опытов в матрице планирования для четырех входных параметров равно 32. Порядок опытов рандомизировали посредством таблицы случайных чисел, что исключает влияние неконтролируемых параметров на результаты эксперимента. При их обработке применяем следующие статистические критерии: Кохрена, Стьюдента, Фишера [4]. В результате получаем нелинейные уравнения регрессии, описывающие данный процесс:

$$Y_1 = 105,2 + 0,95X_1 - 1,8558X_2 - 0,6775X_3 - 1,9875X_4 - 0,06667X_1^2 + 0,08333X_2^2 - 0,1041X_3^2 - 0,06667X_4^2 \quad (2)$$

$$Y_2 = 22,2 + 0,4612X_1 - 0,63X_2 - 0,3445X_3 + 1,3804X_4 + 0,02062X_1X_3 + 0,02062X_1X_4 - 0,0826X_1^2 + 0,0298X_2^2 - 0,0576X_3^2 + 0,0298X_4^2 \quad (3)$$

Анализ уравнений регрессии (2) и (3) позволяет выделить факторы, влияющие на рассматриваемый процесс. На критерии оценки наибольшее влияние оказывает количество введенной мелассы, наименьшее – количество

поданного продукта. Причем знак «плюс» перед коэффициентом при линейных членах указывает на то, что при увеличении входного параметра значение выходного параметра увеличивается.

Степень влияния параметров относительно друг друга в уравнении:

$$b_1 : b_2 = 0,51; b_1 : b_3 = 1,4; b_1 : b_4 = 0,47; b_3 : b_2 = 0,36; b_3 : b_4 = 0,34; b_2 : b_4 = 0,93. \quad (4)$$

Степень влияния параметров относительно друг друга в уравнении

$$b_1 : b_2 = 0,73; b_1 : b_3 = 1,338; b_1 : b_4 = 0,33; b_3 : b_2 = 0,55; b_3 : b_4 = 0,249; b_2 : b_4 = 0,45 \quad (5)$$

Полученные уравнения нелинейные.

В результате выполнения тридцати двух опытов получена информация о влиянии факторов и построена математическая модель процесса, позволяющая рассчитать удельные энергозатраты и крошимость гранул внутри выбранных интервалов варьирования входных факторов.

На рисунках 1–4. показаны кривые равных значений выходных параметров, которые несут смысл номограмм и представляют практический интерес.

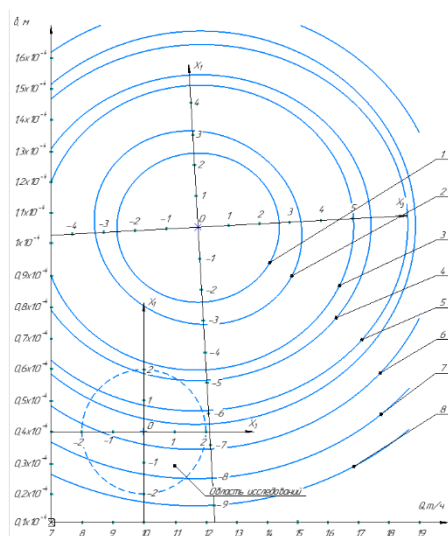


Рисунок 1. Кривые равных значений удельных энергозатрат от зазора между вальцом и матрицей  $\delta$ , м и количеством поданного продукта в пресс-гранулятор,  $Q$ , т/ч: 1–100; 2–101,25; 3–102,5; 4–103,75; 5–105; 6–106,25; 7–107,5; 8–108,7; 9–110

Figure 1. Curves of equal values of specific energy consumption from the gap between the roller and the matrix  $\delta$ , m and the quantity of the product fed into the press granulator,  $Q$ , t/h: 1–100; 2–101,25; 3–102,5; 4–103,75; 5–105; 6–106,25; 7–107,5; 8–108,75; 9–110

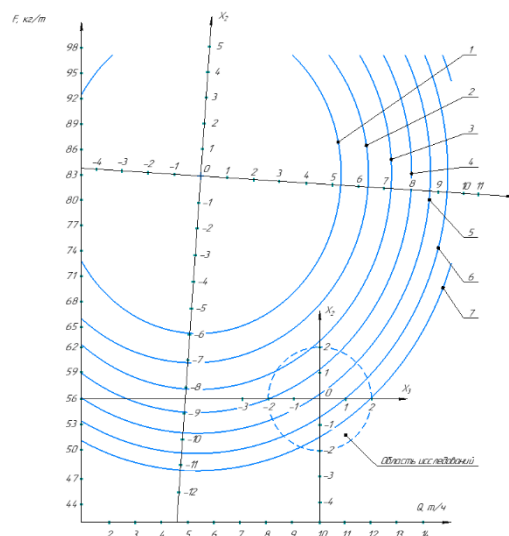


Рисунок 2. Кривые равных значений удельных энергозатрат от расхода пара  $F$ , кг/т и количеством поданного продукта в пресс-гранулятор,  $Q$ , т/ч: 1–100; 2–101,25; 3–102,5; 4–103,75; 5–105; 6–106,25; 7–107,5; 8–108,75; 9–110

Figure 2. Curves of equal values of specific energy consumption from steam consumption  $F$ , kg/t and the amount of product fed into the press granulator  $Q$ , t/h: 1–100; 2–101,25; 3–102,5; 4–103,75; 5–105; 6–106,25; 7–107,5; 8–108,75; 9–110

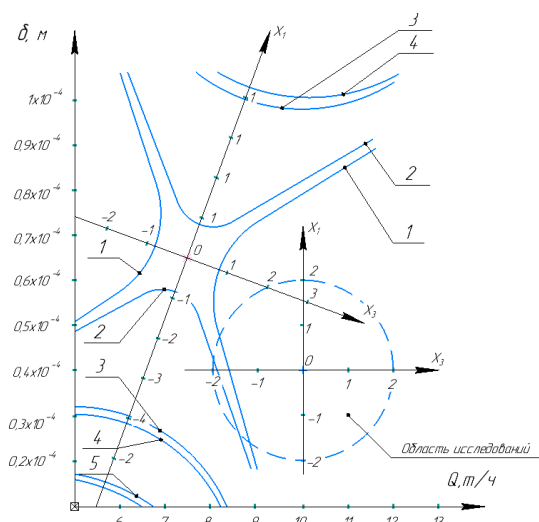


Рисунок 3. Кривые равных значений крошимости от зазора между вальцом и матрицей  $\delta, m$  и количеством поданного продукта в пресс-гранулятор,  $Q$ , т/ч: 1–19,5; 2–20,25; 3–21; 4–21,75; 5–22,5; 6–23,25; 7–24; 8–24,75; 9–25,5

Figure 3. Curves of equal values of crumbling from the gap between the roller and the matrix  $\delta, m$  and the amount of product fed into the press granulator,  $Q$ , t/h: 1–19,5; 2–20,25; 3–21; 4–21,75; 5–22,5; 6–23,25; 7–24; 8–24,75; 9–25,5

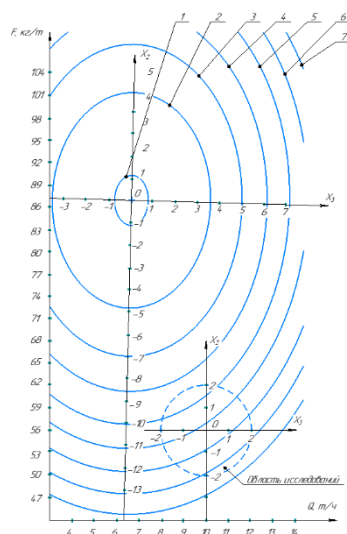


Рисунок 4. Кривые равных значений крошимости от расхода пара  $F$ , кг/т и количеством поданного продукта в пресс-гранулятор,  $Q$ , т/ч: 1–19,5; 2–20,25; 3–21; 4–21,75; 5–22,5; 6–23,25; 7–24; 8–24,75; 9–25,5

Figure 4. Curves of equal values of crumbling from steam consumption  $F$ , kg/t and the amount of product fed into the press granulator,  $Q$ , t/h: 1–19,5; 2–20,25; 3–21; 4–21,75; 5–22,5; 6–23,25; 7–24; 8–24,75; 9–25,5

Задача оптимизации сформулирована следующим образом: найти такие режимы работы пресс-гранулятора, которые бы в широком диапазоне изменения входных параметров

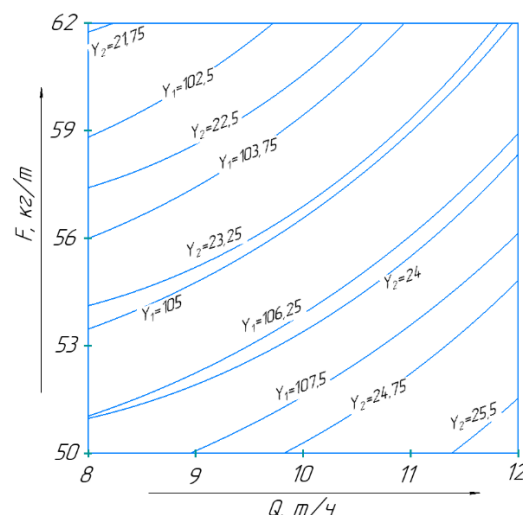


Рисунок 5. Номограмма для определения удельных энергозатрат  $y_1$  и крошимости  $y_2$  в зависимости от расхода пара и количества поданного продукта в пресс-гранулятор

Figure 5. Nomogram for determining specific energy consumption  $y_1$  and crumbling  $y_2$  depending on the steam consumption and the amount of product fed into the press granulator

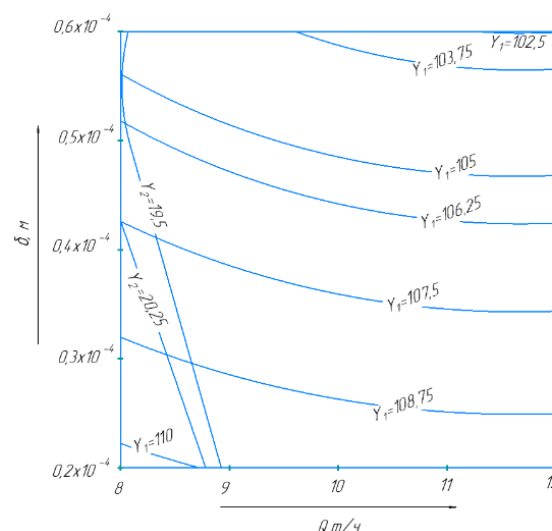


Рисунок 6. Номограмма для определения удельных энергозатрат  $y_1$  и крошимости  $y_2$  в зависимости от зазора между вальцом и матрицей и количества поданного продукта в пресс-гранулятор

Figure 6. Nomogram for determining specific energy consumption  $y_1$  and crumbling  $y_2$  depending on the gap between the rollers and the matrix and the amount of product fed into the press granulator

процесса гранулирования. На рисунках 1–4 представлены зависимости удельных энергозатрат и крошимости от входных параметров. удельных энергозатрат и максимум.

Общая математическая постановка задачи оптимизации представлена в виде следующей модели:

$$\begin{aligned} q &= q(Y_1, Y_2) \xrightarrow{x \in D} \text{opt}; \\ D: Y_1(X_1, X_2, X_3, X_4) &\xrightarrow{x \in D} \min \\ Y_2(X_1, X_2, X_3, X_4) &\xrightarrow{x \in D} \max; \\ Y_i &\geq 0, i = \overline{1, 2}; X_j \leq [-2; 2], j = \overline{1, 4} \end{aligned} \quad (6)$$

Согласно критерию оптимизации для принятия окончательного решения по выбору оптимальных режимов исследуемого процесса была решена компромиссная задача (таблица 2).

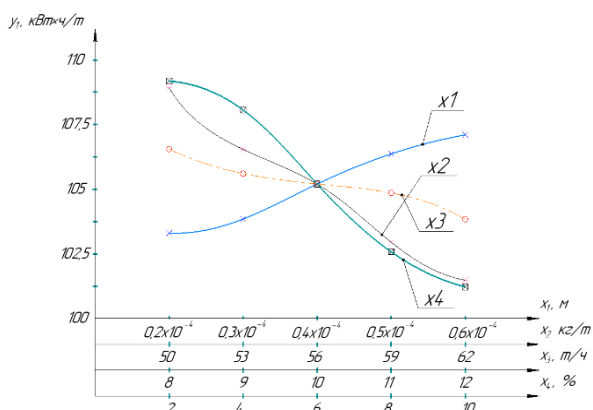


Рисунок 7. Зависимость удельных энергозатрат от входных параметров.

Figure 7. The dependence of the specific energy consumption on the input parameters.

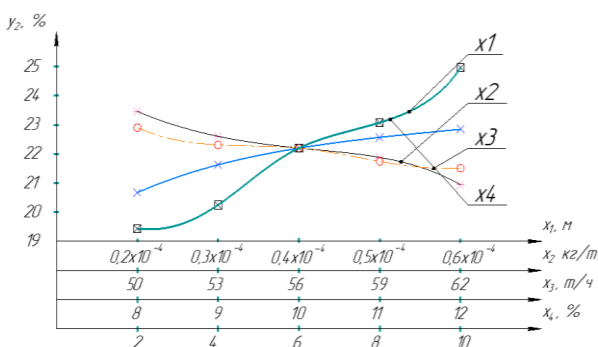


Рисунок 8. Зависимость влагонапряжения сушильного барабана от входных параметров.

Figure 8. The dependence of the moisture voltage of the drying drum on the input parameters.

Таблица 2.

Оптимальные интервалы параметров

Table 2.

Optimal parameter intervals

$Y_i$	$x_1, \text{ M}$		$x_2 \text{ кг/т}$		$x_3, \text{ т/ч}$		$x_4, \%$	
	min	max	min	max	min	max	min	max
$Y_1$	$0,2 \cdot 10^{-4}$	$0,4 \cdot 10^{-4}$	56	62	11	12	2	6
$Y_2$	$0,2 \cdot 10^{-4}$	$0,4 \cdot 10^{-4}$	59	62	10	12	6	10

В результате были получены рациональные интервалы изменения параметров:

$$\begin{aligned} x_1 &= (0,2 \dots 0,4) \cdot 10^{-4} \text{ м} \\ x_2 &= 56 \dots 62 \text{ кг/т} \\ x_3 &= 10 \dots 12 \text{ т/ч} \\ x_4 &= 2 \dots 10 \% \end{aligned} \quad (7)$$

Для проверки правильности результатов был поставлен ряд параллельных экспериментов. Полученные результаты попадали в рассчитанные доверительные интервалы по всем критериям качества. При этом среднеквадратичная ошибка не превышала 5,4%.

Для интенсификации процесса гранулирования и повышения качества готового материала, предложена конструкция пресс-гранулятора с возможностью подачи пара непосредственно к месту контакта материала и прессующего ролика, а также возможностью регулирования силы прижатия прессующих роликов к материалу.

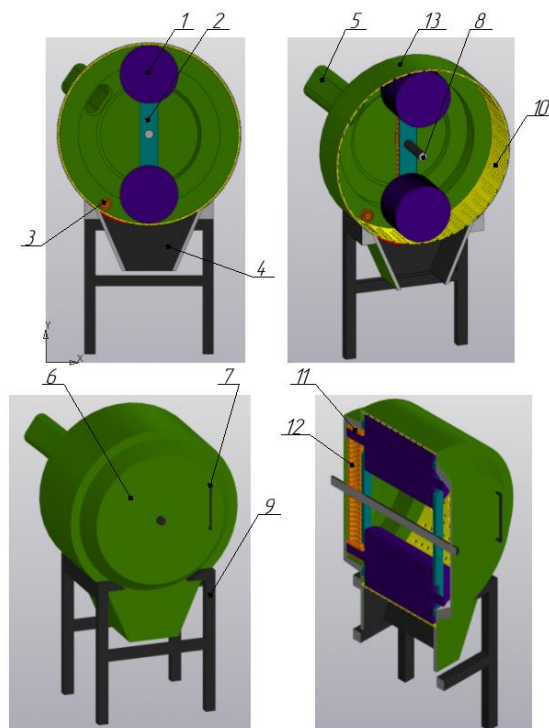


Рисунок 9. Конструкция пресс-гранулятора с подводом пара и устройством регулирования силы прижатия ролика к материалу: 1-ролик; 2-направляющая роликов; 3-форсунка для ввода пара; 4-разгрузочный патрубок; 5-загрузочное устройство; 6 – дверца; 7-ручка; 8-вал; 9-стойка; 10 – перфорированный барабан; 11-прижимная площадка; 12-пружина

Figure 9. The design of a press granulator with steam supply and a device for regulating the force of pressing the roller to the material: 1-roller; 2-roller guide; 3-steam nozzle; 4-discharge nozzle; 5-loader; 6-door; 7-handle; 8-shaft; 9-post; 10-perforated drum; 11-pressure platform; 12-spring.

Пресс-гранулятор работает следующим образом.

Материал подаётся в загрузочное устройство 5 и попадает в рабочую зону гранулятора, которая состоит из корпуса 13 и перфорированного барабана 10.

При попадании продукта на поверхность барабана, он форсунками для ввода пара размягчается, и роликами 1 продавливается через отверстия барабана, после чего по разгрузочному патрубку 4 выводится из пресс-гранулятора.

Рабочим органом пресс-гранулятора являются ролики, которые установлены на валу 8, и приводятся в вращение под действием привода.

Для очистки и промывки пресс-гранулятора имеется дверца 6, а для установки имеется стойка 9.

Пресс-гранулятор отличается тем, что:

1) имеет направляющие 2 по которым с помощью пружин 12 определяется усилие на материал роликами, так что пружина сжимается при большой загрузке материала, позволяя ролику прокатом сначала выровнять слой продукта, а далее выдавить его через отверстия в барабане. Пружины зафиксированы на прижимных площадках 11.

2) В корпус барабана вмонтирована форсунка пара, которая впрыскивает пар непосредственно в слой продукта перед воздействием ролика на продукт.

### Заключение

Предложенная модель пресс-гранулятора позволит улучшить качество продукта и снизить энергозатраты при производстве гранул.

### Литература

- 1 Дранников А.В., Квасов А.В., Бубнов А.Р., Костина Д.К. К вопросу разработки технологии амидоминарального гранулированного свекловичного жома // Инженерия техники будущего пищевых технологий: материалы Международной научно-технической конференции. Воронеж: ВГУИТ, 2018. С. 277–279.
- 2 Пат. № 2674609, RU, A26K 10/30, A23K 10/37. Способ производства амидоминарального гранулированного свекловичного жома и линия для его осуществления / Дранников А.В., Шевцов А.А., Квасов А.В., Бубнов А.Р., Костина Д.К. № 2017146690; Заявл. 28.12.2017; Опубл. 11.12.2018, Бюл. № 35.
- 3 Ковриков И.Т., Кириленко А.С. Повышение производительности пресс-грануляторов путем ограничения рабочего пространства дополнительными контактными поверхностями // Известия вузов пищевая технология. 2011. № 5–6.
- 4 Ладыгин Е.Л. Оптимизация конструктивных и технологических параметров одноматричного шестеренного пресса // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2012. № 4(08). С. 151–160.
- 5 Макаренко Д.А., Назаров В.И. Исследование процессов гранулирования комплексных удобрений с учетом физико-химических и реологических свойств компонентов // Вестник МГОУ. Серия «Ес – 126 тестовые науки». 2012. № 2. С. 49–54.
- 6 Скидело В.В. Технологический процесс гранулирования комбикорма шестеренным гранулятором с горизонтальными равновеликими колёсами матрицами // Вестник АПК Ставрополя. 2016. № 3. С. 68.
- 7 Мюллер О.Д., Мелехов В.И., Любов В.К., Тюркова Т.В. Математическая модель процесса формирования древесных гранул // Лесной журнал. 2015. № 2. С. 104–122.
- 8 Алексеев Г.В., Гончаров М.В., Лей А.Г., Кривоустов В.В. Численные подходы к моделированию процесса жснандирования // Вестник ВГУИТ. 2017. № 79(2), С. 53–60. doi: 10.20914/2310-1202-2017-2-53-60
- 9 Новоселов А.Г., Гуляева Ю.Н., Дужий А.Б., Сивенков А.В. Разработка и проектирование ферментационного оборудования для аэробного культивирования одноклеточных микроорганизмов. СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. 91 с.
- 10 Скидело В.В., Шербина В.И. Компактный гранулятор для крестьянских фермерских хозяйств // Сельский механизатор. 2011. №. 12.
- 11 Алексеев С.В., Усков Г.Е., Гончаров С.В. Влияние комбикормов с БВМК на молочную продуктивность коров // Аграрный вестник Урала. 2010. № 5 (71). С. 74–74.
- 12 Афанасьев В.А., Киселев А.А. Разработка технологии влажного прессования углеводно-витаминно-минеральных добавок с повышением содержания мелассы // Вестник ВГУИТ. 2015. № 1 (63). С. 70–73.
- 13 Афанасьев В.А., Денисов О.В., Киселев А.А. Проектирование, конструирование и разработка современного оборудования для комбикормовых предприятий // Инновационное развитие техники пищевых технологий: материалы Международной научнотехнической конференции. Воронеж, 2015. С. 220–224.
- 14 Guofeng W., Yuanjuan G., Dezhi R., Zhao J. et al. Research on dust control of mobile straw granulator // Computers and Electronics in Agriculture. 2021. V. 189. P. 106375. doi: 10.1016/j.compag.2021.106375
- 15 Ветюгов А.В., Богородский А.В., Безлепкин В.А., Романов В.П. и др. Расчет основных параметров процесса гранулирования в новой установке для получения гранул // Огнеупоры и техническая керамика. 2012. № 10. С. 32–38.
- 16 Киселев А.А., Аникин А.А., Чернухин Ю.В. Математическая модель течения расплава в канале гранулятора // Вестник ВГУИТ. 2016. № 1 (67). С. 11–15.
- 17 Ковриков И.Т., Кириленко А.С. Повышение производительности прессгрануляторов путем ограничения рабочего пространства дополнительными контактными поверхностями // Известия вузов. Пищевая технология. 2011. № 5–6. С. 78–81.
- 18 Шевцов А.А., Дранников А.В., Востроилов А.В., Курчаева Е.Е., Дерканосова А.А., Торшина А.А. Разработка технологии получения высокоэффективных полнорационных гранулированных комбикормов // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 2. С. 137–145. doi:10.20914/2310-1202-2020-2-137-145
- 19 Pelletizing //Desmet Ballestra Stolz. URL: [http://www.desmetballestrastolz.com/PDF/gb\\_pelletizing.pdf](http://www.desmetballestrastolz.com/PDF/gb_pelletizing.pdf)
- 20 The Pelletizing Process // California Pellet Mill Co. URL: [http://www.cpm.net/images/download\\_files/file1251467542.pdf](http://www.cpm.net/images/download_files/file1251467542.pdf)
- 21 Ковриков И.Т., Кириленко А.С. Математическая модель напряженного состояния растительного материала в цилиндрических фильерах матрицы прессгранулятора // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2013. № 2 (298). С. 25–34.

### References

- 1 Drannikov A.V., Kvasov A.V., Bubnov A.R., Kostina D.K. On the issue of developing technology for amido-mineral granulated beet pulp. Engineering technology for the future of food technologies: materials of the International Scientific and Technical Conference. Voronezh, VSUET, 2018. pp. 277–279. (in Russian).

- 2 Drannikov A.V., Shevtsov A.A., Kvasov A.V., Bubnov A.R. et al. A method for the production of amido-mineral granulated beet pulp and a line for its implementation. Patent RF, no. 2674609, 2018. (in Russian).
- 3 Kovrikov I.T., Kirilenko A.S. Improving the productivity of press granulators by limiting the working space with additional contact surfaces. *Izvestiya vuzov pishchevaya tekhnologiya*. 2011. no. 5–6. (in Russian).
- 4 Ladygin E.L. Optimization of design and technological parameters of a single-matrix gear press. *Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems*. 2012. no. 4(08). pp. 151–160. (in Russian).
- 5 Makarenkov D.A., Nazarov V.I. Study of the processes of granulation of complex fertilizers, taking into account the physicochemical and rheological properties of the components. *Vestnik MGOU. Series "EU - 126 natural sciences"*. 2012. no. 2. pp. 49–54. (in Russian).
- 6 Skidelo V.V. Technological process of compound feed granulation by a gear granulator with horizontal equal-sized wheels matrices. *Bulletin of the APK of Stavropol*. 2016. no. 3. pp. 68. (in Russian).
- 7 Muller O.D., Melekhov V.I., Lyubov V.K., Tyurikova T.V. Mathematical model of the wood pellet formation process. *Forest Journal*. 2015. no. 2. pp. 104–122. (in Russian).
- 8 Alekseev G.V., Goncharov M.V., Leu A.G., Krivopustov V.V. Numerical approaches to modeling the process of zhsnandirovaniya. *Proceedings of VSUET*. 2017. no. 79(2). pp. 53–60. doi: 10.20914/2310-1202-2017-2-53-60 (in Russian).
- 9 Novoselov A.G., Gulyaeva Yu.N., Duzhiy A.B., Sivenkov A.V. Development and design of fermentation equipment for aerobic cultivation of unicellular microorganisms. St. Petersburg, NRU ITMO; IKiBT, 2014. 91 p. (in Russian).
- 10 Skidelo V.V., Shcherbina V.I. Compact granulator for peasant farms. *Rural mechanic*. 2011. no. 12. (in Russian).
- 11 Alekseev S.V., Uskov G.E., Goncharov S.V. Influence of compound feeds with BVMK on the milk productivity of cows. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2010. no. 5 (71). pp. 74–74. (in Russian).
- 12 Afanasiev V.A., Kiselev A.A. Development of technology for wet pressing of carbohydrate-vitamin-mineral additives with an increase in the content of molasses. *Proceedings of VSUET*. 2015. no. 1 (63). pp. 70–73. (in Russian).
- 13 Afanasiev V.A., Denisov O.V., Kiselev A.A. Design, construction and development of modern equipment for feed mills. *Innovative development of food technology technology: materials of the International Scientific and Technical Conference. Voronezh*, 2015. pp. 220–224. (in Russian).
- 14 Guofeng W., Yuanjuan G., Dezhi R., Zhao J. et al. Research on dust control of mobile straw granulator. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021. vol. 189. pp. 106375. doi: 10.1016/j.compag.2021.106375
- 15 Vetyugov A.V., Bogorodsky A.V., Bezlepkin V.A., Romanov V.P. Calculation of the main parameters of the granulation process in a new installation for the production of granules. *Refractory materials and technical ceramics*. 2012. no. 10. pp. 32–38. (in Russian).
- 16 Kiselev A.A., Anikin A.A., Chernukhin Yu.V. Mathematical model of the melt flow in the granulator channel. *Proceedings of VSUET*. 2016. no. 1 (67). pp. 11–15. (in Russian).
- 17 Kovrikov I.T., Kirilenko A.S. Improving the productivity of press granulators by limiting the working space with additional contact surfaces. *Izvestiya vuzov. Food technology*. 2011. no. 5–6. pp. 78–81. (in Russian).
- 18 Shevtsov A.A., Drannikov A.V., Vostroilov A.V., Kurchaeva E.E., Derkanosova A.A., Torshina A.A. Development of technology for obtaining highly efficient complete granulated feed stuff. *Proceedings of VSUET*. 2020. vol. 82. no. 2. pp. 137–145. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2020-2-137-145
- 19 Pelletizing. Desmet Ballestra Stolz. Available at: [http://www.desmetballestrastolz.com/PDF/gb\\_pelletizing.pdf](http://www.desmetballestrastolz.com/PDF/gb_pelletizing.pdf)
- 20 The Pellet Process. California Pellet Mill Co. Available at: [http://www.cpm.net/images/download\\_files/file1251467542.pdf](http://www.cpm.net/images/download_files/file1251467542.pdf)
- 21 Kovrikov I.T., Kirilenko A.S. Mathematical model of the stress state of plant material in the cylindrical die of the press granulator matrix. *Fundamental and applied problems of engineering and technology*. 2013. no. 2 (298). pp. 25–34. (in Russian).

## Сведения об авторах

**Алексей В. Дранников** д.т.н., декан, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, drannikov@list.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-3060-8688>

**Виталий Ю. Овсянников** д.т.н., профессор, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ovs2003@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-9388-6303>

**Николай Ю. Ситников** к.т.н., директор по комбикормовому производству, ГК РУСМИТ, ул. Мира, Каширское, Воронежская обл., 396350, Россия, sit-work@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-3690-6336>

**Алексей Р. Бубнов** аспирант, ассистент, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, alex.bunov.97@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-6532-5509>

**Александр С. Дубровин** студент, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kenjirun@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-0167-7235>

## Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Information about authors

**Alexey V. Drannikov** Dr. Sci. (Engin.), dean, machines and apparatuses of food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, drannikov@list.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-3060-8688>

**Vitaly Yu. Ovsyannikov** Dr. Sci. (Engin.), professor, machines and apparatuses of food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ovs2003@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-9388-6303>

**Nikolay Yu. Sitnikov** Cand. Sci. (Engin.), feed production director, GK RUSMIT, st. Mira, Kashirskoe, Voronezh region, 396350, Russia, sit-work@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-3690-6336>

**Alexey R. Bubnov** graduate student, assistant, machines and apparatuses of food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, alex.bunov.97@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-6532-5509>

**Alexander S. Dubrovin** student, machines and apparatuses of food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kenjirun@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-0167-7235>

## Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 13/01/2022	После редакции 07/02/2022	Принята в печать 28/02/2022
Received 13/01/2022	Accepted in revised 07/02/2022	Accepted 28/02/2022