

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА /
POWER SUPPLY AND AUTOMATION OF AGRICULTURAL PRODUCTION

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

УДК 621.54.01

DOI 10.34677/1728-7936-2019-3-64-68

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВОДЫ

ВОРОБЬЁВ ВИКТОР АНДРЕЕВИЧ, докт. техн. наук, профессор

E-mail: tatiana49@mail.ru

АНДРЕЕВ СЕРГЕЙ АНДРЕЕВИЧ, канд. техн. наук

E-mail: asa-finance@yandex.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; ул. Тимирязевская, 49, Москва, 125550, Российская Федерация

Рассмотрена динамика воздействия на воду электрического поля малой интенсивности (до 3,0 В). Установлено, что процесс изменения электрического тока в водной среде носит экспоненциальный характер: чем больше прикладываемое напряжение, тем выше над осью абсцисс располагается экспонента. Показано, что экспоненты имеют постоянные времена в пределах 60 с и изменение полярности электродов оказывает незначительное влияние на их значения. Определено, что наличие примесей в воде влияет на положение экспонент. Чем чище вода, тем ближе размещена экспонента к оси абсцисс. Изучено влияние полярности электродов на динамику изменения электрического тока при подключении электродной системы к источнику постоянного тока, в результате чего прослеживается прямая зависимость установившихся значений силы тока от приложенного напряжения. Установлено, что разность установившихся значений силы тока между электродами при изменении полярности электродов существенно изменяется по значению и знаку в зависимости от значения приложенного напряжения. Отмечено, что наибольшие показатели в разнице установившихся значений силы тока при изменении полярности коаксиальной системы графитовых электродов имеют место вблизи значения электрического потенциала экспериментальной системы, определяемой стандартными потенциалами электролиза воды и графита. Полученные результаты могут быть использованы при исследованиях и конструировании электрогидравлических установок и электроактиваторов воды.

Ключевые слова: вода, коаксиальная система графитовых электродов, электрический ток, экспонента.

Формат цитирования: Воробьёв В.А., Андреев С.А. Электрические параметры воды // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2019. N3(91). С. 64-68. DOI 10.34677/1728-7936-2019-3-64-68.

ELECTRIC PROPERTIES OF WATER

VIKTOR A. VOROBIEV, PhD (Eng), Professor

E-mail: tatiana49@mail.ru

SERGEY A. ANDREYEV, PhD (Eng), Associate Professor

E-mail: s.andreev@aol.com

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, 127550, Russian Federation

The paper considers the dynamics of water exposure to an electric field of low intensity (up to 3.0 V). It has been established that the process of changing the electric current in an aqueous medium is exponential: the higher the applied voltage, the higher the exponent is located above the x-axis. It is shown that the exponents have time constants within 60 s, moreover, a change in the polarity of electrodes has a slight effect on their values. It is determined that the presence of impurities in water affects the position of the exponents. The cleaner the water is, the closer the exponent is to the x-axis. The effect of the polarity of electrodes on the dynamics of changes in the electric current when the electrode system is connected to a constant current source is studied. As a result of this process, the steady-state current values depend on the applied voltage. It is found that the difference in steady-state current values between the electrodes with substantially

changing polarity changes in value and sign depending on the the applied voltage. It is noted that the highest indicators of the difference of the steady-state values of current when the polarity of the coaxial system of graphite electrodes is changing are observed near the electric potential value of the experimental system determined by the standard electrolysis potentials of water and graphite. The results obtained can be used in research and design of electro-hydraulic installations and water electroactivators.

Key words: water, coaxial system of graphite electrodes, electric current, exponent.

For citation: Vorobiev V.A., Andreyev S.A. Electric properties of water. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2019; 3(91): 64-68. DOI 10.34677/1728-7936-2019-3-64-68. (In Rus.).

Введение. Многие химические и физические свойства воды уникальны. Исследованиям свойств воды посвящено множество работ. Тем не менее степень изученности свойств воды далека от завершённости [1-3]. С развитием науки и техники появляются и совершенствуются технологии, в которых главным действующим веществом выступает вода. К их числу можно отнести и электротехнологию [4, 5]. Достижения электротехнологии широко применяются в сельскохозяйственном производстве: в электрогидравлических устройствах для очистки шерсти и других волокнистых материалов, мойки фруктов и овощей, для отделения кожицы и семян плодов от мякоти; использовании электроактивированной воды в технологических процессах животноводства и растениеводства, а также электролизе [6, 7].

Процессы, происходящие при воздействии электрического поля небольшой напряженности на воду, недостаточно изучены.

Цель исследования – уточнить динамику воздействия на воду электрического поля малой интенсивности.

Материал и методика исследования. В процессе исследования применена электрическая схема, имеющая в своем составе графитовые электроды, ёмкость с водой, источник электрического тока, секундомер, миллиамперметр магнитоэлектрической системы и тумблер. На основе анализа первоисточников [6, 8], выявивших влияние соотношения значений площадей электродов на параметры процесса протекания электрического тока через водную среду, было принято решение использовать коаксиальную конструкцию электродной системы.

Электродная система собрана в виде цилиндра, у которого образующие выполнены из графитовых стержней диаметром 2 мм (рис. 1). Для фиксации центрального графитового электрода диаметром 1,5 мм использованы пластмассовые доньшки с отверстиями для обеспечения свободной циркуляции воды. Для придания жёсткости электродной системе в местах расположения доньшек, поверх графитовых стержней, расположены резиновые стяжки. Для присоединения к экспериментальной электрической схеме центрального и нескольких боковых графитовых стержней прикреплены медные токоотводы.

Медные токоотводы должны быть смонтированы таким образом, чтобы отсутствовал их контакт с водой во избежание возникновения гальванического эффекта.

В качестве ёмкости использованы обычные стаканы, наполовину заполненные водопроводной водой. Источниками постоянного электрического тока служили пальчиковые батарейки и сетевой блок питания с делителем напряжения. Интервалы времени фиксировались с помощью механического секундомера.

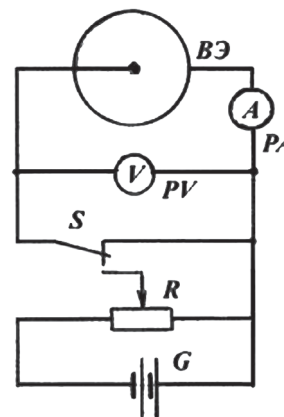


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной электрической цепи
Fig. 1. Schematic diagram of an experimental electrical circuit

Результаты и обсуждение. Эксперимент проводился в два этапа. На первом осуществлялось изучение динамики изменения электрического тока, проходящего через водную среду, на втором – изучение влияния полярности электродов на динамику электрического тока.

На первом этапе исследования, в соответствии с рисунком 1, в ёмкость, заполненную водой (водяной элемент ВЭ), погружалась коаксиальная электродная система. Переключением тумблера S из положения 1 в положение 2 подавалось напряжение на электроды. Одновременно включался секундомер. Показания миллиамперметра и секундомера фиксировались и оформлялись в виде таблицы и графиков (рис. 3). Во всех случаях с момента включения и до завершения процесса наблюдалось постепенное уменьшение значения электрического тока через воду. Эти изменения имели вид экспоненциальных функций. Чтобы подтвердить экспоненциальный характер изменения электрического тока в межэлектродном пространстве, был рассмотрен переходный процесс, возникающий в электрической цепи между электродами, погруженными в воду [9]. При этом экспериментальная схема (рис. 1) представлена схемой замещения (рис. 2), в которой применено допущение, что обычная вода обладает свойствами электрического сопротивления (R) благодаря наличию в ней растворенных солей и щелочей. Вследствие высокой диэлектрической проницаемости воды электродную систему, заполненную водой, можно считать конденсатором (C).

При включении тумблера в электрическую цепь, образованную графитовыми электродами, погруженными

в воду и источником тока, возникает переходный ток i , который, согласно [9], можно представить уравнением

$$i = C \frac{du_c}{dt} = \frac{U}{R} e^{-t/\tau}, \quad (1)$$

где U – напряжение на зажимах электрической цепи; τ – постоянная времени цепи, e – основание натуральных логарифмов.

Длительность изменения тока определяется постоянной времени $\tau = RC$.

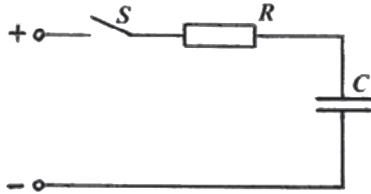


Рис. 2. Схема замещения экспериментальной установки
Fig. 2. Equivalent circuit of the experimental setup

Таким образом, было установлено, что процесс изменения силы тока через воду в межэлектродном пространстве изменяется по экспоненте.

Характерно, что повторение эксперимента с интервалом 60 с при неизменных параметрах электрической цепи вызывало изменение расположения экспонент на координатной плоскости $i = f(t)$ (рис. 3). Этот факт можно объяснить тем, что диполи воды определенное время способны сохранять приобретенную ориентацию и обеспечивают сохранение достигнутой электропроводности. Подобных результатов в научных исследованиях не обнаружено. Все экспериментальные данные показывают одну закономерность: чем больше прикладываемое напряжение, тем выше над осью абсцисс располагается экспонента. Это подтверждает наличие своеобразной электрической памяти воды [10].

На основе показателей графика (рис. 3), можно заключить, что значения силы тока достигают установившихся значений с течением времени, превышающем 60 с, т.е. экспоненты имеют постоянные времена в пределах 60 с.

Для оценки значений постоянных времени рассматриваемого процесса определяем их по методу трёх точек [11].

$$T_i = \frac{\Delta t}{\ln \frac{i_2 - i_1}{i_3 - i_2}}, \quad (2)$$

где Δt – интервалы времени на экспериментальной кривой; i_1, i_2, i_3 – значения силы тока на экспериментальной кривой.

Предварительные оценки постоянных времени для экспериментальных экспонент показали количественное сходство: их значения не превышали 60 с, и изменение полярности электродов не сильно влияло на их значения. Так при напряжении 0,8 В изменение полярности центрального электрода с «минуса» на «плюс» T_i принимало значения 47,17 и 72,46 с соответственно.

А при напряжении 1,7 В – 37,31 и 47,62 с соответственно. Следует отметить факт самого близкого расположения к оси абсцисс экспонент, полученных при использовании дистиллированной воды при напряжении 3,0 В (кривая 5 рис. 3). Это можно объяснить меньшим количеством в дистиллированной воде разнообразных примесей, которые препятствуют перемещениям диполей воды и ионов.

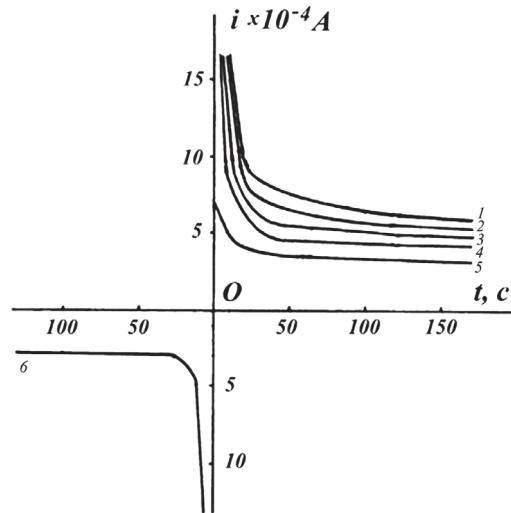


Рис. 3. Экспериментальные экспоненты, полученные при воздействии электрического тока i на водопроводную воду при напряжении 3,0 В:
1, 2, 3, 4 – при положительной полярности центрального электрода;
5 – для дистиллированной воды;
6 – при отрицательной полярности центрального электрода

Fig. 3. Experimental exponents obtained when an electric current is applied to tap water at a voltage of 3.0 V:

1, 2, 3, 4 – with a positive polarity of the central electrode;
5 – for distilled water;
6 – with a negative polarity of the central electrode

Далее с экспериментальными зависимостями выполнялись аппроксимирующие операции по методу наименьших квадратов. В общем случае определялись коэффициенты экспоненциальной функции вида

$$I(t) = a \cdot e^{bt}. \quad (3)$$

Корректные значения коэффициентов аппроксимирующей функции получались в результате использования аналитических выражений:

$$\ln(a) = \frac{\sum_{i=1}^n \ln i_i \cdot \sum_{i=1}^n t_i^2 - \sum_{i=1}^n [\ln(i_i) \cdot t_i] \cdot \sum_{i=1}^n t_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n t_i^2 - (\sum_{i=1}^n t_i)^2} \quad (4)$$

$$b = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n [\ln(i_i) t_i] - \sum_{i=1}^n \ln(i_i) \cdot \sum_{i=1}^n t_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n t_i^2 - (\sum_{i=1}^n t_i)^2},$$

где n – общее число экспериментальных значений параметра; i_i и t_i – текущие значения силы тока и времени. Например, для экспонент, полученных при напряжении 1,7 В, значения коэффициентов оказались равными $a = 2,72$, $b = -0,00145$.

На втором этапе исследований изучалось влияние полярности электродов на динамику изменения электрического тока: подключалась электродная система к источнику постоянного тока и фиксировались моменты времени. В результате получались семейства экспонент, расположенные выше и ниже оси абсцисс, в которых прослеживается прямая зависимость установившихся значений силы тока от приложенного напряжения: чем больше напряжение – тем больше установившееся значение сила тока. Еще одной особенностью экспонент является то, что разность установившихся значений силы тока между электродами при изменении полярности электродов существенно изменяется по значению и знаку в зависимости от значения приложенного напряжения. Иными словами, при небольших значениях напряжения на электродной системе разность между установившимися значениями при изменении полярности электродов имеет определенное значение. Увеличение напряжения на электродах вызывает уменьшение этой разности до нуля. Дальнейшее увеличение напряжения вызывает увеличение разности между установившимися значениями тока. Для объяснения этой особенности процесса необходимо рассмотреть электродную систему с позиций электролиза [6]. Согласно уравнению Нернста, потенциал графитового гальванического элемента имеет значение

$$E_{\text{э}} = E_0 - E_2 = 1,23 - (-0,132) = 1,362 \text{ В}, \quad (5)$$

где E_0 – стандартный потенциал электролиза воды; E_2 – стандартный электрический потенциал графита.

В экспериментах минимальным значением напряжения на электродной системе было значение 1,5 В, что с учётом «загрязнений» водопроводной воды достаточно близко подходит к теоретическому значению стандартного потенциала электролиза воды.

Выводы

Установлено, что процесс изменения электрического тока в водной среде имеет экспоненциальный характер. При повторении эксперимента экспоненты смещаются в направлении приближения к оси абсцисс. Наличие примесей в воде сказывается на расположении экспонент: чем чище вода, тем ближе размещена экспонента к оси абсцисс. Отмечено, что наибольшие различия в разнице установившихся значений силы тока при изменении полярности коаксиальной системы графитовых электродов имеют место вблизи значения электрического потенциала экспериментальной системы, определяемой стандартными потенциалами электролиза воды и графита.

Полученные результаты могут быть использованы при исследованиях и конструировании электрогидравлических установок и электроактиваторов воды.

Библиографический список

1. Артемьев В.Г., Волков А.А. Электрические свойства воды. Новый взгляд // Биофизика. 2014. Т. 59. № 4. С. 636-640.
2. Колтовой Н.А. Структура и свойства воды. М., 2017. 380 с.

3. Эйзенберг Д., Кауцман В. Структура и свойства воды. Л.: Гидрометиздат, 1975. 280 с.
4. Болотов А.В., Шепель Г.А. Электротехнологические установки. М.: Высшая школа, 1988. 336 с.
5. Басов А.М., Быков В.Г., Лаптев А.В., Файн В.Б. Электротехнология. М.: Агропромиздат, 1985. 256 с.
6. Плутахин Г.А., Андер М., Кошаев А.Г., Гнатко Е.И. Теоретические основы электрохимической обработки водных растворов // Научный журнал КубГАУ. 2013. № 92(08). С. 1-25.
7. Филоненко В.И., Шоль В.Г., Богатова О.В. Поение мясных кур родительского стада электроактивированной водой // Всероссийская конференция «Электрохимическая активация в медицине, сельском хозяйстве, промышленности» Ч. 2. М.: ВНИИМП АО НПО «Экран», 1994. С. 69-74.
8. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. Л.: Машиностроение, 1986. 253 с.
9. Горбунов А.И., Кабанов И.Д., Кравцов А.В., Редько И.Я. Теоретические основы электротехники. Челябинск, 1998. 490 с.
10. Воробьев В.А. Электрическая память воды // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2018. № 4(86). С. 65-69. DOI: 10.26897/1728-7936-2018-4-65-69.
11. Шичков Л.П. Электрический привод. М.: КолосС, 2006. 279 с.

References

1. Artem'yev V.G., Volkov A.A. Elektricheskiye svoystva vody. Novyy vzglyad [Electrical properties of water. A new approach]. *Biofizika*, 2014; Vol. 59; 4: 636-640. (In Rus.)
2. Koltovoy N.A. Struktura i svoystva vody [Structure and properties of water]. Moscow, 2017: 380. (In Rus.)
3. Eyzenberg D., Kautzman V. Struktura i svoystva vody [Structure and properties of water]. L., Gidrometioizdat, 1975: 280. (In Rus.)
4. Bolotov A.V., Shepel' G.A. Elektrotekhnologicheskkiye ustanovki [Electric technological installations]. Moscow, Vysshaya shkola, 1988: 336. (In Rus.)
5. Basov A.M., Bykov V.G., Laptev A.V., Fayn V.B. Elektrotekhnologiya [Electrotechnology]. Moscow, Agropromizdat, 1985: 256. (In Rus.)
6. Plutakhin G.A., Ander M., Koshchayev A.G., Gnatko Ye.I. Teoreticheskiye osnovy elektrokhimicheskoy obrabotki vodnykh rastvorov [Theoretical fundamentals of electrochemical treatment of aqueous solutions]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU*. 2013; 92 (08): 1-25. (In Rus.)
7. Filonenko V.I., Shol' V.G., Bogatova O.V. Poyeniye myasnykh kur roditel'skogo stada elektroaktivirovannoy vodoy [Providing meat chicken brooders with electro-activated water]. *Vserossiyskaya konferentsiya "Elektrokhimicheskaya aktivatsiya v meditsine, sel'skom khozyaystve, promyshlennosti"*. Part. 2. VNIIMP AO NPO "Ekran". Moscow, 1994: 69-74. (In Rus.)
8. Yutkin L.A. Elektrogidravlicheskiy effekt i yego primeneniye v promyshlennosti [Electrohydraulic effect and its industrial application]. L., Mashinostroyeniye, 1986: 253. (In Rus.)
9. Gorbunov A.I., Kabanov I.D., Kravtsov A.V., Red'ko I.Ya. Teoreticheskiye osnovy elektrotekhniki [Theoretical

fundamentals of electrical engineering]. Chelyabinsk, 1998: 490. (In Rus.)

10. Vorob'yev V.A. Elektricheskaya pamyat' vody [Electric memory of water]. *Vestnik of Moscow*

Goryachkin Agroengineering University, 2018; 4: 65-69. DOI: 10.26897/1728-7936-2018-4-65-69. (In Rus.)

11. Shichkov L.P. Elektricheskiy privod [Electric drive]. Moscow, KolosS, 2006: 279. (In Rus.)

Критерии авторства

Воробьев В.А., Андреев С.А. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Воробьев В.А., Андреев С.А. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 20.03.2019

Contribution

Vorobiev V.A., Andreyev S.A. carried out the experimental work, on the basis of the results summarized the material and wrote the manuscript. Vorobiev V.A., Andreyev S.A. have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

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

The paper was received on March 20, 2019