

УДК 631.344.8

UDC 631.344.8

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОАКТИВАТОРА С УЧЕТОМ ДАННЫХ О КАЧЕСТВЕ ВОДЫ И ТРЕБОВАНИЙ К РАБОЧЕМУ РАСТВОРУ ГЕРБИЦИДА

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS OF AN ELECTRO-ACTIVATOR BASED ON THE DATA ON WATER QUALITY AND REQUIREMENTS FOR WORKING HERBICIDE SOLUTION

Оськин Сергей Владимирович
д.т.н., профессор
РИНЦ SPIN-код: 2746-7547

Oskin Sergey Vladimirovich
Dr.Sci.Tech., professor
SPIN- code: 2746-7547

Курченко Николай Юрьевич
ассистент
РИНЦ SPIN-код: 8688-8320
Kalya1389@gmail.com
Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

Kurchenko Nikolay Yurevich
assistant
SPIN- code: 8688-8320
Kalya1389@gmail.com
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

На основе проведенного анализа, установлено, что необходимо разрабатывать электроактиваторы с возможностью регулирования параметров. Анализ литературных источников показал, что отсутствуют аналитические выражения, связывающие степень активации растворов, электропроводность, температуру и геометрические параметры электроактиватора. В статье представлены: структурная схема системы «Электроактиватор - рабочий раствор - сорная растительность», математическая модель подсистемы «Электроактиватор» позволяющая описать параметры раствора на выходе из электроактиватора и его режим работы. Получено выражение позволяющее определить критический режим работы установки и диапазон регулирования тока управления. При превышении расчетного диапазона регулирования основная энергия установки будет направлена на процесс газообразования. Введен в расчет коэффициент газообразования, который оказывает значительное влияние на температуру раствора в камере и электропроводность. Данный коэффициент так же необходимо учитывать при приближении режима работы к расчетному критическому или его превышении. В результате расчета по полученной математической модели возможно проектирование электроактиватора для хозяйства имеющего различные источники воды и применяющее различные средства защиты растений. Так же в дальнейшем полученный результат исследований позволит разработать инженерную методику расчета

Based on this analysis, it was found that it was necessary to develop an electro-activator with adjustable parameters. Analysis of the literature showed that there are no analytical expressions relating the degree of activation solutions, conductivity, temperature and geometric parameters of an electro-activator. The article presents a block diagram of the system "Electro-activator - working solution - weeds", a mathematical model of the subsystem "Electro-activator" allows to describe the parameters of the solution at the outlet of the electro-activator and its mode of operation. An expression is derived which allows to determine the critical mode of installation and adjustment range of current management. When exceeding the rated range of the control the main energy will focus on the process of aerogenesis. We have implemented the coefficient of aerogenesis, which has a significant impact on the temperature of the solution in the chamber and an electrically. This factor must be taken into account as well as the approach mode to the critical or exceeded. The calculation for the resulting mathematical model makes it possible to design an electro-activator for a company which has different water sources and apply different plant protection products. Also, in the future, the result of the research will allow developing engineering techniques for calculations

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОАКТИВАТОР ВОДЫ, ЭЛЕКТРОАКТИВАЦИЯ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

Keywords: ELECTRO-ACTIVATOR OF WATER, ELECTRO-ACTIVATION OF WATER SOLUTIONS

Для сохранения высокой урожайности аграрии вынуждены применять химические средства защиты растений – гербициды, это наносит существенный экологический ущерб. Изменить ситуацию можно путем улучшения качества рабочего раствора. Сегодня известно множество способов улучшения качества воды для приготовления рабочего раствора. Однако не все они экологически безопасны, практичны в использовании и к тому же требуют значительных капиталовложений. Проблему можно решить, применив электротехнологии, так как многочисленными исследованиями они подтвердили право на существование. К таким технологиям можно отнести электроактиватор [3,4,5]. С применением электроактиватора появляется реальная возможность улучшить качество рабочего раствора, но эта сфера применения пока мало изучена, и оборудование имеет низкую эксплуатационную способность.

На примере гербицида с действующим веществом глифосат (изопропиломинная соль) Раундап определим параметры воды для достижения максимальной эффективности работы препарата. Раундап – системный неселективный гербицид искореняющего действия, эффективен практически против всех видов сорной растительности, а также нежелательных древесно-кустарниковых пород. Растворимость в воде: температура 25°C; pH 6-7; электропроводность 0,3 мСм/см; минерализация 200 мг/л.

На основе проведенного анализа, установлено, что необходимо разрабатывать электроактиваторы с возможностью регулирования параметров. Анализ литературных источников показал [1,2], что отсутствуют аналитические выражения, связывающие степень активации растворов, электропроводность, температуру и геометрические параметры электроактиватора.

Для установления функциональных зависимостей и разработки математической модели описывающей конструктивные и режимные параметры электроактиватора в качестве объекта исследования необходимо объеди-

нить в систему электроактиватор, рабочий раствор и сорную растительность. Предлагаемую систему можно представить и виде структурной схемы (рис. 1)

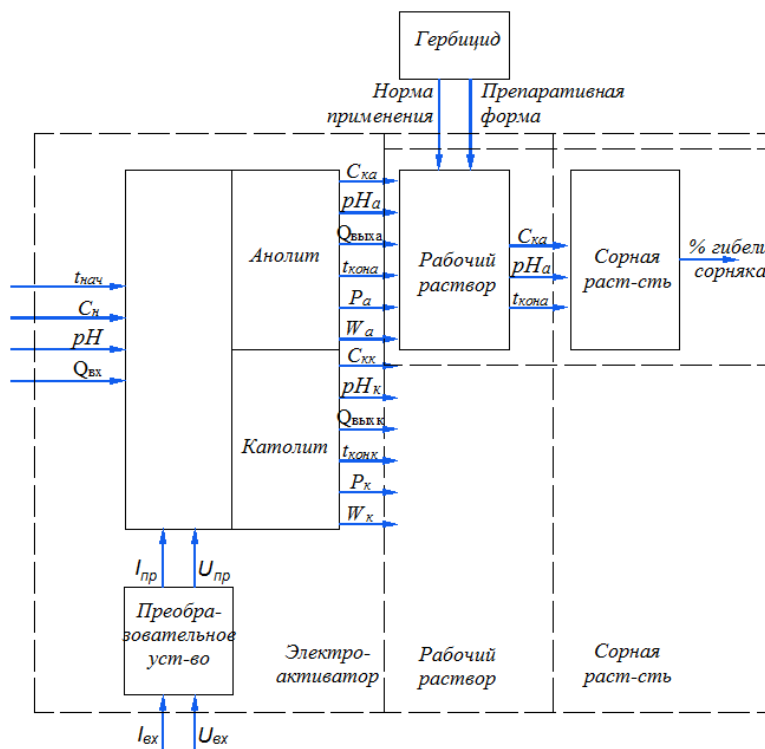


Рисунок 1.- Структурная схема системы «электроактиватор-рабочий раствор-сорная растительность»

Каждый из элементов подсистемы включает в себя входные параметры, которые будут являться общими для всей системы. Входными параметрами для подсистемы электроактиватор являются параметры воды: температура исходной воды ($t_{исх}$), исходная минерализация водного раствора (C_N), степень водородного показателя исходной воды (pH), входная производительность ($Q_{вх}$) и параметры электрической энергии: ток входящий ($I_{вх}$), напряжение входящее ($U_{вх}$). Параметры гербицида такие как норма применения и препаративная форма будут являться входными параметрами подсистемы «рабочий раствор - сорная растительность». Выходным параметром системы является % гибели сорной растительности.

Используя системный подход проанализируем взаимодействие на уровне подсистем. Для получения рабочего раствора требуемого качества

нас интересует подсистема «электроактиватор». При анализе этой подсистемы необходимо получить математическую модель которая описывала бы процессы происходящие в электроактиваторе. Общий вид системы можно представить:

$$\begin{cases} C_k = (C_n, Y) \\ t_{ан} = f(X, I, S, L) \\ pH_{ан} = f(Q_{ан}, I) \\ P_{ан} = f(I, R_{ан}) \\ W_{ан} = \frac{P_{ан}}{Q_{ан}} \end{cases} \quad (1)$$

где, C_n - начальная концентрация раствора, г/л; C_k - конечная концентрация раствора, г/л; Y - коэффициент опреснения; $t_{ан}$ - температура анолита на выходе из электроактиватора; X - электропроводность анолита, мСм/см; I - ток, А; S - площадь электрода, см²; L - длина канала, см; $pH_{ан}$ - водородный показатель анолита; $Q_{ан}$ - производительность анолита, л/ч; $P_{ан}$ - мощность анодной камеры, Вт; $R_{ан}$ - сопротивление анодной камеры, Ом; $W_{ан}$ - затраты электроэнергии Вт·ч/л.

Определить конечную минерализацию раствора системы (1) можно по формуле [1]:

$$C_k = C_n \cdot Y \quad (2)$$

В воде, содержащей преимущественно неорганические вещества, электропроводность может служить показателем минерализации. Для приблизительной оценки электропроводности используют таблицу 1 или формулу:

$$X^{усх} = \frac{C^\beta}{\theta}, \quad (3)$$

где, $X^{усх}$ - удельная электрическая проводимость раствора при температуре 18 °С; C - концентрация раствора, моль/л; β - показатель степени

принимаемый в зависимости от содержания сульфатионов к общему количеству анионов (табл.2); θ – коэффициент зависящий от состава воды и определяемый по известному значению электрической проводимости исходной воды, округленно $\theta = 5300$.

Таблица 1.- Значение удельного электрического сопротивления и удельной электропроводимости раствора поваренной соли при $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

Минерализация, г/л	Значение удельного сопротивления, Омсм	Значение удельной электропроводимости, мСм/см
0,029	16000,0	0,06
0,058	8060,0	0,12
0,290	1630,0	0,61
0,600	840,0	1,19
1,170	430,0	2,33
2,900	185,0	5,41
5,800	93,0	10,75
11,600	49,2	20,33
29,000	21,5	46,51

Таблица 2.- Значение показателя степени от содержания сульфатионов

SO4	0,02-0,2	0,2-0,4	0,4-0,6	0,6-0,8	0,8-1,0
β	0,94-0,92	0,92-0,895	0,895-0,87	0,87-0,84	0,84-0,81

В процессе электролиза катионы и анионы перемещаются соответствующих направлениях к аноду и катоду. Таким образом анодная камера обедняется растворенными солями, катодная обогащается. Определить минерализацию по камерам электроактиватора можно следующим образом:

минерализацию на выходе из анодной камеры определяют по формуле:

$$C_{кат} = C_n \cdot Y \cdot \frac{1-Y}{\log \frac{1}{Y}} \tag{4}$$

минерализацию на выходе из катодной камеры определяют по формуле:

$$C_{кат} = C_n \cdot (K_c + d \cdot (Y - \frac{1-Y}{\log \frac{1}{Y}})) \tag{5}$$

d – безразмерное отношение расхода анолита к расходу католита;
 K_c – коэффициент концентрирования.

K_c определяется по содержанию ионов кальция и сульфатов в исходной воде по методике [1]. По функциональной шкале I (рис. 2) в зависимости от содержания в исходной воде Ca^{2+} и SO_4^{2-} находят значения $f_2[Ca^{2+}]$ и $f_3[SO_4^{2-}]$. Далее необходимо определить ионную силу опресняемой воды по выражению Дебая-Гюккеля,

$$\mu = ([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] + [SO_4^{2-}] + 0,5 \cdot [Na^+] + [HCO_3^-] + [Cl^-]) \cdot 10^{-3} \tag{6}$$

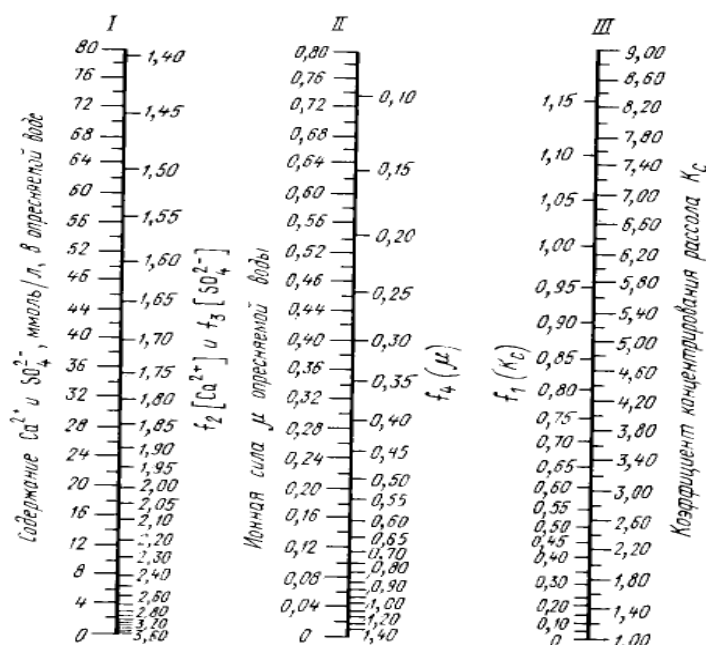


Рисунок 2.- Номограмма определения коэффициента концентрирования

Концентрацию принимают в моль/л. В зависимости от ионной силы находят $f_4(\mu)$ и вычисляют $f_1(K_c)$ по выражению:

$$f_1(K_c) = f_2[Ca^{2+}] + f_3[SO_4^{2-}] - f_4(\mu) - 2,74 \quad (7)$$

Далее по шкале III (рис. 2) определяют значение K_c в зависимости от $f_1(K_c)$.

На основании данных (рис. 2) построим соответствующие графики зависимостей и получим уравнения аппроксимации (рис.3-5). Это позволит уменьшить трудоемкость процесса расчетов.

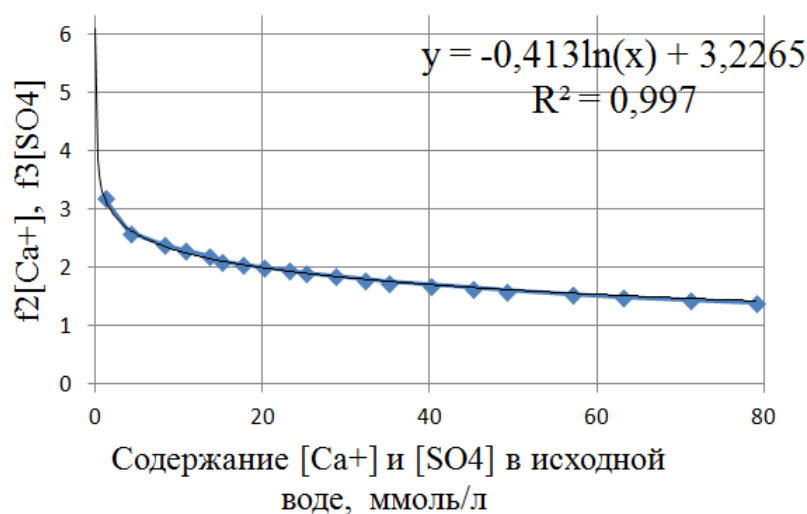


Рисунок 3 График зависимости $f_2[Ca^{2+}]$ и $f_3[SO_4^{2-}]$ от содержания в исходной воде Ca^{2+} и SO_4^{2-}

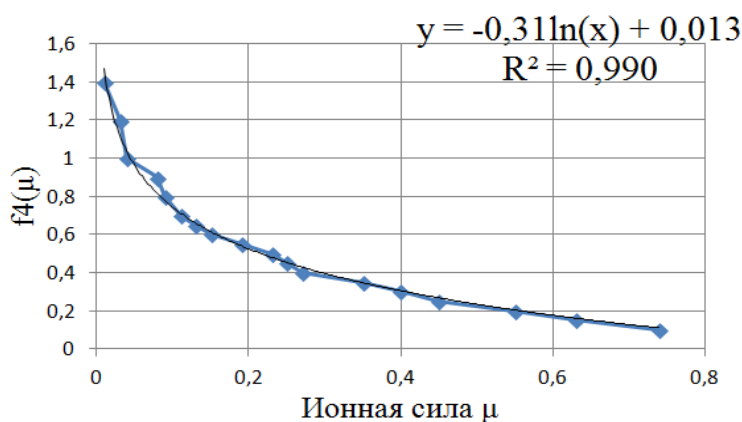


Рисунок 4 График зависимости $f_4(\mu)$ от ионной силы раствора μ

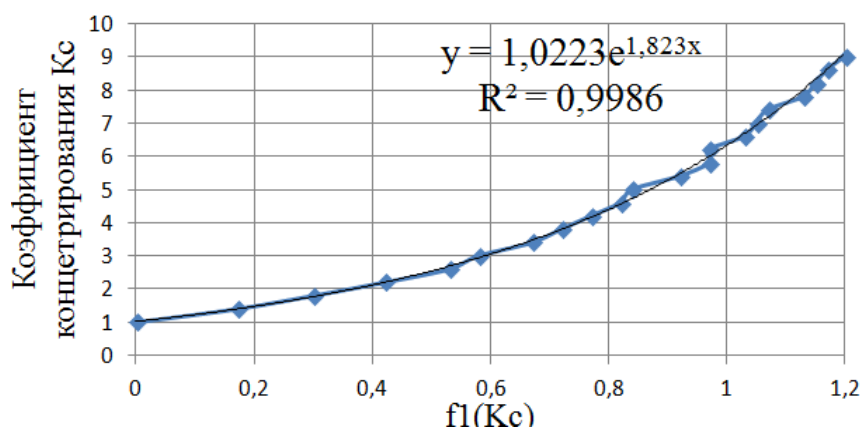


Рисунок 5 График зависимости коэффициента концентрирования K_c от $f_1(K_c)$

На основании данных (рис. 3-5) получено математическое выражение для определения коэффициента концентрирования:

$$K_c = 1,0223 \cdot \exp[1,823 - 0,413 \cdot (\ln[Ca^{2+}] + \ln[SO_4^{2-}]) + 3,713 - (0,31 \cdot \ln([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] + [SO_4^{2-}] + 0,5 \cdot [Na^+] + [HCO_3^-] + [Cl^-]) \cdot 10^{-3} + 0,013)] \quad (8)$$

Так как в результате работы электроактиватора увеличивается температура жидкости на выходе активатора (отдельно в каждой камере активатора) следовательно, расчет удельной электрической проводимости католита и анолита необходимо проводить с учетом поправки на температурные изменения. Выражение (3) для анолита и католита принимает вид:

$$X_{кан} = \frac{C_{кан}}{\theta} \cdot [1 + 0,02 \cdot (t_{вых} - 18^\circ C)], \quad (9)$$

$$X_{кан} = \frac{C_{кат}}{\theta} \cdot [1 + 0,02 \cdot (t_{вых} - 18^\circ C)], \quad (10)$$

где $t_{вых}$ - температура раствора на выходе из камеры.

Температуру раствора на выходе из камеры можно определить по формуле:

$$t_{вых} = t_{исх} + \Delta t_x, \quad (12)$$

где $t_{исх}$ температура воды на входе в камеры; Δt_x - коэффициент смещения температуры

Коэффициент смещения температуры определяется по формуле:

$$\Delta t_x = \frac{d \cdot (1 - Y)}{(K_c - 1)} \quad (13)$$

Тогда выражение (10) примет вид:

$$t_{\text{вых}} = t_{\text{исх}} + \frac{d \cdot (1 - Y)}{(K_c - 1)} \rightarrow t_{\text{вых}} = t_{\text{исх}} + \frac{\frac{Q_{\text{ан}}}{Q_{\text{кат}}} \cdot (1 - Y)}{(K_c - 1)} \quad (14)$$

Подставляя (11) в (8) и (9) получим:

$$X_{\text{кан}} = \frac{C_{\text{кан}}}{\theta} \cdot [1 + 0,02 \cdot (t_{\text{исх}} + \frac{\frac{Q_{\text{ан}}}{Q_{\text{кат}}} \cdot (1 - Y)}{(K_c - 1)} - 18^\circ \text{C})] \quad (15)$$

$$X_{\text{кат}} = \frac{C_{\text{кат}}}{\theta} \cdot [1 + 0,02 \cdot (t_{\text{исх}} + \frac{\frac{Q_{\text{ан}}}{Q_{\text{кат}}} \cdot (1 - Y)}{(K_c - 1)} - 18^\circ \text{C})] \quad (16)$$

Получив значения электропроводности воды на камерах при заданном коэффициенте центрирования определим силу тока, требующуюся для достижения нужной минерализации.

$$I = \frac{F \cdot (C_n - C_k) \cdot Q_{\text{ан}}}{n \cdot \eta} \quad (17)$$

где F – число Фарадея, 26,8 Ач/моль; C_n , C_k – начальная и конечная концентрации анолита, моль/м³; $Q_{\text{ан}}$ – расход анолита, м³/ч; n – число ячеек в электроактиваторе; η – выход по току, при деминерализации пресных вод от 0,85-0,98, при опреснении морской воды 0,7.

Подставляя (2) в (17) получим:

$$I = \frac{F \cdot C_n \cdot (1 - Y) \cdot Q_{\text{ан}}}{n \cdot \eta} \quad (18)$$

В случае если ток превосходит некоторую критическую величину, зависящую от природы электролита, его концентрации и температуры наступает анодная пассивация. Это явление заключается в блокировании электродов поверхностными отложениями, что в свою очередь увеличива-

ет электрическое сопротивление в электродных ячейках и «тормозит» электродные реакции. Механизм этого процесса может быть описан следующим образом. Когда поверхность электрода полностью закрыта электролитом, она работает при сравнительно высокой плотности. В это время наблюдается концентрационная поляризация, возникающая с изменением концентрации электролитов в ходе процесса электролиза. Концентрация щелочи в катодном пространстве возрастает за счет снижения концентрации в анодном пространстве. Спустя некоторое время после начала электролиза разность концентраций в анолите и католите достигает постоянной величины, зависящей от величины тока и скорости протекания растворов по камере электроактиватора. В процессе электролиза воды на обоих электродах выделяются газы. Поэтому на поверхности электродов наблюдается повышение концентрации пузырьков газа. Газ начинает вытеснять из камеры водный раствор. Наблюдается рост газонаполнения и резкое повышение температуры. С ростом температуры подвижность ионов возрастает. Исходя из этого необходимо определить значение тока $I_{кр}$ при котором наступит критическая концентрация и начнет процесс газообразования. На основании опытов проведенных в Кубанском ГАУ [2,9] значение минимальной минерализации было получено 0,03-0,07 г/л, примем среднее значение 0,05 г/л. Тогда выражение для расчета тока критического режима будет иметь вид:

$$I_{кр} = \frac{F \cdot (C_n - (C_n - 0,05)) \cdot Q_{ан}}{n \cdot \eta} \quad (19)$$

Процесс газообразования учтем путем использования коэффициента газонаполнения k_2 . Значение коэффициента газонаполнения и изменения удельного сопротивления электролита в камере за счет его газонаполнения при различной плотности тока и высоте электродов 500 мм показано в таблице 3. Расчет коэффициента газонаполнения произведем по формуле:

$$k_2 = \frac{V_2}{V_k} \quad (20)$$

где V_k – объем камеры электроактиватора, м³; V_2 - объем выделяющегося в камерах газа, м³.

С учетом (20), уравнения (14-16) примут вид:

$$t_{вых} = \left(t_{исх} + \frac{\frac{Q_{ан}}{K_c} \cdot (1-Y)}{K_c - 1} \right) \cdot k_2 \quad (21)$$

$$X_{кан} = \frac{C_{кан}}{\theta} \cdot [1 + 0,02 \cdot \left(\left(t_{исх} + \frac{\frac{Q_{ан}}{K_c} \cdot (1-Y)}{K_c - 1} \right) \cdot k_2 - 18^\circ C \right)] \quad (22)$$

$$X_{кат} = \frac{C_{кат}}{\theta} \cdot [1 + 0,02 \cdot \left(\left(t_{исх} + \frac{\frac{Q_{ан}}{K_c} \cdot (1-Y)}{K_c - 1} \right) \cdot k_2 - 18^\circ C \right)] \quad (23)$$

Таблица 3.- Зависимость коэффициента газонаполнения от плотности тока при высоте электрода 500 мм

Плотность тока, а/м ²	Удельное сопротивление, ом·см	K	Плотность тока, а/м ²	Удельное сопротивление, ом·см	K
0	1,10	1,00	300	1,27	1,155
100	1,20	1,09	400	1,30	1,18
200	1,24	1,126	500	1,32	1,20

Определим объем выделившегося водорода. Согласно уравнению Менделеева-Клапейрона:

$$pV = n \cdot R \cdot T \quad (24)$$

где p – давление; V – объем; n – число молей; R - газовая постоянная; равная 8,33144 Дж·моль⁻¹·К⁻¹; T – абсолютная температура, К

Отсюда

$$V = \frac{n \cdot R \cdot T}{p} = 5,18 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{R \cdot T}{p} \quad (25)$$

При $p=101\ 080$ Па, $t=25^\circ C$ или $T=298$ К будем иметь:

$$V = \frac{5,18 \cdot 10^{-6} \cdot 8,31 \cdot 298}{101080} = 1,267 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3 \quad (26)$$

Объем 1 моля водорода при нормальных условиях составляет 11,2л.

При расчетах необходимо учитывать растворимость газов в воде. Растворимость водорода при $t=25^\circ\text{C}$ и $p=101\,080$ Па равна $1,82 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/100 \text{ г}$ воды. Тогда объем выделяющегося в камерах газа определится по формуле:

$$V_z = (1,267 \cdot 10^{-7} \cdot j \cdot f_{эл} \cdot \frac{L}{v} - 1,82 \cdot 10^{-6}) \quad (27)$$

где j – плотность тока, А/м^2 ; $f_{эл}$ – площадь электрода, м^2 ; L – длина канала, м ; v – скорость движения раствора в камере, м/с .

С учетом производительности и геометрии канала формулу можно представить в виде:

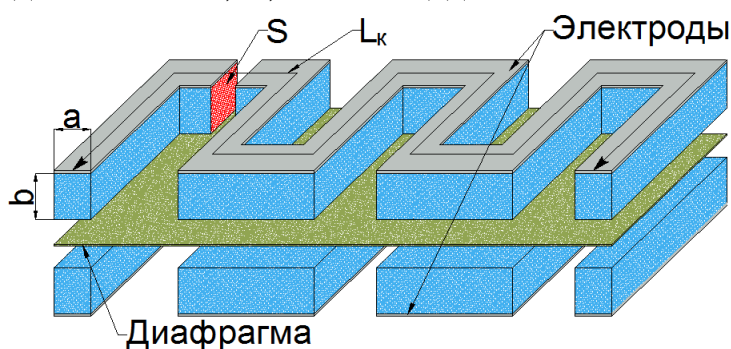
$$V_z = (1,267 \cdot 10^{-7} \cdot I \cdot T - 1,82 \cdot 10^{-6}) \quad (28)$$

где T – время электроактивации, с .

Время электроактивации можно получить задавая необходимую производительность и значения конструктивных параметров канала электроактиватора (рис.7):

$$T = \frac{L_k S}{Q_{ан}} \quad (29)$$

где L_k – длина канала, м ; S – площадь сечения канала, м^2 .



a – высота канала; b – ширина камеры

Рисунок 7.- Схема электроактиватора

Удельное электрическое сопротивление водного раствора в камере определяется, Ом·см:

$$\rho = \frac{1000}{C \cdot \lambda} \quad (30)$$

где C – Концентрация раствора, моль/л, λ - эквивалентная электрическая проводимость раствора, Ом⁻¹·см²·г-эquiv⁻¹

Для анодной и катодной камер выражение для удельного электрического сопротивления может иметь вид:

$$\rho_{кан} = \frac{1}{X_{кан}} \rightarrow \rho_{кан} = \frac{\theta}{C_{кан} \cdot [1 + 0,02 \cdot (t_{вых} - 18^\circ C)]} \quad (31)$$

$$\rho_{кат} = \frac{1}{X_{кат}} \rightarrow \rho_{кат} = \frac{\theta}{C_{кат} \cdot [1 + 0,02 \cdot (t_{вых} - 18^\circ C)]} \quad (32)$$

Зная величину удельного сопротивления можно получить выражение для вычисления сопротивления анодной и катодной камер, Ом:

$$R_{ан} = \frac{\theta \cdot L}{C_{кан} \cdot [1 + 0,02 \cdot (t_{вых} - 18^\circ C)] \cdot S} \quad (33)$$

$$R_{кат} = \frac{\rho_{кат} \cdot L}{S} \quad (34)$$

где $K_k = \frac{b}{S_k}$ – конструктивный параметр электроактиватора определяющий геометрические характеристики канала анодной и катодной камер.

b – толщина камеры, см; S – площадь электрода, см².

Потребляемую мощность камеры определим по формуле:

$$P = I^2 \cdot R \quad (35)$$

С учетом (33) мощность анодной камеры определяется выражением:

$$P_{ан} = \frac{I^2 \cdot \theta \cdot K_{\kappa}}{C_{кан} \cdot [1 + 0,02 \cdot (t_{вых} - 18^{\circ}C)]} \quad (36)$$

Мощность катодной камеры с учетом (26):

$$P_{кат} = \frac{I^2 \cdot \theta \cdot K_{\kappa}}{C_{кат} \cdot [1 + 0,02 \cdot (t_{вых} - 18^{\circ}C)]} \quad (37)$$

Для определения сопротивления диафрагмы определим падение напряжения:

$$U_{\delta} = \frac{X_{\delta} \cdot S_{\delta} \cdot \delta}{\Delta l_{\delta} \cdot \epsilon^2} \quad (38)$$

где: X_{δ} – удельная электропроводимость электролита, которым пропитана диафрагма; S_{δ} – площадь диафрагмы, см²; δ – объемная пористость диафрагмы, доли единиц; Δl_{δ} – толщина диафрагмы, см; ϵ – коэффициент извилистости пор диафрагмы, показывающий, во сколько раз длина поры превышает длину диафрагмы.

Пористость диафрагмы в зависимости от материала может меняться в широких пределах - от 0,2 до 0,65, коэффициент извилистости пор - от 1 до 5, толщина диафрагмы - от 1 до 3-5 мм.

Формула расчета сопротивления диафрагмы примет вид:

$$R_{\delta} = \frac{X_{\delta} \cdot S_{\delta} \cdot \delta}{\Delta l_{\delta} \cdot \epsilon^2 \cdot I} \quad (29)$$

Тогда,

$$P_{\delta} = \frac{I \cdot X_{\delta} \cdot S_{\delta} \cdot \delta}{\Delta l_{\delta} \cdot \epsilon^2} \quad (30)$$

Падение напряжения в электролите (анолит, католит) определяют по формуле:

$$U_{\delta} = \frac{D_{\delta} \cdot \Delta l}{X_{\delta}} \quad (31)$$

где: D_3 - удельная плотность тока в межэлектродном пространстве, А/см²; X_3 - удельная электропроводимость электролита, (Омсм)⁻¹; Δl - расстояние между электродами, см;

В процессе работы электроактиватора энергия, затраченная из электрической сети, уходит на нагрев воды с одновременной диссоциацией молекул. В результате увеличивается температура жидкости на выходе активатора и изменяется уровень водородного показателя (отдельно в каждой камере активатора. В связи с этим электроактиватор представим в виде проточного электропроводонагревателя межэлектродное пространство которого разделено диафрагмой. Схема замещения электроактиватора представлена на рисунке 8.

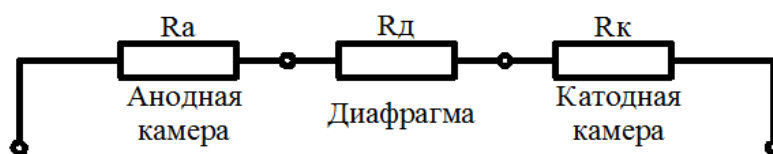


Рисунок 8 – Схема замещения электроактиватора

Мощность потребляемая электроактиватором будет равна:

$$P = P_a + P_k + P_d \tag{32}$$

$$P = \frac{I^2 \cdot \theta \cdot K_k}{C_{кан} \cdot [1 + 0,02 \cdot (t_{вых} - 18^\circ C)]} + \frac{I^2 \cdot \theta \cdot K_k}{C_{кат} \cdot [1 + 0,02 \cdot (t_{вых} - 18^\circ C)]} + \frac{I \cdot X_\delta \cdot S_\delta \cdot \delta}{\Delta l_\delta \cdot \epsilon^2} \tag{33}$$

После преобразований (33), получим (34)

$$P = I \cdot \left[\frac{X_\delta \cdot S_\delta \cdot \delta}{\Delta l_\delta \cdot \epsilon^2} + \frac{I \cdot \theta \cdot K_k}{[1 + 0,02 \cdot (t_{вых} - 18^\circ C)]} \cdot \left(\frac{1}{C_{кан}} + \frac{1}{C_{кат}} \right) \right] \tag{34}$$

Для определения удельных затрат энергии (Вт·ч/л) в активаторе воспользуемся формулой

$$W = \frac{P}{Q} \tag{35}$$

С учетом (33) и (34) получим:

$$W_{общ} = \frac{I}{Q} \cdot \left[\frac{X_\delta \cdot S_\delta \cdot \delta}{\Delta l_\delta \cdot \epsilon^2} + \frac{I \cdot \theta \cdot K_k}{[1 + 0,02 \cdot (t_{вых} - 18^\circ C)]} \cdot \left(\frac{1}{C_{кан}} + \frac{1}{C_{кат}} \right) \right] \tag{36}$$

Расчет водородного показателя в растворах различных электролитов определяется выражением:

$$pH = \frac{1}{2} pK_a - \frac{1}{2} \lg C \quad (38)$$

$$pH = 14 - \frac{1}{2} pK_b + \frac{1}{2} \lg C \quad (39)$$

где pK_A и pK_B константы диссоциации веществ, способных диссоциировать как по типу кислоты, так и по типу основания, соответственно для анолита и католита.

Так же параметр рН воды наиболее сильно зависит от тока и производительности и определяется по формуле:

$$pH_{\kappa} = -\left[\lg 10^{-14} - \lg(I \cdot \tau) / (L \cdot S \cdot F) \right] \quad (40)$$

Выражения (38) и (39) позволяют производить расчет не проточного электроактиватора и следовательно их применение неприемлемо для проточного электроактиватора, так как в процессе электролиза сложно определить химическое вещество и следовательно константы диссоциаций. Кроме того выражения не учитывают турбулентность потока и влияние температуры на константу диссоциации. Поэтому необходимо получение выражения для расчета водородного показателя с учетом изменений тока и производительности и учитывающие проточность и геометрические особенности канала.

Изучением электроактиватора проточного типа с изогнутым каналом занимался Оськин А.С. и Ковко В.А. [3,9], ими получены опытные данные параметра водородного показателя при различном токе и производительности. На базе регрессионной зависимости построена модель, которая в общем виде представлена в виде полинома второй степени. Данная математическая модель позволяет оценить влияние производительности и тока на кислотность анолита:

$$pHa = 6,32 + 0,025Q - 0,1735I + 0,0023 QI - 0,00017Q^2 - 0,0068I^2 \quad (41)$$

После всех преобразований и подставлений уравнений математическая модель подсистемы «электроактиватор» (1) принимает вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} Y = \frac{C_{\kappa}}{C_{\text{н}}} \\ t_{\text{вых}} = \left(t_{\text{исх}} + \frac{Q_{\text{ан}} \cdot (1 - Y)}{Q_{\text{кат}} \cdot (K_c - 1)} \right) \cdot \frac{V_c}{V_{\kappa}} \\ K_c = 1,0223 \cdot \exp[1,823 - 0,413 \cdot (\ln[Ca^{2+}] + \ln[SO_4^{2-}]) + 3,713 - \\ (0,31 \cdot \ln([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] + [SO_4^{2-}] + 0,5 \cdot [Na^+] + [HCO_3^-] + [Cl^-]) \cdot 10^{-3} + 0,013)] \\ pHa = 6,32 + 0,025Q - 0,1735I + 0,0023 QI - 0,00017Q^2 - 0,0068I^2 \\ I = \frac{F \cdot (C_{\text{н}} - C_{\kappa}) \cdot Q_{\text{ан}}}{n \cdot \eta} \rightarrow I = \frac{F \cdot (C_{\text{н}} - (C_{\text{н}} - 0,05)) \cdot Q_{\text{ан}}}{n \cdot \eta} \\ P_{\text{ан}} = \frac{I^2 \cdot \theta \cdot L}{C_{\text{кат}} \cdot [1 + 0,02 \cdot (t_{\text{вых}} - 18^{\circ}C)] \cdot S} \\ W_{\text{общ}} = \frac{I}{Q} \cdot \left[\frac{X_{\delta} \cdot S_{\delta} \cdot \delta}{\Delta l_{\delta} \cdot \varepsilon^2} + \frac{I \cdot \theta \cdot K_{\kappa}}{[1 + 0,02 \cdot (t_{\text{вых}} - 18^{\circ}C)]} \cdot \left(\frac{1}{C_{\text{кат}}} + \frac{1}{C_{\text{кат}}} \right) \right] \end{array} \right. \quad (42)$$

Полученные уравнения системы (42) описывают параметры раствора на выходе из электроактиватора и его режим работы. Первое уравнение системы определяет степень опреснения воды на выходе относительно исходной минерализации. Второе уравнение позволяет определить температуру выходного раствора при заданной производительности, степени опреснения и учитывает при этом коэффициент газообразования. Третье уравнение позволяет произвести расчет коэффициента концентрирования без использования номограмм, что значительно упрощает процедуру расчета. Четвертое уравнение получено для расчета водородного показателя при заданном токе и производительности. Пятое уравнение системы позволяет производить расчет тока, который необходим для опреснения воды до нужной степени. Так же это уравнение позволяет рассчитать критический ток, при превышении которого начнется активное газовыделение.

Уравнение позволяет определить эффективный режим управления с оптимальными энергозатратами. Энергические параметры так же учитывает предложенная математическая модель. Они отражены в пятом и шестом уравнениях системы (42) и позволяют при заданном режиме работы определить мощность электроактиватора и расход электрической энергии, что очень важно при определении экономической эффективности.

Литература

1. Антропов Л.И. Теоретическая электрохимия.- М.: Высшая школа, 1984.-518 с.
2. Курченко Н.Ю. Анализ конструктивных параметров электроактиватора воды для улучшения его энергетических характеристик. Политематический сетевой электронный журнал научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 95. С.470-485.
3. Оськин А.С Использование электротехнологического способа получения консерванта для кукурузного силоса / Оськин А.С., Оськин С.В., Курченко Н.Ю.// Научное обеспечение агропромышленного комплекса: материалы 4-й Всерос. науч.-практ. конф. молод. ученых.-Краснодар: КубГАУ, 2010, с.418-420.
4. Оськин С.В. Повышение экологической безопасности сельскохозяйственной продукции. Механизация и электрификация сельского хозяйства №5, 2011, с.21-23.
5. Оськин С.В. Инновационные способы повышения экологической безопасности сельскохозяйственной продукции. Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2013. №8 (104). С 75-80.
6. Оськин С.В. Инновационные установки для повышения экологической безопасности. Журнал Чрезвычайные ситуации: Промышленная и экологическая безопасность. 2013. №3-4 (15-16). С. 174-183.
7. Оськин С.В. Электротехнологические направления повышения экологической безопасности сельскохозяйственной продукции. Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность. 2010. № 1-2. С.107.
8. Оськин С.В., Инновационные пути повышения экологической безопасности сельскохозяйственной продукции. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2010. №24. С.147-154.
9. Оськин С.В., Использование электроактивированной воды в технологическом процессе экологически безопасного выращивания овощных культур в условиях закрытого грунта / С.В. Оськин, Д.С. Цокур // Чрезвычайные ситуации: Промышленная и экологическая безопасность, №2(18), Изд.: НЧОУ ВПО "Кубанский социально-экономический институт", г. Краснодар, 2014. – С. 148-154.
10. Пасько О.А. Активированная вода и её применение в сельском хозяйстве. Издательство ТПУ, Томск 2000г., С 132.

References

1. Antropov L.I. Teoreticheskaja jelektrohimiya.- M.: Vysshaja shkola, 1984.-518 s.
2. Kurchenko N.Ju. Analiz konstruktivnyh parametrov jelektroaktivatora vody dlja uluchsheniya ego jenergeticheskikh harakteristik. Politematicheskij setevoj jelek-tronnyj zhur-

nal nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universite-ta. 2014. № 95. S.470-485.

3. Os'kin A.S Ispol'zovanie jelectrotehnologicheskogo sposoba poluchenija konservanta dlja kukuruznogo silosa / Os'kin A.S., Os'kin S.V., Kurchenko N.Ju.// Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa: materialy 4-j Vseros. nauch.-prakt. konf. molod. uchenykh.-Krasnodar: KubGAU, 2010, s.418-420.

4. Os'kin S.V. Povyshenie jekologicheskoy bezopasnosti sel'skohozjajstvennoj produkcii. Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva №5, 2011, s.21-23.

5. Os'kin S.V. Innovacionnye sposoby povyshenija jekologicheskoy bezopasnosti sel'skohozjajstvennoj produkcii. Zemleustrojstvo, kadastr i monitoring zemel'. 2013. №8 (104). S 75-80.

6. Os'kin S.V. Innovacionnye ustanovki dlja povyshenija jekologicheskoy bezopasnosti. Zhurnal Chrezvychajnye situacii: Promyshlennaja i jekologicheskaja bezopasnost'. 2013. №3-4 (15-16). S. 174-183.

7. Os'kin S.V. Jelectrotehnologicheskie napravlenija povyshenija jekologicheskoy bezopasnosti sel'skohozjajstvennoj produkcii. Chrezvychajnye situacii: promyshlennaja i jekologicheskaja bezopasnost'. 2010. № 1-2. S.107.

8. Os'kin S.V., Innovacionnye puti povyshenija jekologicheskoy bezopasnosti sel'skohozjajstvennoj produkcii. Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2010. №24. S.147-154.

9. Os'kin S.V., Ispol'zovanie jelectroaktivirovannoj vody v tehnologicheskom processe jekologicheski bezopasnogo vyrashhivaniya ovoshhnyh kul'tur v uslovijah zakrytogo grunta / S.V. Os'kin, D.S. Cokur // Chrezvychajnye situacii: Promyshlennaja i jekologicheskaja bezopasnost', №2(18), Izd.: NChOU VPO "Kubanskij social'no-jekonomicheskij institut", g. Krasnodar, 2014. – S. 148-154.

10. Pas'ko O.A. Aktivirovannaja voda i ejo primenenie v sel'skom hozjajstve. Izdatel'stvo TPU, Tomsk 2000g., S 132.