



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 663.316

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.008



ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФЕРМЕНТОЛИЗА МЕЗГИ ИЗ МЕЛКОПЛОДНОГО СОРТА ЯБЛОНИ

Наталья Петровна Супрун ¹, Галина Семеновна Гусакова ²,
Никита Дмитриевич Лукьянов ³

^{1, 2, 3} Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

¹ suprun_np@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6010-4221>

² gusakova58@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9222-5295>

³ lukyanov.n@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8826-3424>

Аннотация. Настоящая работа посвящена математическому моделированию процесса ферментации яблочной мякоти из мелкоплодной полукультурки – Уральское наливное. Изучалось совокупное влияние параметров: концентрации ферментного препарата, продолжительности и температуры ферментации на выход яблочного сока. Путем полного факторного эксперимента установлено, что определяющими параметрами в рассмотренном процессе получения сока являются продолжительность и температура ферментации. Функция, учитывающая комбинации факторов ($X_1 \cdot X_2$ и $X_2 \cdot X_3$), наиболее достоверно описывает изученный процесс. Результаты регрессионного анализа, в частности высокий коэффициент детерминации R^2 и согласованность фактических и прогнозируемых значений, указывают на высокое качество построенной модели. Достоверность влияния исследованных факторов на результативный признак полученной модели подтвердила величина P -значимости коэффициентов регрессии b_i ($i = 1(1)5$). Стандартное исследование функции показало, что продолжительность ферментации мякоти должна составлять 94,2 минуты (в исследованном диапазоне температур и концентраций ферментного препарата). Полученные уравнения регрессии позволили задавать и рассчитывать взаимозависимые переменные факторы (концентрацию препарата и температуру ферментации). Матрица Гессе показала, что линия координат (X_1, X_2, X_3) является линией перегиба модели, а экстремум функции не существует. Проверка представленной математической модели подтвердила возможность и адекватность ее применения для описания процесса ферментации яблочной мякоти и прогнозирования выхода сока из полукультурки Уральское наливное.

Ключевые слова: плоды яблони, мелкоплодная полукультурка, мякоть, ферментация, выход сока, ферментный препарат, математическое моделирование, регрессионный анализ.

Для цитирования: Супрун Н. П., Гусакова Г. С., Лукьянов Н. Д. Оптимизация процесса ферментации мякоти из мелкоплодного сорта яблони // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 50–54. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.008. EDN: <https://elibrary.ru/MZKPIQ>.

Original article

OPTIMIZATION OF ENZYMATIC RPE-TREATMENT OF PULP FROM SMALL-FRUIT APPLE VARIETY

Natalya P. Suprun ¹, Galina S. Gusakova ², Nikita D. Lukyanov ³

^{1, 2, 3} Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

¹ suprun_np@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6010-4221>

² gusakova58@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9222-5295>

³ lukyanov.n@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8826-3424>

Abstract. The paper concerns the mathematical modeling for the enzymatic rpe-treatment of the apple pulp from small-fruited semi-culture - Uralskoe nalivnoe. The authors studied the combined influence of the following parameters: enzyme preparation concentration, enzymatic rpe-treatment duration and temperature on the yield of apple juice. The full factorial experiment revealed that the determining parameters in the considered juice production process were the enzymatic rpe-treatment duration and temperature. The studied process is most reliably described by the function that takes into account the factors combinations ($X_1 \cdot X_2$ and $X_2 \cdot X_3$). The regression analysis results, particularly the high determination coefficient R^2 and consistency between actual and predicted values indicate the high quality of the designed model. The reliability of the studied factors influence on the model resulting feature confirmed by P -value of the regression coefficients b_i ($i = 1(1)5$). Standard study of the function showed that the enzymatic rpe-treatment duration of apple pulp should be 94.2 minutes (in the studied range of temperatures and enzyme preparation concentrations). The obtained regression equations made it possible to set and calculate interdependent variable factors (enzyme preparation concentration and enzymatic rpe-treatment temperature). The Hessian matrix showed that the coordinate's

© Супрун Н. П., Гусакова Г. С., Лукьянов Н. Д., 2025

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФЕРМЕНТОЛИЗА МЕЗГИ ИЗ МЕЛКОПЛОДНОГО СОРТА ЯБЛОНИ

line (X_1, X_2, X_3) was the inflection line of the model, so the extremum of the function doesn't exist. Verification of the presented mathematical model confirmed the possibility and adequacy of its application to describe the enzymatic rpe-treatment of the pulp and predicting the juice yield from apple variety - Uralskoe nalivnoe.

Keywords: apple fruits, small-fruited varieties, pulp, enzymatic rpe-treatment, juice yield, enzyme preparation, mathematical modeling, regression analysis.

For citation: Suprun, N.P., Gusakova, G.S. & Lukyanov, N.D. (2025). Optimization of the enzymatic rpe-treatment of the pulp from small-fruit apple variety. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 50-54. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.008. EDN: <https://elibrary.ru/MZKPIQ>.

ВВЕДЕНИЕ

Популяризация правильного питания и здорового образа жизни все больше способствует переориентации интереса современного потребителя к категориям натуральных безалкогольных и слабоалкогольных напитков. Мировой тенденцией развития пищевой отрасли в последние годы остается увеличение объемов производства фруктовых и овощных соков [1], а также слабоалкогольной плодовой продукции, в том числе сидров [2]. Поэтому для удовлетворения растущего спроса потребителей производителям необходимо искать и использовать новые виды сырья или расширять его сортовое разнообразие. Над решением этой задачи активно трудятся отечественные и зарубежные исследователи. Ученые занимаются испытанием новых (в том числе районированных) сортов яблони при производстве продуктов питания [3–5], работают над повышением урожайности и устойчивости сортов к стрессовым факторам [6–8].

Другой, не менее важной производственной задачей является организация рациональной и глубокой переработки используемых ресурсов. В технологиях плодовых и ягодных напитков одним из эффективных способов решения этой задачи является использование ферментных препаратов. Об этом свидетельствуют многочисленные работы авторов, посвященные проблеме повышения эффективности переработки плодово-ягодного сырья [9]. Результаты исследований показали, что ферментативный метод позволяет технологически безопасно и направленно воздействовать на высокомолекулярные биополимеры и ускорять процессы конверсии растительного сырья. Благодаря этому ферментные препараты активно применяют для разрушения полисахаридов и экстракции различных целевых соединений (полифенолов, витаминов и т.д.) [10–11]. На предприятиях соковой и винодельческой промышленности давно и широко используются пектолитические ферментные комплексы, однако поиск новых более эффективных препаратов остается актуальным и значимым направлением научных исследований.

Тем не менее, внедрение новых видов (или сортов) сырья, а также ферментных препаратов в производстве предполагает обязательное выполнение экспериментов, требующих крупных затрат времени и средств. Обычно такие эксперименты основаны на варьировании отдельных независимых переменных. Поэтому для контроля и управления (в том числе оптимизации) технологических процессов применяют различные статистические методы анализа: регрессионный, дисперсионный, корреляционный, Бокса-Уилсона и многие другие [12–14], которые позволяют точно прогнозировать и регулировать результаты процесса. Таким образом, математическое моделирование процесса обеспечивает существенное сокращение расхода времени и средств производства. Следовательно, данное направление исследований имеет важный практический интерес.

Цель настоящего исследования состояла в обосновании условий ферментолиза мезги в процессе получения яблочного сока из мелкоплодной полукультурки с использованием математических методов моделирования.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследуемым сырьем являлись плоды яблони-полукультурки высокосимистойского помологического сорта отечественной селекции – Уральское наливное. Отбор плодов проводили в фазе технологической зрелости на коллекционных участках крестьянского (фермерского) хозяйства «Иркутский садовод» в районе товарищества собственников недвижимости «Молодёжное» Иркутской области (район Южного Прибайкалья). Выбор сорта обусловлен биохимическим составом получаемого сока, который приведен в результатах ранее представленного исследования [15].

Плоды измельчали в лабораторной шнековой дробилке «ИЗМ-102», мезгу сульфировали (75 мг/дм^3). Для гидролиза пектиновых веществ мезгу обрабатывали ферментным комплексом Lafazym Extract, («Laffort», Франция) с пектолитической активностью 6700 ед/г и помещали в термостат ($T = 35\text{--}45^\circ\text{C}$). Сок отжимали с помощью вертикального гидравлического корзиночного пресса «Hobbi Juice». Давление медленно наращивали до максимального значения $0,8 \text{ МПа}$. После прекращения выделения сока давление сбрасывали до нуля, мезгу ворошили и повторяли процесс отжима. Полученные образцы сока отстаивали при температуре 10°C .

Выход сока из плодов определяли по формуле:

$$C = (A - B) / A \cdot 100\%,$$

где C – выход сока; A – масса плодов до прессования; B – масса выжимок после прессования.

Экспериментальные данные подвергали дисперсионному и регрессионному анализу. Относительная погрешность измерений, реализованных в трехкратной повторности при доверительной вероятности $0,95$, составила $\delta \leq 7\%$, что можно считать удовлетворительным результатом.

С использованием математической модели выполняли оптимизацию условий выделения яблочного сока из мелкоплодной полукультурки. Изучали совокупное влияние независимых переменных: концентрации ферментного препарата (X_1 , г/кг), продолжительности (X_2 , мин) и температуры ферментолиза (X_3 , $^\circ\text{C}$) на зависимую переменную – выход сока ($Y_{\text{сп}}$, %). Диапазон и уровни независимых переменных представлены в таблице 1.

Условия полного факторного эксперимента обоснованы ранее полученными результатами изучения влияния каждого отдельного фактора [16]. Для статистической обработки данных методом регрессионного анализа использовали программу Microsoft Excel 2019.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для изучения совокупного влияния независимых переменных (для трех факторов X_1 , X_2 , X_3) применяли матрицу полного факторного экспери-

мента (табл. 2). Выполнили нормализацию значений всех переменных факторов, чтобы исключить влияние несовместимости единиц измерения на результаты математического анализа [17].

Таблица 1 – Условия проведения эксперимента / Table 1 – Experimental conditions

Характеристика плана	Переменные факторы		
	Концентрация фермента, г/кг (X_1)	Продолжительность, мин (X_2)	Температура, °C (X_3)
Минимальный уровень	0,03	60	35
Максимальный уровень	0,05	240	45
Шаг варьирования	0,01	60	5

Таблица 2 – Матрица полного факторного эксперимента / Table 2 – Full factorial experimental plan

Натуральные значения				Нормализованные значения			
X_1	X_2	X_3	$Y_{\text{ср}}$	X_1	X_2	X_3	$Y_{\text{ср}}$
0,03	60	35	68,4±0,3	-1,21	-1,32	-1,21	-0,20
0,04	60	35	69,7±0,7	0	-1,32	-1,21	0,09
0,05	60	35	71,5±0,8	1,21	-1,32	-1,21	0,50
0,03	60	40	69,8±0,7	-1,21	-1,32	0	0,12
0,04	60	40	74,1±0,4	0	-1,32	0	1,09
0,05	60	40	73,3±0,8	1,21	-1,32	0	0,90
0,03	60	45	73,5±0,3	-1,21	-1,32	1,21	0,95
0,04	60	45	72,9±0,9	0	-1,32	1,21	0,83
0,05	60	45	71,1±0,6	1,21	-1,32	1,21	0,42
0,03	120	35	72,2±1,0	-1,21	-0,44	-1,21	0,66
0,04	120	35	74,4±0,3	0	-0,44	-1,21	1,16
0,05	120	35	72,5±0,4	1,21	-0,44	-1,21	0,73
0,03	120	40	73,9±0,7	-1,21	-0,44	0	1,04
0,04	120	40	72,7±0,4	0	-0,44	0	0,77
0,05	120	40	71,9±0,6	1,21	-0,44	0	0,59
0,03	120	45	72,6±0,4	-1,21	-0,44	1,21	0,75
0,04	120	45	71,4±0,9	0	-0,44	1,21	0,48
0,05	120	45	70,7±0,9	1,21	-0,44	1,21	0,33
0,03	180	35	73,0±0,5	-1,21	0,44	-1,21	0,84
0,04	180	35	71,8±1,0	0	0,44	-1,21	0,58
0,05	180	35	69,7±0,6	1,21	0,44	-1,21	0,11
0,03	180	40	69,4±0,9	-1,21	0,44	0	0,03
0,04	180	40	66,8±0,6	0	0,44	0	-0,56
0,05	180	40	65,5±0,6	1,21	0,44	0	-0,85
0,03	180	45	64,2±0,4	-1,21	0,44	1,21	-1,14
0,04	180	45	63,8±0,7	0	0,44	1,21	-1,23
0,05	180	45	63,5±0,6	1,21	0,44	1,21	-1,29
0,03	240	35	72,7±0,7	-1,21	1,32	-1,21	0,78
0,04	240	35	72,0±0,9	0	1,32	-1,21	0,61
0,05	240	35	68,8±0,4	1,21	1,32	-1,21	-0,10
0,03	240	40	68,5±0,3	-1,21	1,32	0	-0,18
0,04	240	40	65,5±1,0	0	1,32	0	-0,84
0,05	240	40	64,7±0,7	1,21	1,32	0	-1,02
0,03	240	45	60,5±0,4	-1,21	1,32	1,21	-1,97
0,04	240	45	58,6±1,0	0	1,32	1,21	-2,40
0,05	240	45	57,7±0,9	1,21	1,32	1,21	-2,60

Для оценки отклика зависимой переменной было предложено линейное уравнение регрессии, которое имеет вид:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3; \quad (1)$$

где y – вектор выхода яблочного сока; b_i – искомые коэффициенты регрессии ($i = 1(1)3$); x_i – значения нормализованных независимых переменных, влияющих на выход яблочного сока.

Статистическая обработка результатов полного факторного эксперимента позволила получить линейное уравнение регрессии, описывающее функцию отклика:

$$Y = -0,14X_1 - 0,06X_2 - 0,44X_3; \quad R^2 = 0,56 \quad (2)$$

Коэффициент детерминации R^2 полученного уравнения по общеизвестной шкале Чеддока [18] свиде-

тельствовал о слабой связи между наблюдаемыми величинами найденной зависимости. Кроме того, P – значения коэффициентов регрессии, присутствующих в модели, составили более 0,05, что не подтверждает их значимости и позволяет судить лишь об их доверительном интервале. Поэтому в регрессионном анализе были рассмотрены комбинации факторов ($X_1 \cdot X_2$ и $X_2 \cdot X_3$) и получена другая модель следующего вида:

$$Y = -0,14X_1 - 0,6X_2 - 0,44X_3 - 0,17X_1X_2 - 0,54X_2X_3; \quad R^2 = 0,87. \quad (3)$$

Коэффициент детерминации R^2 новой модели показал, что 87 % наблюдаемой дисперсии отклика может быть объяснено с помощью полученной модели. Высокое значение R^2 и согласованность фактических и прогнозируемых значений говорят о высоком качестве построенной модели. Из уравнения (3) вид-

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФЕРМЕНТОЛИЗА МЕЗГИ ИЗ МЕЛКОПЛОДНОГО СОРТА ЯБЛОНИ

но, что наиболее значимыми факторами в рассмотренном процессе получения сока являлись X_2 (продолжительность, мин) и X_3 (температура ферментации, °C), а X_1 (концентрация фермента, г/кг) оказывал наименьшее значение, о чем свидетельствуют найденные коэффициенты регрессии b_i ($i = 1(1)3$). Достоверность влияния факторов на результативный признак полученной модели подтвердила величина P -значимости ($0,04$; $3,9 \cdot 10^{-9}$; $2,3 \cdot 10^{-7}$; $0,02$ и $4,8 \cdot 10^{-8}$) коэффициентов регрессии b_i ($i = 1(1)5$), равная меньше $0,05$.

Выполнив стандартное исследование функции (3) для поиска экстремума, а именно найдя частные производные первого порядка по всем независимым переменным и приравняв к нулю, получили, что:

$$X_2 = \frac{-0,14}{0,17} = -0,82; \quad (4)$$

$$X_1 = -3,17X_3 - 3,53; \quad (5)$$

$$X_3 = -1,11 - 0,31X_1. \quad (6)$$

Из выражения (4), преобразовав нормализованное значение $X_2 = -0,82$ в соответствующие единицы измерения, выяснили, что продолжительность ферментации (X_2) должна составлять 94,2 минуты (в исследованном диапазоне температур и концентраций ферментного препарата). Полученные уравнения (5 и 6) показали, что экстремум функции может находиться

вдоль линии координат (X_1, X_2, X_3). Поэтому определив частные производные второго порядка и составив матрицу Гессе (7), выявили, что линия координат (X_1, X_2, X_3) является линией перегиба и не представляет возможность определить экстремум функции. Однако уравнения (5 и 6) позволяют задавать и рассчитывать взаимозависимые переменные X_1 и X_3 .

$$\Delta = \begin{vmatrix} 0 & -0,17 & 0 \\ -0,17 & 0 & -0,54 \\ 0 & -0,54 & 0 \end{vmatrix} = 0 \quad (7)$$

Таким образом, заложив в уравнение (5) значение температуры (X_3), равное 40°C , теоретически рассчитали, что предложенная математическая модель позволяет прогнозировать максимальный выход яблочного сока при концентрации ферментного препарата менее $0,03$ г/кг. Подставив в уравнение (6) значение концентрации препарата (X_1), равное $0,04$ г/кг, определили, что предложенная математическая модель позволяет прогнозировать максимальный выход сока при минимальной температуре, равной $35,4^\circ\text{C}$. Для проверки полученных результатов регрессионного анализа было проведено уточнение условий ферментации. Результаты сравнения выхода сока, рассчитанного (Y_p) теоретически и полученного экспериментально (Y_ϕ), приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Проверка рассчитанного (Y_p) теоретически и фактического (Y_ϕ) выход сока

Table 3 – Verification of the theoretically calculated (Y_c) and actual (Y_a) juice yield

Переменные факторы			Выход сока, %	
Концентрация, г/кг	Продолжительность, мин	Температура, °C	Y_p	Y_ϕ
0,02	94	35	71,7	70,5±0,4
0,03			71,0	70,0±0,6
0,04			70,3	70,0±1,0
0,06			68,9	67,5±0,6
0,02		40	68,2	67,5±0,8
0,03			67,5	67,0±0,6
0,04			66,8	66,0±0,8
0,06			65,4	64,5±0,3

Проверка модели при обработке мезги концентрациями ферментного препарата, выходящими за параметры, использованные при получении уравнения, подтвердила адекватность применения модели для прогнозирования выхода сока из мелкоплодной полукультуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты полного факторного эксперимента продемонстрировали определяющее влияние продолжительности и температуры ферментации яблочной мезги на выход сока из мелкоплодной полукультуры Уральское наливное. Регрессионный анализ показал, что предложенное линейное уравнение, учитывающее комбинации факторов ($X_1 \cdot X_2$ и $X_2 \cdot X_3$) достаточно адекватно описывает закономерности процесса выделения яблочного сока из плодов полукультуры. Повторное экспериментальное уточнение условий ферментации подтвердило, что предложенная модель является адекватной для описания процесса ферментации яблочной мезги и прогнозирования выхода сока из полукультуры Уральское наливное.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fruit and Vegetable Juice Market Size & Share Analysis – Growth Trends & Forecasts (2024–2029) : Mordor

Intelligence. URL: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/fruit-and-vegetable-juice-market-industry>. (дата обращения: 20.08.2024).

2. Functional properties of the fermented alcoholic beverages: apple cider and beer / A. Tsoupras [et al.] // Functional foods and their implications for health promotion. Academic Press, 2023. P. 319–339. DOI: 10.1016/B978-0-12-823811-0.00013-4.

3. Технологические показатели плодов гибридных подвоев яблони и перспективы их использования в производстве сидра / Н.С. Левгеров [и др.] // Современное садоводство. 2021. № 3. С. 1–10. DOI : 10.52415/23126701_2021_0301.

4. Причко Т.Г., Чалая Л.Д. Технические и биохимические особенности плодов новых перспективных сортов яблони как сырья для переработки // Научные труды Государственного научного учреждения Северо-Кавказского зонального научно-исследовательского института садоводства и виноградарства Российской академии сельскохозяйственных наук. 2014. Т. 5. С. 190–195.

5. Weide J.V., van Nocker S., Gottschalk C. Metaanalysis of apple (*Malus × domestica* Borkh.) fruit and juice quality traits for potential use in hard cider production // Plants, People, Planet. 2022. V. 4, № 5. P. 463–475. DOI: 10.1002/ppp3.10262.

6. An overview of the factors influencing apple cider sensory and microbial quality from raw materials to emerging

processing technologies / Calugar P.C. [et al.] // Processes. 2021. V. 9, № 3. P. 502. DOI: 10.3390/pr9030502.

7. Delgado A., García-Fernández B., Gómez-Cortecero A., Dapena E. Susceptibility of cider apple accessions to European canker – comparison between evaluations in field planted trees and rapid screening tests // Plants. 2022. V. 11, № 9. P. 1145. DOI: 10.3390/plants11091145.

8. A multimodal and multiscale investigation of factors affecting the juice yield of cider apples / Lahaye M. [et al.] // Food Chemistry. 2023. V. 420. P. 135649. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.135649.

9. Влияние ферментов с различной субстратной специфичностью на степень биокаталитической деградации плодово-ягодного сырья / Е.М. Сербя [и др.] // Пищевая промышленность. 2018. № 7. С. 68–73.

10. Рожнов Е.Д., Неклюдов А.А., Школьников М.Н. Применение пектолитических ферментных препаратов в производстве напитков из плодов облепихи // Все о мясе. 2020. № 5. С. 300–303. DOI: 10.21323/2071-2499-2020-5S-300-303.

11. Макаров С.С., Макаров С.Ю., Панасюк А.Л. Влияние различных технологических факторов на состав антоцианов при производстве вина из черной смородины // Техника и технология пищевых производств. 2018. Т. 48, № 3. С. 72–80. DOI: 10.21603/2074-9414-2018-3-72-80.

12. Дышлюк Л.С., Просеков А.Ю. Оптимизация с использованием регрессионного анализа технологических параметров процесса экструзии с раздувом // Известия СПбГИ(ТУ). 2018. № 45(71). С. 123–126.

13. Многофакторное планирование экспериментов при разработке новых мясных продуктов / М.А. Никитина [и др.] // Все о мясе. 2017. № 4. С. 54–58. DOI: 10.21323/2071-2499-2022-5-32-37.

14. Табакаев А.В., Табакаева О.В., Приходько Ю.В. Математическое моделирование экстракции каротиноидов из бурой водоросли *S. miyabei* // Индустрия питания. 2022. Т. 7, № 3. С. 50–58. DOI: 10.29141/2500-1922-2022-7-3-6.

15. Биохимический состав фруктового суслу из мелкоплодных сортов яблони Южного Прибайкалья / Н.П. Супрун [и др.] // Известия вузов. Прикладная химия

и биотехнология. 2023. Т. 13, № 4. С. 611–620. DOI: 10.21285/2227-2925-2023-13-4-611-620.

16. Супрун Н.П., Гусакова Г.С., Раченко М.А. Ферментативный катализ яблочной мезги // Химия растительного сырья. 2023. № 1. С. 307–312. DOI: 10.14258/jcpim.20230111067.

17. Крамер Г. Математические методы статистики : монография / пер. с англ. А.С. Моница, А.А. Петрова ; под ред. А.Н. Колмогорова. 2-е изд. Москва : Изд-во «Мир», 1975. 648 с.

18. Магнус Я.Р., Катышев П.К., Пересецкий А.А. Эконометрика. Начальный курс : учеб. ; 9-е изд., испр. Москва : Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2021. 504 с.

Информация об авторах

Н. П. Супрун – Н.П. Супрун – к.т.н., старший преподаватель кафедры химии и биотехнологии В.В. Тугуриной, Иркутского национального исследовательского технического университета.

Г. С. Гусакова – к.с.х.н., доцент, Иркутского национального исследовательского технического университета.

Н. Д. Лукьянов – к.т.н., доцент Иркутского национального исследовательского технического университета.

Information about the authors

N.P. Suprun – Candidate of Technical Sciences, senior professor of Department of Chemistry and Biotechnology named after V.V. Tugurina of Irkutsk National Research Technical University, +79016324182.

G.S. Gusakova – Candidate of of Agricultural Sciences, Associate Professor of Irkutsk National Research Technical University, +79500647028.

N.D. Lukyanov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Irkutsk National Research Technical University, +73952405000.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07 июня 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 07 June 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.