

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

Научная статья

УДК 518 ; 631.3:363.084

DOI: 10.66783/2782-3172.2026.27.1.013

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОРМОПРИГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН МЕТОДОМ НОМОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Виктор Германович Мохнаткин, Михаил Сергеевич Поярков

Вятский государственный агротехнологический университет, Киров, Россия

Автор, ответственный за переписку: Виктор Германович Мохнаткин, mohnatkin@vgatu.ru

Аннотация

Материал статьи посвящен анализу математических моделей методом построения сетчатых номограмм, позволяющих проследить совместное влияние трех и более факторов. Методика исследования предполагает разложение имеющейся полиномиальной модели на несколько уравнений с последующим представлением каждого из них в виде простых номограмм. В качестве примера приведена методика построения номограммы для математической модели неполной третьей степени, имеющей некоторые особенности построения. После преобразования полученной экспериментальным путем математической модели представлен порядок построения номограммы. Дано наглядное представление полученной номограммы для исследуемой математической модели.

Ключевые слова: математическая модель, номограмма, эксперимент, результаты, уравнение, фактор

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

JUSTIFICATION OF DESIGN AND MODE SETTINGS OF FEED PREPARING MACHINES BY THE METHOD OF MATHEMATICAL MODELS NOMOGRAPHIC ANALYSIS

Victor. G. Mokhnatkin, Michael S. Poyarkov

Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia

Corresponding author: Victor. G. Mokhnatkin, mohnatkin@vgatu.ru

Abstract

The article focuses on the analysis of mathematical models using the method of constructing grid nomographs, which allow watching the simultaneous influence of three or more factors. The research methodology involves decomposing the existing polynomial model into several equations, and then presenting each equation as a simple nomograph. As an example, the authors give the technique for constructing a nomograph for a mathematical model of incomplete third degree, which has some features of construction. After the transformation of the experimentally obtained

mathematical model, the procedure for constructing a nomograph is presented. The visual representation of the resulting nomograph for the mathematical model under study is given.

Keywords: mathematical model, nomogram, experiment, results, equation, factor

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

Введение. На сегодняшний день рынок кормоприготовительных машин характеризуется многообразием как серийно выпускаемых, так и экспериментальными образцами [1–7]. В то же время при создании новых образцов техники используются различные методы исследований [6, 8–11]. В теории планирования эксперимента широко используется анализ математических моделей с помощью двумерных сечений. Однако этот метод не позволяет изучить совместное влияние трех и более факторов, так как при его применении один или несколько оцениваемых факторов должны быть зафиксированы на каком-то постоянном уровне. Поэтому проследить характер изменения отклика и найти его оптимальное значение приходится путем многократных приближений [12–16]. В этой связи следует так же отметить методику анализа математических моделей путем совмещения двумерных сечений при исследовании процесса двухстадийного измельчения и методом двумерных сечений на треугольнике и шестиугольнике [17, 18]. Однако более экономичным, наглядным, а самое главное – эффективным является метод анализа математических моделей, а именно моделей неполного второго порядка с помощью сетчатых номограмм [19].

Материалы и методы. Методика построения сетчатых номограмм для четырех и более факторов подробно изложена в современной технической литературе [12, 18]. Методика построения номограммы для анализа полиномиальной модели в виде неполного квадратичного уравнения, описываемая в данной статье, имеет ряд особенностей. Полученная экспериментальным путем математическая модель преобразуется, после чего описывается порядок построения номограммы, дается ключ для пользования ею. Сущность методики заключается в том, что имеющаяся полиномиальная модель раскладывается на несколько уравнений, каждое из которых затем представляется в виде простых номограмм [2].

Схема питателя-измельчителя, для которого строится математическая модель, представлена на рисунке 1 [7, 18].

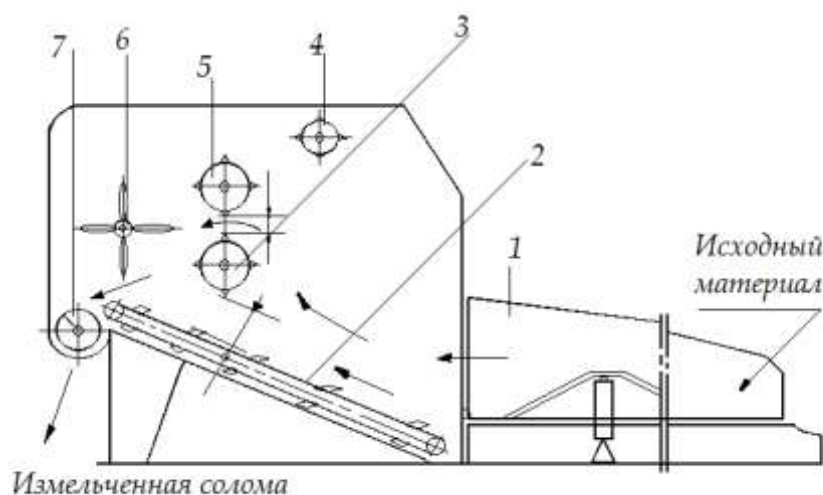


Рисунок 1. Схема питателя-измельчителя:

- 1 – лоток питателя, сегментный ротор, 2 – транспортер питателя,
3 – сегментный барабан нижний, 4 – отбойный бите,
5 – сегментный барабан нижний, 6 – бите подающий, 7 – шнек

Результаты и обсуждение. Пусть для трех факторов имеется математическая модель вида

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3, \quad (1)$$

которую путем переноса начала координат в центр поверхности отклика преобразуем в каноническую форму вида

$$y_l - y_{ls} = a_{11}X_1^2 + a_{22}X_2^2 + a_{33}X_3^2 + a_{12}X_1X_2 + a_{13}X_1X_3 + a_{23}X_2X_3. \quad (2)$$

Координаты центра поверхности (x_{ls} , x_{2s} , x_{3s}) вычисляются по уравнениям:

$$X_1 = x_1 + x_{ls}, \quad (3)$$

$$X_2 = \frac{\sqrt{2}}{2} (x_2 + x_3 - x_{2s} - x_{3s}), \quad (4)$$

$$X_3 = \frac{\sqrt{2}}{2} (x_3 - x_2 - x_{2s} - x_{3s}). \quad (5)$$

Значение функции вычисляется по (1) подстановкой значений x_{13} , x_{23} , x_{33} .

Коэффициенты в (1) определяются из выражений:

$$a_{11} = b_{11}; \quad (6)$$

$$a_{22} = 0,5(b_{22} + b_{23} + b_{33}); \quad (7)$$

$$a_{33} = 0,5(b_{22} - b_{23} + b_{33}); \quad (8)$$

$$a_{12} = \frac{\sqrt{2}}{2} (b_{12} + b_{13}); \quad (9)$$

$$a_{13} = \frac{\sqrt{2}}{2} (b_{13} - b_{12}). \quad (10)$$

Если $a_{22} < 0$, то все знаки в (1) следует поменять на противоположные.

Представим коэффициент a_{11} суммой двух слагаемых:

$$a_{11} = f_1 + f_2, \quad (11)$$

$$\text{где } f_1 = \frac{a_{12}^2}{4 a_{22}}; f_2 = a_{11} - \frac{a_{12}^2}{4 a_{22}}. \quad (12)$$

Подставим a_{11} в (1) и, введя обозначения

$$C_1 = f_1 X_1^2 + a_{12}X_1X_2 + a_{22}X_2^2, \quad (13)$$

$$C_2 = f_2X_1^2 + a_{13}X_1X_3 + a_{33}X_3^2 + y_{ls}, \quad (14)$$

получим $y_l = C_1 + C_2$.

Выражение (1) представим в виде шести уравнений:

$$\begin{aligned}y_1 &= C_1 + C_2; \\C_1 &= f_1 X_1^2 + a_{12}X_1X_2 + a_{22}X_2^2; \\C_2 &= f_2X_1^2 + a_{13}X_1X_3 + a_{33}X_3^2 + Y_{1S}; \\X_1 &= x_1 + x_{1S}; \\X_2 &= \frac{\sqrt{2}}{2} (x_2 + x_3 - x_{2S} - x_{3S}); \\X_3 &= \frac{\sqrt{2}}{2} (x_3 - x_2 + x_{2S} - x_{3S}).\end{aligned}$$

По этим уравнениям строим пять простых сетчатых номограмм для трехфакторной модели регрессии (2).

Номограммы строятся при нормированных значениях факторов, изменяющихся от -1 до $+1$.

Номограмма 1 для уравнения $X_2 = \frac{\sqrt{2}}{2} (x_2 + x_3 - x_{2S} - x_{3S})$ состоит из трех семейств прямых:

- 1) перпендикулярных друг другу семейств параллельных прямых x_2 и x_3 ;
- 2) прямых семейств X_2 , для построения которых достаточно рассчитать две прямые этого семейства.

Пусть $X_2 = 0$, прямая с этой числовой отметкой пройдет через две точки:

$$(x_2 = 0; \quad x_3 = x_{2S} + x_{3S}) \quad \text{и} \quad (x_2 = x_{2S} + x_{3S}; \quad x_3 = 0)$$

Вторая прямая $X_2 = -1$ пройдет через точки:

$$(x_2 = 0; \quad x_3 = \frac{\sqrt{2}}{2} + x_{2S} + x_{3S}) \quad \text{и} \quad (x_2 = \frac{-\sqrt{2}}{2} + x_{2S} + x_{3S}; \quad x_3 = 0).$$

При правильном построении эти прямые должны быть параллельны и расстояние между ними должно быть равно выбранной единице масштаба.

Имея прямые с числовыми отметками 0 и -1 , следует провести необходимое число прямых и проставить числовые отметки, которые потребуются для построения следующей номограммы.

Номограмма 2 для уравнения $C_1 = f_1 X_1^2 + a_{12}X_1X_2 + a_{22}X_2^2$, которому эквивалентно выражение $C_1 = (\sqrt{f_1} \times X_1 + \sqrt{a_{22}} \times X_2)^2$, также состоит из трех семейств прямых:

- 1) прямые семейства X_2 являются продолжением того же семейства номограммы 1;
- 2) прямые семейства X_1 перпендикулярны прямым семейства X_2 ;
- 3) для построения третьего семейства необходимы другие числовые отметки X_1 , которые определяются по уравнению $X_1 = x_1 - x_{1S}$. Семейство прямых X_1 строятся следующим образом. Пусть $C_1 = 0$, прямая с этой отметкой проходит через точки:

$$(X_1 = 0; \quad X_2 = 0) \quad \text{и} \quad \left(X_1 = 1; \quad X_2 = -\sqrt{\frac{f_1}{a_{22}}} \right).$$

Остальные прямые этого семейства параллельны построенной, причем одну и ту же отметку имеют две различные прямые, которые симметричны относительно прямой с отметкой 0. Построенные прямые с числовыми отметками необходимы только для построения следующей номограммы.

Номограмма 3 строится аналогично номограмме 1 по уравнению

$$X_3 = \frac{\sqrt{2}}{2} (x_3 - x_2 + x_{2s} - x_{3s}). \quad (15)$$

Номограмма 4 для уравнения $C_2 = f_2 X_1^2 + a_{13} X_1 X_3 + a_{33} X_3^2 + Y_{1S}$ состоит из двух семейств прямых и семейств кривых второго порядка:

- 1) семейство прямых X_3 есть продолжение семейства X_3 номограммы 3;
- 2) прямые семейства X_1 перпендикулярны прямым семейства X_3 . Как и для номограммы 2, они имеют отметки x_1 , а для построения третьего семейства используем отметки X_1 ;
- 3) семейство C_2 есть семейство кривых второго порядка, которые гомотетичны (подобны и подобно расположены) и имеют центр гомотетии в точке с координатами $(X_3 = 0; X_1 = 0)$.

При определенном значении C_2 строим кривую по точкам, задавая значения X_1 и вычисляя X_3 . Для построения остальных кривых пользуемся гомотетией.

В итоге получим семейство кривых второго порядка с числовыми отметками C_2 , которые, как и отметки C_1 , нужны лишь для построения номограммы 5.

Номограмма 5 для уравнения $y_1 = C_1 + C_2$ состоит также из двух семейств прямых и семейства кривых:

- 1) семейство прямых C_1 есть продолжение прямых этого же семейства номограммы 2;
- 2) прямые семейства C_2 проводим из концов кривых семейства номограммы 4;
- 3) кривые семейства y_1 строятся по точкам согласно (2).

Номограммы 2 и 4 следует располагать так, чтобы прямые семейств C_1 и C_2 были взаимно перпендикулярны.

Номографическое представление полиномиальной модели позволяет по ключу при различных значениях факторов x_1 , x_2 и x_3 найти соответствующее им значение критерия оптимизации и, наоборот, задаваясь определенным значением y ($y_{\min}$), можно получить значения исследуемых факторов.

По результатам исследований питателя-измельчителя грубых кормов была получена и представлена в графическом виде номограмма (рисунок 2).

Задаваясь минимальными значениями Y или областью минимальных значений, можно получить оптимальные значения исследуемых факторов. Так, при значениях $Y = 1,1$ по ключу номограммы получаем $x_1 = +1,8$; $x_2 = -2,9$; $x_3 = +1,3$. Иными словами, при работе на этом режиме питатель-измельчитель имеет наилучшие удельные энергозатраты. Раскрывая физический смысл полученных значений факторов, заключаем, что для получения минимального значения Y частоту вращения нижнего барабана необходимо увеличить, а верхнего – уменьшить при максимальной скорости транспортера подачи.

Заключение. Проведенный анализ математической модели процесса с использованием метода номографического представления показал, что данный подход позволяет эффективно исследовать совместное влияние трех и более факторов на выходной параметр без необходимости фиксации части переменных. Это существенно повышает наглядность и достоверность интерпретации результатов. Предложенная методика построения сетчатых номограмм для полиномиальных моделей неполного квадратичного вида обеспечивает возможность визуализации поверхности отклика и упрощает поиск оптимальных значений критерия оптимизации при различных сочетаниях входных факторов.

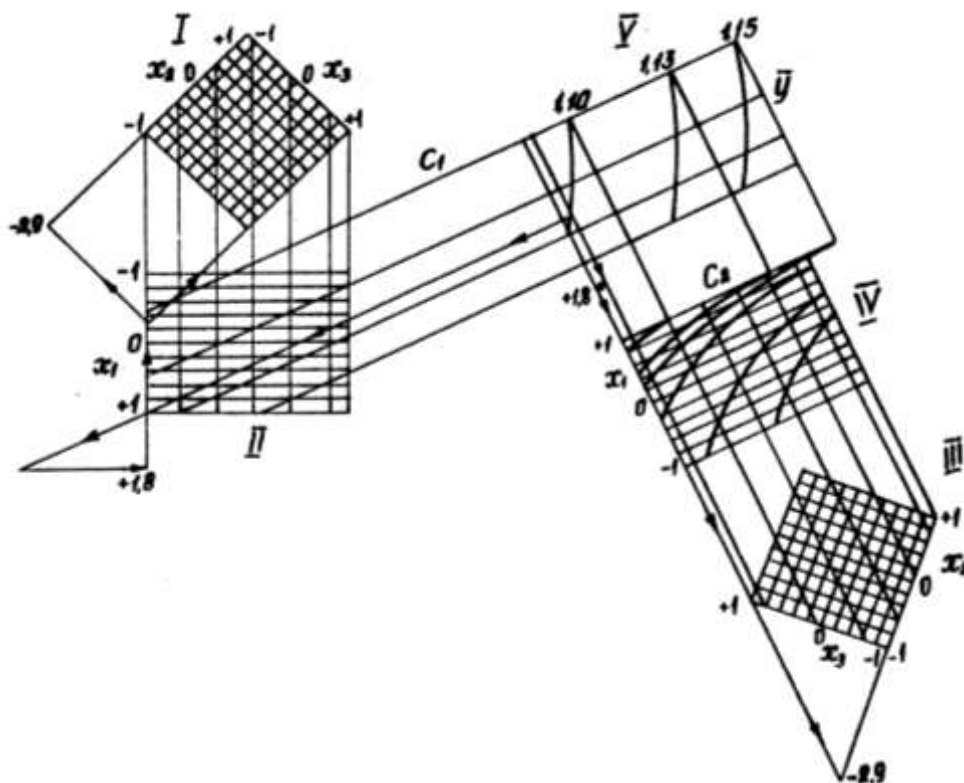


Рисунок 2. Номографическое представление неполной полиномиальной модели по результатам исследований экспериментального питателя-измельчителя грубых кормов (стрелками показан ключ для пользования данной номограммой)

Практическая реализация метода на примере исследований питателя-измельчителя грубых кормов подтвердила его применимость для обоснования конструктивно-режимных параметров кормоприготовительных машин. Использование номограмм в инженерных расчетах способствует сокращению времени на анализ экспериментальных данных и повышает точность настройки технологического оборудования. Конечным итогом является повышение эффективности процессов приготовления кормов в сельскохозяйственном производстве.

Список источников

1. Механизация и технология животноводства / В. В. Кирсанов, Д. Н. Мурусидзе, В. Ф. Некрашевич [и др.]. М. : КолосС, 2007. 584 с.
2. 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.
3. Мохнаткин В. Г., Поярков М. С. Экспериментальные исследования кормоприготовительного агрегата для ферм крупного рогатого скота // Вестник Вятского ГАТУ. 2025. № 2 (24). С. 11–21.
4. Пономарев А. Ф. Теория и практика промышленного кормопроизводства и свиноводства / под общ. ред. Г. С. Походни. Белгород : Изд-во БелГСХА, 2003. 416 с.
5. Мохнаткин В. Г., Поярков М. С., Солонщиков П. Н. Молотковые измельчители в кормоприготовительных агрегатах : монография. Киров : Вят ГАТУ : РАДУГА-ПРЕСС, 2024. 197 с.

6. Солонщиков П. Н. Оптимизация параметров и режимов работы смесителя жидких кормов при периодическом внесении компонентов // Инновации и достижения науки в сельском хозяйстве : материалы I Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Киров, 20 декабря 2019 года. Киров, 2019. С. 239–244.
7. 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.
8. Белов В. П., Крылов М. В., Титов В. М. Результаты исследования процесса очистки корнеплодов // Сборник научных трудов / НИПТИМЭСХ НЗ РСФСР. 1990. Вып. 58. С. 52–56.
9. Солонщиков П. Н. Исследование и оптимизация режимов работы питающего устройства установки для приготовления жидких кормовых смесей // Вестник НГИЭИ. 2024. № 12 (163). С. 24–35. DOI: 10.24412/2227-9407-2024-12-24-35.
10. Солонщиков П. Н. Исследование влияния частоты вращения рабочего колеса смесительной установки на показатели качества смеси при непрерывном режиме // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики : материалы XV Международной научно-практической конференции «Наука – Технология – Ресурсосбережение», Киров, 14 февраля 2022 года. Киров, 2022. Вып. 22. С. 130–134.
11. Solonshchikov P., Kosolapov E. Methodology for collecting information in the study of vehicle safety // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 471. P. 03005. DOI: 10.1051/e3sconf/202447103005.
12. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. 2-е изд., перераб. М. : Наука, 1978. 400 с.
13. Мельников С. В., Алешкин В. Р., Роцин П. М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Л. : Колос, 1980. 168 с.
14. Теоретические основы планирования экспериментальных исследований. Лабораторный практикум / под ред. Г. К. Круга. 2-е изд. М. : МЭИ, 1974. 185 с.
15. Грачев Ю. П. Математические методы планирования экспериментов. М. : Пищевая промышленность, 1979. 200 с.
16. Славин Р. М. Автоматизация производственных процессов животноводческих ферм. М. : Машиностроение, 1965. 318 с.
17. 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.
18. Веников В. А. Теория подобия и моделирования. М. : Высшая школа, 1976. 479 с.
19. Волчкевич Л. И. Надежность автоматических линий. М. : Машиностроение, 1969. 308 с.

References

1. 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.).
2. Mokhnatkin VG, Poyarkov MS, Gorbunov RM. Optimizatsiya parametrov reaktora-smesitelya metodami planirovaniya eksperimenta = Optimization of reactor-mixer parameters 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: proceedings of the XV international scientific and practical Conference Science – Technology – Resource conservation. Kirov; 2022. P. 63–66. (In Russ.).
3. Mokhnatkin VG, Poyarkov MS. Experimental studies of a feed preparation unit for cattle farms. Vestnik Vyatskogo GATU. 2025;(2):11–21. (In Russ.).

4. 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.).
5. Mokhnatkin VG, Poyarkov MS, Solonshchikov PN. Molotkovyye izmel'chiteli v kormoprigotovitel'nykh agregatakh = Hammer grinders in feed preparation units. Kirov: RADUGA PRESS Publishing; 2024. 197 p. (In Russ.).
6. Solonshchikov PN. Optimizatsiya parametrov i rezhimov raboty smesitelya zhidkikh kormov pri periodicheskom vnesenii komponentov = Optimization of parameters and operating modes of a liquid feed mixer with periodic introduction of components. In: Innovatsii i dostizheniya nauki v sel'skom khozyaystve: materialy I vserossiyskoy (natsional'noy) nauchno-prakticheskoy konferentsii = Innovations and achievements of science in agriculture: proceedings of the I all-Russian (national) scientific and practical conference, December 20 2019, Kirov. Kirov; 2019. P. 239–244. (In Russ.).
7. Mokhnatkin VG, Poyarkov MS, Gorbunov RM, Yakimov VA. Development and creation of modular feed preparation equipment using mathematical and physical modeling methods. Protsessy i mashiny agroinzhenernykh sistem. 2021;(1):14–25. (In Russ.).
8. Belov VP, Krylov MV, Titov VM. Rezul'taty issledovaniya protsessa ochistki korneplodov = The results of studying the root crop cleaning process. In: Sbornik nauchnykh trudov NIPTIMESH NZ RSFSR = Collection of scientific papers NIPTIMESH NZ RSFSR. Vypusk 58. 1990. P. 52–56. (In Russ.).
9. Solonshchikov PN. Investigation and optimization of the operating modes of the feeding device of the plant for the preparation of liquid feed mixtures // Vestnik NGIEI. 2024;(12):24–35. DOI: 10.24412/2227-9407-2024-12-24-35. (In Russ.).
10. Solonshchikov PN. Issledovaniye vliyaniya chastoty vrashcheniya rabocheho koleasa smesitel'noy ustanovki na pokazateli kachestva smesi pri nepreryvnom rezhime = Investigation of the influence of the speed of the mixing plant impeller on the mixture quality indicators in continuous operation. In: Uluchsheniye ekspluatatsionnykh pokazateley sel'skokhozyaystvennoy energetiki: materialy XV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii Nauka – Tekhnologiya – Resursosberezheniye = Improving the operational performance of agricultural energy: proceedings of the XV international scientific and practical conference Science – Technology – Resource conservation, February 14 2022, Kirov. Kirov; 2022. P. 130–134. (In Russ.).
11. Solonshchikov P, Kosolapov E. Methodology for collecting information in the study of vehicle safety. E3S Web of Conferences. 2024;(471):03005. DOI: 10.1051/e3sconf/202447103005.
12. Buslenko NP. Modelirovaniye slozhnykh sistem = Modeling of complex systems. 2nd ed. Moscow: Nauka Publishing; 1978. 400 p. (In Russ.).
13. Melnikov SV, Aleshkin VR, Roshchin PM. Planirovaniye eksperimenta v issledovaniyakh sel'skokhozyaystvennykh protsessov = Experimental planning in research of agricultural processes. Leningrad: Kolos Publishing; 1980. 168 p. (In Russ.).
14. Krug GK. (ed.) Teoreticheskiye osnovy planirovaniya eksperimental'nykh issledovaniy. Laboratornyy praktikum = Theoretical foundations of experimental research planning. Laboratory practice. 2nd ed. Moscow: MEI Publishing; 1974. 185 p. (In Russ.).
15. Grachev YuP. Matematicheskiye metody planirovaniya eksperimentov = Mathematical methods of planning experiments. Moscow: Pishchevaya promyshlennost' Publishing; 1979. 200 p. (In Russ.).
16. Slavin RM. Avtomatizatsiya proizvodstvennykh protsessov zhivotnovodcheskikh ferm = Automation of production processes of livestock farms. Moscow: Mashinostroenie Publishing; 1965. 318 p. (In Russ.).
17. Mokhnatkin VG, Poyarkov MS. Substantiation of design-mode parameters of feed shredders by modeling the workflow // Vestnik Vyatskoy GSKHA. 2020;(1):12–18. (In Russ.).

18. Venikov VA. Teoriya podobiya i modelirovaniya = Theory of similarity and modeling. Moscow: Vysshaya shkola Publishing; 1976. 479 p. (In Russ.).
19. Volchkevich LI. Nadezhnost' avtomaticheskikh liniy = Reliability of automatic lines. Moscow: Mashinostroenie Publishing; 1969. 308 p. (In Russ.).

Информация об авторах

Мохнаткин Виктор Германович, доктор технических наук, профессор, заслуженный изобретатель 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 October Avenue, Kirov, 610017, 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 October Avenue, Kirov, 610017, 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 submitted 24.02.2026

одобрена после рецензирования / approved after reviewing 02.03.2026

принята к публикации / accepted for publication 10.03.2026