

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПРЕДСТЕРИЛИЗАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ

Важник М.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Асиненко А.М. – ассистент кафедры ЭТТ

Аннотация. В статье проведен анализ современных методов предстерилизационной очистки медицинского инструментария с акцентом на применение ультразвуковых технологий. Рассмотрены физические принципы акустической кавитации и ее влияние на эффективность удаления биологических загрязнений. Выполнен сравнительный анализ существующих на рынке технических решений, выявлены их основные достоинства и недостатки. Обоснована необходимость разработки отечественной микроконтроллерной ультразвуковой мойки, сочетающей высокую эффективность, безопасность и экономическую целесообразность.

Ключевые слова: ультразвуковая мойка, акустическая кавитация, предстерилизационная очистка, медицинская техника, микроконтроллерное управление, пьезоэлектрический излучатель.

Введение. Современные стандарты инфекционного контроля в медицинских учреждениях требуют безукоризненной подготовки хирургического, стоматологического и лабораторного инструментария перед его окончательной стерилизацией [1]. Ключевым этапом данной подготовки является предстерилизационная очистка (ПСО), цель которой заключается в полном удалении белковых, жировых и механических загрязнений, а также остатков лекарственных препаратов [2]. Традиционные методы ручной очистки с использованием щеток и моющих растворов характеризуются высокой трудоемкостью, риском травмирования персонала и недостаточной эффективностью при обработке инструментов сложной конфигурации (имеющих полости, замковые части, мелкую резьбу).

В связи с этим наиболее перспективным и технологичным методом признана автоматизированная ультразвуковая очистка [1]. Целью данной работы является анализ физических принципов работы ультразвуковых очистительных систем, обзор существующих на рынке решений и формирование требований к разработке перспективного устройства очистки с микроконтроллерным управлением.

Основная часть. В основе работы ультразвуковой мойки лежит явление акустической кавитации. Высокочастотные колебания, генерируемые пьезоэлектрическими излучателями, передаются в жидкую среду (моющий раствор), создавая в ней чередующиеся волны высокого и низкого давления. В фазе низкого давления в жидкости образуются микроскопические вакуумные пузырьки. В фазе высокого давления эти пузырьки стремительно схлопываются, порождая локальные гидродинамические удары огромной силы [3]. Именно эти микроскопические взрывы эффективно «отрывают» загрязнения от поверхности медицинского инструмента, проникая в самые труднодоступные микротрещины и полости.

Ключевым параметром, определяющим эффективность процесса, является рабочая частота ультразвукового генератора [3]. Низкие частоты (20-30 кГц) создают крупные кавитационные пузырьки с высокой энергией схлопывания, что оптимально для удаления грубых загрязнений с массивных инструментов. Более высокие частоты (35-45 кГц и выше) генерируют мелкие пузырьки, которые обеспечивают деликатную и бережную очистку хрупкого микрохирургического и стоматологического инструментария.

Анализ современного рынка медицинского оборудования показывает широкое разнообразие ультразвуковых ванн. Большинство коммерчески доступных устройств имеют схожую архитектурную концепцию, включающую резервуар из нержавеющей стали, блок пьезокерамических излучателей, высокочастотный генератор и блок управления [4].

Для оценки технических характеристик существующих устройств был проведен сравнительный анализ типовых представителей данного класса оборудования (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительный анализ технических характеристик современных ультразвуковых моек

Характеристика	Бюджетный сегмент (Китай)	(Китай) Средний сегмент (СНГ/РФ)	Премиум сегмент (Европа)
Рабочая частота	40 кГц	35 кГц	37 кГц / 80 кГц
Управление	Аналоговое / простое цифровое	Цифровое	Микроконтроллерное
Наличие нагрева	До 80°C (без точного контроля)	До 60°C (термостат)	Точный контроль до 70°C
Режим дегазации	Отсутствует	В некоторых моделях	Присутствует
Режим качания частоты	Отсутствует	Отсутствует	Присутствует
Ориентировочная стоимость	Низкая	Средняя	Высокая

Как видно из проведенного анализа, бюджетные модели, обладая низкой стоимостью, не обеспечивают необходимого функционала для полноценной медицинской очистки [2]. В частности, в них часто отсутствуют режимы дегазации (удаления растворенного в воде кислорода, снижающего эффективность кавитации) и режима качания частоты (Sweeper-режим, необходимый для равномерного распределения ультразвукового поля и исключения «мертвых зон» в объеме ванны). С другой стороны, европейские аналоги премиум-класса обладают избыточной стоимостью и высокой сложностью технического обслуживания. В связи с этим возникает научно-техническая задача разработки отечественной ультразвуковой мойки, которая объединила бы в себе доступность элементной базы и продвинутые алгоритмы микроконтроллерного управления (наличие режимов Дегазации, Качания частоты, точного ПИД-регулирования температуры моющего раствора для предотвращения коагуляции белковых загрязнений) [4].

Заключение. Проведенный анализ показывает, что ультразвуковая очистка является безальтернативным методом качественной предстерилизационной подготовки медицинских инструментов сложной формы. Обзор существующих технических решений выявил наличие рыночного пробела между дешевыми бытовыми ваннами с ограниченным функционалом и дорогостоящими медицинскими комплексами зарубежного производства.

Использование микроконтроллерной системы управления обеспечивает гибкость настройки параметров работы устройства, повышает надежность и безопасность эксплуатации медицинского оборудования. Разработанный подход может быть использован при создании современных медицинских инфузионных систем.

Список литературы

1. Webster, J. *Medical Instrumentation: Application and Design* / J. Webster. – New York : Wiley, 2014. – 720 p.
2. Bronzino, J. *Biomedical Engineering Handbook* / J. Bronzino. – Boca Raton : CRC Press, 2015. – 1024 p.
3. Хмелев, В.Н. *Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности* / В.Н. Хмелев. – Бийск : Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 203 с.
4. Алексеев, В.Ф. *Основы проектирования электронных медицинских устройств* / В.Ф. Алексеев. – Минск : БГУИР, 2017. – 256 с.

UDC 615.47:614.48

ANALYSIS OF MODERN METHODS AND TECHNICAL SOLUTIONS IN THE FIELD OF ULTRASONIC PRE-STERILIZATION CLEANING

Vazhnik M.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Asinenko A.M. – Assistant Professor at the Department of Electronic Engineering and Technology

Annotation. The article analyzes modern methods of pre-sterilization cleaning of medical instruments with an emphasis on the use of ultrasonic technologies. The physical principles of acoustic cavitation and its influence on the efficiency of biological contaminants removal are considered. A comparative analysis of existing technical solutions on the market is carried out, their main advantages and disadvantages are identified. The necessity of developing a domestic microcontroller-based ultrasonic cleaner that combines high efficiency, safety, and economic feasibility is substantiated.

Keywords: ultrasonic cleaner, acoustic cavitation, pre-sterilization cleaning, medical equipment, microcontroller control, piezoelectric transducer.