

УДК 631.3

Теоретическое и экспериментальное обоснование параметров процесса получения качественного гранулята

Доценко С.М.¹, Школьников П.Н.², Ковалева Л.А.¹, Школьников М.А.²

¹Амурский государственный университет

²Дальневосточный государственный аграрный университет

Аннотация

В статье предложена структурная схема подсистемы заготовки качественных формовано-прессованных гранул, для которой теоретическим и экспериментальным путем обоснованы принципы и параметры получения качественных гранул. На основании новых научных данных разработана и спроектирована линия приготовления и заготовки качественных гранул.

Ключевые слова: КОРМОВАЯ БАЗА, ЗАГОТОВКА, КАЧЕСТВЕННЫЕ ГРАНУЛЫ, ПОДСИСТЕМА, СУХОЕ ВЕЩЕСТВО, СХЕМА, ПАРАМЕТРЫ, КРИТЕРИИ

Введение

Создание прочной кормовой базы для производства животноводческой продукции остается ключевой проблемой для товаропроизводителей, в том числе и малых форм хозяйствования.

Для решения данной проблемы разработано и используется множество схем и способов заготовки кормов, которые не всегда адаптированы к размеру предприятий, связанных с производством продукции [1, 2].

При этом перспективным направлением в решении данной проблемы является получение кормовых продуктов высокого качества в их прессованной форме [3-7].

Целью исследований является обоснование параметров процесса получения качественного гранулята в подсистеме заготовки кормов.

Задачи исследований:

- разработать структурную схему подсистемы уборки и заготовки формованно-прессованных кормов;
- получить аналитическую модель, характеризующую основные принципы получения качественных гранул;
- посредством экспериментально полученных математических моделей обосновать оптимальные значения параметров для процессов усреднения влаги в формируемых композициях, а также процесса формирования гранул;
- разработать технологическую и конструктивную схему процесса производства и заготовки качественных гранул.

На исследование поставлена подсистема (рис. 1), которая включает в себя структурные элементы по уборке зеленой массы заготовки бобовых культур в фазе их молочно-восковой спелости, а также заготовке в гранулированной или брикетированной форме.

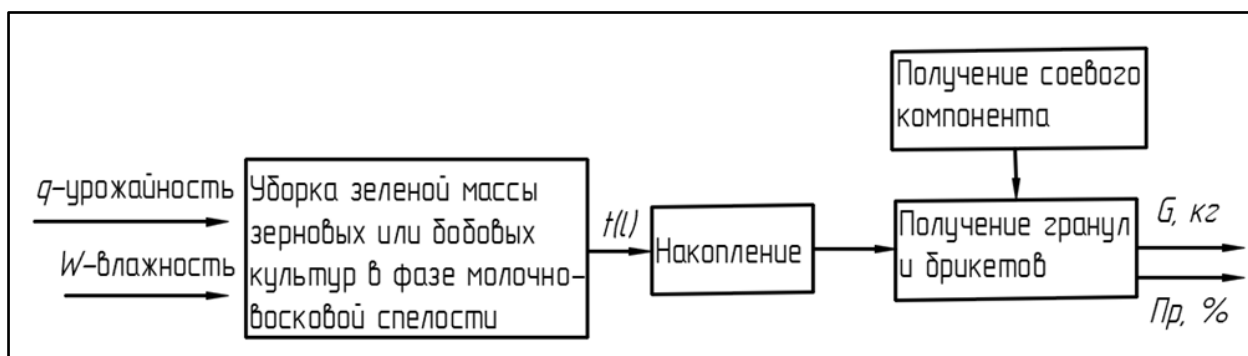


Рис. 1. Структурная схема подсистемы уборки и заготовки формовано-прессованных кормов

В качестве параметрическо-функциональной модели, представленной на рис. 1 системы принят функционал, характеризующий наличие в исходном сырье наименьшее количество влаги – V , % и наибольшее – питательных веществ для фазы молочно-восковой спелости или бутонизации:

$$V = f\{\psi(x_i)\} \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$C_B = f\{\varphi(x_i)\} \rightarrow \max,$$

где $\psi(x_i)$ – функционал, характеризующий закономерность распределения влаги в определенном объеме измельченной зеленой массы;

$\varphi(x_i)$ – функционал, характеризующий закон распределения питательных веществ в определенном объеме измельченной зеленой массы.

Первую составляющую системы уравнений (1) можно представить как

$$\psi(x_i) = 100[1 - \exp(-bx_i^m)]^m, \quad (2)$$

где b, m – опытные константы;

x_i – среднее значение влаги, содержащееся в частицах с максимальным ее наличием по длине стебля растений.

При этом характер зависимостей (1) и (2) определяется наличием в зеленой массе питательных веществ, размер частиц в которой обусловлен степенью дезинтеграции исходных стеблей растений с определенным содержанием влаги $V, \%$.

Степень наличия частиц органического вещества, минеральных солей и других биологически активных веществ в структурной водной среде частиц зеленой массы определено общим понятием «сухое вещество» (СВ). Поэтому, говоря о влажности измельченной зеленой массы, характеризуем ее питательный состав в виде относительного содержания СВ.

Тогда второй функционал системы уравнений (1) можно принять в виде экспоненциально-степенной зависимости:

$$\varphi(x_i) = 100 \exp(-bx_i^m), \quad (3)$$

где x_i – среднее значение СВ, содержащегося в частицах с максимальным их наличием по длине стеблей растений.

Изложенное выше характеризуется видом кривых, в принятой системе координат (рис. 2).

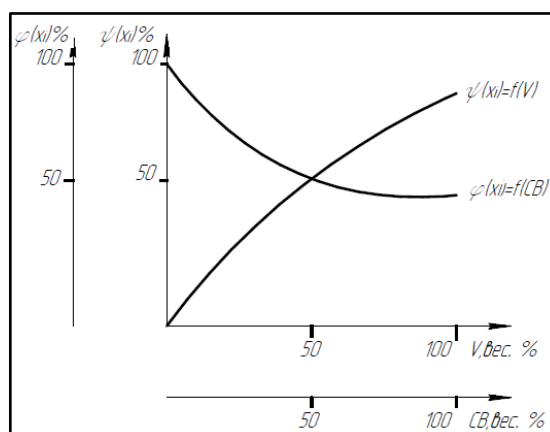


Рис. 2. К обоснованию содержания влаги и СВ в стеблях растений

Для представленных на рис. 2 кривых по уравнениям (2) и (3) необходимо определить значения коэффициентов b и m .

Для исходных уравнений $\varphi(x_1) = 100\exp(-bx_1^m)$ и $\varphi(x_2) = 100\exp(-bx_2^m)$ имеем, что

$$\ln[100\psi(x_1)^{-1}] = bx_1^m \quad (4)$$

$$\ln[100\psi(x_2)^{-1}] = bx_2^m$$

Из системы уравнений (4) получаем

$$b = \ln[100\psi(x)^{-1}] x^{-m} \quad (5)$$

Для нахождения второго коэффициента m примем соотношение:

$$\ln[100\psi(x_2)^{-1}] = bx_1^m / \ln[100\psi(x_1)^{-1}] = \left(\frac{x_2}{x_1}\right)^m \quad (6)$$

После соответствующих преобразований равенства (6) получаем:

$$\lg\{\lg [100\psi(x_2)/100\psi(x_1)]\} = m \lg\left(\frac{x_2}{x_1}\right) \quad (7)$$

И, окончательно:

$$m = \frac{\lg\lg [100\psi(x_2)^{-1}] - \lg\lg [100\psi(x_1)^{-1}]}{\lg x_2 - \lg x_1} \quad (8)$$

Характер колебаний влаги и, соответственно, наличия сухих веществ в стеблях растений, а также в измельченной зеленой массе можно определить с помощью коэффициента вариации, характеризующего равномерность распределения влаги и СВ в измельченной зеленой массе (скошенной) через среднеквадратичное отклонение σ .

Значение величины $\sigma_{V(CB)}$ определим через корреляционную функцию $R_{V(CB)}$

$$-\sigma_V = \left\{ M \left\{ \left[T_k^{-1} \int_0^{T_k} V_k(T_k) dt - V_{cp} \right]^2 \right\} \right\}^{0,5} = \left\{ T_k^{-2} \int_0^{T_{k1}} \int_0^{T_k} R_V (T_k - T'_k) dt dt' \right\}^{0,5} \quad (9)$$

$$-\sigma_{CB} = \left\{ M \left\{ \left[T_k^{-1} \int_0^{T_k} CB_k(T_k) dt - CB_{cp} \right]^2 \right\} \right\}^{0,5} = \left\{ T_k^{-2} \int_0^{T_{k1}} \int_0^{T_k} R_{CB} (T_k - T'_k) dt dt' \right\}^{0,5}, \quad (10)$$

где $T_k - T'_k = \Delta T$ – интервал корреляции по продолжительности скашивания зеленой массы. При этом корреляционная функция для ΔT имеет вид:

$$R_{V(CB)}(\Delta t) = \sigma_{V(CB)}^2 e^{-\varphi/\Delta T}, \quad (11)$$

где $\sigma_{V(CB)}^2$ – дисперсия колебаний V и CB в измельченной зеленой массе;

φ – параметр функции, учитывающий характер ее убывания.

Зависимость (11) преобразуем относительно параметра $\sigma_{V(CB)}$:

$$\sigma_{V(CB)} = \sqrt{\frac{R_{V(CB)}}{e^{-\varphi/\Delta T_0}}} \quad (12)$$

Окончательно имеем, что:

$$\Theta_V = 100 \sqrt{\frac{R_V}{e^{-\varphi/\Delta T_0}}} / V_{ср} \quad (13)$$

$$\Theta_{CB} = 100 \sqrt{\frac{R_{CB}}{e^{-\varphi/\Delta T_0}}} / CB_{ср} \quad (14)$$

где Θ_V, Θ_{CB} – соответственно неоднородность измельченной зеленой массы по распределенным в ней влажности или сухих веществ, %.

Результаты исследований

На данном этапе исследований определена совокупность основных факторов, существенно влияющих на процесс смешивания и усреднения влаги в бинарных композициях:

- ω, c^{-1} – угловая скорость валов смесителя-усреднителя;
- $t_{см}, мин$ – продолжительность перемешивания;
- $t_{п}, мм$ – шаг между пальцами на валах.

В качестве критериев оптимизации параметров данного смесителя-усреднителя-гранулятора приняты стандартные критерии оптимизации процесса, такие как:

- $\Theta, \%$ – равномерность распределения влаги смеси компонентов (бинарной композиции);
- $N_{Э}, кВтч/кг$ – энергоёмкость процесса усреднения влаги при получении бинарной композиции.

Математические модели в раскодированном виде:

$$\nu = -46,586 + 1,820\omega + 46,010t_{см} - 10,115t_{п} - 0,437\omega t_{см} + 0,375t_{см}t_{п} + 0,127\omega^2 - 2,073t_{см}^2 + 0,212t_{п}^2 \rightarrow \max; \quad (12)$$

$$N_{Э} = 0,218 - 3,000 \cdot 10^{-2}\omega - 1,348 \cdot 10^{-2}t_{см} + 8,125 \cdot 10^{-3}t_{п} - 5,312 \cdot 10^{-4}\omega t_{п} - 2,812 \cdot 10^{-4}t_{см}t_{п} + 1,872 \cdot 10^{-3}\omega^2 + 9,405t_{см}^2 \rightarrow \min \quad (13)$$

Оптимальные значения параметров процесса находятся в следующих пределах: $\omega = 9,72 - 12,0 c^{-1}$; $t_{см} = 8,96 - 9,60 мин$; $t_{п} = 12 мм$.

При этом $\Theta = 94,31\%$ и $N_{Э} = 0,0632 кВтч/кг$.

Конструкция данного смесителя-гранулятора включает компрессионную камеру, в которой происходит вытеснение воздуха из продукта, за счет создаваемого давления, в связи с чем, структура влажных гранул при их формовании становится однородной по влажности [8–10].

Для этого процесса определена следующая совокупность факторов:

- $\omega_1, \text{с}^{-1}$ – угловая скорость винта гранулятора;
- X_2/l_k , мм – длина компрессионной камеры гранулятора;
- X_3/d_k , мм – диаметр компрессионной камеры гранулятора.

Для оценки данного процесса приняты следующие критерии оптимизации:

- P , МПа – давление в компрессионной камере;
- N_9^y , кВтч/кг – энергоемкость процесса уплотнения продукта в камере.

Математические модели в раскодированном виде:

$$P = 1,596 - 7,187 \cdot 10^{-2} \omega - 2,865 \cdot 10^{-2} l_k + 3,672 \cdot 10^{-2} d_k + 7,187 \cdot 10^{-4} \omega l_k - 6,875 \cdot 10^{-5} l_k d_k + 1,245 \cdot 10^{-4} l_k^2 - 3,148 \cdot 10^{-4} d_k^2 \rightarrow \text{opt}; \quad (14)$$

$$N_9^y = 3,563 \cdot 10^{-2} - 1,495 \cdot 10^{-3} \omega - 3,242 \cdot 10^{-4} l_k + 1,255 d_k - 1,310 \omega d_k + 2,185 \cdot 10^{-6} l_k d_k + 1,075 \cdot 10^{-4} \omega^2 + 1,075 \cdot 10^{-6} l_k^2 - 2,130 \cdot 10^{-6} \rightarrow \text{min} \quad (15)$$

Оптимальные параметры для данного процесса находятся в пределах:

$$\omega = 8,0 - 9,4 \text{ с}^{-1}; \quad l_k = 108,8 - 110,4 \text{ мм}; \quad d_k = 40 - 60 \text{ мм}.$$

При этом $P = 0,624$ МПа и $N_9^y = 0,0147$ кВтч/кг.

На рис. 3 и 4 представлены принципиальная технологическая и конструктивно-технологическая схемы подготовки и приготовления кормовых добавок в виде качественных гранул, разработанные согласно полученным данным.

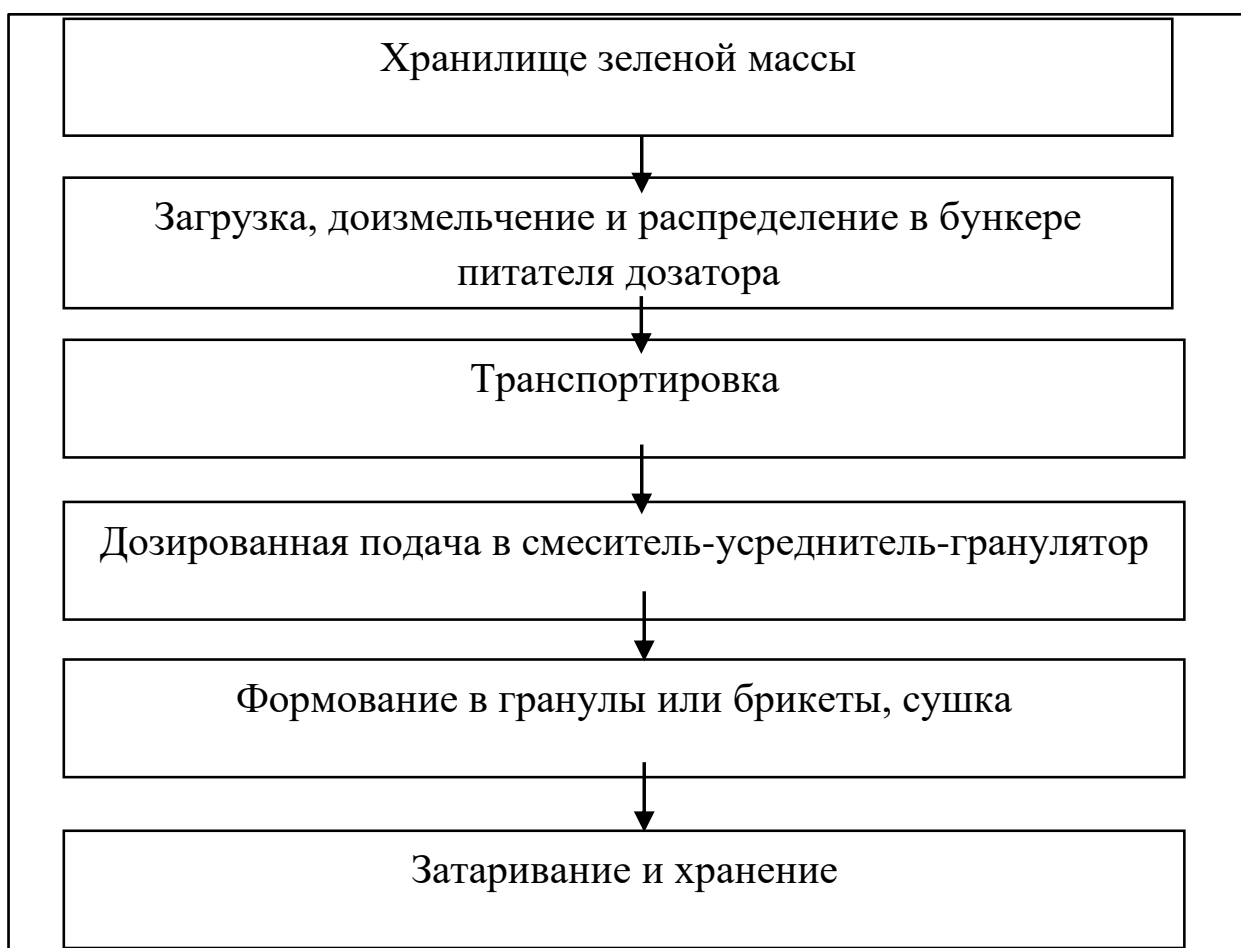


Рис. 3. Технологическая схема подготовки и приготовления формованных кормовых продуктов

Производительность камерной сушилки по сушеному продукту:

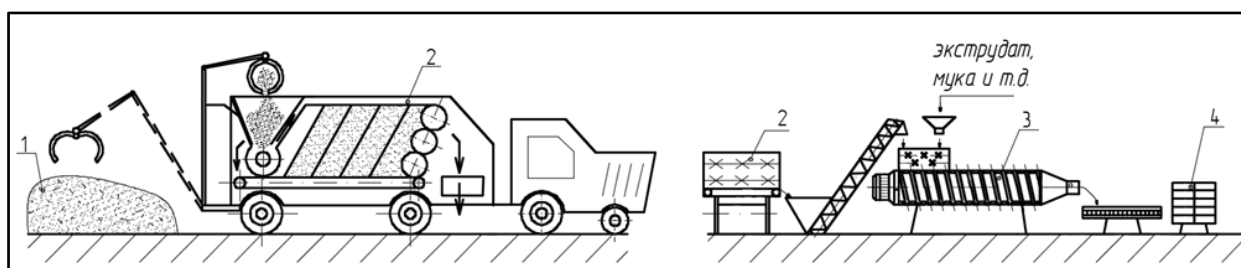


Рис. 4. Конструктивно-технологическая схема подготовки и приготовления кормовых добавок с помощью малогабаритных многооперационных технических средств
Примечание: 1 – хранилище зеленой массы; 2 – мобильный питатель кормов; 3 – смеситель-усреднитель-гранулятор; 4 – сушильная камера ЭСПИС-4-Универсал.

По результатам проведенных исследований предложен ряд высокоэффективных технологических и технических решений [8-15].

Заключение

Для принятой структурной схемы подсистемы уборки и заготовки формовано-прессованных кормов получена аналитическая модель, характеризующая технологические подходы к получению качественных гранул при их заготовке. В основе данной модели лежит принцип реализации возможности и целесообразности выравнивания колебаний влажности в сырьевых потоках, на всех стадиях трансформации сырья. Получены оптимальные параметры предложенной подсистемы заготовки качественного гранулята, которые использованы при проектировании подсистемы данного типа, реализацией которой доказана ее эффективность в производстве.

Список использованных источников:

1. Крохина В.А. и др. Комбикорма, кормовые добавки и ЗЦМ для животных: Состав и применение: Справочник; под ред. В.А. Крохиной. - М.: Агропромиздат, 1990. - 304 с.
2. Смурыгин М.А. и др. Справочник по кормопроизводству; под ред. М.А. Смурыгина. - 2-е издание, переработано и дополнено. - Москва: Агропромиздат, 1985. - 413 с.
3. Dotsenko S.M., Kruchkova L.G., Shkolnikov P.N. Technological approaches to the use of *sosnovsky* hogweed as a component of the feed additive // Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences, Iajps 2019, 06 (04), 7078-7081. Coden [USA]: IAJPBB. ISSN: 2349-7750. URL: <http://www.iajps.com><http://doi.org/10.5281/zenodo.2628895>.
4. Development of a techno-technical system of animal feeding adaptive to farm conditions / S.M. Dotsenko, V.U. Frolov, P.N. Shkolnikov // Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences, Iajps 2019, 06 (05), 9505-9510. Coden [USA]: IAJPBB ISSN: 2349-7750. URL: <http://www.iajps.com> <http://doi.org/10.5281/zenodo.2767731>.
5. Simulation of the process of obtaining highquality mixtures using a conveying and metering machine /S.M. Dotsenko, S.V. Shchitov, P.N. Shkolnikov // Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences, Iajps 2019, 06(05), 9511-9517 Coden [USA]: IAJPBB ISSN: 2349-7750. URL: <http://www.iajps.com><http://doi.org/10.5281/zenodo.276776>.
6. Ways to improve the efficiency of production whole milk replacer / L.G. Kruchkova, A.V. Burmaga, I.V. Bumbar, P.N. Shkolnikov // Indo American Journal of Pharmaceutical Sci-

ences, Iajps 2019, 06 (04), 7043-7046 Coden [USA]: IAJPBB ISSN: 2349-7750. URL: <http://www.iajps.com> <http://doi.org/10.5281/zenodo.2628859>.

7. Substantiation of The Method And Parameters Of The Process Of Grinding Root Crops For Lines For The Preparation Of Granulated Forages/ S.M. Dotsenko, L.G. Kruchkova, P.N. Shkolnikov // Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences, May–June 2018, RJPBCS 9(3) Page No. 737/ ISSN: 0975-8585 Coden.

8. Патент 2727272 Российская Федерация, МПК А23К 10/30 (2016.01); А23К 40/20 (2016.01). Способ приготовления белково-витаминного кормового продукта /С. М. Доценко [и др.]; заявитель и патентообладатель Дальневост. гос. аграр. ун-т. - № 2019131294; Заявл. 02.10.2019; Оpubл. 21.07.2020, Бюл. № 21. - Введ. с 02.10.2019.

9. Патент 2729216 Российская Федерация, МПК А23К 10/30 (2016.01); А23К 40/10 (2016.01). Способ приготовления белково-концентратной добавки / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, Л.Г. Крючкова.; заявитель и патентообладатель Дальневост. гос. аграр. ун-т. - № 2019131287; Заявл. 02.10.2019; Оpubл. 05.08.2020, Бюл. № 22. - Введ. с 02.10.2019.

10. Патент 2729393Российская Федерация, МПК А23К 10/30 (2016.01); А23К 40/10 (2016.01). Способ приготовления белково-витаминного концентрата /С. М. Доценко, П. Н. Школьников, Л. Г. Крючкова; заявитель и патентообладатель Дальневост. гос. аграр. ун-т. - № 2019131291 ; Заявл. 02.10.2019; Оpubл. 06.08.2020, Бюл. № 22. - Введ. с 02.10.2019.

11. Патент 2734264 Российская Федерация, МПК А23К 10/30 (2016.01); А23К 40/10 (2016.01). Способ приготовления белково-углеводного кормового продукта / С. М. Доценко [и др.]; заявитель и патентообладатель Дальневост. гос. аграр. ун-т. - № 2019131296; Заявл. 02.10.2019; Оpubл. 14.10.2020, Бюл. № 29. - Введ. с 02.10.2019.

12. Патент 2727255 Российская Федерация, МПК А23К 10/00 (2016.01). Способ получения белково-кальциево-токофероловой добавки / С. М. Доценко, П. Н. Школьников, Л. Г. Крючкова; заявитель и патентообладатель Дальневост. гос. аграр. ун-т. - № 2019132172 ; Заявл. 10.10.2019; Оpubл. 21.07.2020, Бюл. № 21. - Введ. с 10.10.2019.

13. Патент 2738978 Российская Федерация, МПК А23К 10/30 (2016.01); А23К 10/33 (2016.01); А23К 50/10 (2016.01). Способ получения белково-углеродного продукта для крупного рогатого скота /С. М. Доценко [и др.]; заявитель и патентообладатель Дальневост. гос. аграр. ун-т. - № 2019132184; Заявл. 10.10.2019; Оpubл. 21.12.2020, Бюл. № 36. - Введ. с 10.10.2019.

14. Патент 2740649 Российская Федерация, МПК В30В11/28. Пресс-гранулятор / С.М. Доценко, Л.А. Ковалева, П.Н. Школьников [и др.]; заявитель и патентообладатель Амур. гос. ун-т. - № 2020119225; Заявл. 03.06.2020; Оpubл. 19.01.2021, Бюл. № 2. - по 2040060315. - Введ. с 03.06.2020.

15. Патент 2740651 Российская Федерация, МПК В30В11/00. Шнековый пресс-гранулятор / С.М. Доценко, Л.А. Ковалева, И.Н. Кузьмин, П.Н. Школьников [и др.]; заяви-

Доценко С.М., Школьников П.Н., Ковалева Л.А., Школьников М.А. Теоретическое и экспериментальное обоснование параметров процесса получения качественного гранулята

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

=====
тель и патентообладатель Амур. гос. ун-т. - № 2020119226; Заявл. 03.06.2020; Опубл. 19.01.2021, Бюл. № 2. - по 20400603. - Введ. с 03.06.2020.

=====
Цитирование:

Доценко С.М., Школьников П.Н., Ковалева Л.А., Школьников М.А. Теоретическое и экспериментальное обоснование параметров процесса получения качественного гранулята [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/2/st_204.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/202132204>.