

**УДК 621.316**

**МУНАССАР Е.Х.А.** аспирант (КубГТУ)  
**Научный руководитель ШОРСТКИЙ И.А.** к.т.н., доцент (КубГТУ)  
**Г. Краснодар**

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ В ПИЩЕВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

К основным электрофизическим методам обработки, потенциально применимым в пищевой, химической и сельскохозяйственной промышленности, можно отнести ультразвук [9], СВЧ-нагрев [13], использование электрогидравлических ударов [6], а также применение импульсных электрических полей [15]. Предлагаемые методы обладают определёнными преимуществами и недостатками в зависимости от вида перерабатываемой продукции.

Процесс переработки сырья пищевых производств (в частности, плодово-ягодной продукции) является комплексным и состоит из множества технологических операций, сопровождающихся значительными энергетическими затратами [8, 12, 14]. От эффективности и степени доведения плодово-ягодной продукции до кондиционной влажности зависит как степень её сохранности при хранении, так и энергоэффективность производства в целом [3, 15, 17].

В последнее время начали активно применяться электрофизические методы, основанные на подготовке плодово-ягодной продукции к последующей сушке. В частности, наибольший интерес представляют технологии предварительного озонирования [5, 7, 17]. При озонировании становится возможным повлиять на физико-механические свойства влаги, создать условия для более интенсивного массопереноса [16]. Другим методом является воздействие тлеющим, коронным и искровым разрядами на зерновой материал. Такая обработка позволяет изменять абсорбционные свойства плодово-ягодной продукции и, как следствие, влиять на массообменные характеристики.

В связи с вышеизложенным можно заключить, что поиск современных, эффективных методов интеллектуальной электрофизической обработки плодово-ягодной продукции, а также создание и совершенствование применяемого с этой целью оборудования представляет огромный интерес — как теоретический, так и практический.

Наиболее перспективными в данной задаче представляются интеллектуальные электротехнические комплексы для обработки плодово-ягодной продукции [1, 2, 4, 10, 11]. Такие установки нашли широкое применение в различных технологических процессах пищевой, химической и сельскохозяйственной промышленности. Обработка низкотемпературной атмосферной плазмой (НАП) — это инновационная технология, которая может быть использована для изменения текстурных, структурных и других характеристик перерабатываемого сырья без ухудшения качества последнего.

Интеллектуализация НАП заключается в автоматическом подборе режимных характеристик обработки на основе электрических и диэлектрических свойств обрабатываемого материала.

Цель данной работы — исследование влияния интеллектуальной обработки плодово-ягодной продукции низкотемпературной атмосферной плазмой на базе разработанной установки в лаборатории передовых электрофизических технологий и новых материалов Кубанского государственного технологического университета. В качестве объекта исследования нами взят картофель, а в качестве оборудования использована схема непрерывной обработки низкотемпературной атмосферной плазмой зерновых материалов (см. рис. 1).

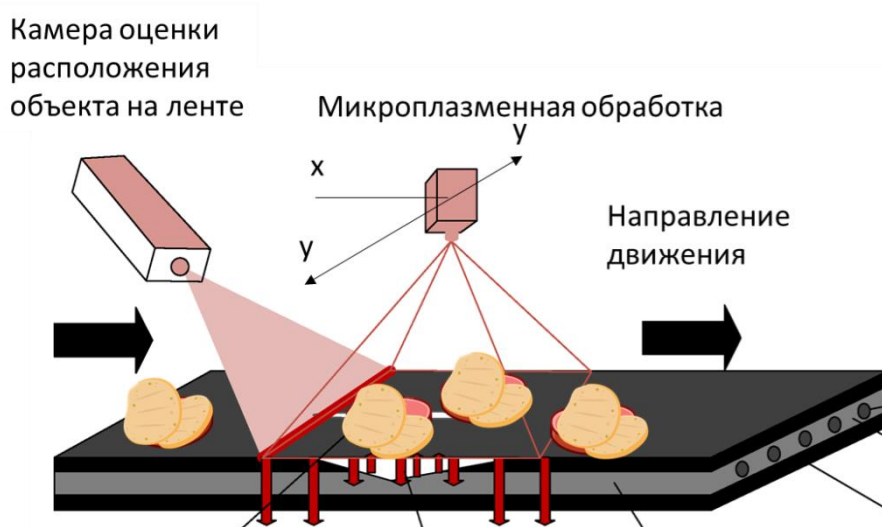


Рисунок 1. Схема установки для непрерывной обработки низкотемпературной атмосферной плазмой (объект исследования — картофель)

Для эксперимента использовали рабочий участок  $60 \times 60$  мм конвейерной линии, достаточный для обработки навески зернового материала. Высоковольтный блок с выходной мощностью 300 Вт формировал экспоненциальные импульсы длительностью 1 мс и частотой 680 Гц. Напряженность электрического поля на участке составила  $E = 3$  кВ/см. К электродам, выполненным из углеродистой стали на равном расстоянии один от другого (что необходимо для равномерного распределения силовых линий внутри камеры), подключали высоковольтный и заземленный электроды от усилителя.

Для регулировки величины удельной затрачиваемой энергии изменяли количество подаваемых на электродную группу импульсов. Величину удельной затрачиваемой энергии рассчитывали по формуле:

$$w = \frac{U^2 C}{2} \cdot \frac{n}{m}, \quad (1)$$

где  $U$  — подаваемое напряжение, В;  $C$  — емкость конденсаторов, Ф;  $n$  — количество импульсов;  $m$  — масса обрабатываемого продукта вместе с проводящей средой, кг.

Сушку картофеля проводили по стандартной методике в сушильном шкафу при температуре 103 °С. Осциллограмму разряда фиксировали с помощью осциллографа. В предложенной конфигурации форма сигнала приложенного напряжения имела вид, представленный на рисунке 2. Одновременно с ростом напряжения отмечалось увеличение тока разряда, который через 140 мкс достиг значения 8,5 мА. Длительность электронного тока, — очевидно, эта стадия соответствует генерации процессов вторичной ионизации, — существенно зависит от прикладываемого напряжения.

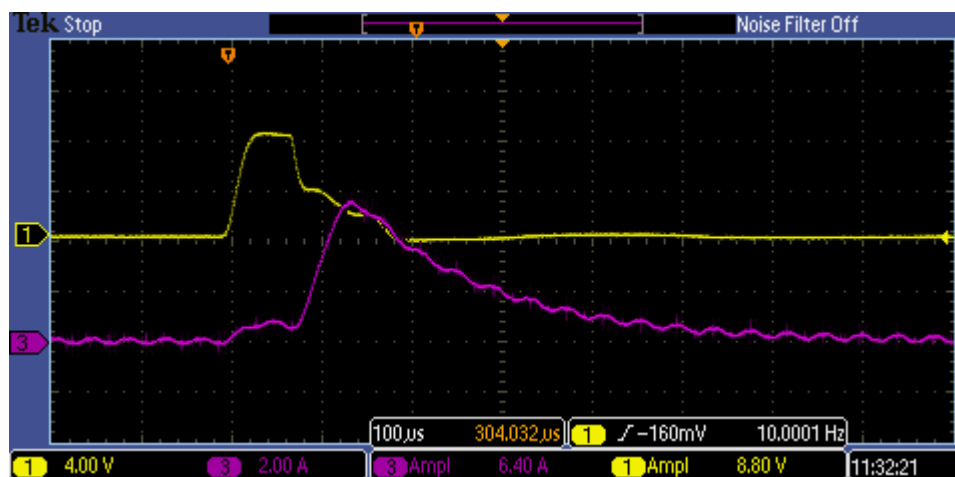


Рисунок 2. Осциллограмма направляемого высоковольтного импульса. Масштаб напряжения (1): 4 кВ/дел; ток (3): 2 мА/дел; длительность: 100 мкс/дел.

Благодаря интеллектуальной обработке низкотемпературной атмосферной плазмы нам удалось снизить длительность сушки картофеля на 15%. При этом удельные энергетические затраты, учитывающие затраты на обработку НАП, снизились на 10%.

Таким образом, в настоящей работе представлены результаты применения интеллектуального электротехнического комплекса по обработке низкотемпературной атмосферной плазмой на базе лабораторной установки для переработки пищевого сырья. Результаты, полученные в ходе текущих исследований, показывают, что технология предварительной обработки НАП масштабируема и имеет положительные технико-экономические предпосылки.

На основе полученных экспериментальных данных можно предположить, что обработка НАП может быть использована в комбинации с существующим процессами сушки различного пищевого сырья с целью снижения удельных энергозатрат производства.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда, ФГБОУ ВО «КубГТУ» в рамках научного проекта № МФИ-П-20.1/40.

### Список литературы:

1. Алексенко А. А. Экологически чистые электротехнологии в сельском хозяйстве //Ползуновский вестник. 2011. №. 2/2. С. 37-42.
2. Баскаков И. В., Оробинский В. И., Гиевский А. М., Чернышов А. В., & Тертычная, Т. Н. Влияние процесса озонирования на эффективность сушки зерна кукурузы //Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2018. №. 4. С. 127-133.
3. Баскаков И. В., Оробинский В. И., Гулевский В. А., Карпенко Р. Н. Исследования процесса озонирования при вентилировании зерна //Аграрный научный журнал. 2019. №. 2. С. 66-72.
4. Баскаков, И. В., Оробинский В. И., Гулевский В. А., Гиевский А. М., Чернышов А. В. Озонирование зерна при транспортировке бункерного вороха //Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12. №. 2. С. 67-75.
5. Бахчевников О. Н., Брагинец А. В. Применение озона для обеззараживания кормового сырья (обзор) //Таврический вестник аграрной науки. 2021. №. 2. С. 41-61.
6. Бурак Л. Ч. Современные методы консервирования, применяемые в пищевой промышленности (обзор) //The Scientific Heritage. 2022. №. 89. С. 106-124.
7. Волхонов М. С., Джаббаров И. А., Смирнов И. А. Новая система управления экспозицией сушки зерна //Аграрный вестник Верхневолжья. 2019. №. 4. С. 112-119.
8. Дранников А. В., Тертычная Т. Н., Шевцов А. А., Засыпкин Н. В., Порядин Д. С. Реализация низкотемпературной сушки в прямоточной шахтной зерносушилке с применением абсорбционного теплового насоса //Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2022. №. 1. С. 91-95.
9. Комоликов А. С. Перспективы повышения качества и безопасности продуктов путем применения ультразвуковой кавитации //Научный журнал молодых ученых. 2022. №. 2 (27). С. 40-43.
10. Припоров И. Е., Немцов А. С. Обработка семян и кормов озоном //Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. №. 4 (84). С. 186-190.
11. Рудик Ф. Я. и др. Технология и средство механизации для обработки зерна //Хранение и переработка сельхозсырья. 2020. №. 1. С. 137-147.
12. Русских Т. Т. Автоматизация процесса сушки зерна с помощью интегрированной автоматизированной системы управления //Научные труды студентов Ижевской ГСХА. – 2022. – С. 2084-2087.
13. Типсина Н. Н., Толмачева Т. А. Обеспечение контроля качества и пищевой безопасности орехоплодного сырья //Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2022. №. 5 (182). С. 249-256.
14. Худяков Д. А., Соснин М. Д., Мунассар М., Чукван, Т., Клаудия С., Стефан Т., Шорсткий И. А. Повышение эффективности снятия покровной ткани с плодов томата импульсным электрическим полем// Техника и технология пищевых производств. 2022. №52(1). С. 189-198.

15. Gavahian M., Sastry S. K. Ohmic-assisted peeling of fruits: Understanding the mechanisms involved, effective parameters, and prospective applications in the food industry //Trends in Food Science & Technology. 2020. №. 106. P. 345-354.
16. José Granella S., Raquel Bechlin T., Christ D., Machado Coelho S. R. Kinetic and physicochemical properties of drying-ozonation process on wheat grain //Journal of Food Processing and Preservation. – 2019. Vol. 43. №. 9. P. e14057.
17. Li X. Methods of Peeling Fruits and Vegetables. Handbook of Food Preservation. – CRC Press, 2020. P. 19-24.
18. Naliyadhara N., Kumar A., Girisa S., Daimary U. D., Hegde M., Kunnumakkara, A. B. Pulsed electric field (PEF): Avant-garde extraction escalation technology in food industry //Trends in Food Science & Technology. – 2022. Vol.122. P. 238-255.