



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 663.123.4

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.01.012

 EDN: USIKBN

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ФЕРМЕНТОЛИЗА ПОДСОЛНЕЧНОЙ ЛУЗГИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Виктория Петровна Вистовская ¹, Денис Сергеевич Кожемякин ²,
Елена Петровна Каменская ³

^{1, 2, 3} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

¹ vpvist@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0000-0606-4599>

² denkzm1998@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-4051-569X>

³ ekam2007@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3760-6914>

Аннотация. Исследование посвящено оптимизации параметров процесса ферментативного гидролиза с применением методов математического моделирования. Объектом исследования являлась лузга, полученная в процессе обрушивания семян подсолнечника. При проведении ферментолиза использовали ферментные препараты производства ООО ПО «Сиббиофарм» (г. Бердск) и ОАО ТД «Биопрепарат» (г. Москва), обладающие целлюлолитическим, β -глюканазным, ксиланазным и глюкоамилазным действиями: «ЦеллоЛюкс А», « β -глюканаза-ЦЛ», «Целлюлаза», «Ксиланаза». В эксперименте подсолнечную лузгу подвергали предварительной щелочной делигнификации, после чего смешивали с водой в соотношении 1:5. Полученную суспензию после внесения ферментных препаратов термостатировали при температуре 50 °С в течение 20 ч с отбором проб каждые 4 ч. После центрифугирования супернатант фильтровали и использовали для определения содержания редуцирующих веществ. При постановке четырехфакторного эксперимента (ПФЭ 2⁴) выбраны следующие критерии оптимизации: продолжительность гидролиза и активность ферментных препаратов. На основании результатов серии экспериментов составлено линейное уравнение регрессии, описывающее процесс накопления редуцирующих веществ при совместном действии вышеупомянутых факторов. Полученная математическая модель соответствует условиям адекватности по критерию Фишера и апробирована в экспериментальных условиях. В результате решения уравнения регрессии определена продолжительность гидролиза, составившая 20 ч, с использованием ферментных препаратов активностью 75 ед/г. При таком соотношении факторов прогнозируемое значение редуцирующих веществ составило 28,19 г/л, а фактическое – 28,01 г/л.

Ключевые слова: подсолнечная лузга, ферментные препараты, математическое моделирование, вторичные сырьевые ресурсы, ферментативный гидролиз, редуцирующие вещества.

Для цитирования: Вистовская В. П., Кожемякин Д. С., Каменская Е. П. Оптимизация параметров ферментолиза подсолнечной лузги с использованием методов математического моделирования // Ползуновский вестник. 2025. № 1, С. 103–109. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.01.012. EDN: <https://elibrary.ru/USIKBN>.

Original article

OPTIMIZATION OF SUNFLOWER HUSK ENZYMOLYSIS PARAMETERS THROUGH USE OF MATHEMATICAL MODELING METHODS

Victoria P. Vistovskaya ¹, Denis S. Kozhemyakin ², Elena P. Kamenskaya ³

^{1, 2, 3} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

¹ vpvist@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0000-0606-4599>

² denkzm1998@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-4051-569X>

³ ekam2007@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3760-6914>

© Вистовская В. П., Кожемякин Д. С., Каменская Е. П., 2025

Abstract. The study is focused on optimizing the parameters of the process of enzymatic hydrolysis through the use of mathematical modeling methods. The subject of the study was the husks obtained as a result of sunflower seed hulling. Cellulolytic, β -glucanasic, xylanasic and glucoamylasic enzyme preparations produced by Sibbiopharm Production Association, OOO [Limited Liability Company] (city of Berdsk) and Biopreparat Trading House, OAO [Open Joint-Stock Company] (city of Moscow) were used in the process of enzymolysis, namely Cellolux-A, β -glucanase-CL, Cellulase, and Xylanase. During the experiment, the sunflower husks were subjected to alkaline delignification in advance, then mixed with water at a 1:5 ratio. Upon introducing the enzyme preparations, the resulting suspension was maintained at the temperature of 50 °C for 20 hours, with samples drawn every 4 hours. After centrifugation the supernatant fluid was filtered and used to determine the concentration of reducing agents. When setting up the four-factor experiment (2⁴ full factorial experiment), the following optimization criteria were selected: hydrolysis duration and enzymatic preparation activity. Based on the results of a series of experiments, a linear regression equation which described the processes of reducing agent accumulation, with both factors mentioned above in cooperation, was deduced. The resulting mathematical model was shown to be adequate by passing the F-test and was tested experimentally. Solving the regression equation allowed us to determine the duration of hydrolysis, amounting to 20 hours, and the level of enzymatic preparation activity was found to be 75 u/g. Given the factor ratios, the amount of reducing agents was expected to reach 28.19 g/l, actually amounting to 28.01 g/l.

Key words: sunflower husks, enzymatic preparations, mathematical modeling, recyclable raw materials, enzymatic hydrolysis, reducing agents.

For citation: Vistovskaya, V. P., Kozhemyakin, D. S., Kamenskaya, E. P. (2025). Optimization of sunflower husk enzymolysis parameters through use of mathematical modeling methods. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 103-109. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.01.012. EDN: <https://elibrary.ru/USIKBN>.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с увеличением производства растительных масел как в нашей стране, так и в мире, остро встает проблема конверсии и комплексного использования побочных продуктов производства – жмыхов, шротов, фосфатидных концентратов, а также шелухи и лузги. Главной масличной культурой в нашей стране является подсолнечник однолетний (*Helianthus annuus* L.) – травянистое растение рода *Helianthus* L. семейства *Asteraceae*, на него приходится свыше 80 % посевных площадей всех масличных культур, что составляет около 20,3 % от мировых посевов подсолнечника. Ядра семян *Helianthus annuus* L. имеют высокую биологическую ценность, они содержат 25–30 % белка, в составе которого 1/3 – незаменимые аминокислоты; до 64 % липидов, богатых полиненасыщенными жирами; около 7 % углеводов, из которых более половины – пищевые волокна, оказывающие положительное влияние на работу кишечника. Также ядра семян богаты витаминами (А, С, Е, РР, группы В), макро- и микроэлементами, такими как кальций, калий, железо, магний, марганец, фосфор, натрий, цинк и др. [1, 2].

На маслоэкстракционных заводах существует проблема накопления большого количества отходов подсолнечного производства из-за отсутствия эффективных технологий переработки и утилизации. Лузга подсолнечника, являясь крупнотоннажным источником вторичного сырья, в зависимости от сорта культуры в среднем составляет 30–50 % от веса семян. В последние годы в новых сортах подсолнечника в связи с ростом масличности доля лузги снизи-

лась почти в два раза с 30 % до 17 %. Лузга разных гибридов и сортов подсолнечника содержит в среднем: жира 3,0 %, белка 3,4 %, безазотистых экстрактивных веществ 29,7 %, клетчатки 61,1 %, золы 2,83 %. В настоящее время перерабатывается 40 % образующейся лузги (в строительстве; при выращивании грибов; в качестве удобрения и улучшителя свойств почвы; для получения биогаза; в качестве сырья в гидролизной промышленности; в качестве кормовой добавки в животноводстве и птицеводстве), остальные 60 % захоранивают или утилизируют путем сжигания [3, 4]. При этом использование лузги может сопровождаться и некоторыми трудностями. Так, применение лузги в качестве мелиоранта почв или утилизация путем вывоза на мусорные полигоны может способствовать благоприятному развитию плесеней, что объясняется наличием в ней частиц оболочек ядра подсолнечника, не отделившихся во время обрушивания, которые содержат белки, жиры, углеводы. Использование лузги в качестве топлива может оказывать негативный эффект на местную экосистему, а повышенное содержание клетчатки делает ее, без предварительной обработки, практически не усвояемой для желудка животных [5–7].

Поскольку подсолнечная лузга содержит значительное количество пентозанов (23,6–28,0 %), клетчатки (52,0–66,0 %), лигнина (24,8–29,6 %), целлюлозы (31,0–42,4 %), она после предварительной делигнификации и гидролиза является ценным субстратом для культивирования мицелиальных грибов, дрожжей или бактерий – продуцентов микробного белка, сбалансированного по аминокислотному составу. Так, использование подсолнечной лузги для выращи-

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ФЕРМЕНТОЛИЗА ПОДСОЛНЕЧНОЙ ЛУЗГИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

вания кормовых дрожжей позволяет увеличить суммарное содержание протеина в 8–9 раз [8].

В связи с этим, одним из перспективных путей рационального использования вторичного растительного сырья, в том числе подсолнечной лузги является её применение в качестве ферментированного субстрата для биосинтеза микробного белка, что позволит не только получить дополнительно белок, но и одновременно решить проблемы утилизации отходов, загрязняющих окружающую среду [9].

С целью повышения эффективности биоконверсии подсолнечной лузги необходим поиск как новых отдельных ферментных препаратов (ФП), так и составление мультиэнзимных композиций (МЭК), которые обеспечат максимальную биодegradацию основных компонентов лузги. Для установления рациональных параметров ферментативного гидролиза подсолнечной лузги и разработки мультиэнзимных композиций целесообразно использовать математические методы планирования экспериментов, а именно план полного факторного эксперимента.

Цель данной работы – оптимизация параметров ферментативного гидролиза подсолнечной лузги на основе математических методов планирования эксперимента.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования служила лузга, полученная в результате обрушивания целых семян подсолнечника в рушально-веечном отделении при производстве растительного масла на Барнаульском маслоэкстракционном заводе (БМЭЗ, г. Барнаул). Лузга подсолнечника имела влажность 9,87 %; массовую долю сырого жира – 4,5 % (абс. сухое вещество); массовую долю сырой клетчатки – 52,1 %, (абс. сухое вещество); массовую долю сырого протеина – 1,4 % (абс. сухое вещество); массовую долю лигнина – 28,9 % (абс. сухое вещество).

Подсолнечную лузгу расфасовывали в полиэтиленовые пакеты и хранили в сухом проветриваемом помещении при комнатной температуре.

Механическая обработка лузги заключалась в измельчении на лабораторной мельнице ЛМЦ-1М с образованием частиц размерами от 125 до 560 мкм. Подсолнечная лузга характеризуется высоким содержанием лигнина, что может негативно сказаться в дальнейшем на активности и работе ферментных препаратов. В связи с этим проводилась предварительная термохимическая обработка сырья – щелочная делигнификация. Подсолнечную лузгу смешивали с 1 %-ым раствором NaOH в соотношении 1:9, т.е. к 100 г исходной лузги добавляли 900 г щелочного раствора. Полученную суспензию настаивали на водяной бане в течение 1 ч при температуре 80 °С, после чего осуществляли ее фильтрование.

Выбор щелочной делигнификации обоснован высокой эффективностью метода, дешевиз-

ной реагентов, а также данный способ не приводит к разрушению целлюлозы и гемицеллюлозы в отличие от обработки кислотами или паром [10].

В процессе ферментативного гидролиза подсолнечной лузги применялись следующие отечественные ферментные препараты: «Целлолюкс А» (ООО ПО «Сиббиофарм, г. Бердск), «β-глюканаза-ЦП», «Целлюлаза» и «Ксиланаза» (ООО ТД «Биопрепарат», г. Москва).

Для осуществления процесса ферментации делигнифицированную подсолнечную лузгу смешивали с дистиллированной водой, нагретой до 50 °С в соотношении 1:5. Далее pH суспензии доводили до оптимальных значений pH, характерных для используемых ФП. После внесения ферментных препаратов, суспензию помещали в термостат с температурой 50±1 °С.

С целью предварительной оценки эффективности действия каждого ФП проводили эксперимент в течение 12 ч с отбором проб каждые 2 ч. Отобранные пробы центрифугировали на лабораторной центрифуге ОПН-16 в течение 10 мин при 3 500 об/мин. Надосадочную жидкость фильтровали через складчатый фильтр и в дальнейшем использовали для определения содержания редуцирующих веществ.

Для выполнения задач исследования определялись следующие физико-химические показатели:

- содержание редуцирующих веществ перманганатным методом Бертрана;
- массовая доля влаги методом высушивания;
- содержание сырой клетчатки гравиметрическим методом;
- массовая доля сырого жира методом ядерного магнитного резонанса (ЯМР);
- массовая доля сырого протеина методом Кьельдаля;
- массовая доля лигнина сернокислым методом.

Математическую модель исследуемого процесса ферментативного гидролиза подсолнечной лузги разрабатывали на основе полного факторного эксперимента ПФЭ 2⁴.

Для наиболее полного описания процесса ферментации, а также его оптимизации был выбран следующий критерий: накопление редуцирующих веществ – У.

В работе были использованы следующие факторы: продолжительность процесса ферментации, ч – X₁; активность препарата «Целлолюкс А» – X₂; дозировка препарата «β-глюканаза-ЦП» – X₃, дозировка препарата «Целлюлаза» – X₄.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для осуществления ферментативного гидролиза подсолнечной лузги применялись отечественные ферментные препараты, основная характеристика которых представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Основная характеристика ферментных препаратов

Table 1 – The main characteristics of enzyme preparations

Наименование препаратов	Ферменты	Активность основного фермента	Параметры	Оптимальные условия действия
ЦеллоЛюкс А	Целлюлаза, ксиланаза, β-глюканаза, глюкоамилаза	Целлюлолитическая активность – 2000±200 ед/г	Температура, °С	45–60
			рН, ед.	3,5–6,0
β-глюканаза-ЦЛ	β-глюканаза, целлюлаза, ксиланаза	β-глюканазная активность – 10000 ед/мл	Температура, °С	65–70
			рН, ед.	4,0–5,0
Целлюлаза	Целлюлаза	Целлюлолитическая активность – 5000 ед/г	Температура, °С	50–60
			рН, ед.	4,0–5,5
Ксиланаза	Ксиланаза	Ксиланазная активность – 10000 ед/г	Температура, °С	50–60
			рН, ед.	4,0–7,5

Используемые ФП обладали целлюлолитическим, ксиланазным, β-глюканазным и глюкоамилазным действиями.

На первом этапе было изучено влияние ферментных препаратов на показатели содержания редуцирующих веществ. Заявленные ФП

вносили в суспензию с таким расчетом, чтобы активность каждого из них составляла 25 ед/г исходной лузги.

Динамика накопления РВ в зависимости от типа используемого ФП представлена на рисунке 1.

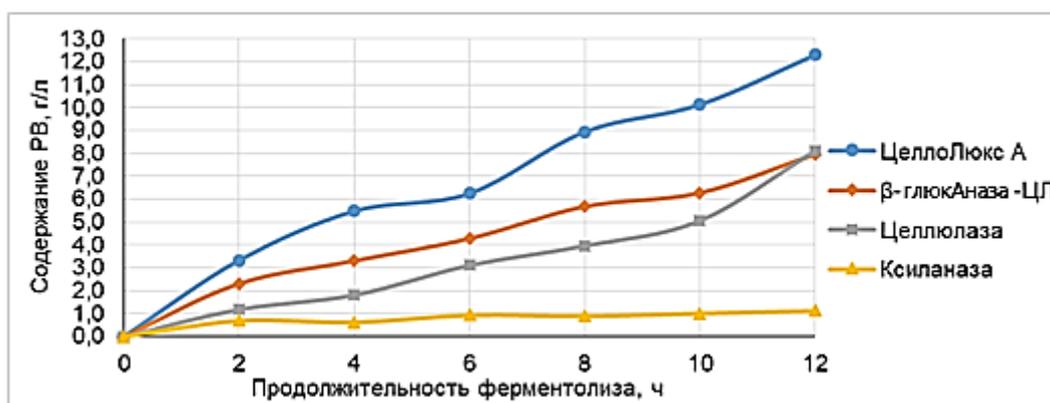


Рисунок 1 – Динамика накопления редуцирующих веществ

Figure1 – Reducing agent accumulation dynamics

Согласно данным, представленным на рисунке 1, наибольший прирост РВ за 12 ч ферментализации дает применение комплексного ФП «ЦеллоЛюкс А» – 12,3 г/л. Препараты «β-глюканаза-ЦЛ» и «Целлюлаза» также показывали хорошие результаты – 7,96 г/л и 8,11 г/л соответственно. За исследуемый период ФП «Ксиланаза» не проявил высокой эффективности – 1,12 г/л.

С целью построения стандартной матрицы эксперимента натуральные значения уровней факторов были переведены в кодовые безразмерные величины. После того, как данные параметры были закодированы, они принимали значения от +1 до –1. Результат кодирования факторов X_1, X_2, X_3, X_4 представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Кодирование факторов

Table2 – Factors coding

Факторы	x_1	X_1	x_2	X_2	x_3	X_3	x_4	X_4
Интервал варьирования	8	1	0,25	1	0,25	1	0,25	1
Верхний уровень	20	+1	0,75	+1	0,75	+1	0,75	+1
Нижний уровень	4	-1	0,25	-1	0,25	-1	0,25	-1
Основной уровень	12	0	0,50	0	0,50	0	0,50	0

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ФЕРМЕНТОЛИЗА ПОДСОЛНЕЧНОЙ ЛУЗГИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

При постановке четырехфакторного эксперимента были определены следующие сочетания факторов первого, второго и третьего порядков:

$$C_4^2 = \frac{4!}{2! 2!} = 6;$$

$$C_4^3 = \frac{4!}{3! 1!} = 4;$$

$$C_4^4 = \frac{4!}{4! 0!} = 1.$$

Суммарное количество взаимодействий факторов в эксперименте – 11. На основании этих данных была построена матрица планирования с учетом взаимодействия факторов.

На следующем этапе была проведена серия опытов из 16 экспериментов в течение 20 ч по определению содержания редуцирующих веществ в гидролизатах подсолнечной лузги при различных уровнях факторов. Для снижения влияния систематических погрешностей была проведена предварительная рандомизация опытов, т.е. они выполнялись в случайном порядке. На основании экспериментальных данных была определена дисперсия для каждого параллельного опыта S_i^2 , значение критерия Кохрена G , а также дисперсия воспроизводимости $S_{(y)}^2$ и стандартное отклонение $S_{(y)}$. Для того, чтобы удостовериться в однородности дисперсии воспроизводимости, полученное значение G сравнивали с табличным G_T . Все вышеперечисленные показатели приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Расчетные данные проверки дисперсии параллельных опытов и воспроизводимости экспериментов

Table 3 – Predicted replica test dispersion and reproducibility check data

№	y_1	y_2	\bar{y}	S_i^2	G	G_T	$S_{(y)}^2$	$S_{(y)}$
1	14,00	13,94	13,97	0,002	0,2772	0,4517	0,4555	0,6749
2	18,83	18,47	18,65	0,065				
3	16,02	15,06	15,54	0,461				
4	19,85	20,39	20,12	0,146				
5	12,30	12,01	12,16	0,042				
6	14,50	15,19	14,85	0,238				
7	18,58	18,44	18,51	0,010				
8	17,80	15,99	16,90	1,638				
9	17,89	18,15	18,02	0,034				
10	23,05	21,44	22,25	1,296				
11	12,83	12,56	12,70	0,036				
12	24,11	23,05	23,58	0,562				
13	14,85	15,17	15,01	0,051				
14	19,02	20,13	19,58	0,616				
15	18,18	17,80	17,99	0,071				
16	29,02	27,01	28,02	2,020				

На основании расчетных данных было сделано заключение об однородности дисперсии, поскольку расчетное значение критерия Кохрена оказалось ниже табличного.

Определенное в ходе расчетов стандартное отклонение в дальнейшем использовалось при сравнении экспериментальных и спрогнозированных данных.

При определении коэффициентов регрессии b_{ij} и их значимости при помощи критерия Стьюдента (t_T) удалось установить, что все коэффициенты, за исключением b_3 , b_{24} , b_{1234} – значимы. Данные коэффициенты были включены в итоговое уравнение регрессии.

Уравнение регрессии, описывающее процесс накопления редуцирующих веществ, имело следующий вид:

$$Y = 17,99 + 2,50X_1 + 1,18X_2 + 1,65X_4 + 0,48X_1X_2 - 0,54X_1X_3 + 0,21X_1X_4 + 1,30X_2X_3 + 0,62X_3X_4 - 0,34X_1X_2X_3 + 1,03X_1X_2X_4 + 0,48X_1X_3X_4 + 0,63X_2X_3X_4.$$

Для того, чтобы удостовериться, что полученное уравнение регрессии пригодно для описания процесса накопления РВ, была проведена оценка его адекватности по критерию Фишера. Расчетные данные критерия (1,30) были ниже табличных (3,24), что подтверждает адекватность данной математической модели.

При решении данного уравнения удалось установить, что наилучшее накопление редуцирующих веществ достигается при продолжительности ферментализации 20 ч и активности каждого вносимого ферментного препарата на уровне 75 ед/г – 28,19 г/л.

Для наглядной визуализации процесса накопления редуцирующих веществ была построена поверхность отклика, отображающая зависимость накопления редуцирующих веществ от продолжительности процесса ферментализации и активности ферментных препаратов, представленная на рисунке 2.

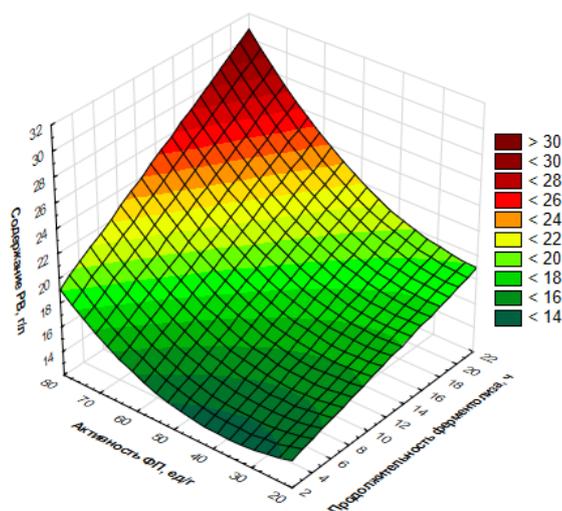


Рисунок 2 – Поверхность отклика накопления редуцирующих веществ

Figure 2 – Reducing agent accumulation response surface

Данные рисунка 2 свидетельствуют о том, что при увеличении активности ФП и продолжительности ферментативного гидролиза увеличивается содержание РВ в суспензии.

Для подтверждения корректности математической модели был проведен сравнительный анализ экспериментальных и прогнозируемых данных (рисунок 3).

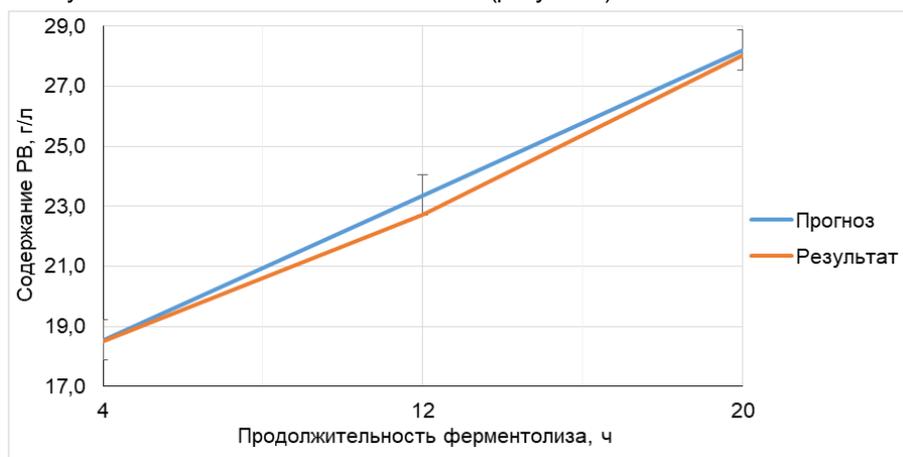


Рисунок 3 – Сравнительный анализ накопления редуцирующих веществ

Figure 3 – Comparative analysis of reducing agent accumulation

Согласно результатам, представленным на рисунке 3, содержание редуцирующих веществ было несколько ниже спрогнозированных данных или находилось на приблизительно том же уровне. Следует отметить, что все значения находились в пределах стандартных отклонений – 0,67, из чего следует, что математическая модель накопления редуцирующих веществ была построена верно.

ВЫВОДЫ

После решения уравнения регрессии и изучения зависимости накопления РВ от продолжительности процесса и активности ферментных препаратов были определены соотно-

шения факторов, обеспечивающие максимальное их накопление. Продолжительность гидролиза (X_1) – 20 ч, активность ФП «ЦеллоЛюкс А» (X_2) – 75 ед/г (3,75 г/100 г), «β-глюканаза-ЦП» (X_3) – 75 ед/г (0,75 мл/100 г), «Целлюлаза» (X_4) – 75 ед/г (1,5 г/100 г). При таком соотношении факторов прогнозируемое значение редуцирующих веществ составляет 28,19 г/л, а фактическое – 28,01 г/л.

Полученная в ходе полнофакторного эксперимента математическая модель может быть использована в дальнейших исследованиях, направленных на получение субстратов для микробного биосинтеза различных метаболитов.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ФЕРМЕНТОЛИЗА ПОДСОЛНЕЧНОЙ ЛУЗГИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муха Д.В., Картамышева И.Н. Технология производства, хранения и переработки продукции растениеводства и основы земледелия. М., 2007. 580 с.
2. Arshad M., Amjad M. Medicinal use of sunflower oil and present status of sunflower in Pakistan: A review study // *Sci. Tech. Dev.* 2012. Vol. 3. Pp. 99–106.
3. Харьков В.В., Тунцев Д.В., Кузнецов М.Г. Термохимическая переработка лузги подсолнечника // *Вестник Казанского ГАУ.* 2018. №4(51). С. 130–134.
4. Тунцев Д.В., Харьков В.В., Кузнецов М.Г. Переработка лузги подсолнечника в угольные брикеты высокой прочности // *Вестник Казанского ГАУ.* 2019. №4(56). С. 86–90.
5. Ваншин В.В. Производство растительных масел : учеб. пособие. Оренбург: ОГУ, 2015. 243 с.
6. Технологические приемы биоконверсии лузги подсолнечника / С.А. Сашенкова, Г.В. Ильина, Д.Ю. Ильин, А.Р. Дашкина // *Нива Поволжья.* 2020. №2. С. 52–57.
7. Кормление бройлеров при использовании комбикормов, содержащих соевый и подсолнечный шроты / И.Н. Никонов // *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания.* 2017. № 5. С. 34–38.
8. Хусид, С.Б. Подсолнечная лузга как источник получения функциональных кормовых добавок / С.Б. Хусид, А.Н. Гнеуш, Е.Е. Нестеренко // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета.* 2015. № 107. С. 142–155.
9. Разработка мультиэнзимной композиции для гидролиза пивной дробины с использованием методов математического моделирования / В.П. Вистовская [и др.] // *Ползуновский вестник.* 2023. № 3. С. 134–141.
10. Фоменко И.А. Делигнификация подсолнечной лузги как исходная стадия ферментативного гидролиза / И.А. Фоменко, Л.А. Иванова, А.А. Мижева // *Проблемы развития АПК региона.* 2021. № 3. С. 170–175.

Информация об авторах

В. П. Вистовская – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии бродильных производств и виноделия.

Д. С. Кожемякин – аспирант кафедры технологии бродильных производств и виноделия.

Е. П. Каменская – кандидат биологических наук, доцент кафедры технологии бродильных производств и виноделия.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.*

Статья поступила в редакцию 02 мая 2024; одобрена после рецензирования 28 февраля 2025; принята к публикации 05 марта 2025.

The article was received by the editorial board on 02 May 2024; approved after editing on 28 Feb 2025; accepted for publication on 05 Mar 2025.

REFERENCES

1. Mukha, D.V., Kartamysheva, I.N. Technology of crop production, storage and processing and fundamentals of agriculture. Moscow, 2007. 580 pp. (in Russ).
2. Arshad, M., Amjad, M. Medicinal use of Sunflower oil and present status of Sunflower in Pakistan: A review study. *Sci Tech Dev.* 2012;31(2):99-106. (in PK).
3. Kharkov, V.V., Tuntsev, D.V., Kuznetsov, M.G. Thermochemical processing of sunflower husks. *Vestnik of Kazan State Agrarian University.* 2018. (4(51)). 130-134. (in Russ.). DOI: 10.12737/artcle_5c3de39d111083.70940804.
4. Tuntsev, D.V., Kharkov, V.V., Kuznetsov, M.G. Processing sunflower husk into high strength coal briquettes. *Vestnik of Kazan State Agrarian University.* 2019. (4(56)). 86-90. (in Russ.).
5. Vanshin, V.V. Oil manufacturing: learning guide. Orenburg: OSU, 2015. 243 pp. (in Russ.).
6. Sashenkova, S.A., Ilyina, G.V., Ilyin, D.Yu., Dashkina, A.R. Technological methods of bioconversion of sunflower husk. *Niva Povolzhya.* 2020. (2). 52-57. (in Russ.).
7. Nikonov, I.N. Feeding of broilers when using the compound feeds containing soy and sunflower cakes. *Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products.* 2017. (5). 34-38. (in Russ.).
8. Khusid, S.B., Gneush, A.N., Nesterenko, E.E. Sunflower husks as a source of functional feed additives. *Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University.* 2015. (107). 142-155. (in Russ.).
9. Vistovskaya, V.P., Kamenskaya, E.P., Kozhemyakin, D.S., Dikalova, E.S. Development of a multi-enzymatic composition for brewer's spent grain hydrolysis through the use of mathematical modeling methods. *Polzunovskiy vestnik.* 2023. (3). 134-141. (in Russ.). DOI: 10.25712/ASTU.2 072-8921.2023.03.018.
10. Fomenko, I.A., Ivanova, L.A. Sunflower husk delignification as the initial stage of enzymatic hydrolysis. *Problems of development of agro-industrial complex of the region.* 2021. (3). 170-175. (in Russ.).

Information about the authors

V.P. Vistovskaya - candidate of technical sciences, associate professor at the Department of Technology of Fermentation and Winemaking.

D.S. Kozhemyakin - postgraduate student at the Department of Technology of Fermentation and Winemaking.

E.P. Kamenskaya - candidate of biological sciences, associate professor at the Department of Technology of Fermentation and Winemaking.