

# Результаты и перспективы исследований импульсного микроволнового воздействия на материалы и среды в промышленности, медицине и микробиологии

Н.А. Коплевацкий<sup>1</sup>, А.А. Лопатин<sup>1</sup>, В.П. Мещанов<sup>1</sup>, К.А. Сяпин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ООО НПП «НИКА-СВЧ»

<sup>2</sup>СГУ им. Н.Г. Чернышевского

**Аннотация:** Целью работы является исследование импульсного микроволнового воздействия на различные материалы, биологические объекты и среды, а также анализ перспективных направлений его практического использования. Приведены экспериментально полученные результаты по подавлению патогенной микрофлоры в продуктах питания.

**Ключевые слова:** Нетепловое микроволновое воздействие, импульсное микроволновое воздействие, техника СВЧ, подавление патогенной микрофлоры, целлюлозная промышленность, авиационная промышленность

## 1. Введение

Многие десятилетия ученых привлекает возможность использования нетеплового (импульсного) микроволнового излучения в пищевой и химической промышленности, сельском хозяйстве, животноводстве и в научных исследованиях.

В последние годы активно ведутся исследования нетеплового воздействия электромагнитного излучения на биологические структуры, на скорость и тип протекающих химических реакций. Проведен ряд работ, посвященных исследованию воздействия импульсного микроволнового излучения на различные патогенные микроорганизмы и вирусы [1]. Так, в работе [2] проведено исследование воздействия излучения W-диапазона частот на коронавирус SARS-CoV-2 и вирус полиомиелита, показавшее, что в результате такого воздействия погибает более 99 % указанных вирусов.

Значительный интерес представляют исследования воздействия микроволнового нетеплового излучения на процесс получения целлюлозы из различного растительного сырья, а также его влияние на упрочнение композитных материалов, предназначенных для использования в авиации и кораблестроении.

В работе [3] исследован щелочной гидролиз с помощью микроволнового излучения для выделения целлюлозы из пшеничной соломы. Проведенные авторами исследования показали наличие нетеплового эффекта, приводящего к ускорению протекания химической реакции на 50–75 %. При этом, несмотря на большую серию экспериментов с изменением ряда параметров химической среды, исследования влияния электрофизических параметров радиоимпульса проведено не было.

В другой работе, посвященной экстракции конопляного волокна [4], сделан вывод, что нетепловое воздействие микроволнового излучения может ускорить процесс рафинирования и повысить его эффективность, а также изменить состав и структуру конопляного волокна по сравнению с обычным методом нагрева в водяной бане.

Экологически безопасный и эффективный способ синтеза карбоксиметилцеллюлозы с привитой полиакриловой кислотой с использованием микроволнового излучения для инициирования реакции прививки представлен в

работе [5]. ИК-Фурье-спектроскопия подтвердила, что свободные радикалы образуются в результате микроволнового нетеплового эффекта, а не в процессе термического разложения.

Не менее перспективным является использование нетеплового микроволнового воздействия в сельском хозяйстве, чему посвящено относительно большое число научных работ, среди которых отметим наиболее характерные. Так, известен метод предпосевной обработки семян, заключающийся в воздействии на них импульсного СВЧ-излучения на частоте 2,4-2,58 ГГц природной нетепловой интенсивности [6]. Указанный способ низкоинтенсивного СВЧ-излучения является эффективным и ведет к увеличению всхожести и энергии прорастания, однако вследствие малой импульсной мощности и ограниченной рабочей частоты не позволяет использовать его для дезинфекции посевного материала.

Также известен способ дезинсекции семян сельскохозяйственных растений вследствие помещения их в импульсное электромагнитное поле СВЧ с левой поляризацией электромагнитной волны [7]. Длительность импульсов составляет 1-2 мкс при частоте следования импульсов 0,2-1,2 кГц и напряженности электрического поля 1-5 кВ/см.

Таким образом, можно отметить существенное влияние нетеплового (импульсного) микроволнового излучения на исследуемые объекты: микроорганизмы, материалы и среды. При этом общим недостатком перечисленных работ, существенно ограничивающим эффективность их практического использования, является отсутствие комплексных исследований влияния электрофизических параметров радиоимпульса на изучаемые объекты. Это можно объяснить использованием в подавляющем большинстве случаев установок, разработанных на основе бытовых и промышленных микроволновых приборов сушки и нагрева, имеющих ограниченную функциональность.

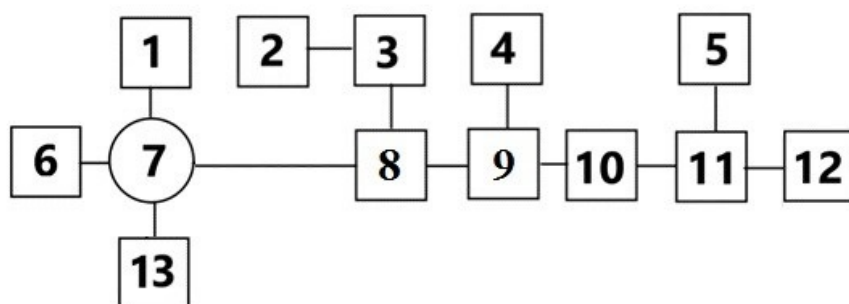
Другим не менее важным фактором, тормозящим изучение влияния нетеплового микроволнового воздействия, является междисциплинарный характер исследований, требующих участия специалистов как в области техники и электроники СВЧ, так и микробиологов, химиков, медиков, располагающих необходимым спектром современного научно-исследовательского оборудования.

Целью данной работы является определение наиболее перспективных и малоизученных направлений в области импульсной микроволновой обработки исследуемых объектов, а также разработка экспериментальной установки для её реализации и проведение исследований с её помощью.

## **2. Экспериментальные исследования воздействия микроволнового импульсного радиоизлучения на продукты питания с целью увеличения срока их годности**

Для экспериментального исследования воздействия импульсного микроволнового излучения на различные объекты авторами был разработан макетный образец экспериментальной установки, обладающей возможностью изменения скважности, длительности и амплитуды импульсов.

Источником радиосигналов в установке служит магнетрон, используемый в импульсном режиме с пиковой выходной мощностью до 7 кВт. Блок-схема и фотография установки показаны на рисунках 1 и 2 соответственно.



**Рисунок 1.** Блок-схема экспериментальной установки, где: (1) – система охлаждения, (2) – осциллограф, (3) – детекторная секция, (4, 5) – измерители мощности, (6) – модулятор, (7) – магнетрон, (9) – аттенюатор, (8, 9, 11) – направленные ответвители, (10) – рабочая камера, (12) – согласованные нагрузки, (15) – блок накала

Установка имеет следующий принцип работы. На магнетрон (7) подается напряжение накала (13) и модулирующее импульсное высоковольтное анодное напряжение (6). Импульсный высокочастотный сигнал с выхода магнетрона подается через волноводный тракт (прямоугольный волновод сечением 90×45 мм), включающий в себя направленные ответвители (8) и (9), в рабочую камеру (10), в которую помещается исследуемый объект. Прошедшая мощность поглощается согласованной нагрузкой (12). Индикация импульса СВЧ-мощности производится на осциллографе (2), измерение мощности, падающей на испытуемый объект, осуществляется измерителем мощности (4), а измерение мощности, прошедшей через испытуемый объект, – измерителем мощности (5).



**Рисунок 2.** Экспериментальная установка для исследований на частоте 2,45 ГГц

Испытуемые материалы облучались импульсным микроволновым излучением с несущей частотой  $2450 \pm 50$  МГц. Пиковая мощность составляла 6 кВт, длительность импульсов – 1 мкс, скважность – 1 000. Таким образом, средняя мощность составляла около 6 Вт, что, учитывая сечение волноводного канала, не приводит к значительному нагреву исследуемого образца при условии режима бегущей волны в тракте. Разность падающей и прошедшей мощности представляет собой мощность, поглощенную облучаемым объектом.

Комплекс проведенных экспериментальных исследований, нацеленных на подавление патогенной микрофлоры в продуктах питания и, как следствие, увеличение срока их годности, включал два основных направления:

1. Исследования воздействия импульсного микроволнового излучения на образцы сырого мяса, проведенные совместно со специалистами Тамбовского мясокомбината. Было определено оптимальное время облучения в результате его варьирования от десятков секунд до 16 минут.

По результатам испытаний контрольных и опытных групп образцов по показателям микробиологической безопасности после хранения в течение 28 дней были получены следующие результаты: \*Бактерии группы кишечной палочки (БГКП) – не обнаружено; \*Сальмонеллы – не обнаружено; \*L. Monocytogenes – не обнаружено; \*Мезофильные аэробные и факультативно-анаэробные микроорганизмы (КМАФАнМ) – зафиксировано значительное сокращение популяции колониеобразующих единиц жизнеспособных микроорганизмов. На рис. 3 представлена диаграмма зависимости количества колониеобразующих единиц КМАФАнМ в 12 опытных образцах от длительности импульсного СВЧ-воздействия, равной 4, 8, 12 и 16 мин, а также показано количество данных микроорганизмов в контрольной группе. Несмотря на вариативность полученных результатов в рамках каждой из временных групп, даже в случае наихудшего из них (№7) число патогенных микроорганизмов в образце не менее чем в 8 раз меньше аналогичного показателя для контрольной группы, а среднее арифметическое значение количества колониеобразующих единиц КМАФАнМ опытной группы не менее чем в 27,5 раз меньше контрольной.

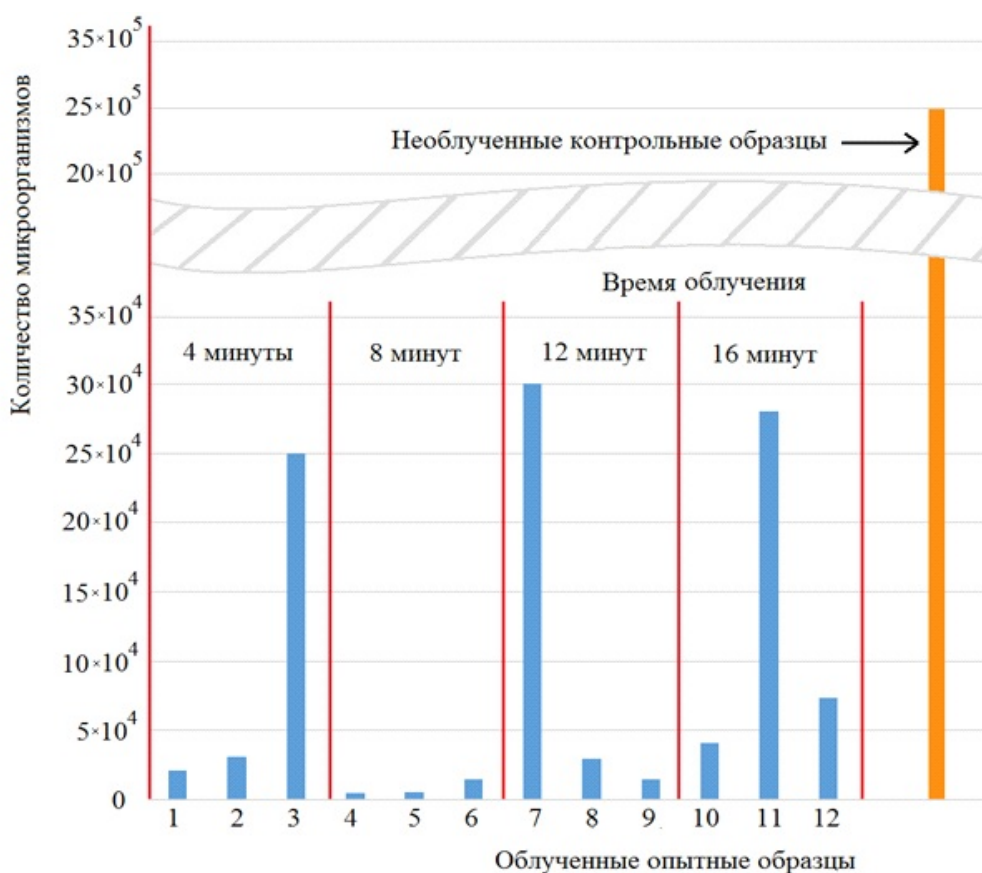


Рисунок 3. КМАФАнМ опытной и контрольной групп

2. Исследования воздействия импульсного микроволнового излучения на растительные материалы: капусту и лук. Работа была проведена с целью увеличения сроков хранения продукта при сохранении высоких органолептических свойств салатов, приготовленных из указанных ингредиентов. Она ориентирована на удовлетворение спроса предприятий общественного. Результаты проведенной работы показали положительную динамику по срокам хранения растительных продуктов и вкусовым свойствам приготовленных из них блюд, однако требуется проведение дополнительных исследований по уточнению конкретных результатов испытаний

широкого диапазона контрольных и опытных групп образцов.

### 3. Заключение

Анализ известных научных публикаций, посвященных рассматриваемой тематике, и результатов проведенных исследований показал, что изучение воздействия микроволнового импульсного (нетеплового) излучения на биологические и небιологические объекты представляет значительный научный и практический интерес.

Разработанная экспериментальная установка в настоящее время проходит модернизацию с целью создания новой универсальной системы управления, контроля и индикации параметров воздействующего импульсного электромагнитного сигнала микроволнового диапазона с целью оптимизации режимов облучения; изменения типа поляризации облучающего сигнала; обеспечения регистрации процесса облучения объекта с использованием современных средств микроскопии, фото- и видеотехники.

Модернизация позволит увеличить число варьируемых электрофизических параметров излучения и тем самым обеспечить экспериментальную базу для дальнейших исследований, в том числе – в области создания композитных материалов и бумажно-целлюлозного производства.

Подключение к данной работе по изучению результатов воздействия импульсного электромагнитного излучения на объекты исследования специалистов в области микробиологии, химии ускорит устранение «белых пятен» в процессе познания в этой предметной области.

#### Список литературы

1. Гуляев Ю.В., Черепенин В.А. О возможности использовании мощных электромагнитных импульсов для обеззараживания бактериологически загрязненных объектов // Журнал радиоэлектроники. – 2020. №4. – С.1-3. - DOI: 10/30898.1684-1719.2020.4.13.
2. Lukasz S. Kaczmarczyk, Katherine S. Marsay, Sergey Shevchenko, Moritz Pilosof, Nehora Levi, Moshe Einat, Matan Oren, Gabi Gerlitz. Corona and polio viruses are sensitive to short pulses of W-band gyrotron radiation // Environmental Chemistry Letters. – 2021.
3. Qi Liu, Wen-Qing He, Mario Aguedo, Xu Xia, Wen-Bo Bai, Yan-Yan Dong, Ji-Qing Song, Aurore Richel, Dorothee Goffin. Microwave-assisted alkali hydrolysis for cellulose isolation from wheat straw: Influence of reaction conditions and non-thermal effects of microwave // Carbohydrate Polymers. – 2021. – V. 253. - №1.
4. Mingwei Tian, Lijun Qu, Shifeng Zhu, And Guangting Han. Influence Of Non-Thermal Microwave Effects On Hemp Fiber Obtaned By Microwave Assisted Degumming / Cellulose Chem. Technol. – 2019. – №53 (1-2). – pp. 47-51.
5. Sumit Mishra, G. Usha Rani, Gautam Sen. Microwave initiated synthesis and application of polyacrylic acid grafted carboxymethyl cellulose // Carbohydrate Polymers. – 2012. – №87. – pp. 2255-2262.
6. Патент РФ №2344590 C2, A01C1, 2009.
7. Патент РФ №2061350, A01C 1/00, 1996.