

Электронный научный журнал "Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках" <http://mathmod.esrae.ru/>

URL статьи: mathmod.esrae.ru/43-175

Ссылка для цитирования этой статьи:

Байбурин В.Б., Никифоров А.А., Пахомов Я.А., Дорошенко В.М., Мещанов В. В., Комаров В.В. Цифровой двойник стерилизатора с цифровой системой управления параметрами СВЧ излучения магнетронного генератора // Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках. 2023. №3
Выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда по гранту 22-19-00357.

УДК 519.876.5

DOI:10.24412/2541-9269-2023-3-35-43

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК СТЕРИЛИЗАТОРА С ЦИФРОВОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ МАГНЕТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Байбурин В.Б.¹, Никифоров А.А.², Пахомов Я.А.³, Дорошенко В.М.⁴,
Мещанов В. В.⁵, Комаров В.В.⁶

¹ Саратовский государственный технический университет имени Гагарина
Ю.А., Россия, Саратов, baiburinvb@rambler.ru,

² Саратовский государственный технический университет имени Гагарина
Ю.А., Россия, Саратов, nikiforovaa@sstu.ru,

³ Саратовский государственный технический университет имени Гагарина
Ю.А., Россия, Саратов, yaroslav23451@gmail.com,

⁴ Саратовский государственный технический университет имени Гагарина
Ю.А., Россия, Саратов, dorvalentina9@gmail.com, ⁵nika373@bk.ru,

⁶ Саратовский государственный технический университет имени Гагарина
Ю.А., Россия, Саратов, vyacheslav.komarov@gmail.com

DIGITAL DOUBLE OF THE STERILIZER WITH A DIGITAL CONTROL SYSTEM FOR THE PARAMETERS OF THE MICROWAVE RADIATION OF THE MAGNETRON GENERATOR

Bayburin V.B.¹, Nikiforov A.A.², Pakhomov Ya.A.³, Doroshenko V.M.⁴,
Meshchanov V. V.⁵, Komarov V.V.⁶

¹ Yuri Gagarin State Technical University of Saratov,
Russia, Saratov, baiburinvb@rambler.ru,

² Yuri Gagarin State Technical University of Saratov,
Russia, Saratov, nikiforovaa@sstu.ru,

³ Yuri Gagarin State Technical University of Saratov,
Russia, Saratov, yaroslav23451@gmail.com,

⁴ Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia, Saratov,
dorvalentina9@gmail.com,

⁵ Yuri Gagarin State Technical University of Saratov,
Russia, Saratov, nika373@bk.ru,

⁶ Yuri Gagarin State Technical University of Saratov,
Russia, Saratov, vyacheslav.komarov@gmail.com

Аннотация. Представлен цифровой двойник стерилизатора на основе СВЧ излучения с цифровой системой управления мощностью и времени СВЧ излучения магнетронного генератора. Проведено исследование прочностных характеристик конструкции стерилизатора.

Ключевые слова: цифровая система управления, магнетрон, СВЧ, моделирование, стерилизатор.

Abstract. A digital double of a sterilizer based on microwave radiation with a digital control system for the power and time of microwave radiation of a magnetron generator is presented. A study of the strength characteristics of the sterilizer design was carried out.

Keywords: digital control system, magnetron, microwave, simulation, sterilizer.

Введение

В работах [1-4] экспериментально и практически обоснована эффективность применения СВЧ технологий для стерилизации медицинских инструментов. Как известно в последнее время возможности имитационного 3-Д моделирования получили широкое распространение в различных областях науки и техники, что связано с активной фазой внедрения цифровых технологий для автоматизации и удобства процесса разработки, тестирования объектов и создания эффективных конструкторско-технологических решений.

В данной работе приведены схемы конструкторских решений, результаты 3D-моделирования СВЧ стерилизатора, а также описана система цифрового управления мощностью и временем СВЧ излучения магнетрона.

Создание цифровой модели стерилизатора

Как известно в общем случае цифровой двойник (Digital Twin) производства – это цифровая 3D-имитационная модель производственной ячейки, линии, участка, цеха или прибора в целом [5-6]. В настоящей работе с помощью программы Компас 3-Д планируется разработка стерилизатора и исследование его физико-механических, температурных свойств. При этом при разработке цифрового прототипа устройства использовался метод поэтапного 3-Д моделирования, то есть создания различных частей конструкции в единичном варианте с последующей сборкой всей конструкции устройства. Конструкторская модель прототипа СВЧ стерилизатора представлена на рисунке 1.

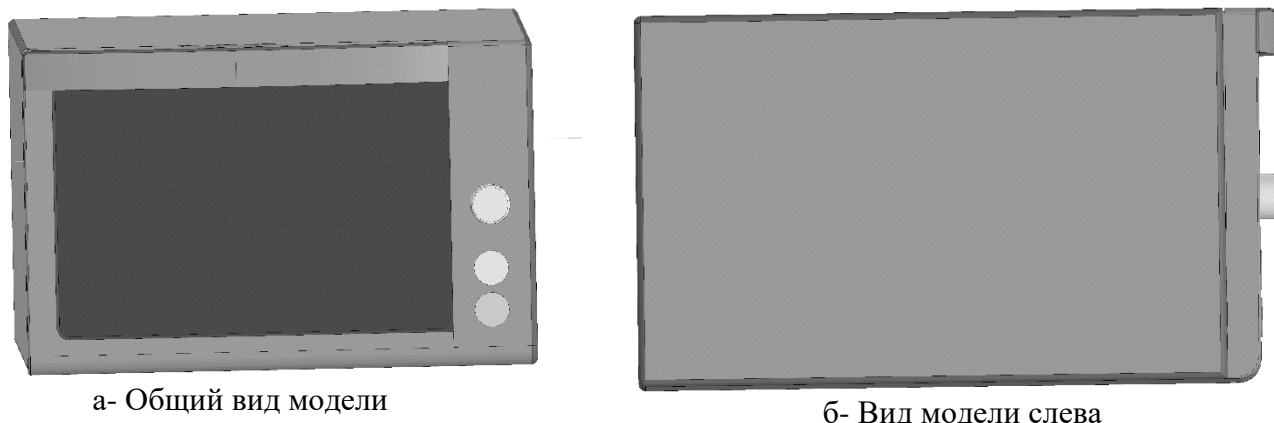


Рис. 1- Конструкторская модель СВЧ стерилизатора а- Общий вид модели, б- Вид модели слева

Прототип стерилизатора состоит из корпуса высокопрочной, жаропрочной стали ASI 304, панели управления, крышки устройства.

После этапа разработки элементов прототипа и сборки модели было проведено исследование конструкции стерилизатора на прочность и температурную устойчивость самой конструкции для анализа надёжности использования прибора.

Для решения поставленной задачи исследования прочностных параметров корпуса прибора использовался алгоритм FEAST решения разреженных СЛАУ при работе с библиотекой программы КОМПАС АПМ FEM, который заключается в решении стандартных симметричных или обобщённых симметрично- определённых задач нахождения всех собственных значений λ и собственных векторов x в заданном диапазоне поиска. Запишем обобщённое выражение для описания работы алгоритма FEAST.

$$A\lambda = \lambda x \quad (1)$$

где $\lambda_{\min}, \lambda_{\max}$ - собственные значения решения, x - собственные векторы в заданном диапазоне поиска.

Для описания обобщённого выражения запишем уравнения матрицы с диагональными, верхнетреугольными, нижнетреугольными параметрами масштабирования заполненности факторов A .

$$A' = D_l P P_m A P^t D_r \quad (2)$$

где P – матрица перестановок, минимизирующая заполняемость ненулевыми элементами треугольных факторов (fill-in), P_m – перестановка больших элементов A на главную диагональ (matching); D_l, D_r - диагональные матрицы: масштабирование элементов A (scaling).

Итоговое выражение для описания работы алгоритма FEAST будет являться выражение для расчёта всех параметров матричных преобразований:

$$A' = \{LL^H | LDL^H | LDL^T | LU\}, \quad (3)$$

где L– нижнетреугольная; U– верхнетреугольная; D– диагональная.

Реализация метода решения поставленной задачи происходит в соответствии с алгоритмом реализации математической модели, которая представлена на рисунке 2.

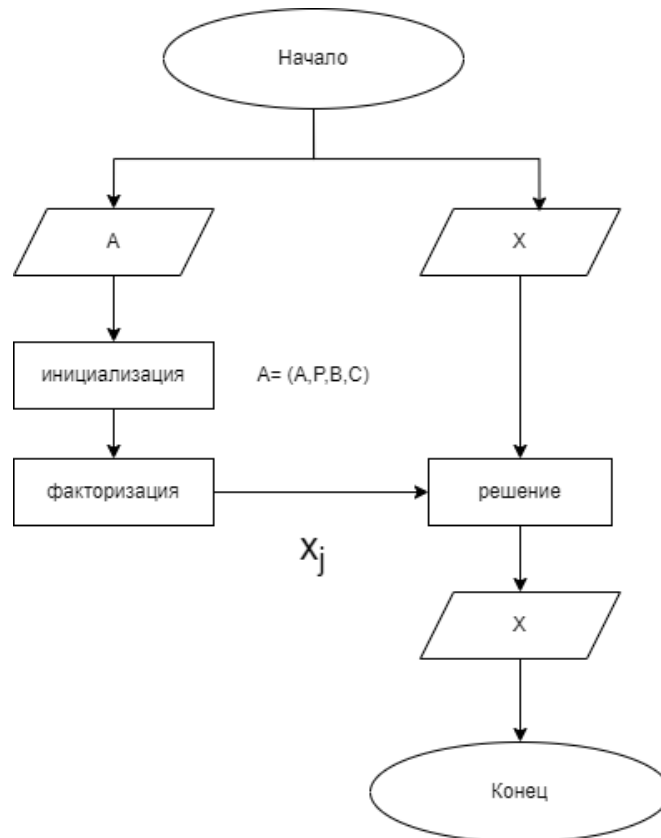


Рис. 2. Алгоритм реализации математической модели

Для анализа прочностных характеристик конструкции прибора проведено исследование по площади распределения нагрузки от давления равного максимальному значению 25 МПа [7-8], которое обусловлено физическими свойствами материала марки стали ASI 304. Результаты экспериментального исследования приведены ниже на рисунке 3.

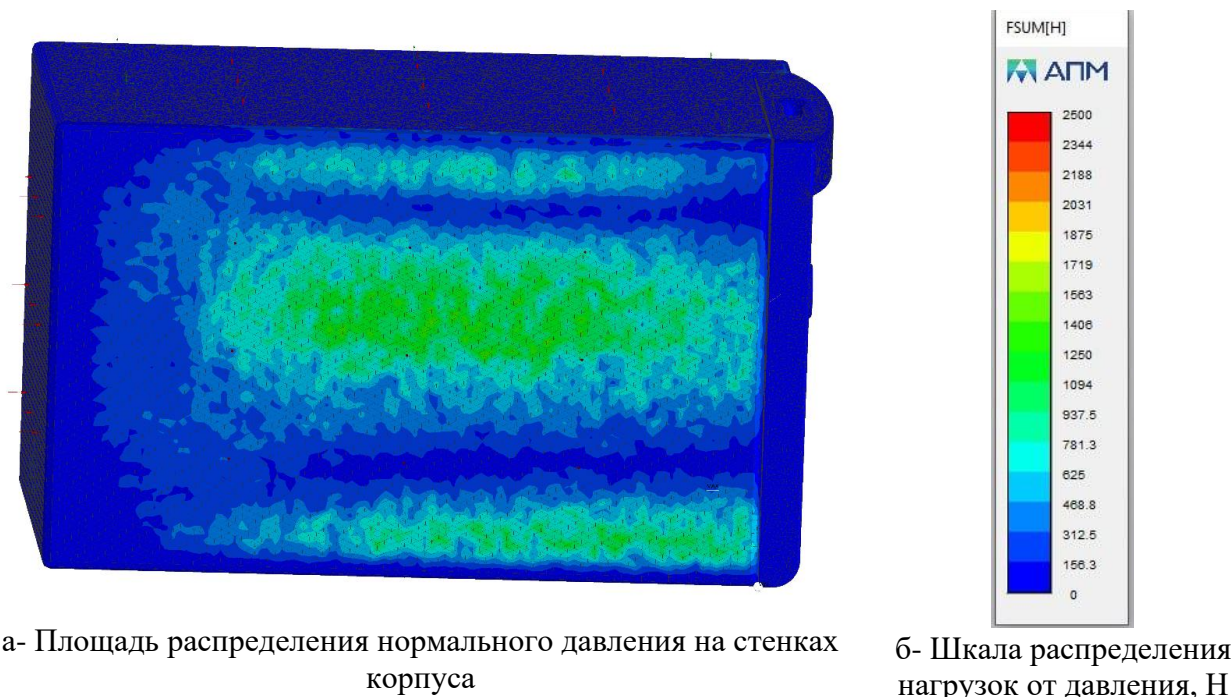


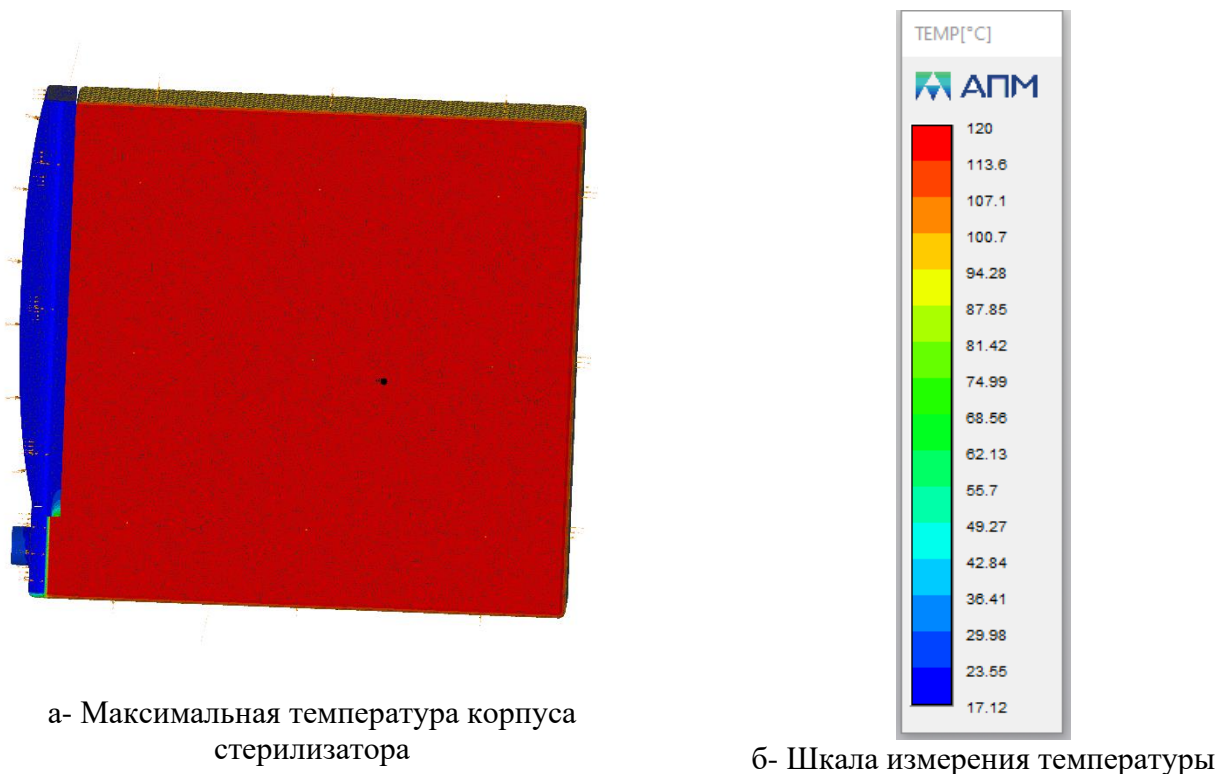
Рис. 3 - а- Площадь распределения нормального давления на стенках корпуса, б- Шкала распределения нагрузок от давления, Н

По результатам проделанного эксперимента из рисунка 3 можно сделать вывод, что материал сохраняет свою стабильность и способен выдержать давление до 25 МПа при достаточно длительном воздействии на корпус при этом основные управляющие компоненты прибора не выйдут из строя.

После проведения экспериментального исследования на распределения нагрузки от действующего давления на корпус проведён эксперимент на температурную устойчивость материала корпуса с заданными параметрами температуры в режиме работе прибора до 120 °С. Результаты эксперимента приведены на рисунке 4.

По проделанному анализу температурной устойчивости корпуса стерилизатора, можно сделать вывод о том что распределение температуры происходит равномерно по площади с достижением максимального значения в 120°С на одной из стенок корпуса и не оказывает влияние на работу основных модулей прибора.

В ходе проделанной работы по созданию цифрового прототипа стерилизатора была получена приближенная к реальному объекту модель и проведено исследование на прочностные характеристики корпуса конструкции и их влияние на основные электронные компоненты прибора.



а- Максимальная температура корпуса
стерилизатора

б- Шкала измерения температуры

Рис. 4- а- Максимальная температура корпуса стерилизатора, б- Шкала измерения температуры

Разработка цифровой системы управления

При разработке устройства сверхвысокочастотного воздействия было заявлено, что устройство должно обладать цифровой системой управления, к которой задаются достаточно жёсткие требования к регулировки режимами СВЧ-воздействия и важных параметров в процессе обработки [9-10], а именно температура, время, мощность СВЧ излучения на обрабатываемый объект.

При выборе цифровой системы управления для устройства СВЧ воздействия были разработаны следующие требования, исходя из выбранной электронной базы и технического задания.

Требования к цифровой системе управления:

1. Плавная регулировка времени: от 10 с- 20 минут;
2. Диапазон изменения мощности СВЧ воздействия: от 200-1000 Вт;
3. Диапазон температурных нагрузок системы от 40-85 °С;
4. Габариты- 165x110x78 мм;
5. Масса – 390 г.

С учётом разработанных требований к цифровой системе управления был определён оптимальный вариант готового процессорного решения на базе процессора Cortex A-8, который обеспечит быстроедействие системы и удобное

управление с помощью сенсорной панели. На рисунке 5 представлена функциональная схема управления мощностью СВЧ воздействия на основе ПЛК DVP 32 ES 3.

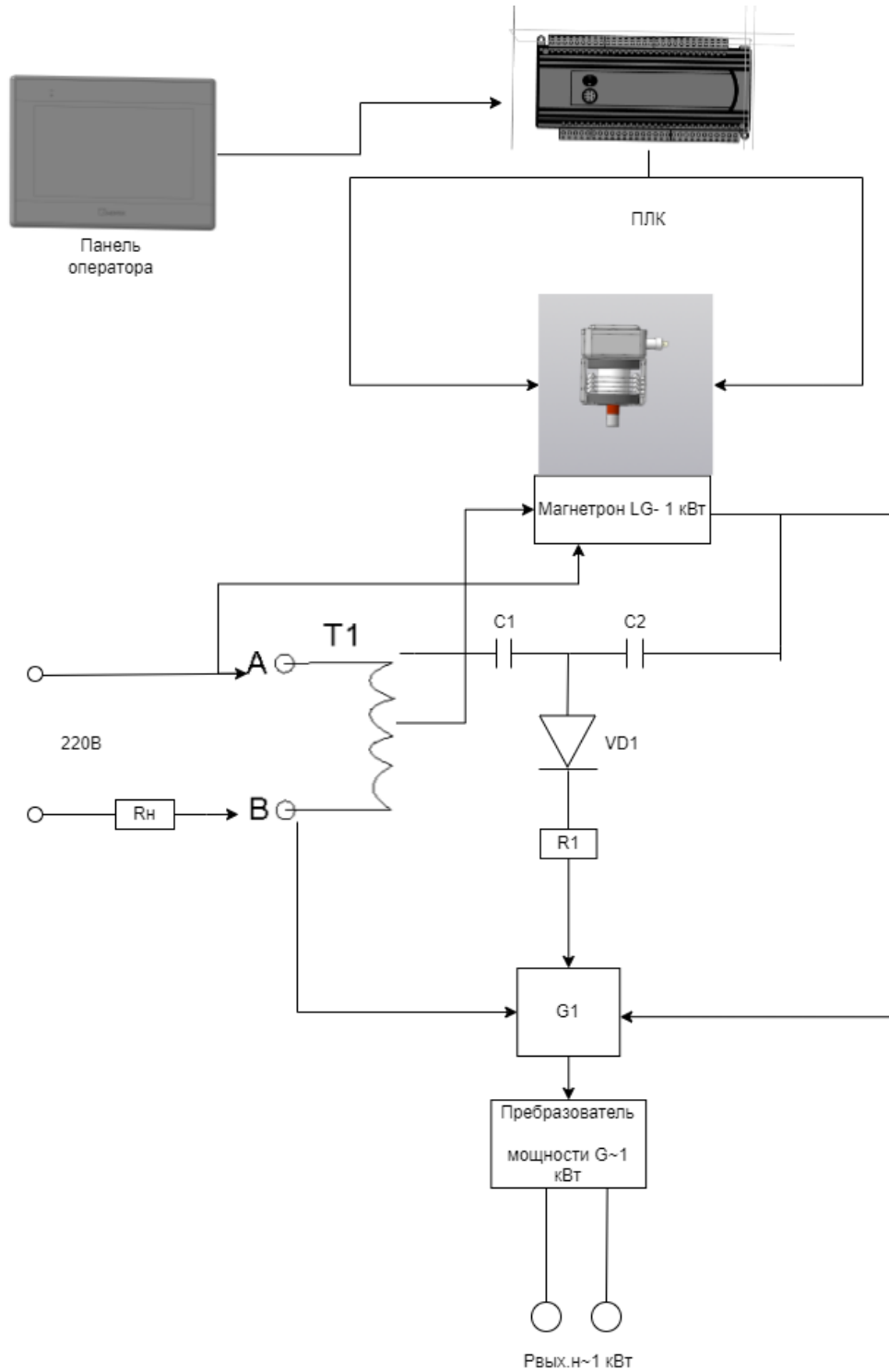


Рис. 5– Функциональная схема управления мощностью и временем СВЧ излучением магнетрона

Управление основными параметрами цифровой системы управления на основе двух магнетронов, а именно время обработки 10 с- 20 минут, плавное увеличение мощности с 200- 1000 Вт осуществляется с помощью ПЛК DVP 32 ES 3. Для изменения параметров обработки используется панель оператора TP70P с сенсорным управлением.

После настройки всех параметров обработки оператором, плавное увеличение мощности магнетронов обеспечивается с помощью последовательно подключенного трансформатора, генератора и преобразователя мощности, что позволяет последовательно управлять мощностью одного магнетронного генератора.

Таким образом, схема управления обеспечивает плавное управления мощностью СВЧ излучения в диапазоне 200-1000 Вт и временем обработки до 20 минут.

Заключение

В результате проделанной настоящей работы были получены конструкторские решения прототипа стерилизатора, цифровой системы управления. При этом проведено исследование прочностных и температурных параметров конструкции стерилизатора с использованием алгоритма FEAST, которые впоследствии будут учитываться при создании реального демонстрационного образца прибора.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда по гранту 22-19-00357.

Литература

1. Байбурин В.Б., Балакин М.И., Комаров В.В., Лунева И.О., Никифоров А.А., Мещанов В.П. Быстрый метод полной деконтамизации в СВЧ электромагнитном поле //Вопросы электротехнологии. – 2022. – Т. 35. – №. 2. – С. 27.
2. Ерёмин В.П., Ершов А.С., Байбурин В.Б., Балакин М.И., Шелудяков Д.А., Мещанов В.П. Анализ возможностей создания магнетрона повышенной мощности для свч-стерилизатора на основе математической модели и экспериментального образца //Journal of Electrotechnics. – 2022. – С. 39.
3. Байбурин В.Б., Комаров В.В., Мещанов В.П. Моделирование электродинамических параметров микроволнового стерилизатора //Физика Волновых Процессов и Радиотехнические Системы. – 2022. – Т. 25. – №. 4. – С. 52-58.

4. Байбурин В.Б., Тертышник В.В., Шуб Г.М., Лунёва И.О., Хороводова Н.Ю. Стерилизация медицинских инструментов на основе СВЧ электротехнологии // Вопросы электротехнологии. – 2018. – Т. 19. – №. 2. – С. 5.
5. Боровков А.И., Рябов Ю.А. Цифровые двойники: определение, подходы и методы разработки / В сб. «Цифровая трансформация экономики и промышленности». СПб.: ФГАОУ ВО СПбПУ, 2019. С. 234–245.
6. Жуков А.А., Калашников А.Ю., Соловьев М. К. Физико-технологические ограничения при проектировании многослойной коммутационной СВЧ-платы // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2020, т. 7, вып. 2. С. 70–77.
7. Кузьмичёв А.И. Магнетронные распылительные системы. Книга 1. Введение в физику и технику магнетронного распыления. – 2008.
8. Артюхов И.И., Земцов А.И., Пыльская Е.К., Молот С.В. Моделирование и исследование системы электропитания мультигенераторной установки СВЧ-нагрева // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2020. – Т. 28. – №. 4 (68). – С. 106-117.
9. Царев М.В., Андреев Ю.С. Цифровые двойники в промышленности: история развития, классификации, технологии, сценарии использования // Известия вузов. Приборостроение, 2021, т. 64, вып. 7. С. 517–531.
10. Курганова Н.В., Филин М. А., Черняев Д.С., Шаклеин А.Г., Намиот Д.Е. Внедрение цифровых двойников как одно из ключевых направлений цифровизации производства // International Journal of Open Information Technologies, 2019, т. 7, № 5. С. 105–115.