

ВЛИЯНИЕ ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМЫ НА ИНГИБИРОВАНИЕ БАКТЕРИЙ РОДА СТАФИЛОКОКК

Провлоцкая Д.В., Панфиленко Е.Д., Логунов К.Т.

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

Аксючиц А.В. – ассистент каф. МНЭ

Экспериментально исследовано влияние обработки холодной плазмой диэлектрического барьерного разряда атмосферного давления на ингибирование бактерий рода *Staphylococcus*. Раскрываются механизмы бактерицидного действия плазмы, связанные с генерацией активных форм кислорода и азота, УФ-излучения и заряженных частиц, вызывающих необратимые повреждения клеточных структур микроорганизмов. Особое внимание уделяется определению оптимальных параметров обработки (мощность, расстояние, время), обеспечивающих полную инактивацию стафилококков, а также перспективам применения данного метода в системах дезинфекции медицинских изделий, поверхностей и биологических тканей.

Введение. Бактерии рода *Staphylococcus* (*S. aureus*, *S. saprophyticus*) являются одними из наиболее распространенных патогенов человека, вызывая заболевания от поверхностных пиодермий до тяжелых инвазивных инфекций (пневмония, эндокардит, остеомиелит) [1]. Способность стафилококков формировать биопленки на медицинских имплантах осложняет терапию и требует разработки новых нелекарственных методов дезинфекции.

Холодная плазма – частично ионизированный газ с температурой, близкой к комнатной. Генерируемые активные формы кислорода и азота, УФ-излучение и заряженные частицы обладают мощным бактерицидным действием, повреждая клеточные стенки, мембраны, белки и ДНК микроорганизмов [2,3]. Комнатная температура обработки позволяет воздействовать на биологические ткани без риска термического повреждения.

Основная часть. Для проведения обработки использовалась система генерации плазмы атмосферного разряда. Основные характеристики системы:

- тип разряда – барьерный диэлектрический;
- мощность – 40 Вт;
- расход рабочего газа – 130–180 л/ч;
- используемый газ – аргон.

В работе использовалась коаксиальная разрядная система генерации атмосферной плазмы диэлектрического барьерного разряда (рисунок 1).

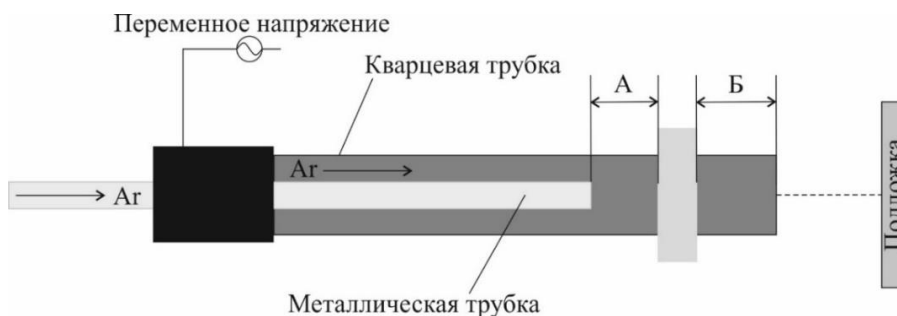


Рисунок 1 – Схема экспериментальной разрядной системы коаксиального типа с диэлектрическим барьерным разрядом

Коаксиальная разрядная система представляет собой диэлектрическую трубку с металлическими электродами внутри и снаружи. Кварцевая трубка имеет внешний диаметр 8 мм. Внутренний электрод представляет собой металлический стержень диаметром 1 мм. Внешний электрод состоит из медной фольги, плотно прилегающей к кварцевой трубке, шириной 10 мм. Газ непрерывно прокачивается через разрядную систему, удаляя из зоны разряда тепло, возбужденные частицы и продукты плазмохимических реакций, что обеспечивает стабильность разряда и комнатную температуру в зоне обработки.

Культивирование микроорганизмов. В качестве тест-культур использовались два вида бактерий рода *Staphylococcus*: *Staphylococcus aureus* – грамположительный кокк, обладающий широким спектром факторов патогенности и клинической значимости; *Staphylococcus saprophyticus* – возбудитель внебольничных инфекций мочевыводящих путей.

Исследуемые культуры предоставлены лабораторией микробиологии биологического факультета БГУ.

Для культивирования стафилококка использовалась питательная среда на основе куриного бульона и агар-агара. Куриное филе отваривали, полученный бульон фильтровали. В горячем растворе растворяли агар-агар, после чего смесь стерилизовали в пламени спиртовки и распределяли по стерильным чашкам Петри. Посев микроорганизмов проводился сплошным слоем на поверхность плотной питательной среды с использованием бактериологической петли в зоне пламени горелки, что позволяет создать локальный восходящий поток воздуха и снизить вероятность попадания посторонних микроорганизмов.

Методика обработки и оценки эффективности. Чашки Петри с засеянной поверхностью обрабатывались плазменным факелом на расстоянии 10–15 мм от среза сопла разрядной системы до поверхности среды. Варьировались время обработки (от 1 до 15 минут) и мощность разряда. Расход плазмообразующего газа составлял 130–180 л/ч.

После обработки чашки Петри помещались в термостат для инкубации при оптимальной температуре. Эффективность дезинфекции оценивалась визуальным методом учета числа колониобразующих единиц, выросших на поверхности питательной среды. Степень ингибирования определялась как процентное соотношение количества выросших колоний в обработанной и контрольной (необработанной) чашках.

Результаты эксперимента. В ходе проведенных исследований была получена зависимость процента ингибирования бактерий от времени обработки для коаксиальной разрядной системы, представленной на рисунке 2. Установлено, что наибольшая скорость инактивации наблюдается в первые минуты процесса: в течение первых 3 минут обработки достигается до 50% ингибирования, в дальнейшем темп снижается. При мощности 40 Вт и расстоянии 15 мм полное ингибирование (100% гибель бактерий) достигалось через 10 минут обработки.

Эксперименты по обработке поверхности питательной среды, заселенной стафилококками, продемонстрировали высокую эффективность разработанных плазменных источников для дезинфекции. Статистический анализ не выявил значимых различий в чувствительности к плазме между *Staphylococcus aureus* и *Staphylococcus saprophyticus*, что позволило рассматривать полученные данные для обоих видов совместно.

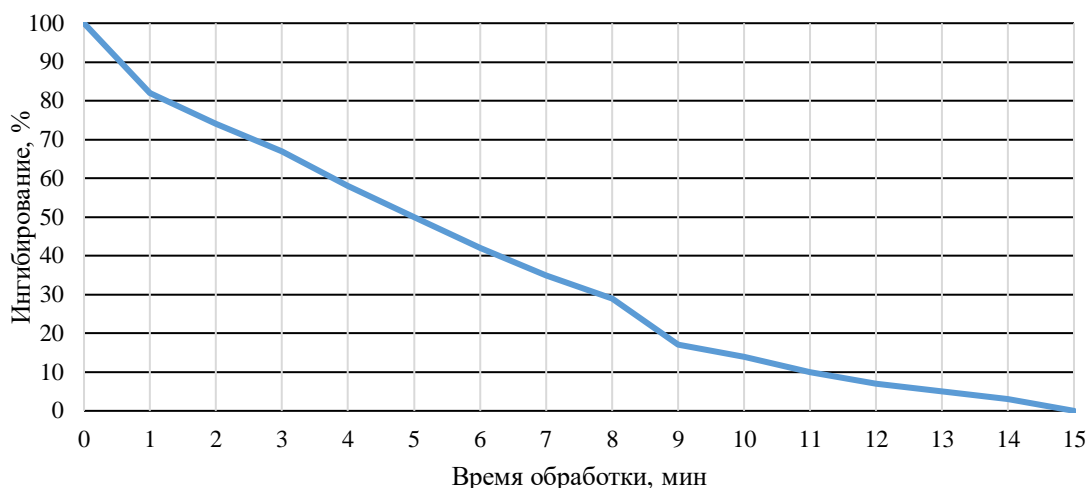


Рисунок 2 – Процент ингибирования от времени обработки поверхности

Полученные результаты подтверждают перспективность использования разработанных плазменных источников для создания эффективных и безопасных систем дезинфекции. Высокая антимикробная активность плазмы обусловлена генерацией активных форм кислорода и азота, УФ-излучения и заряженных частиц, вызывающих необратимые повреждения клеточных структур микроорганизмов [1–3].

Заключение. Холодная плазма диэлектрического барьерного разряда обладает высокой антимикробной активностью в отношении стафилококков. Оптимальные параметры обработки: мощность – 40 Вт, расстояние обработки – 15 мм, расход рабочего газа – 180 л/ч, время обработки – 10 мин. Полученные режимы обеспечивают формирование устойчивого факела длиной до 24 мм и полную дезинфекцию за 15 минут. Разработанные плазменные источники перспективны для создания безопасных систем дезинфекции в медицине и пищевой промышленности.

Список использованных источников:

1. Fridman, G. *Applied Plasma Medicine / G. Fridman [et al.] // Plasma Processes and Polymers.* – 2008. – Vol. 5, № 6.
2. Laroussi, M. *Room-temperature atmospheric pressure plasma plume for biomedical applications / M. Laroussi, X. Lu // Applied Physics Letters.* – 2005. – Vol. 87. – No. 11. – P. 113902.
3. Lukes P., Dolezalova E., Sisrova I., Clupek M. *Aqueous-phase chemistry and bactericidal effects from an air discharge plasma in contact with water // Plasma Sources Science and Technology.* – 2014. – Vol. 23, № 1. – P. 015019.