

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.363

DOI: 10.26897/2687-1149-2022-3-80-86

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОАКТИВАТОРА
ДЛЯ ОБРАБОТКИ ГРУБЫХ КОРМОВ**СТОРЧЕВОЙ ВЛАДИМИР ФЕДОРОВИЧ** , *д-р техн. наук, профессор*v.storchevoy@rgau-msha.ru ; <https://orcid.org/0000-0002-6929-3919>**КАБДИН НИКОЛАЙ ЕГОРОВИЧ**, *канд. техн. наук, доцент*

energo-nek@rgau-msha.ru

АНДРЕЕВ СЕРГЕЙ АНДРЕЕВИЧ, *канд. техн. наук, доцент*

energo-andreev@rgau-msha.ru

ГУРОВ ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ, *магистр*

dim_ok7@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Аннотация. Высокая продуктивность сельскохозяйственных животных требует рациона кормления, при котором животные получают наряду с кормами все необходимые питательные элементы, соответствующие их потребностям. Перед скармливанием корма подвергаются дополнительной обработке для повышения их пищевой ценности и поедаемости. Перспективным способом является обработка грубых кормов активированными средами. Спроектирован и описан принцип работы однофазного электроактиватора проточного типа с диафрагмой типа бельгинга с такими оптимальными параметрами, чтобы осуществлять подготовку нужного количества активированной воды (католита) для обработки ею грубого корма массой 5 т в сезон. Для обоснования режимов работы электроактиватора использована матрица активного планирования трехфакторного эксперимента. При выборе интервалов изменений факторов (мощности электроактиватора, производительности активатора и цикла работы активатора) руководствовались технологическими условиями процесса электрохимической активации жидкости и особенностями конструкции установки для активации жидкости. Эффективность процесса активации жидкости определялась величиной изменения водородного показателя активируемого раствора, потерей напряжения на электроактиваторе и плотностью тока. Получены регрессионные модели, на базе которых оптимизированы режимы работы установки. На основе полученных уравнений можно осуществлять изменение варьируемых параметров для получения нужных пропорций входных и выходных параметров установки.

Ключевые слова: электроактиватор, активированная вода, католит, обработка грубых кормов, параметры работы проточного электроактиватора.

Формат цитирования: Сторчевой В.Ф., Кабдин Н.Е., Андреев С.А., Гуров Д.А. Моделирование рациональных режимов электроактиватора для обработки грубых кормов // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 3. С. 80-86. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-3-80-86>.

© Сторчевой В.Ф., Кабдин Н.Е., Андреев С.А., Гуров Д.А., 2022



ORIGINAL PAPER

SIMULATING RATIONAL MODES OF ELECTRIC ACTIVATOR
FOR ROUGH FORAGE PROCESSING**VLADIMIR F. STORCHEVOY** , *DSc (Eng), Professor*v.storchevoy@rgau-msha.ru ; <https://orcid.org/0000-0002-6929-3919>**NIKOLAY E. KABDIN**, *PhD (Eng), Associate Professor*

energy-nek@rgau-msha.ru

SERGEY A. ANDREEV, *PhD (Eng), Associate Professor*

energo-andreev@rgau-msha.ru

DMITRIY A. GUROV, *MSc (Eng)*

dim_ok7@mail.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

Abstract. The high productivity of farm animals requires that the feeding ration should contain all the necessary nutrients to meet their needs. Before offering to animals, feeds are subjected to additional processing to increase their nutritional value and palatability.

A promising method is the treatment of roughage with activated media. The authors designed and described the operating principle of a single-phase flow-type electric activator with a belting-type diaphragm. It has optimal parameters to prepare the required amount of activated water (catholyte) for processing roughages in the amount of five tons per season. To justify the operating modes of the electric activator, a matrix of active planning of a three-factor experiment was used. When choosing the intervals for changing factors (the electric activator power, performance, and cycle), the authors were guided by the technological conditions of electrochemical activation of the liquid and the activator design features. The efficiency of the liquid activation process was determined by the value of change in the hydrogen index of the activated solution, the voltage loss on the electric activator, and the current density. Regression models were obtained to optimize the operating modes of the activator. Based on the equations obtained, it is possible to change the variable parameters to obtain the desired proportions of the input and output parameters of the installation.

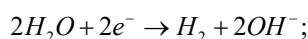
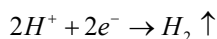
Key words: electric activator, activated water, catholyte, roughage processing, operation parameters of a flow-through electroactivator.

For citation: Storchevoy V.F., Kabdin N.E., Andreev S.A., Gurov D.A. Simulating rational modes of electric activator for rough forage processing. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2022; 24(3): 80-86. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-3-80-86>.

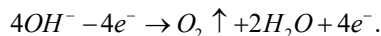
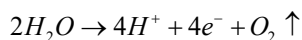
Введение. Одна из важных задач, поставленных перед отраслью животноводства, – обеспечение сельскохозяйственных животных качественными кормами, которые являются источником энергии и содержат полезные вещества. Актуальным является внедрение прогрессивных способов дополнительной обработки кормов с целью повышения их пищевой ценности. Самый перспективный способ – обработка грубых кормов активированными средами, поскольку он является экономичным, безопасным и экологически чистым^{1,2} [1-3].

Получение активированных растворов возможно в процессе электрохимической активации при электролизе [4, 5]. Электроактивированная вода получается, когда на электроды, погруженные в водный раствор, подается постоянное напряжение. При прохождении постоянного тока через водный раствор на катоде происходит электрохимическое восстановление с выделением газообразного водорода, а на аноде – электрохимическое окисление воды с выделением кислорода:

на катоде –



на аноде –



Для получения в процессе электроактивации отдельного анолита и католита пространство между электродами разделяют диафрагмой [6-10].

Высокую реакционную способность электрохимически активированным (ЭХА) растворам в метастабильном состоянии придают изменение водородного показателя (pH) и окислительно-восстановительного потенциала (ОВП), что позволяет использовать их в биотехнологии и пищевой промышленности, обеспечивая экологическую и продовольственную безопасность [11-13]. Установлено, что активированные

растворы при их использовании до момента полной релаксации обеспечивают обеззараживание питьевой воды и сточных вод, консервирование зеленых кормов, положительно воздействуют на организм человека и животных.

Для сельского хозяйства рекомендуется установка для получения ЭХА-раствора, в которой активатор имеет следующие параметры: площадь одного электрода – 0,03 м²; межэлектродное расстояние – 0,05 м. Регулируемый источник постоянного тока позволяет изменять напряжение на электродах в пределах от 0 до 250 В. Удельный расход электроэнергии составляет 0,022 кВт · ч/м³ [13].

На кафедре механизации и электрификации животноводства Гродненского сельскохозяйственного института разработана опытно-модельная установка для применения в технологии консервирования зеленых кормов. Электроактиваторная установка представляет собой диафрагменный электролизер непрерывного действия с использованием цилиндрических электродов и ионопроницаемой диафрагмы. Но у данного активатора имеется существенный недостаток, заключающийся в низкой ремонтопригодности. К тому же проблематично сделать какие-либо выводы о возможности применения произведенных растворов в тех или иных технологических процессах, так как авторами разработанной установки не указан используемый материал электродов.

Цель исследований: определение основных параметров работы электроактиватора для обработки грубых кормов, обеспечивающего производство католита с заданными параметрами.

Материалы и методы. Обоснование конструктивных и технологических параметров электроактиваторной установки и режимов ее работы базируется на математических моделях, описывающих связь между варьируемыми параметрами технологического процесса с критериями оценки эффективности процесса, а именно воздействия постоянного электрического тока на проходящую через электроактиватор воду. Определение рациональных режимов работы однофазного проточного электроактиватора для обработки грубых кормов осуществлялось с помощью компьютерной программы Statistica V10.

Результаты и их обсуждение. С целью обработки 5 т грубого корма в сезон спроектирован однофазный электроактиватор проточного типа с диафрагмой типа бельтинга, который имеет оптимальные параметры, необходимые для подготовки нужного количества католита. Определены режимы

¹ Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: Справочное пособие. 3-е изд., перераб. и доп. / Под ред. А.П. Калашникова, В.И. Фисинина, В.В. Щеглова, Н.И. Клейменова. М.: Россельхозакадемия, 2003. 456 с.

² Подготовка силоса к скармливанию // Зооинженерный факультет РГАУ-МСХА. URL: <http://www.activestudy.info/podgotovka-silosa-k-skarmlivaniyu> (дата обращения: 20.10.2020).

работы электроактиватора. Принята конструкция активатора аналогично конструкции образца А.С. Оськина (рис. 1) [2].

Электроактиватор представляет собой установку прямоугольной формы, корпус которой выполнен из текстолита, работающую в постоянном режиме и обслуживаемую одним оператором. Внутри активатора находится канал, по которому протекает жидкость и который разделен диафрагмой на две зоны: катодную и анодную. Поток воды, попадая в канал, приобретает змеевидную направленность благодаря особой конструкции. Подача воды в электроактиватор осуществляется в каждую зону отдельно. По краям катодной и анодной зон расположены электроды. На электроды подается постоянное напряжение, и между электродами через проходящую в камере воду начинает протекать ток. Вода, проходя через камеру, разделенную диафрагмой, активируется. На выходе электроактиватора получают католит и анолит.

Для обоснования режимов работы электроактиватора использована матрица активного планирования трехфакторного эксперимента типа 2^3 .

Основными критериями, влияющими на процесс активации жидкости, являются: χ_1 – мощность электроактиватора P ; χ_2 – производительность активатора Q ; χ_3 – цикл работы активатора.

При выборе интервалов изменений факторов руководствуются технологическими условиями процесса электрохимической активации жидкости и особенностями конструкции установки для активации жидкости.

Эффективность процесса активации жидкости определяется критериями, имеющими наибольшую значимость для данного процесса: Y_1 – величиной изменения во-

дородного показателя активируемого раствора ΔpH ; Y_2 – потерей напряжения U на электроактиваторе; Y_3 – плотностью тока J (табл. 1).

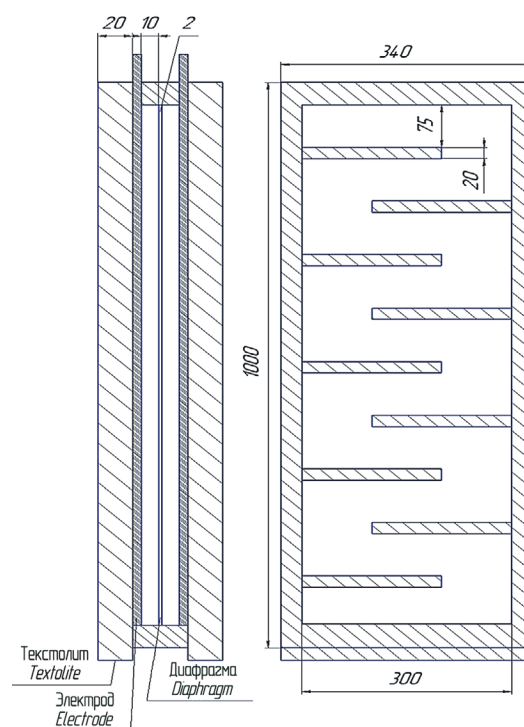


Рис. 1. Конструкция электроактиватора производительностью 650 л/ч

Fig. 1. Design of the electric activator with a capacity of 650 l/h

Таблица 1

Матрица активного планирования трехфакторного эксперимента по оптимизации режимных параметров проточного электроактиватора

Table 1

Matrix of active planning of a three-factor experiment on optimizing the operating parameters of a flow-through electric activator

№ п/п No.	Варьируемые параметры / Variable parameters		Критерии оптимизации (отклик) / Optimization criteria (response)	
	Мощность в катодной камере, P_k , Вт <i>Power in the cathode chamber; P_k, W</i> χ_1	Производительность по католиту, Q_k , л/ч <i>Catholyte productivity; Q_k, l/h</i> χ_2	Изменение водородного показателя, ΔpH_k <i>Change in pH, ΔpH_k</i> Y_1	Падение напряжения в катодной камере, U_k , В <i>Voltage drop in the cathode chamber; U_k, V</i> Y_2
1	3500	500	2,50	46,30
2	3500	650	1,92	47,06
3	3500	800	1,56	47,56
4	5000	500	3,56	53,74
5	5000	650	2,74	55,00
6	5000	800	2,23	55,75
7	6500	500	4,63	59,62
8	6500	650	3,56	61,28
9	6500	800	2,90	62,39

В процессе статистической обработки экспериментальных данных проведен регрессионный анализ, получены уравнения множественной линейной регрессии для каждого критерия

оптимизации. Данные уравнения адекватно описывают процесс электроактивации в проточном активаторе и позволяют выявить эффективные режимы работы электроактиватора.

Графики поверхностей для Y_1 , χ_1 и χ_2 отражены на рисунках 2, 3.

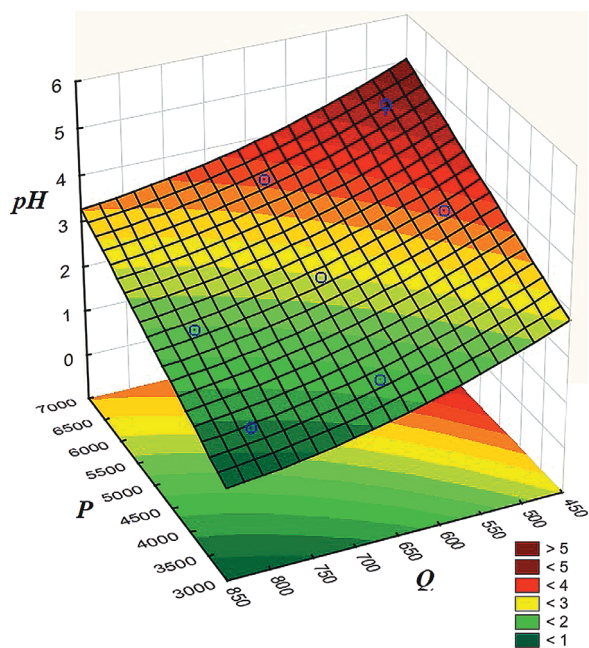


Рис. 2. Поверхность отклика трехфакторной модели изменения водородного показателя в электроактиваторе

Fig. 2. Response surface of the three-factor model of the hydrogen index change in the electric activator

На рисунке 3 представлена поверхность отклика трехфакторной модели оптимального (desirability измеряется от 0 до 1) изменения водородного показателя в электроактиваторе. Оптимальные изменения ΔpH в данном случае составляют 2,5...3,5.

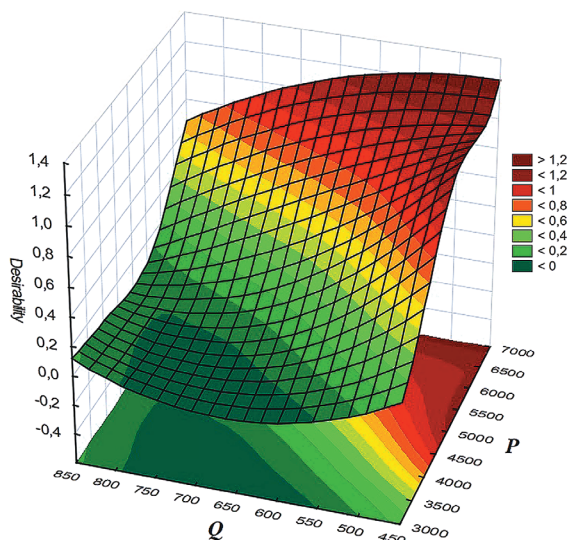


Рис. 3. Поверхность отклика трехфакторной модели оптимального изменения водородного показателя в электроактиваторе, равного 2,5...3,5

Fig. 3. Response surface of the three-factor model of the optimal change in the pH value in the electric activator, equal to 2.5...3.5

Графики поверхностей для оптимальных значений Y_2 , χ_1 и χ_2 представлены на рисунках 4, 5.

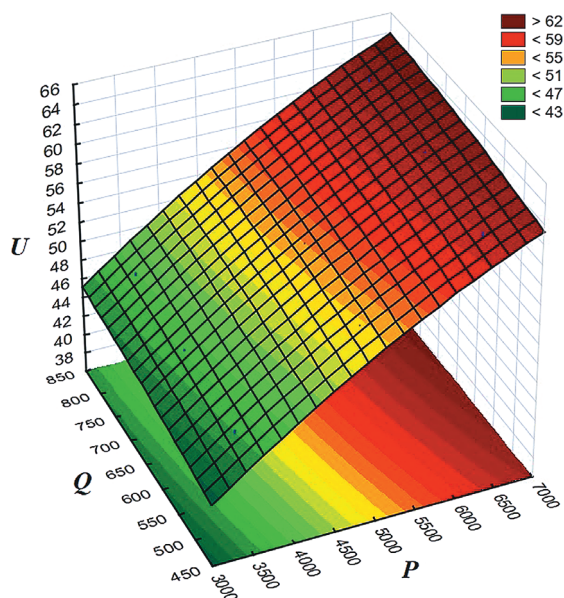


Рис. 4. Поверхность отклика трехфакторной модели изменения падения напряжения в катодной камере электроактиватора

Fig. 4. Response surface of the three-factor model of the voltage drop change in the cathode chamber of the electric activator

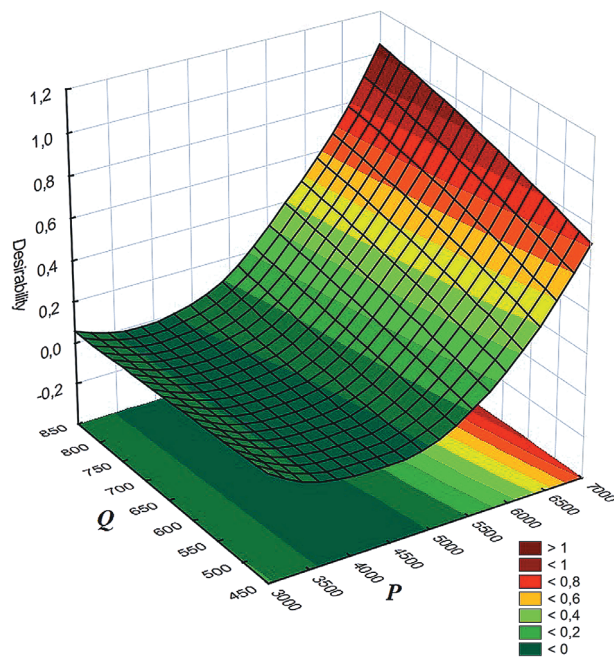


Рис. 5. Поверхность отклика трехфакторной модели оптимального значения падения напряжения в электроактиваторе, равного 55...65 В

Fig. 5. Response surface of the three-factor model of the optimal voltage drop value in the electric activator, equal to 55...65 V

Для более подробного исследования режимов работы электроактиватора введем переменную «Цикл». Цикл — это временная величина, характеризующая изменение режима работы электроактиватора от самого начала до момента забивания диафрагмы и серьезного засорения активатора солями, выпавшими в осадок, выраженная в относительных единицах (табл. 2).

Значение цикла, равное единице (1), обозначает начальную временную фазу работы электроактиватора, при которой активатор производит максимально близкие к расчетным данным выходные характеристики. Но со временем эксплуатационный режим начнет изменяться, так как во время работы электроактиватора постепенно начинают выпадать в осадок соли и уменьшается живое сечение диафрагмы ввиду забивания пор. Как следствие, напряжение на катодной и анодной камерах начнет уменьшаться, сопротивление диафрагмы будет возрастать. Значение цикла, равное числу «два» (2), обозначает ту временную фазу, в которой электроактиватор

постепенно изменяет свой режим работы ввиду внешних факторов, описанных выше. Значение цикла, равное числу «три» (3), обозначает временную фазу, при которой значительно начинают ухудшаться выходные характеристики активатора. Забивание пор диафрагмы происходит намного интенсивнее, чем во второй временной фазе, до момента, в котором уже нужно производить ее промывку или замену. Также в данной фазе еще сильнее увеличивается выпадение солей, и начнется процесс парообразования в камерах активатора.

Графики поверхностей для Y_1 , χ_1 и χ_3 отражены на рисунках 6, 7.

Таблица 2

Матрица активного планирования трехфакторного эксперимента по оптимизации режимных параметров проточного электроактиватора

Table 2

Matrix of active planning of a three-factor experiment on optimizing the operating parameters of a flow-through electric activator

№ п/п No.	Варьируемые параметры / Variable parameters		Критерии оптимизации (отклик) / Optimization criteria (response)		
	Мощность в катодной камере, P_k , Вт Power in the cathode chamber, P_k , W χ_1	Полный цикл работы электроактиватора, Цикл Full operation cycle of the electric activator, cycle χ_2	Изменение водородного показателя, ΔpH_k Change in pH, ΔpH_k Y_1	Падение напряжения в катодной камере, U_k , В Voltage drop in the cathode chamber, U_k , V Y_2	Плотность тока, J , $\frac{A}{cm^2} \cdot 10^3$ Current density, J , $A/cm^2 \cdot 10^3$ Y_3
1	3500	1	1,92	47	36,7
2	3500	2	1,615	51,24	30,9
3	3500	3	1,211	59,16	23,2
4	5000	1	2,74	55	45
5	5000	2	2,05	63,64	33,5
6	5000	3	1,185	83,7	19,4
7	6500	1	3,56	61	52,1
8	6500	2	2,27	76,5	33,5
9	6500	3	1,09	1,09	16

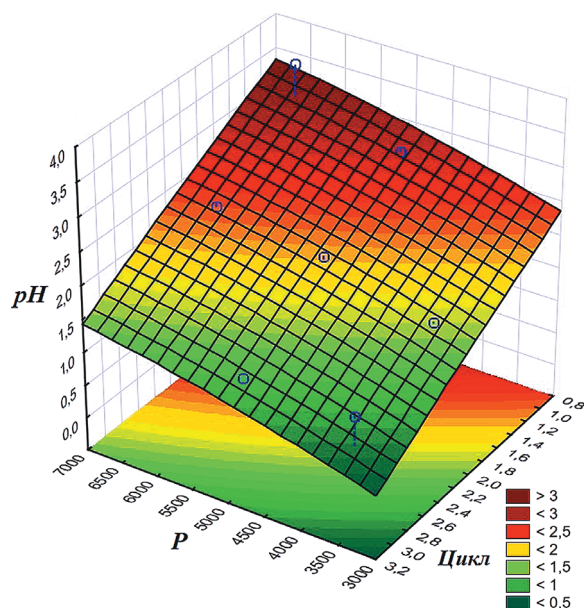


Рис. 6. Поверхность отклика трехфакторной модели изменения водородного показателя в электроактиваторе при производительности 650 л/ч

Fig. 6. Response surface of the three-factor model of the change in the pH value in the electric activator at a capacity of 650 l/h

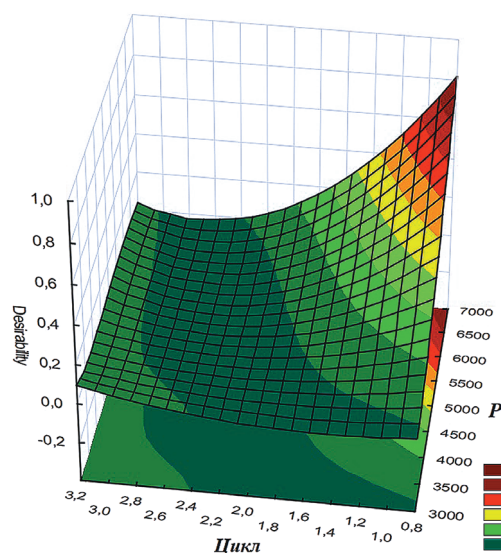


Рис. 7. Поверхность отклика трехфакторной модели оптимального изменения водородного показателя в электроактиваторе (2,5...3,5) при производительности 650 л/ч с учетом цикла работы

Fig. 7. Response surface of the three-factor model of the optimal change in the pH value in the electric activator (2.5...3.5) with a capacity of 650 l/h, taking into account the operating cycle

График поверхностей для Y_2 , χ_1 и χ_3 представлен на рисунке 8.

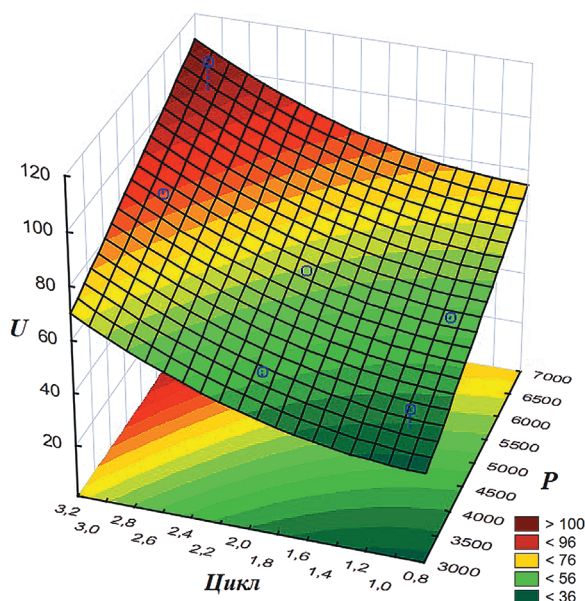


Рис. 8. Поверхность отклика трехфакторной модели изменения падения напряжения в катодной камере электроактиватора при производительности 650 л/ч

Fig. 8. Response surface of the three-factor model of the change in the voltage drop in the cathode chamber of the electric activator at a capacity of 650 l/h

Проанализировав полученные экспериментальные данные, получаем уравнения регрессии по каждому критерию оптимизации, которые позволяют получить рациональные режимы электроактивации жидкости:

$$Z_1 = 2,894 + 0,0006P - 0,0044Q;$$

$$Z_2 = 26,4 + 0,00471P + 0,00671Q;$$

$$Z_3 = 2,33 - 0,789Q + 0,00025P;$$

$$Z_4 = -12,966 + 0,01P + 15,7Q;$$

$$Z_5 = 87,535 + 0,5244U - 25,35Q;$$

Выводы

1. Для установки, обеспечивающей обработку 5 т грубого корма в сезон католитом, эффективные режимы электроактивации жидкости описываются следующими регрессионными уравнениями:

– падение напряжения от мощности P и производительности Q

$$U_k = 2,894 + 0,0006P - 0,0044Q;$$

Библиографический список

1. Рядчиков В.Г. Основы питания и кормления сельскохозяйственных животных. Краснодар: КГАУ, 2012. 328 с.
2. Сторчевой В.Ф., Кабдин Н.Е., Гуров Д.А. Методика расчета основных параметров электроактиватора для обработки грубых кормов // Доклады ТСХА. 2021. Вып. 293. Ч. 3. С. 81-84.
3. Андреева И.В., Белопухов С.Л., Сторчевой В.Ф. Влияние активированной воды на прорастание семян и продуктивности растений // Научная жизнь. 2016. № 7. С. 37-48.
4. Shaposhnik V.A., Kesore K. An early history of electrodialysis with permselective membranes. Journal

График поверхностей для Y_3 , χ_1 и χ_3 представлен на рисунке 9.

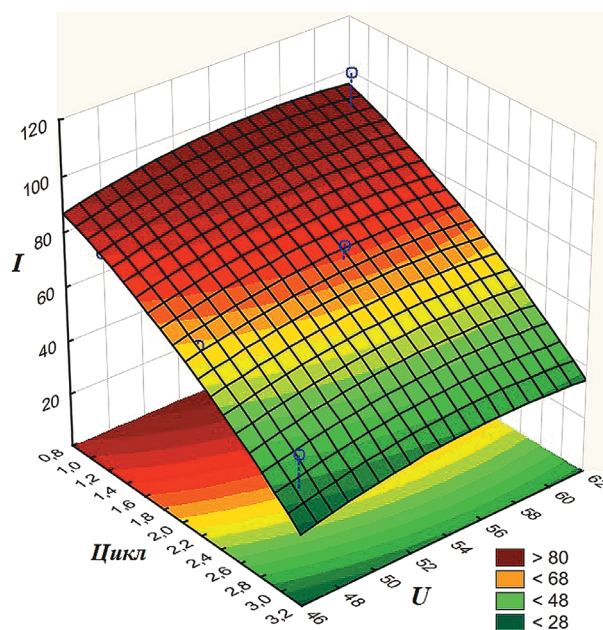


Рис. 9. Поверхность отклика трехфакторной модели изменения плотности тока в электроактиваторе при производительности 650 л/ч

Fig. 9. Response surface of the three-factor model of current density change in the electric activator at a capacity of 650 l/h

– изменение водородного показателя от подаваемой мощности P и производительности Q

$$pH_k = 26,4 + 0,00471P + 0,00671Q;$$

– изменение водородного показателя от цикла и подаваемой мощности P

$$pH_k = 2,33 - 0,789Q + 0,00025P;$$

– падение напряжения от цикла и подаваемой мощности P

$$U_k = -12,966 + 0,01P + 15,7Q;$$

– плотность тока от цикла и подаваемого напряжения

$$J = 87,535 + 0,5244U - 25,35Q.$$

2. На основе полученных уравнений можно осуществлять изменение варьируемых параметров для получения нужных пропорций входных и выходных параметров установки.

References

1. Ryadchikov V.G. Osnovy pitaniya i kormleniya sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh [Fundamentals of the nutrition and feeding of farm animals], Krasnodar, KGAU, 2012. 328 p. (In Rus.)
2. Storchev V.F., Kabdin N.E., Gurov D.A. Metodika rascheta osnovnykh parametrov elektroaktivatora dlya obrabotki grubyykh kormov [Methodology for calculating the main parameters of an electric activator for roughage processing]. Doklady TSKHA, 2021; 293(3): 81-84. (In Rus.)
3. Andreeva I.V., Belopukhov S.L., Storchev V.F. Vliyanie aktivirovannoy vody na prorastanie semyan i produktivnosti rasteniy [Influence of activated water on seed germination and plant productivity]. Nauchnaya zhizn', 2016; 7: 37-48. (In Rus.)

of Membrane Science, 1997; 136 (1-2): 35-39. [https://doi.org/10.1016/S0376-7388\(97\)00149-X](https://doi.org/10.1016/S0376-7388(97)00149-X)

5. Бахир В.М., Прилуцкий В.И., Шомовская Н.Ю. Электрохимически активированные водные среды – анолит и католит как средство подавления инфекционных процессов // Медицинский алфавит. 2010. Т. 3. № 13. С. 40-42.

6. Прилуцкий В.И. Электрохимически активированная вода: аномальные свойства, механизм биологического действия / В.И. Прилуцкий, В.М. Бахир. М.: ВНИИ-ИМТ НПО «Экран», 1995. 151 с.

7. Некрасова Л.П. Проблемы измерения и интерпретации окислительно-восстановительного потенциала активированных вод // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013. № 11-2. С. 13-17.

8. Petrushanko I.Y., Lobyshev V.I. Nonequilibrium state of electrochemically activated water and its biological activity. *Biofizika*, 2001; 46 (3): 389-401.

9. Petrushanko I.Y., Lobyshev V.I. Physico-chemical properties of aqueous solutions, prepared in a membrane electrolyzer. *Biofizika*, 2004; 49 (1): 22-31.

10. Кошчаев А.Г., Плутахин Г.А., Фисенко Г.В., Петренко А.И. Безотходная переработка подсолнечного шрота // Хранение и переработка сельхозсырья. 2008. № 3. С. 66-68.

11. Жолобова И.С., Лунева А.В., Лысенко Ю.А. Мясная продуктивность и качество мяса перепелов после применения натрия гипохлорита // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 41. С. 146-150.

12. Способ изготовления белкового концентрата из подсолнечного шрота: Пат. 2218811, Российская Федерация, МПК7 А23К 1/14 / А.И. Петенко, О.П. Татарчук, А.Г. Кошчаев, Г.А. Плутахин; заявл. 08.01.2002; опубл. 20.12.2003.

13. Способ получения белковой добавки из гороха: Пат. 2268612, Российская Федерация, МПК А23К 1/14 / А.Г. Кошчаев, Г.А. Плутахин, А.И. Петенко, О.В. Кошчаева, В.В. Ткачев; заявл. 22.03.2004; опубл. 27.01.06.

Критерии авторства

Сторчевой В.Ф., Кабдин Н.Е., Андреев С.А., Гуров Д.А. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели обобщение и подготовили рукопись. Сторчевой В.Ф., Кабдин Н.Е., Андреев С.А., Гуров Д.А. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 14.04.2022

Одобрена после рецензирования 11.05.2022

Принята к публикации 12.05.2022

4. Shaposhnik V.A., Kesore K. An early history of electrodialysis with permselective membranes. *Journal of Membrane Science*, 1997; 136(1-2): 35-39. [https://doi.org/10.1016/S0376-7388\(97\)00149-X](https://doi.org/10.1016/S0376-7388(97)00149-X)

5. Bakhir V.M., Prilutsky V.I., Shomovskaya N.Yu. Elektrokhimicheski aktivirovannyye vodnyye sredy – anolit i katolit kak sredstvo podavleniya infektsionnykh protsessov [Electrochemically activated aqueous media – anolyte and catholyte as a means of suppressing infectious processes]. *Meditsinskiy alfavit*, 2010; 3(13): 40-42. (In Rus.)

6. Prilutsky V.I., Bakhir V.M. Elektrokhimicheski aktivirovannaya voda: anomal'nye svoystva, mekhanizm biologicheskogo deystviya [Electrochemically activated water: anomalous properties, mechanism of biological action]. Moscow, VNIIMT NPO "Ekran", 1995. 151 p. (In Rus.)

7. Nekrasova L.P. Problemy izmereniya i interpretatsii okislitel'no-vosstanovitel'nogo potentsiala aktivirovannykh vod [Problems of measuring and interpreting the redox potential of activated waters]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2013; 11-2: 13-17. (In Rus.)

8. Petrushanko I.Y., Lobyshev V.I. Nonequilibrium state of electrochemically activated water and its biological activity. *Biophysics*, 2001; 46(3): 389-401.

9. Petrushanko I.Y., Lobyshev V.I. Physico-chemical properties of aqueous solutions, prepared in a membrane electrolyzer. *Biophysics*, 2004; 49(1): 22-31.

10. Koshchaev A.G., Plutakhin G.A., Fisenko G.V., Petrenko A.I. Bezotkhodnaya pererabotka podsolnechnogo shrota [Waste-free processing of sunflower meal]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya*, 2008; 3: 66-68. (In Rus.)

11. Zholobova I.S., Luneva A.V., Lysenko Yu.A. Myasnaya produktivnost' i kachestvo myasa perepelov posle primeneniya natriya gipokhlrita [Meat productivity and quality of quail meat after applying sodium hypochlorite]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2013; 41: 146-150. (In Rus.)

12. Petenko A.I., Tatarchuk O.P., Koshaev A.G., Plutakhin G.A. Sposob izgotovleniya belkovogo konsentrata iz podsolnechnogo shrota [Method for the manufacturing of protein concentrate from sunflower meal]: Patent 2218811, Russian Federation, MPK7 A23K 1/14, 2003. (In Rus.)

13. Koshaev A.G., Plutakhin G.A., Petenko A.I., Koshaeva O.V., Tkachev V.V. Sposob polucheniya belkovoy dobavki iz gorokha [Method for obtaining a protein supplement from peas]: Patent 2268612, Russian Federation, MPK A23K 1/14, 2006. (In Rus.)

Contribution

V.F. Storchevov, N.E. Kabdin, S.A. Andreev, D.A. Gurov performed theoretical studies, and based on the results obtained, generalized the results and wrote a manuscript. V.F. Storchevov, N.E. Kabdin, S.A. Andreev, D.A. Gurov have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The article was received 14.04.2022

Approved after reviewing 11.05.2022

Accepted for publication 12.05.2022