

Научная статья
УДК 631.3:363.084:631.363.2
DOI: 10.66783/2782-3172.2026.66.92.011

РАЗРАБОТКА РАСХОДОМЕРА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОРМОПРИГОТОВИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Виктор Германович Мохнаткин, Михаил Сергеевич Поярков
Вятский государственный агротехнологический университет, Киров, Россия
Автор, ответственный за переписку: Виктор Германович Мохнаткин, mohnatkin@vgatu.ru

Аннотация

Наиболее объективной оценкой неравномерности рабочего процесса измельчителей кормов являются положения теории вероятностей, основанные на изучении динамических характеристик процесса. Для снятия характеристики и суммарного выхода готового продукта после измельчителя разработана схема и изготовлен массовый расходомер. Схема расходомера характеризуется тем положительным свойством, что в процессе съема данных опыта исключается запаздывание сигнала датчика, связанное с механическим перемещением передаточных элементов. Для фиксирования суммарного значения расхода материала за длительный промежуток времени разработан и изготовлен датчик индуктивности, имеющий линейную характеристику выходного сигнала в зависимости от перемещения сердечника и обладающий достаточной чувствительностью и возможностью работать со стандартным прибором. В качестве примера рассмотрена реализация стационарного эргодического случайного процесса, определяющего эффективность работы измельчителя, полученная с применением разработанного расходомера. Показано, что имея результаты экспериментальных исследований по работе той или иной машины, с помощью вероятностной теории можно оценивать качество ее работы в общей технологической линии.

Ключевые слова: расходомер, датчик, прибор, реализация, теория вероятности

Финансирование: исследование, на основе результатов которого написана данная статья, финансировалось за счет собственных средств авторов

Для цитирования: Мохнаткин В. Г., Поярков М. С. Разработка расходомера для изучения динамических характеристик кормоприготовительного оборудования // Вестник Вятского ГАТУ. 2026. № 2. С. 85–93. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.66.92.011.

DEVELOPMENT OF A FLOW GAGE FOR STUDYING THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF FEED PREPARING MACHINES

Viktor G. Mokhnatkin, Mikhail S. Poyarkov
Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia
Corresponding author: Viktor G. Mokhnatkin, mohnatkin@vgatu.ru

Abstract

The most objective assessment of feed grinder process unevenness is based on the probability theory principles, which are based on the process's dynamic characteristics study. The mass flow gage

was developed and manufactured to characterize the feed grinder and determine the total yield of the finished product. The flow gage circuit has the advantage of eliminating sensor signal lag associated with mechanical movement of the transmission elements during data acquisition. To record the total material flow rate over a long period of time, an inductance sensor was designed and manufactured. An inductance sensor has been developed and manufactured to record the total value of the material flow over a long period of time. This sensor has a linear output signal characteristic depending on the center shift and it is characterised by sufficient sensitivity and ability to work with a standard instrument. As an example, the implementation of a stationary ergodic random process determining the efficiency of a shredder, obtained using the developed flow meter, is considered. It has been shown that, using the results of experimental studies on the given machine operation and using the probability theory, it is possible to evaluate its performance in a common production line.

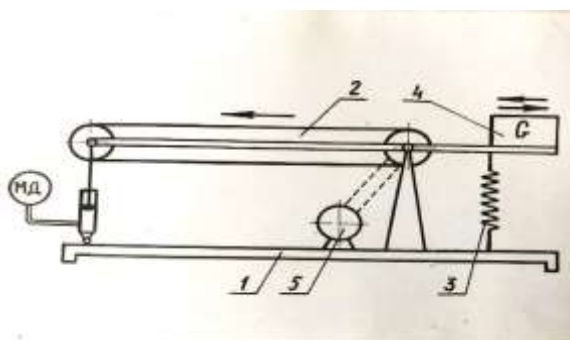
Keywords: flow gage, sensor, device, implementation, probability theory

Funding: the study on which this article is based was funded by the authors' own funds

For citation: Mokhnatkin VG, Poyarkov MS. Development of a flow gage for studying the dynamic characteristics of feed preparing machines. Vestnik Vyatskogo GATU. 2026;(2):85–93. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.66.92.011. (In Russ.).

Введение. В процессе исследований сельскохозяйственной техники, в частности измельчителей грубых кормов с различными типами подающих органов, возникает необходимость оценки неравномерности рабочего процесса машин. Наиболее объективной оценкой такого процесса являются положения теории вероятностей, основанные на изучении динамических характеристик процесса [1–12].

Материалы и методы. Для снятия характеристики и суммарного выхода готового продукта после измельчителя на основе и с использованием известных методик и приборов разработана конструкция и изготовлен массовый расходомер (рисунок 1), позволяющий фиксировать выход измельченного корма в интегральной форме по частному сумматору и в записи на бумажную ленту.



а)

б)

Рисунок 1. Схема и общий вид расходомера:

1 – рама; 2 – лента транспортерная; 3 – пружина компенсационная; 4 – противовес;

5 – электродвигатель привода транспортерной ленты

Расходомер представляет собой бесконечную движущуюся транспортерную ленту, установленную на раме, при этом задний конец рамы закреплен шарниром для перемещения в вертикальной плоскости, а передний опирается на шток гидроцилиндра. Привод транспортера осуществляется от мотор-редуктора серии МРА. Нагнетательная полость гидроцилиндра трубопроводом связана с манометрическим датчиком МД-10, сопротивление резистора которого изменяется пропорционально изменению давления в полости диафрагмы. При этом давление жидкости в нагнетательной полости прямо пропорционально силе, возникающей при прохождении измельченного материала по транспортеру.

Схема расходомера характеризуется тем положительным свойством, что в процессе съема данных опыта исключается запаздывание сигнала датчика, связанное с механическим перемещением передаточных элементов. Электрическая часть датчика представляет собой стабилизированный источник питания напряжением 1,5 В и резистор R1 манометрического датчика сопротивлением 300 Ом, включенный по схеме делителя напряжения. Последовательно в одно из плеч резистора R1 включен подстроечный резистор R2 сопротивлением 47 кОм. Сигнал регистрируется самописцем ПСР-1-02 на движущуюся бумажную ленту, при этом движущаяся часть пишущего механизма заблокирована с датчиком частотного сумматора С4 Харьковского завода контрольно-измерительных приборов. В качестве входного сигнала сумматора используется унифицированный частотный сигнал, связанный с линейной зависимостью с мгновенным значением параметра, в нашем случае – синусоида с амплитудой 0,6–12 В и частотой $f = 4,8$ кГц, что соответствует пропускной способности измельчителя 0–10 т/ч. Датчик данного прибора представляет собой катушку индуктивности с перемещающимся сердечником. Причем в заводском исполнении он рассчитан для фиксирования суммарного значения расхода материала за длительный промежуток времени (в течение суток), поэтому при длительности опыта в несколько минут его использование не представляется возможным [13–17].

Исходя из этого, был изготовлен датчик индуктивности, имеющий линейную характеристику выходного сигнала в зависимости от перемещения сердечника, обладающий достаточной чувствительностью и возможностью работать со стандартным прибором. При разработке данного датчика за основу был взят датчик расходомера РВД-71, у которого ход сердечника составляет 15 мм. В процессе работы был изготовлен датчик, ход сердечника которого составляет 350 мм. Намоточные данные его катушек были определены путем пересчета намоточных данных стандартного датчика. Первоначально витки катушек по их длине были распределены равномерно, однако опытная проверка показала, что зависимость индуктивности датчика от перемещения сердечника может быть аппроксимирована линейной функцией не по всей длине его хода (фиксирувалось количество импульсов по счетчику-сумматору в единицу времени) вследствие преждевременного насыщения датчика. В процессе дальнейшего изучения эмпирическим путем была выбрана геометрическая форма и намоточные данные катушек индуктивности, имеющих линейную зависимость от величины перемещения сердечника (рисунок 2).

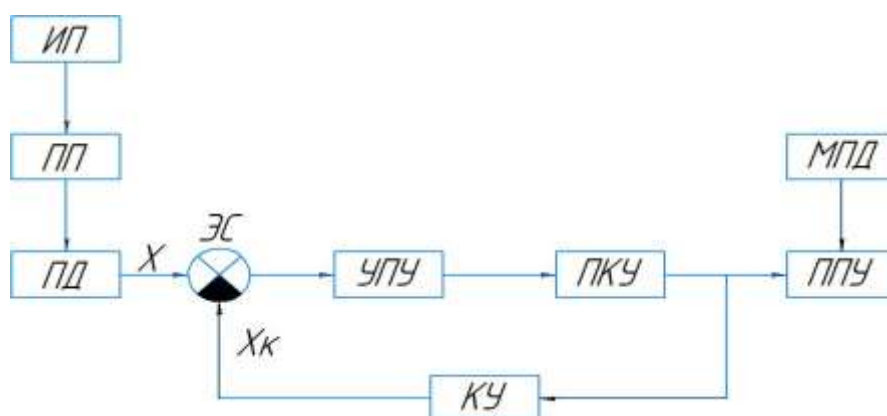


Рисунок 2. Функциональная схема автоматического компенсационного измерителя расходомера:

ИП – источник питания; ПП – потенциометр подстроечный; ПД – потенциометр-датчик; X – измеряемая величина; ЭС – элемент сравнения; УПУ – усилительно-преобразующее устройство; ПКУ – привод компенсационного устройства; КУ – компенсационное устройство; Xк – компенсирующий сигнал; ППУ – показывающее и самопишущее устройство; МПД – механизм привода диаграммы

От источника питания подстроечным потенциалом формируется опорный сигнал, который затем потенциометром-датчиком под воздействием внешнего фактора (давление жидкости от гидроцилиндра) преобразуется в переменный, изменяющийся в некоторых пределах (0–1,5 мВ). Сигнал с потенциометра-датчика, являющийся сигналом рассогласования, поступает на усилительно-преобразующее устройство, которое воздействует на привод компенсационного устройства таким образом, чтобы на выходе компенсирующего устройства формировался сигнал X_k , равный по величине и обратный по знаку измерительному сигналу X . Как только сигнал рассогласования X станет равным нулю, воздействие на привод компенсационного устройства со стороны усилительно-преобразующего устройства прекратится и он остановится. То есть данная система является системой с отрицательной обратной связью [14].

Привод компенсационного устройства кинематически связан с показывающим и пишущим устройствами, которые отображают и регистрируют сигнал воздействия компенсационного устройства на компенсирующее.

В данной статье используются следующие обозначения:

$Y_k(\tau)$ – реализация случайного процесса;

α, β – табличные значения коэффициентов;

δ – среднее квадратическое отклонение;

Δ – поле технологического допуска, задается в ходе исследования;

n – количество считываний ординат;

τ – длительность выброса;

S – средняя площадь выброса;

P_0 – вероятность пребывания случайного процесса в поле допуска;

Φ – знак функции;

e – основание натурального логарифма.

Переменные величины есть общепринятые математические символы, взятые из источника [19].

Основные уровни и интервалы варьирования в данной статье не использованы, т. к. они имеют место при применении теории планирования, а в данной статье имеет место статистический анализ случайных процессов.

Рассмотрим реализацию $Y_k(\tau)$ стационарного эргодического случайного процесса, определяющего эффективность работы измельчителя, полученную с применением разработанного расходомера [18–23].

Пусть эксплуатационными условиями предусмотрено ограничение на протекание случайного процесса в виде фиксированного допуска Δ . Таким образом, выбросы реализации $Y_k(\tau)$ за уровень Δ – нежелательны. Будем предполагать, что корреляционная функция $k(x)$ рассматриваемого процесса имеет вид [19]:

$$\hat{E}(\tau) = \delta^2 \left(\cos \beta \tau + \frac{\alpha}{\beta} \ln \beta \tau \right) \cdot e^{-\alpha \tau} \quad (1)$$

Для оценки неравномерности рабочего процесса измельчителя кормов будем использовать следующие показатели:

1. Вероятность пребывания случайного процесса в поле допуска Δ .

$$P(-\Delta \leq y_k(\tau) \leq \Delta) = 2\phi\left(\frac{\Delta}{\delta}\right), \quad (2)$$

где $\delta(\delta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\delta}^{\delta} \tilde{a}^{-t^2/2} dt$, δ – среднее квадратическое отклонение; $Y_K(x) = 0$.

2. Среднее время $\bar{t}_{\Delta}$ пребывания процесса выше или ниже уровня Δ в течение T , определяемое

$$\bar{t}_{\Delta} = \bar{\sigma} \cdot (1 - 2\phi(\frac{\Delta}{\delta})). \quad (3)$$

3. Среднее число выбросов $\bar{V}_{\Delta}$ в единицу времени

$$\bar{V}_{\Delta} = \frac{\delta_v}{2\pi\delta} \cdot e^{-\frac{\Delta^2}{2\delta^2}}, \quad (4)$$

где $\delta_v^2 = \frac{d^2}{d\tau^2} K(\tau)$, $\tau = 0$.

4. Средняя длительность выброса

$$\bar{\tau} = \pi \frac{\delta}{\delta_v} \cdot e^{-\frac{\Delta^2}{2\delta^2}} (1 - \phi(\frac{\Delta}{\delta})). \quad (5)$$

5. Средняя площадь выброса

$$S = \frac{\delta^2 \sqrt{2\pi}}{\delta_v} + \frac{(-\Delta)\delta\pi}{\delta_v} (1 - \phi(\frac{\Delta}{\delta})) e^{-\frac{\Delta^2}{2\delta^2}}. \quad (6)$$

6. Вероятность P_o , что за время T не произойдет ни одного выброса, равна

$$P_o = \exp \left\{ -\frac{T}{2\pi} \sqrt{-\frac{K(\tau)}{K(\tau)_{\tau=0}}} e^{-\frac{\Delta^2}{2\delta^2}} \right\}. \quad (7)$$

В частности, для корреляционной функции $K(\tau) = \delta^2 (\cos \beta \tau + h\beta \tau) e^{-\alpha \tau}$.

Находим среднее квадратическое отклонение δ_v скорости случайного процесса по формуле

$$\delta_v = \delta \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}. \quad (8)$$

Тогда среднее число выбросов определится из выражения

$$\bar{V}_{\Delta} = \frac{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}{2\pi} \cdot e^{-\frac{\Delta^2}{2\delta^2}}. \quad (9)$$

Среднее число выбросов выше или ниже уровня Δ составит

$$2\bar{V}_{\Delta} = \frac{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}{2\pi} \cdot e^{-\frac{\Delta^2}{2\delta^2}}. \quad (10)$$

Среднее число выбросов выше или ниже уровня Δ за время T составит

$$2\bar{\nu}_{\Delta} \cdot \dot{O} = 2\bar{n}_{\Delta} = \frac{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}{2\pi} \cdot T \cdot e^{-\frac{\Delta^2}{2\delta^2}} \quad (11)$$

Средняя длительность выброса

$$\bar{\tau} = \frac{\pi}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} \cdot e^{-\frac{\Delta^2}{2\delta^2}} \cdot (1 - \phi(\frac{\Delta}{\delta})) \quad (12)$$

Средняя площадь выброса

$$\bar{S} = \frac{\sqrt{2\pi} \cdot \delta}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} - \frac{\pi\Delta}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} \cdot (1 - \phi(\frac{\Delta}{\delta})) \cdot e^{-\frac{\Delta^2}{2\delta^2}} \quad (13)$$

Вероятность P_0 , что в течение времени T не произойдет ни одного выброса, составит

$$P_0 = \exp\left\{-\frac{T}{2\pi} \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} \cdot e^{-\frac{\Delta^2}{2\delta^2}}\right\} \quad (14)$$

Пример расчета по приведенным формулам для различных значений α и β представлен в таблице 1 [18].

Таблица 1. Данные для расчета вероятности пребывания случайного процесса в поле допуска Δ

α	β	δ	Δ	$2\bar{\nu}_{\Delta}$	$2\bar{n}_{\Delta}$	$\bar{\tau}$	$\bar{S}$	P_0
0,489	1,335	5,71	3,894	0,497Т	0,252Т	1,385	6,858	$\exp(-0,175Т)$
0,674	1,804	6,42	3,894	0,542Т	0,265Т	1,062	5,493	$\exp(-0,255Т)$
0,759	2,034	7,05	3,894	0,582Т	0,273Т	1,042	5,322	$\exp(-0,297Т)$
1,267	2,118	2,85	3,894	0,171Т	0,125Т	0,553	2,562	$\exp(-0,154Т)$
1,610	2,705	3,27	3,894	0,234Т	0,157Т	0,517	2,351	$\exp(-0,226Т)$
0,554	2,958	3,72	3,894	0,294Т	0,184Т	0,507	2,407	$\exp(-0,267Т)$

Заключение. Таким образом, имея результаты экспериментальных исследований по работе той или иной машины, с помощью вероятностной теории мы можем оценивать качество ее работы в общей технологической линии.

Список источников

1. Белянчиков И. Н., Смирнов А. И. Механизация животноводства и кормопроизводства. М. : Агропромиздат, 1989. 400 с.
2. Механизация и технология животноводства / В. В. Кирсанов, Д. Н. Мурусидзе, В. Ф. Некрашевич [и др.]. М. : КолосС, 2007. 584 с.
3. Завражнов А. И., Николаев Д. И. Механизация приготовления и хранения кормов. М. : Агропромиздат, 1990. 399 с.
4. Алешкин В. Р., Роцин П. М. Механизация животноводства / под ред. С. В. Мельникова. М. : Агропромиздат, 1985. 336 с.

5. Кукта Г. М. Машины и оборудование для приготовления кормов. М. : Агропромиздат, 1987. 303 с.
6. Механизация и технология производства продукции животноводства / В. Г. Коба, Н. В. Брагинцев, Д. Н. Мурусидзе, В. Ф. Некрашевич. М. : Колос, 2000. 528 с.
7. Механизация приготовления кормов : справочник / В. И. Сыроватка, А. В. Демин, А. Х. Джалилов [и др.] ; под общ. ред. В. И. Сыроватка. М. : Агропромиздат, 1985. 368 с.
8. Сборник зоотехнических и технологических требований на комплекты машин и оборудование для комплексной электромеханизации животноводческих и птицеводческих ферм. М. : ВИЭСХ, 1976. 112 с.
9. Технологические требования к кормоприготовительным машинам // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1980. № 12. С. 26–27.
10. Резник Е. И. Основные тенденции развития конструкций бункерных измельчителей кормов // Тракторы и сельхозмашины. 1985. № 6. С. 51–55.
11. Сельскохозяйственная техника для интенсивных технологий : каталог / под ред. А. Е. Авдеева, А. Б. Бицоева, П. С. Волкова [и др.]. М. : АгроНИИТ ЭНИТО, 1988. 288 с.
12. Сельскохозяйственная техника и оборудование для фермерских хозяйств : каталог : в 2 т. Т. 1 / под ред. П. А. Андреева. М. : Информагротех, 1994. 384 с.
13. Мохнаткин В. Г., Поярков М. С., Горбунов Р. М. Оптимизация параметров реактора-смесителя методами планирования эксперимента // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики : материалы XV Международной научно-практической конференции «Наука – Технология – Ресурсосбережение». Киров, 2022. С. 63–66.
14. Славин Р. М. Автоматизация производственных процессов животноводческих ферм. М. : Машиностроение, 1965. 318 с.
15. Мохнаткин В. Г., Поярков М. С. Экспериментальные исследования кормоприготовительного агрегата для ферм крупного рогатого скота // Вестник Вятского ГАТУ. 2025. № 2 (24). С. 11–21.
16. Пономарев А. Ф. Теория и практика промышленного кормопроизводства и свиноводства / под общ. ред. Г. С. Походни. Белгород : Изд-во БелГСХА, 2003. 416 с.
17. Мохнаткин В. Г., Поярков М. С., Солонщиков П. Н. Молотковые измельчители в кормоприготовительных агрегатах : монография. Киров : Вят. ГАТУ : РАДУГА-ПРЕСС, 2024. 197 с.
18. Вентцель Е. С. Теория вероятностей : учебник для студентов вузов. 9-е издание, стереотипное. М. : ACADEMIA, 2003. 571 с. ISBN 5-7695-0984-8.
19. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике. М. : Колос, 1964. 608 с.
20. Разработка и создание кормоприготовительного оборудования модульного типа с использованием методов математического и физического моделирования / В. Г. Мохнаткин, М. С. Поярков, Р. М. Горбунов, В. А. Якимов // Процессы и машины агроинженерных систем. 2021. № 1 (33). С. 14–25.
21. Мохнаткин В. Г., Поярков М. С., Горбунов Р. М. Статистическая оценка качества работы линий приготовления кормов // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики : материалы XV Международной научно-практической конференции «Наука – Технология – Ресурсосбережение» : сборник научных трудов. Киров, 2022. С. 66–69.
22. Мохнаткин В. Г., Поярков М. С. Обоснование конструктивно-режимных параметров измельчителей кормов путем моделирования рабочего процесса // Вестник Вятской ГСХА. 2020. № 1 (3). С. 12–18.
23. Автоматическое регулирование загрузки сушильного барабана агрегата АВМ-3,0 / А. П. Якименко [и др.] // Сборник научных трудов МИИСП. 1980. Т. 17, вып. 13. С. 121.

References

1. Belyanchikov IN, Smirnov AI. Mekhanizatsiya zhivotnovodstva i kormoproizvodstva = Mechanization of animal husbandry and forage production. Moscow: Agropromizdat Publishing; 1989. 400 p. (In Russ.).
2. Kirsanov VV, Murusidze DN, Nekrashevich VF, et al. Mekhanizatsiya i tekhnologiya zhivotnovodstva = Mechanization and technology of animal husbandry. Moscow: KolosS Publishing; 2007. 584 p. (In Russ.).
3. Zavrazhnov AI, Nikolaev DI. Mekhanizatsiya prigotovleniya i khraneniya kormov = Mechanization of feed preparation and storage. Moscow: Agropromizdat Publishing; 1990. 399 p.
4. Aleshkin VR, Roshchin PM. Mekhanizatsiya zhivotnovodstva = Mechanization of animal husbandry. Moscow: Agropromizdat Publishing; 1985. 336 p. (In Russ.).
5. Kukta GM. Mashiny i oborudovaniye dlya prigotovleniya kormov = Machines and equipment for feed preparation. Moscow: Agropromizdat Publishing; 1987. 303 p. (In Russ.).
6. Koba VG, Braginets NV, Murusidze DN, Nekrashevich VF. Mekhanizatsiya i tekhnologiya proizvodstva produktsii zhivotnovodstva = Mechanization and technology of livestock production. Moscow: Kolos Publishing; 2000. 528 p. (In Russ.).
7. Syrovatka VI, Demin AV, Jalilov AKh, et al. Mekhanizatsiya prigotovleniya kormov = Mechanization of feed preparation. Moscow: Agropromizdat Publishing; 1985. 368 p. (In Russ.).
8. Sbornik zootekhnicheskikh i tekhnologicheskikh trebovaniy na komplekty mashin i oborudovaniye dlya kompleksnoy elektromekhanizatsii zhivotnovodcheskikh i ptitsevodcheskikh ferm = Collection of zootechnical and technological requirements for sets of machines and equipment for the integrated electromechanization of livestock and poultry farms. Moscow: VIESH; 1976. 112 p. (In Russ.).
9. Technological requirements for feed preparing machines. Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva. 1980;(12):26–27. (In Russ.).
10. Reznik EI. The main trends in developing designs of bunker feed grinders. Traktory i sel'khoz mashiny. 1985;(6):51–55. (In Russ.).
11. Avdeeva AE, Bitsoeva AB, Volkova PS, et al. (eds.) Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika dlya intensivnykh tekhnologiy = Agricultural equipment for intensive technologies. Moscow: AgroNIIT ENITO; 1988. 288 p. (In Russ.).
12. Andreeva PA. (eds.) Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika i oborudovaniye dlya fermerskikh khozyaystv = Agricultural machinery and equipment for farms. Moscow: Informagrotech Publishing; 1994. Vol. 1. 384 p. (In Russ.).
13. Mokhnatkin VG, Poyarkov MS, Gorbunov RM. Optimizatsiya parametrov reaktora-smesitelya metodami planirovaniya eksperimenta = Optimization of the parameters of the reactor-mixer by experimental planning methods. In: Uluchsheniye ekspluatatsionnykh pokazateley sel'skokhozyaystvennoy energetiki: materialy XV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii Nauka – Tekhnologiya – Resursosberezheniye = Improving the operational performance of agricultural energy: materials of the XV international scientific and practical conference Science – Technology – Resource Saving. Kirov; 2022. P. 63–66. (In Russ.).
14. Slavin RM. Avtomatizatsiya proizvodstvennykh protsessov zhivotnovodcheskikh ferm = Automation of production processes of livestock farms. Moscow: Mashinostroyeniye Publishing; 1965. 318 p. (In Russ.).
15. Mokhnatkin VG, Poyarkov MS. Experimental studies of a feed preparation unit for cattle farms. Vestnik Vyatskogo GATU. 2025;(2):11–21. (In Russ.).
16. Ponomarev AF. Teoriya i praktika promyshlennogo kormoproizvodstva i svinovodstva = Theory and practice of industrial feed production and pig breeding. Belgorod: BelGSHA Publishing; 2003. 416 p. (In Russ.).
17. Mokhnatkin VG, Poyarkov MS, Solonshechikov PN. Molotkovyye izmel'chiteli v kormoprigotovitel'nykh agregatakh = Hammer grinders in feed preparing. Kirov: Vyatka GATU: RADUGA-PRESS Publishing; 2024. 197 p. (In Russ.).

18. Wentzel ES. Teoriya veroyatnostey = Probability theory. 9th ed. Moscow: ACADEMIA Publishing; 2003. 571 p. (In Russ.).
19. Bronstein IN, Semendyaev KA. Spravochnik po matematike = Reference book on mathematics. Moscow: Kolos Publishing; 1964. 608 p. (In Russ.).
20. Mokhnatkin VG, Poyarkov MS, Gorbunov RM, Yakimov VA. Development and creation of feed preparing equipment of a modular type using methods of mathematical and physical modeling. Protsessy i mashiny agroinzhenernykh sistem. 2021;(1):14–25. (In Russ.).
21. Mokhnatkin VG, Poyarkov MS, Gorbunov RM. Statisticheskaya otsenka kachestva raboty liniy prigotovleniya kormov = Statistical assessment of the quality of feed preparing lines. In: Uluchsheniye ekspluatatsionnykh pokazateley sel'skokhozyaystvennoy energetiki: materialy XV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii Nauka – Tekhnologiya – Resursosberezheniye = Improving the operational indicators of agricultural energy. Materials of the XV international scientific and practical conference Science – Technology – Resource Saving. Kirov; 2022. P. 66–69. (In Russ.).
22. Mokhnatkin VG, Poyarkov MS. Justification of design-mode parameters of feed grinders by modeling the working process. Vestnik Vyatskoy GSKHA. 2020;(1):12–18. (In Russ.).
23. Yakimenko AP, et al. Automatic adjustment of AVM-3.0 unit drying drum loading. Sbornik nauchnykh trudov MIISP. 1980;17(13):121. (In Russ.).

Информация об авторах

Мохнаткин Виктор Германович, доктор технических наук, профессор, заслуженный изобретатель РФ, заслуженный работник высшей школы РФ, почетный работник АПК РФ, профессор кафедры эксплуатации машин и технологического оборудования, ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», Октябрьский пр-т, д. 133, г. Киров, Российская Федерация, 610017
e-mail: mohnatkin@vgatu.ru

Поярков Михаил Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, врио проректора по учебно-методической работе, ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», Октябрьский пр-т, д. 133, г. Киров, Российская Федерация, 610017
e-mail: poyarkov_ms@vgatu.ru

Information about the authors

Victor. G. Mokhnatkin, doctor of technical sciences, professor, honored inventor of the Russian Federation, honorary worker of the agro-industrial complex of the Russian Federation, professor of the Department of Machine Operation and Technological Equipment of Vyatka State Agrotechnological University, 133 Oktyabrskiy Avenue, Kirov, 610017, the Russian Federation

Michael S. Poyarkov candidate of technical sciences, associate professor, Acting Vice-Rector for Educational and Methodological Work of Vyatka State Agrotechnological University, 133 Oktyabrskiy Avenue, Kirov, 610017, the Russian Federation

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: the authors declared that there was no conflict of interest

Статья / The article

поступила в редакцию / was received

29.04.2026

одобрена после рецензирования / approved after reviewing

07.05.2026

принята к публикации / accepted for publication

04.06.2026