

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Махонін Микола Віталійович

УДК 615.83:661.94

ДИСЕРТАЦІЯ
МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ГЕНЕРАТОРУ
МЕДИЧНОГО ОЗОНУ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ПІДВИЩЕННЯ
ЙОГО ПРОДУКТИВНОСТІ

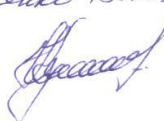
05.11.17 – медичні та біологічні прилади та системи

15 – автоматизація та приладобудування

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Ефективність за
змістом з критеріями
критеріальної дисертації
засвідчую
Всесвітній секретар
спеціалізованої зведеної
ради ДЕТ. OSD. 17
Гуменко В.В.

 14.05.2019



М.В. Махонін

Науковий керівник Сокол Євген Іванович,
доктор технічних наук, професор,
член-кореспондент НАН України

Харків – 2019

АНОТАЦІЯ

Махонін М.В. Метод визначення параметрів генератору медичного озону для ефективного підвищення його продуктивності. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.11.17 «Біологічні та медичні прилади і системи». – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2019.

Дисертація Махоніна М.В. присвячена вирішенню однієї з актуальних науково-технічних задач сучасного медичного приладобудування – підвищенню ефективності генератору медичного озону за рахунок визначення параметрів розрядної камери, напруги живлення та витрати кисню.

На даний час у світі активно використовують озон та його суміші для широких потреб різних галузей. Для отримання озону використовуються спеціальні генератори озону різних типів у залежності від сфери їх застосування. Ці генератори відрізняються розмірами, кількістю озону, що генерується за відрізок часу та інші. Особливістю ж генераторів медичного озону є те, що необхідно підтримувати задані параметри отримуваної озono-кисневої суміші на протязі усього часу проведення процедури, а у якості робочого газу використовується медичний кисень. Це дозволяє реалізовувати методики озонотерапії для максимально ефективного лікування пацієнтів.

Типові параметри озono-кисневої суміші, які повинен забезпечувати медичний генератор озону регламентуються в Україні «Методиками для застосування озону в медичній практиці», які були затверджені Міністерством охорони здоров'я в 2014 році. Згідно сучасної редакції цих методик концентрація озону в озono-кисневій суміші повинна змінюватись у діапазоні від 0,1 до 80 мг/л, а витрата суміші від 0,1 до 1 л/хв.

Медичні генератори озону активно використовуються у кабінетах озонотерапії та медичних установах України, країн СНД, а також країн

Латинської Америки. Щорічно у світі проводиться велика кількість конференцій присвячених озонотерапії, на яких вона отримує свій подальший розвиток. Практичне використання генераторів медичного озону свідчить, що більшість апаратури, що використовуються, потребує вдосконалення для забезпечення роботи на основі сучасних медичних рішень у лікуванні. Тобто розробка сучасного генератора потребує не тільки відповідності параметрів сучасним вимогам, а й ще запас на розвиток та можливість збільшення значень концентрації озону. Крім того, у більшості медичних генераторів озону спостерігається невідповідність заявлених параметрів озono-кисневої суміші та значення продуктивності по озону.

Продуктивність генератора озону, в свою чергу, залежить від: параметрів розрядної камери, параметрів напруги живлення, параметрів робочого газу. Вирішенням проблеми пошуку оптимальних значень цих параметрів для підвищення ефективності роботи генератора озона займаються багато науковців, серед яких можна виділити японських, німецьких та науковців з країн СНД. Але на даний момент ще не існує універсальної моделі розрахунку параметрів генератору.

Таким чином, задача підвищення ефективності роботи генератора медичного озону за рахунок визначення найкращих параметрів його вузлів, що дозволить підвищити якість процедур озонотерапії є актуальним і перспективним напрямком розвитку генераторів озону.

У дисертаційній роботі вперше побудовано математичну модель синтезу озону в розрядній камері генератора медичного озону, яка враховує вплив не тільки параметрів електричної енергії, а також параметрів розрядної камери та робочого газу. Отримані залежності впливу параметрів електричної енергії на синтез озону у розрядній камері на основі проведеного аналізу та з використанням комп'ютерного моделювання. Отримала подальший розвиток модель процесу генерації озону в бар'єрному розряді, яка, на відміну від існуючої, враховує не тільки параметри напруги живлення і розміри камери, але і процеси, що відбуваються в розрядному проміжку.

Запропоновано методику розрахунку основних параметрів генератора озону при його розробці, що дозволяє підвищити ефективність синтезу озону.

Практичне значення одержаних результатів полягає у обґрунтуванні переліку параметрів, що чинять найбільший вплив на продуктивність генератора медичного озону; інженерних розрахунках параметрів генератора медичного озону, які дозволили оптимізувати конструкцію генератора з заданими параметрами; реалізації експериментального зразка генератора медичного озону з вдосконаленою системою автоматичного регулювання витрати газу, що дозволила забезпечити виконання широко спектру процедур озонотерапії.

Отриманні практичні результати дисертаційної роботи впроваджені на НВП «Еконіка» при розробці та виготовленні сучасних генераторів медичного озону, а також розроблений макетний зразок пройшов медичну апробацію у медичному центрі «Пульс-медика» та у Інституті медичної радіології ім. С.П. Григор'єва.

Ключові слова: бар'єрний розряд, генератор медичного озону, елементарний об'єм, ефективність синтезу озону, озоно-киснева суміш, озонотерапія, розрядна камера.

Список публікацій здобувача:

1. Махонін М.В. Пневмоэлектромеханическая система управления расходом озоно-кислородной смеси в медицинском озонаторе / А.В. Кипенський, В.В. Куличенко, М.В. Махонін // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Проблеми автоматизованого електроприводу. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – №36(1009). – С. 186–188.

2. Махонін М.В. Алгоритм управления пневматической системой с широтно-импульсной модуляцией потока озоно-кислородной смеси / А.В. Кипенський, В.В. Куличенко, Р.С. Томашевський, М.В. Махонін // Энергосбережение – Энергетика – энергоаудит. Харьков: «БЭТ». – 2013. – №8 (114). – Т.1. – С. 151–156.

3. Makhonin M. System for Flow Rate Regulation with Pulse-Width Modulation / R. Tomashevskiy, V. Kulichenko, M. Makhonin // 2014 IEEE 34th International Scientific Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). – Kyiv, 2014. – P. 277–280.

4. Махонін М. В. Использование методов импульсной модуляции в медицинских озонаторах / А.В. Кипенський, В.В. Куличенко, М.В. Махонін, А.А. Коробка // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Нові рішення в сучасних технологіях – Харків: НТУ «ХПІ». – 2014. – №36. – С. 111–119.

5. Makhonin M. Analysis of Influence of the Design of the Discharge Chamber on the Ozone Generator Parameters / Y. Sokol, R. Tomashevskiy, V. Kulichenko, M. Makhonin // 2018 IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). – Kiev, 2018. – P. 360–364.

6. Махонін М.В. Определение зависимости напряжения пробоя разрядной камеры генератора озона от внешних факторов и конструкции разрядной камеры / М.В. Махонін // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285) – С. 57–61.

7. Махонін М.В. Анализ методик озонотерапии и определение необходимых параметров озono-кислородной смеси / М.В. Махонін, А.А. Коробка // Студентські конференції : Електромеханічне та електричне перетворення енергії . – НТУ "ХПІ", 2014.– С. 174–175

8. Махонін М.В. Исследование модели разрядной камеры медицинского озонатора / М.В. Махонін, В.В. Самойленко // Міжнародна наукова конференція MicroCAD: Секція №9 – Електромеханічне та електричне перетворення енергії. – НТУ "ХПІ", 2015. – С. 46.

9. Махонін М.В. Использование стандартных пакетов для моделирования барьерного разряда / Р.С. Томашевський, М.В. Махонін // Проблеми інформатики і моделювання. Тезиси п'ятнадцятої міжнародної науково-технічної конференції. – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – С. 97.

10. Makhonin M. Effect of electric energy parameters on the ozone concentration in the discharge chamber / R. Tomashevskiy, I. Korol, M. Makhonin // 2015 International Young Scientists Forum in Applied Physics (YSF). – Dnipropetrovsk, 2015. – P. 1–2.

11. Makhonin M. Distinctive features of medical ozone generator for ozonated liquids preparing with various density / R. Tomashevskiy, T. Barkhotkina, M. Makhonin // IOA World Congress “Ozone and Advanced Oxidation. Leading-edge science and technologies”. – Barcelona, Spain, 2015. – P. 9.7.1–9.7.6

12. Makhonin M. Features of the construction of a medical ozone generator for ozonation of oils / V. Kulichenko, M. Makhonin // II international Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering. – Kharkiv, Ukraine, 2016. – P. 1–2.

13. Makhonin M. Ozone generators for bubbling of physiological solutions / Y. Sokol, R. Tomashevskiy, T. Barkhotkina, M. Makhonin // International Conference & Exhibition EA3G2016 «Zone and advanced oxidation for the water – energy – food – health nexus». – Swansea, United Kingdom, 2016. – P.2.7.1 – 2.7.6.

14. Makhonin M. Determination of the Productivity of a Medical Ozone Generator / M. Makhonin // 2017 IEEE International Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering. – Lviv, Ukraine, 2017. – P. 102.

15. Махонін М. В. Модель генератору озону / В. В. Куличенко, М. В. Махонін, Б. В. Кузьминський // Актуальні проблеми автоматики та приладобудування : матеріали 1-ї Міжнар. наук.-техн. конф. – Харків : ФОП Мезіна В., 2017. – С. 57–58.

16. Махонін М. В. Питання безпеки при експлуатації медичного генератора озону / М. В. Махонін // Актуальні проблеми автоматики та приладобудування : матеріали 2-ї Міжнар. наук.-техн. конф. – Харків / укл. Панов А. М., 2018. – С. 85–86.

ABSTRACT

Makhonin M.V. A method for determining the parameters of a medical ozone generator to effectively improve its performance. – Qualification scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences (PhD) in the specialty 05.11.17 “Biological and medical devices and systems”. -National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Kharkov, 2019.

The thesis is devoted to the solution of one of the current scientific and technical problems of modern medical instrument making - increasing the efficiency of the medical ozone generator by determining the parameters of the discharge chamber, the supply voltage and the oxygen consumption.

Currently, ozone and its mixtures are widely used in the world for the wide range of applications. Different types of ozone generators depending on their application are used for ozone synthesis. These generators differ in size, the amount of ozone generated by the time span, etc. The peculiarity of the generators of medical ozone is that it is necessary to maintain the prescribed parameters of the resulting ozone-oxygen mixture throughout the entire duration of the procedure, and medical oxygen is used as the working gas. This allows us to implement ozone therapy techniques for the most effective treatment of patients.

Typical parameters of the ozone-oxygen mixture, which the ozone generating plant should provide, are regulated in Ukraine "Methods for the application of ozone in medical practice", which were approved by the Ministry of Health in 2014. According to the modern version of these methods, the concentration of ozone in the ozone-oxygen mixture should vary in the range from 0.1 to 80 mg / l, and the flow rate of the mixture is from 0.1 to 1 l / min.

Medical ozone generators are actively used in the offices of ozonotherapy and medical institutions in Ukraine, CIS countries, as well as Latin American countries. A large number of conferences devoted to ozone therapy are being held annually in the world in which it is further developed. The practical use of

generators of medical ozone shows that most of the equipment used needs to be improved to provide work on the basis of modern medical solutions in treatment. That is, the development of a modern generator requires not only compliance with the parameters of modern requirements, but also a stock for development and the possibility of increasing the values of ozone concentration. In addition, in most medical ozone generators there is a discrepancy between the stated parameters of the ozone-oxygen mixture and the value of ozone productivity.

The performance of the ozone generator, in turn, depends on: the parameters of the discharge chamber, the parameters of the supply voltage, the parameters of the working gas. Many scientists, including Japanese, German and scholars from the CIS countries, are engaged in solving the problem of finding the optimal values of these parameters for increasing the efficiency of ozone generator operation. But at the moment there is still no universal model for calculating the parameters of the ozone generator.

Thus, the task of increasing the efficiency of the medical ozone generator by determining the best parameters of its nodes, which will improve the quality of ozone therapy procedures, is an urgent and promising direction for the development of ozone generators.

In the dissertation, for the first time, a mathematical model of the synthesis of ozone in a digital chamber of the medical ozone generator was constructed, which takes into account the influence not only of the parameters of electric energy, but also of the parameters of the discharge chamber and the working gas. The dependence of the influence of electric energy parameters on the synthesis of ozone in a discharge chamber was obtained on the basis of the conducted analysis and using computer simulation. The model of the ozone generation process in the barrier discharge has been further developed, which, in contrast to the existing one, takes into account not only the power supply parameters and camera dimensions, but also the processes occurring in the discharge gap. The method of calculation of the basic parameters of the ozone generator during its development, which allows increasing the efficiency of ozone synthesis, is proposed.

The practical value of the results obtained is to justify the list of parameters that have the greatest impact on the performance of the medical ozone generator; engineering calculations of parameters of the generator of medical ozone, which allowed to optimize the design of the generator with the given parameters; the implementation of an experimental model of the medical ozone generator with an improved system of automatic regulation of gas consumption, which allowed to ensure the implementation of a wide range of procedures for ozone therapy.

The practical results of the dissertation work were introduced at the Scientific-Production Enterprise "Econika" in the development and manufacture of modern generators of medical ozone, and also a prototype sample was developed, was tested at the medical center "Pulse Medika" and at the Institute of Medical Radiology N.A. Grigoriev.

Key words: barrier discharge, discharge chamber, elementary volume, medical ozone generator, ozone-oxygen mixture, ozone therapy, ozone synthesis efficiency.

List of publisher publications:

1. Pneumatic electromechanical control system for ozone and oxygen mixture flow in a medical ozonator / AV Kipensky, VV Kulikchenko, MV Mahonin // Bulletin of the National Technical University "KhPI": Collection of scientific works. Thematic issue: Problems of automated electric drive. - Kharkiv: NTU "KhPI". - 2013 - No. 36 (1009). - P. 186-188.

2. Algorithm for controlling the pneumatic system with pulse-width modulation of the ozone-oxygen mixture flow / AV Kipensky, VV Kulikchenko, R. S. Tomashevsky, MV Mahonin // Energy saving - Energy - Energy audit. Kharkov: "BET". - 2013. - №8 (114) - T.1. - P. 151-156.

3. The use of pulsed modulation methods in medical ozonizers / A.V. Kipensky, V.V. Kulikchenko, M.V. Mahonin, A.A. Korobka // Bulletin of the National Technical University "KhPI". New solutions in modern technologies - Kharkiv: NTU "KhPI". - 2014 - № 36. - P. 111-119.

4. System for Flow Rate Regulation with Pulse-Width Modulation / R. Tomashevskiy, V. Kulichenko, M. Makhonin // 2014 IEEE 34th International Scientific Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). – Kyiv, 2014. – P. 277-280.

5. Determination of the voltage dependence of the breakdown of the discharge chamber of the ozone generator on external factors and the design of the discharge chamber / M.V. Makhonin // Bulletin of the National Technical University "KhPI". Collection of scientific works. Series: New solutions in modern technologies. - Kh. NTU "KhPI". – 2018. – No 9 (1285). – P. 57-61.

6. Analysis of Influence of the Design of the Discharge Chamber on the Ozone Generator Parameters / Y. Sokol, R. Tomashevskiy, V. Kulichenko, M. Makhonin // 2018 IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). – Kiev, 2018. – P. 360-364.

7. Makhonin M.V. Analysis of ozone therapy techniques and determination of the necessary parameters of the ozone-oxygen mixture / M.V. Makhonin, A.A. Korobka // Student conferences: Electrical and electrical reengineering. - NTU "KhPI", 2014.– P. 174–175.

8. Makhonin M.V. Study of the model of the discharge chamber of a medical ozonator / M.V. Makhonin, V.V. Samoylenko // International Scientific Conference MicroCAD: Section No. 9 - Electrical and electrical energy reengineering. - NTU "KhPI", 2015. – P. 46.

9. Makhonin M.V. Using standard packages for modeling a barrier discharge / R.S. Tomashevskiy, M.V. Makhonin // Problems of Informatics and Modeling. Abstracts of the Fifteenth International Science and Technology Conference. - Kharkiv: NTU "KhPI", 2015. – P. 97.

10. Makhonin M. Effect of electric energy parameters on the ozone concentration in the discharge chamber / R. Tomashevskiy, I. Korol, M. Makhonin // 2015 International Young Scientists Forum in Applied Physics (YSF). – Dnipropetrovsk, 2015. – P. 1–2.

11. Makhonin M. Distinctive features of medical ozone generator for

ozonated liquids prepearing with various density / R. Tomashevskyi, T. Barkhotkina, M. Makhonin // IOA World Congress “Ozone and Advanced Oxidation. Leading-edge science and technologies”. – Barcelona, Spain, 2015. – P. 9.7.1–9.7.6

12. Makhonin M. Features of the construction of a medical ozone generator for ozonation of oils / V. Kulichenko, M. Makhonin // II international Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering. – Kharkiv, Ukraine, 2016. – P. 1–2.

13. Makhonin M. Ozone generators for bubbling of physiological solutions / Y. Sokol, R. Tomashevskyi, T. Barkhotkina, M. Makhonin // International Conference & Exhibition EA3G2016 «Zone and advanced oxidation for the water – energy – food – health nexus». – Swansea, United Kingdom, 2016. – P.2.7.1 – 2.7.6.

14. Makhonin M. Determination of the Productivity of a Medical Ozone Generator / M. Makhonin // 2017 IEEE International Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering. – Lviv, Ukraine, 2017. – P. 102.

15. Makhonin M.V. Model for an ozone generator / V.V. Kulichenko, M.V. Makhonin, B.V. Kuzminsky // Actual problems of automation and environmental sensing: materials 1-Mizhnar. science. conf. - Kharkiv: FOP Mezina V., 2017. – P. 57–58.

16. Makhonin M.V. Safety issues during operation of a medical ozone generator / M.V. Makhonin // Actual problems of automation and instrumentation: materials of the 2nd international scientific and technical conf. - Kharkov / comp. Panov A.M., 2018. – P. 85–86.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД І АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПРИ РОЗРОБЦІ ГЕНЕРАТОРІВ ОЗОНУ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В МЕДИЦИНІ.....	11
1.1 Застосування озону в медичних цілях	11
1.2 Генерація озону при використанні електричного розряду	17
1.3 Особливості генерації озону в бар'єрному розряді	20
1.3.1 Загальні відомості про природу бар'єрного розряду.....	20
1.3.2 Характеристики напруги живлення розрядної камери при бар'єрному розряді	25
1.3.3 Часові характеристики напруги живлення розрядної камери.....	26
1.4 Типові конструкції розрядних камер, які використовуються в генераторах озону	28
1.5 Особливості конструкції сучасних генераторів озону.....	30
1.6 Визначення параметрів, що впливають на генерацію озону в розрядній камері.....	35
1.7 Постановка задач дисертаційного дослідження	38
РОЗДІЛ 2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ГЕНЕРАЦІЇ ОЗОНУ В РОЗРЯДНІЙ КАМЕРІ.....	40
2.1 Репрезентативний елементарний об'єм розрядної камери	40
2.2 Хімічні процеси в репрезентативному елементарному об'ємі	46
2.3 Теплові процеси в репрезентативному елементарному об'ємі.....	49
2.4 Дифузійні процеси в розрядній камері	53

2.5 Дослідження впливу параметрів розрядної камери на напругу запалювання.....	58
2.6 Вплив типу геометричних параметрів розрядної камери на генерацію озону	63
2.7 Розробка математичної моделі синтезу озону на основі репрезентативного елементарного об'єму	65
2.8 Висновки по другому розділу	69
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ РОЗРЯДНОЇ КАМЕРИ ГЕНЕРАТОРУ ОЗОНУ	70
3.1 Уточнення впливу параметрів напруги живлення розрядної камери	70
3.2 Уточнення впливу швидкості течії робочого газу в розрядній камері.....	76
3.3 Експериментальні дослідження впливу параметрів електричної енергії на синтез озону у розрядній камері	83
3.4 Розробка методу визначення параметрів генератору МО	91
3.5 Висновки по третьому розділу	93
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ДОСЛІДНОГО ЗРАЗКА ГЕНЕРАТОРУ ОЗОНУ.....	95
ТА ЙОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	95
4.1 Медико-технічні вимоги до генератора медичного озону	95
4.2 Технічні характеристики дослідного зразка генератора медичного озону	96
4.3 Конструкція й принцип дії генератора озону.....	101
4.3.1 Конструкція генератора озону.....	101
4.3.2 Автоматична система керування витратою	104
4.3.3 Формування керуючих імпульсів пневматичної системи витрати	106

4.3.4 Алгоритм керування пневматичною системою	109
4.4 Дослідження дослідного зразка генератора озону	115
4.4.1 Дослідження залежності концентрації озону.....	115
4.4.2 Дослідження впливу напруги живлення генератора озону ...	116
4.4.3 Дослідження пневматичної частини генератора озону	117
4.5 Медична апробація розробленого генератора озону.....	120
4.6 Висновки по четвертому розділу.....	123
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	126
ДОДАТОК А.....	137
ДОДАТОК Б	144
ДОДАТОК В.....	147
ДОДАТОК Г	150
ДОДАТОК Д.....	153
ДОДАТОК Е	156