

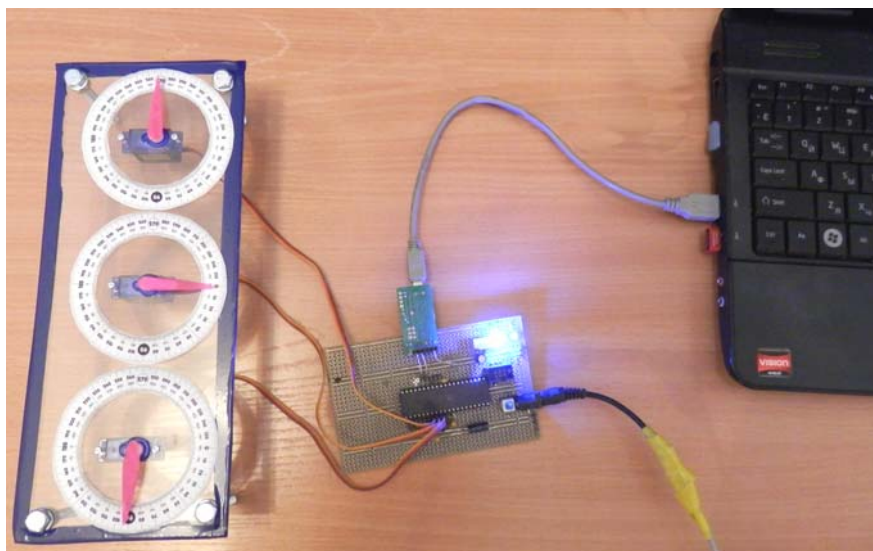


Рис. 5. Внешний вид исследовательского стенда

многокоординатных нелинейных механизмов на примере прецизионных триподов : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06. СПб., 2013. 146 с.

5. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического управления. СПб. : Профессия, 2003, 752 с.

References

1. Rybak L. A., Erzhukov V. V., Chichvarin A. V. *Effektivnye metody resheniya zadach kinematiki i dinamiki robota-stanka parallel'noy struktury* (Efficient methods for solving robot kinematics and dynamics of machine-parallel structure). Moscow, Fizmatlit Publ., 2011, 148 p.

2. Merlet J.-P. *Parallel Robots* (Second Edition). The Netherlands, Springer, 2006, 401 p.

3. Mirzaev R. A., Smirnov N. A., *Vestnik SibGAU*, 2013, no. 2(48), pp. 62–64.

4. Antonov S. E. *Razrabotka avtomatizirovannogo programmno-apparatnogo kompleksa dlya issledovaniya mnogokoordinatnykh nelineynykh mekhanizmov na primere pretsizionnykh tripodov* (Development of the automated hardware-software complex for the study of nonlinear mechanisms multi-axis on example precision tripods. Diss. candidate tehn. sciences: 05.13.06). St. Petersburg, 2013, 146 p.

5. Besekerskiy V. A., Popov E. P. *Teoriya sistem avtomaticheskogo upravleniya* (Theory of automatic control systems). St. Petersburg, Professiya Publ., 2003, 752 p.

© Мирзаев Р. А., Смирнов Н. А., 2014

УДК 544.623.032.52

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЧАСТОТЫ И ФОРМЫ ТОКА В РАСТВОРЕ НА РАСПАД H_2O_2 ПРИ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ В ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМАХ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ*

Е. А. Морозов^{1,2}, С. В. Трифонов^{1,2}, Ю. А. Куденко², А. А. Тихомиров^{1,2}

¹Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

E-mail: transserfer89@gmail.com

²Институт биофизики СО РАН

Российская Федерация, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50/50.

E-mail: trifonov_sergei@inbox.ru

* Работа выполнена при финансовой поддержке бюджетной темы № 56.1.4. «Оценка устойчивости ценозов высших растений замкнутых экологических систем, включающих человека, к выращиванию на питательных средах из минерализованных органических отходов»; раздел VI «Биологические науки», подраздел 56 «Физиология и биохимия растений, фотосинтез, взаимодействие растений с другими организмами» Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы.

Наибольшую трудность в создании замкнутых экологических систем сегодня представляет нахождение таких путей переработки отходов, которые не создают тупиковых продуктов. В Институте биофизики СО РАН проблема решалась методом окисления взвеси органических отходов в водной среде H_2O_2 . Оптимальные параметры возбуждающего распада H_2O_2 тока были неизвестны. Цель работы – определение этих параметров. На угольные электроды, опущенные в емкость с растворами, подавали ток заданной частоты, косвенно определяли интенсивность распада H_2O_2 по скорости выделения газов. Были получены графики зависимости скорости распада H_2O_2 от частоты и формы возбуждающего тока в диапазоне сверхнизких частот. Установлен максимум интенсивности распада в точке 35 Гц. Результаты применимы как для разработки космических ЗСЖО, так и для решения экологических проблем на Земле.

Ключевые слова: системы жизнеобеспечения, минерализация, замкнутый цикл, частота.

RESEARCHING THE INFLUENCE OF CURRENT FORM AND FREQUENCY IN SOLUTION ON H_2O_2 DISASSIMILATION DURING ORGANIC WASTES MINERALIZATION IN CLOSED LIFE SUPPORT SYSTEMS

Ye. A. Morozov^{1,2}, S. V. Trifonov^{1,2}, Yu. A. Kudenko², A. A. Tikhomirov^{1,2}

¹ Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation

E-mail: transserfer89@gmail.com

²Institute of Biophysics SB RAS

50/50, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation

E-mail: trifonov_sergei@inbox.ru

Today the most difficult issue in developing closed ecosystems is to find ways of wastes utilization that gains no deadlock products. In Institute of Biophysics, SB RAS, this problem was solved by oxidation of organic wastes in aqueous H_2O_2 medium. Optimal parameters of current, activating H_2O_2 disassimilation, were unknown. This work is aimed to define these parameters. Frequency of current between carbon electrodes located in glass with solutions was set by operator. Intensity of H_2O_2 disassimilation was determined indirectly by speed of gas delivery. Graphs of dependence of H_2O_2 disassimilation on frequency and form of activating current in super-low frequency range were obtained. Maximum intensity of H_2O_2 disassimilation was determined under 35 Hz. The results are applicable both for developing space LSS and solving ecological problems on Earths.

Keywords: life support systems, mineralization, closed cycle, frequency.

Для исследования и заселения других планет необходимы биолого-технические системы жизнеобеспечения (БТСЖО) [1; 2]. Основным параметром, определяющим время автономной работы БТСЖО, является степень замкнутости, обеспечиваемой за счет возвращения химических элементов в круговорот веществ в системе. Для решения этой проблемы в Институте биофизики СО РАН был разработан оригинальный метод минерализации органических отходов в водной среде пероксида водорода под действием переменного электрического тока с последующим вовлечением их в круговоротный процесс БТСЖО [3; 4]. Однако требуется оптимизация такого круговоротного процесса, в том числе по критериям минимальных затрат времени и энергии, которая не снизила бы качественных характеристик минерализованных удобрений. В связи с этим представляет интерес выяснить характер зависимости скорости окисления органических отходов от частоты и формы подаваемого переменного электрического тока.

Описание метода измерений. Переменный ток инициирует распад перекиси водорода, что ускоряет образование таких радикалов, как $O\cdot$ и $OH\cdot$, благодаря чему ускоряется процесс окисления органических

отходов. О скорости разложения перекиси можно косвенно судить по скорости выделения газа из окисляемого раствора отходов. В процессе мокрого окисления выделяется в основном 1–29 % H_2 , 23–83 % O_2 и 4–70 % CO_2 , а также микропримеси летучих органических соединений [4]. Для определения скорости выделения газа была разработана экспериментальная установка, изображенная на рис. 1.

Измерительная установка представляет собой емкость с раствором, в который помещен перевернутый цилиндр, полностью заполненный раствором. В цилиндр помещена газовыводящая трубка. Благодаря устройству данной установки газ, выделяющийся при окислении, попадает в цилиндр и его объем можно измерить по шкале цилиндра. Температура раствора выдерживалась в районе 20–25 °С посредством водного охлаждения. Переменное напряжение 30 В подавали на электроды и таким образом инициировали реакцию.

Данная установка позволила провести последовательное измерение скорости реакции в зависимости от нескольких частот: на каждую частоту приходилось по 10 мл выделяемого газа для урины и 5 мл для экзометаболитов и соломы. Реакция окисления про-

водилась в трех повторностях для каждой частоты. В качестве раствора использовали перекись водорода, смешанную с такими отходами, как урина (0,5 мл H_2O_2 (33 %) на 1 мл урины), экзометаболиты человека + рыбные отходы (4 мл H_2O_2 (33 %) на 1 г нативных плотных отходов человека, 0,5 мл H_2O_2 (33 %) на 1 мл урины и 4 мл H_2O_2 (33 %) на 1 г сухих рыбных отходов, соотношение плотных, жидких и рыбных отходов 1 г : 10 мл : 0,5 г соответственно), солома (16–18 мл H_2O_2 (33 %) на 1 г). Данные растворы органических отходов были выбраны для того, чтобы проверить влияние среды типичных для БТСЖО отходов на скорость распада перекиси водорода. Были проведены холостые эксперименты: при тех же частотах и напряжении пропускали электрический ток через H_2O_2 (11 %) с добавлением KNO_3 20 г/л для обеспечения электропроводности, из соображений, что данная соль не вызывает газовыделения или существенного осаждения на электродах, и чистый водный раствор KNO_3 20 г/л. Для урины ток был в пределах 0,7–1 А, для смеси экзометаболитов с рыбными отходами – 0,5–0,6 А, для соломы – 0,15–0,25 А. Сила тока в холостых экспериментах составляла 0,4–0,6 А для раствора H_2O_2 и 1–1,5 А для водного раствора KNO_3 .

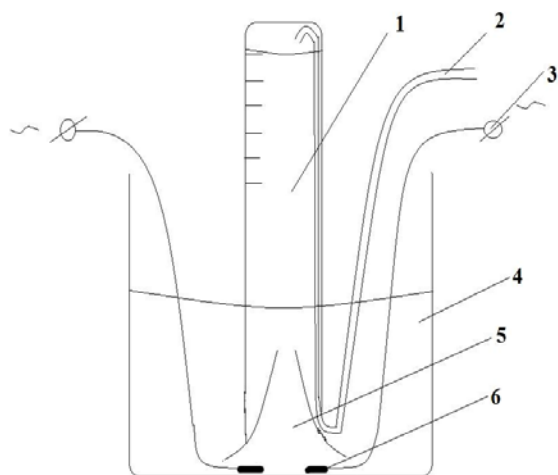


Рис. 1. Установка по определению скорости выделения газа:

1 – цилиндр (100 мл); 2 – газовыводящая трубка; 3 – источник переменного тока (от генератора частоты); 4 – емкость с раствором (500 мл); 5 – воронка; 6 – угольные электроды

Объем раствора составлял 750 мл, суммарный объем газа, выделяемого с такого объема раствора, составлял 35–50 л (в зависимости от вида отходов), соответственно, десятками миллилитров можно пренебречь, что позволяет последовательно менять частоту, не сменяя сам раствор.

С помощью секундомера измерялось время, за которое наберется 10 мл газа, таким образом вычислялась скорость выделения газа в миллилитрах в минуту.

Полученные результаты. До постановки вопроса о зависимости скорости окисления органических веществ от частоты и формы переменного тока эксперименты по минерализации проводились на частоте

бытовой сети 50 Гц, с синусоидальной формой тока. Сначала частоту увеличивали и уменьшали с шагом 10 Гц для определения характера кривой, после проводили 3 повторности с шагом до 1 Гц в районе наибольшей интенсивности.

Результаты выявленных в экспериментах зависимостей скорости выделения газа (мл/мин) от частоты (Гц) при синусоидальной форме тока представлены на рис. 2.

Видно, что тип минерализуемых отходов не влияет на характер зависимости скорости окисления от частоты, а значит, данная зависимость определяется только взаимодействием перекиси с переменным электрическим током. Максимальная скорость процесса при этом наблюдается при 35 Гц. В холостом опыте с водным раствором KNO_3 выделение газа практически не происходило (около 1 мл/ч), поэтому вклад электролиза воды в газообразование не стоит принимать в расчет.

Холостой опыт с водным раствором H_2O_2 (11 %) подтвердил, что ток влияет лишь на характер разложения перекиси. Из графиков видно, что скорость выделения газа в холостом эксперименте почти в 2 раза превосходит скорость выделения газа при окислении урины и в 5–6 раз скорость выделения газа при окислении экзометаболитов и соломы. Это скорее говорит о том, что в растворах с отходами происходит стабилизация перекиси водорода органическими соединениями [5]. Различие в скорости выделения газа может быть объяснено и разной силой тока: для меньших токов скорость газовыделения ниже.

В отсутствие силы тока окисление органических отходов происходит крайне медленно. Так, например, отходы, смешанные с H_2O_2 в течение нескольких недель, теряют только пигментацию, но выделения газа почти не происходит. При минерализации экзометаболитов, предварительно стоявших 2 месяца смешанными с перекисью, не было заметно разницы во времени окисления и энергопотреблении по сравнению с теми же экзометаболитами, стоявшими смешанными с перекисью лишь сутки.

Далее были проведены опыты по выявлению характера влияния формы тока на скорость реакции. Бытовая сеть выдает синусоидальную форму тока, генератор также позволял исследовать ток с формой меандр. Опыты были проведены только на урине, поскольку было показано, что частотная зависимость определяется только взаимодействием перекиси с полем. Результаты опыта представлены на рис. 3.

Ускорение реакции при форме тока меандр может быть объяснено следующим образом. Молекула перекиси водорода имеет некоторое пороговое значение энергии активации [6], токи ниже которого не способны ее активировать. Соответственно, при синусоидальном токе энергия переменного электромагнитного поля вблизи нулевых значений не способна инициировать распад перекиси водорода. В случае меандра значение тока с положительного на отрицательный меняется ступенчато, и энергия электрического поля во все моменты времени превышает пороговое значение $E_{\text{акт}}$. В результате, в случае тока формы меандр в процессе окисления отсутствуют промежутки времени без активации перекиси.

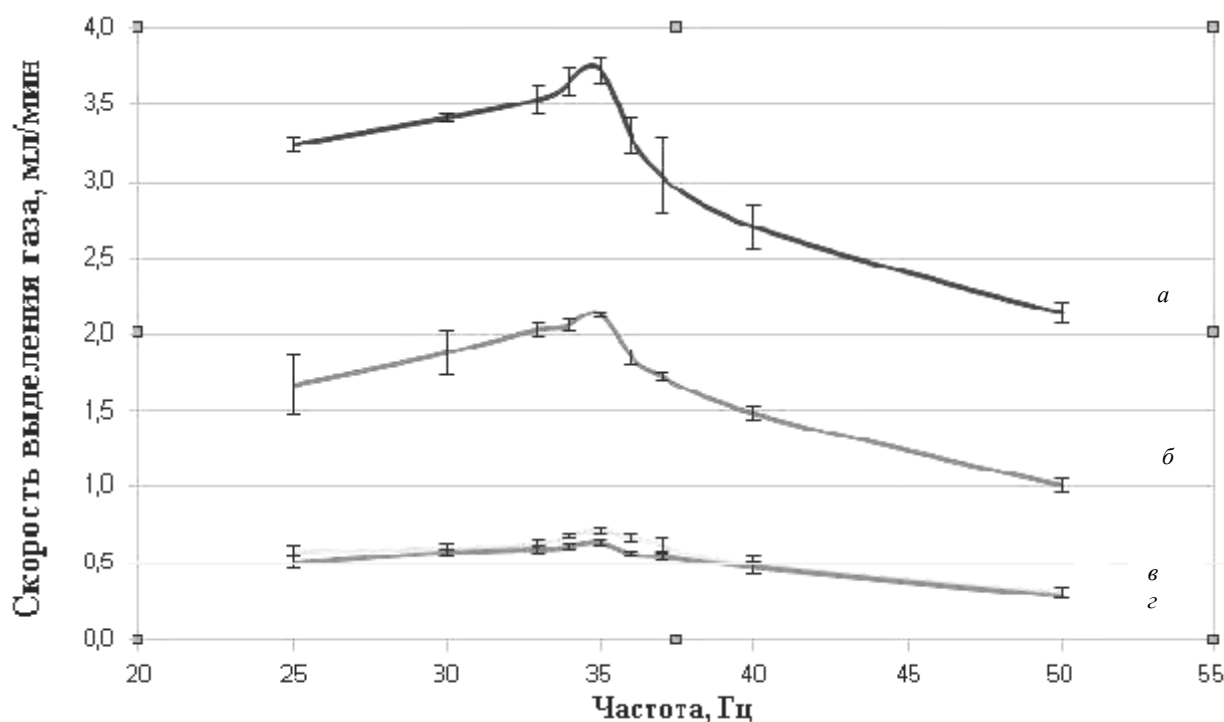


Рис. 2. Зависимость скорости выделения газа (мл/мин) от частоты (Гц):
 а – холостой ход; б – урина; в – экзометаболиты + рыбные отходы; з – солома

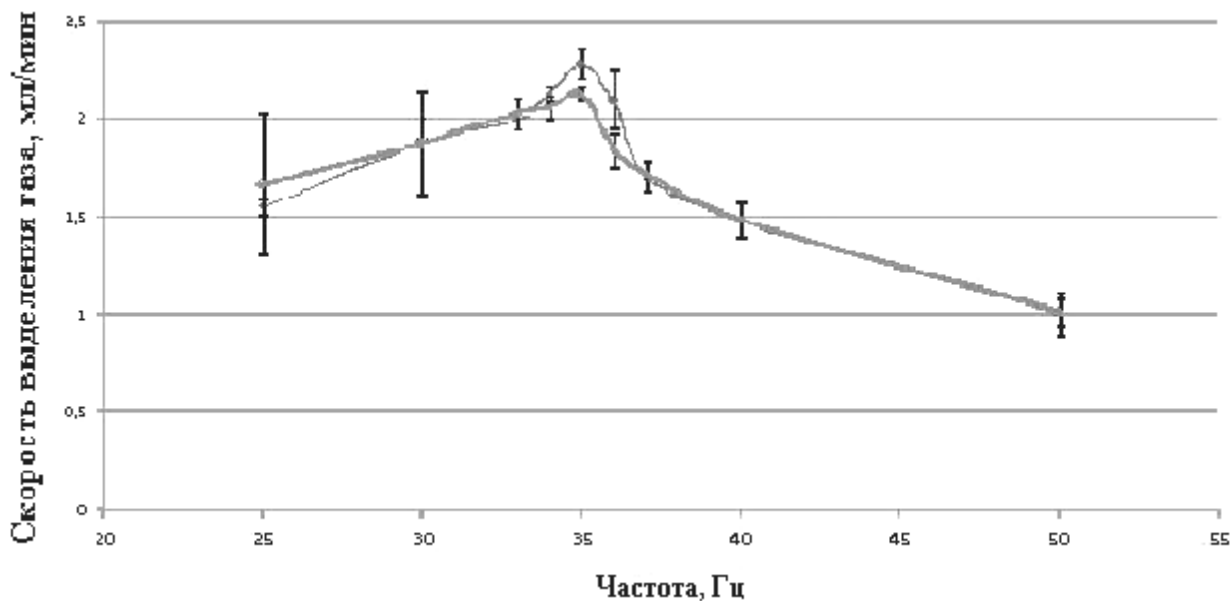


Рис. 3. Мокрое сжигание урины: толстая кривая – синусоидальная форма тока; тонкая – меандр

Таким образом, впервые была исследована зависимость скорости разложения перекиси водорода от частоты и формы подаваемого электрического тока в диапазоне сверхнизких частот. В ходе работы было выявлено, что имеется максимум интенсивности распада перекиси в точке 35 Гц, не зависящий от типа окисляемых органических отходов. Данные результаты важны для создания звена переработки отходов в минерализованные удобрения в космических ЗСЖО,

а также для решения экологических проблем в земных приложениях.

Библиографические ссылки

1. Gitelson J. I., Lisovsky G. M., MacElroy R. Manmade Closed Ecological Systems. Taylor & Francis Inc., 2003. 400 p.
2. Tako Y. Closed Habitation Experiments and Material Circulation Technology // Proceedings of the

International Symposium on Closed Habitation Experiments and Material Circulation Technology / Ed. by Tako Y. Japan : Institute for Environmental Sciences, 2004. 500 p.

3. Пат. № 2111939 Рос. Федерация. Способ утилизации отходов жизнедеятельности человека и несъедобной биомассы растений, приводящий к получению из них удобрений / Куденко Ю. А., Павленко Р. А. ; опубл. 27.05.1998 ; Бюл. № 15. 4 с.

4. Assessing the feasibility of involving gaseous products resulting from physicochemical oxidation of human liquid and solid wastes in the cycling of a bio-technical life support system / A. Tikhomirov, Yu. Kudenko, S. Trifonov, S. Ushakova // *Advances in Space Research*. 2012. Vol. 49. P. 249–253.

5. Перекись водорода и перекисные соединения / под ред. М. Е. Позина Л.–М. : ГНТИ химической литературы, 1951. 476 с.

6. Кисленко В. Н., Берлин Ад. А. Кинетика и механизм окисления органических веществ пероксидом водорода // *Успехи химии*. 1991. Т. 60, № 5. С. 949–981.

References

1. Gitelson J. I., Lisovsky G. M., MacElroy R. *Manmade Closed Ecological Systems*. Taylor & Francis Inc., 2003. 400 p.

2. Tako Y. *Closed Habitation Experiments and Material Circulation Technology: Proceedings of the International Symposium on Closed Habitation Experiments and Material Circulation Technology*. Edited by Tako Y. – Japan, Institute for Environmental Sciences, 2004. 500 p.

3. Kudenko Ju. A., Pavlenko R. A. *Sposob utilizacii othodov zhiznedejatel'nosti cheloveka i nesjedobnoj biomassy rastenij, privodjashhij k polucheniju iz nih udobrenij* [Way of utilization of human wastes and inedible plant biomass, gaining hydroponic fertilizer]. Patent RF, no. 2111939, 1998.

4. Tikhomirov A., Kudenko Yu., Trifonov S., Ushakova S. Assessing the feasibility of involving gaseous products resulting from physicochemical oxidation of human liquid and solid wastes in the cycling of a bio-technical life support system. *Advances in Space Research*. 2012, vol. 49, p. 249–253.

5. *Perekis' vodoroda i perekisnye soedinenija* (Hydrogen peroxide and peroxide compounds). Ed. M. E. Pozina. Leningrad–Moscow, GNTI Chemical Literature Publ., 1951. 476 p.

6. Kislenco V. N., Berlin Ad. A. *Uspehi himii*. 1991, vol. 60, no. 5, p. 949–981.

© Морозов Е. А., Трифонов С. В.,
Куденко Ю. А., Тихомиров А. А., 2014

УДК 29. 19. 22

ПЛАЗМОНАПЫЛЕННЫЕ ФЕРРИТОВЫЕ ПОКРЫТИЯ

В. Н. Саунин, С. В. Телегин

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: telegin@sibsau.ru

Предложена методика плазменного напыления ферритовых покрытий из порошков спеченных ферритовых изделий. Исследовано влияние технологических факторов напыления и фракционного состава на морфологию, изменение структурного, химического состава и магнитных свойств покрытий. Установлено, что массопотери кислорода в феррите при плазменном напылении определяются фракционным составом исходного порошка, родом используемых газов, температурой нагрева и временем пребывания частиц в плазменной струе, коэффициентом диффузии кислорода. Увеличение фракции напыляемых порошков стабилизирует химический состав покрытий. Введение в плазменную струю технологического газа кислорода (1–3 %) даже при больших мощностях напыления стабилизирует химический состав покрытия по кислороду. Рентгенографическими исследованиями установлено, что в материале покрытия возникает небольшое количество аморфной фазы. Технология плазменного напыления позволяет совместить операции нанесения покрытия и отжига за счет управления температурой в пятне напыления и расхода технического газа кислорода, что обеспечивает химический состав и микроструктуру покрытия с необходимым уровнем магнитных характеристик.

Ключевые слова: ферриты, плазменное напыление, диссоциация, покрытие, магнитная проницаемость.