



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК664

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.021



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ОВОЩЕЙ ПЕРЕД СУШКОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ КРАЙНЕ НИЗКИХ ЧАСТОТ

Григорий Анатольевич Купин¹, Татьяна Викторовна Першакова²,
Анна Анатольевна Тягушева³, Елизавета Сергеевна Семиряжко⁴

^{1, 2, 3, 4} Краснодарский научно-исследовательский институт – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», Краснодар, Россия

¹ Griga_77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7780-3333>

² 7999997@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8528-0966>

³ 777any777@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1236-1148>

⁴ e.glazacheva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2750-5749>

Аннотация. В настоящее время одним из способов консервирования сельскохозяйственного растительного сырья является сушка, в результате которой происходит длительное сохранение нативных свойств продукта. Однако существующие технологии сушки не всегда обеспечивают достаточную сохранность потребительских свойств. В связи с этим, необходимость разработки эффективных методов предварительной обработки растительного сырья перед сушкой, направленных на снижение потерь и сохранение качества продукции, является актуальной задачей. В частности, применение электромагнитных полей крайне низких частот представляет собой перспективный подход к решению этой проблемы. Благодаря ранее проведенным исследованиям установлено, что предварительная обработка электромагнитными полями благоприятно влияет на сохранение его физико-химических показателей и выбор оптимальных параметров обработки электромагнитного воздействия является важным этапом данного процесса, вследствие чего параметры обработки должны быть подобраны индивидуально для каждого продукта. В результате проведенных исследований выявлено, что предварительная обработка электромагнитными полями крайне низких частот моркови, капусты и кабачков снижает индекс поверхностных повреждений, замедляет потерю массы и сдерживает снижение твердости по сравнению с контролем. Отмечены общие положительные тенденции влияния электромагнитных полей крайне низких частот на биохимический состав овощей. Наблюдалось замедление снижения витамина С (морковь – на 5,7 %, капуста – на 2,7 %, кабачки – на 21,5 %), увеличение содержания общих и редуцирующих сахаров, а также концентрации растворимых сухих веществ. На основе полученных данных были определены оптимальные параметры электромагнитного воздействия для: моркови сорта Аркадия (10 мТл, 40 Гц, 10 мин); капусты сорта Бригадир (10 мТл, 24 Гц, 20 мин); кабачков гибрида Искандер (3 мТл, 40 Гц, 10 мин).

Ключевые слова: морковь столовая, капуста белокочанная, кабачки, электромагнитные поля крайне низких частот, убыль массы, индекс поверхностных повреждений, твердость, физико-химические показатели, оптимальные режимы.

Для цитирования: Определение оптимальных параметров предварительной обработки овощей перед сушкой электромагнитными полями крайне низких частот / Г. А. Купин [и др.] // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 129–135. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.021. EDN: <https://elibrary.ru/YKRLGO>.

Original article

DETERMINING OPTIMAL PARAMETERS OF PRE-TREATMENT OF VEGETABLES BEFORE DRYING BY ELECTROMAGNETIC FIELDS OF EXTREMELY LOW FREQUENCIES

Grigory A. Kupin¹, Tatyana V. Pershakova², Anna A. Tyagushcheva³,
Elizaveta S. Semiryazhko⁴

^{1, 2, 3, 4} Krasnodar Research Institute - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking", Krasnodar, Russia

¹ Griga_77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7780-3333>

² 7999997@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8528-0966>

³ 777any777@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1236-1148>

⁴ e.glazacheva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2750-5749>

© Купин Г. А., Першакова Т. В., Тягушева А. А., Семиряжко Е. С., 2025

Abstract. Currently, one of the methods for preserving agricultural plant raw materials is drying, which results in long-term preservation of the native properties of the product. However, existing drying technologies do not always ensure sufficient preservation of consumer properties. In this regard, the need to develop effective methods for preliminary processing of plant materials before drying, aimed at reducing losses and maintaining product quality, is an urgent task. In particular, the use of extremely low-frequency electromagnetic fields is a promising approach to solving this problem. Thanks to previous studies, it was found that preliminary treatment with electromagnetic fields has a beneficial effect on the preservation of its physicochemical indicators and the choice of optimal parameters for processing electromagnetic exposure is an important stage of this process, as a result of which the processing parameters should be selected individually for each product. As a result of the studies, it was found that preliminary treatment with extremely low-frequency electromagnetic fields of carrots, cabbage and zucchini reduces the surface damage index, slows down weight loss and restrains a decrease in hardness compared to the control. General positive trends in the effect of extremely low-frequency electromagnetic fields on the biochemical composition of vegetables are noted. A slowdown in the decrease of vitamin C was observed (carrots - by 5.7%, cabbage - by 2.7%, zucchini - by 21.5%), an increase in the content of total and reducing sugars, as well as the concentration of soluble dry substances. Based on the data obtained, the optimal parameters of electromagnetic exposure were determined for: carrots of the Arcadia variety (10 mT, 40 Hz, 10 min); cabbage of the Brigadir variety (10 mT, 24 Hz, 20 min); zucchini hybrid Iskander (3 mT, 40 Hz, 10 min).

Keywords: carrots, white cabbage, zucchini, extremely low frequency electromagnetic fields, weight loss, surface damage index, hardness, physical and chemical parameters, optimal conditions.

For citation: Kupin, G.A., Pershakova, T.V., Tyagushcheva, A.A. & Semiryazhko, E.S. (2025). Determination of optimal parameters for pre-treatment of vegetables before drying with electromagnetic fields of extremely low frequencies. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 129-135. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.021. EDN: <https://elibrary.ru/YKRLGO>.

ВВЕДЕНИЕ

Обоснованием актуальности выбранной темы исследования служат цели и задачи, которые обозначены для научного сообщества и специалистов в основополагающих программных документах: «Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации до 2030 года», «Прогноз научно-технологического развития агропромышленного комплекса РФ до 2030 года», «Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства РФ на 2017–2025 годы», «Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года» и «Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации» [1–6].

Краснодарский край является одним из лидирующих субъектов РФ в области сельскохозяйственного производства. Это один из самых климатически благоприятных и географически значимых регионов страны, вносящих значительный вклад в ВРП страны (1). За последнее десятилетие большое значение в сельском хозяйстве Краснодарского края занимает отрасль растениеводства. Однако недостаточный уровень использования инновационных технологий выступает в качестве наиболее острой проблемы растениеводства в Краснодарском крае. Недостаток таких технологий привел к тому, что около трети урожая фруктов и овощей теряется в поле в послепосевной период (2). Однако существует путь к решению проблемы, позволяющий увеличить срок хранения, снизить объем и вес продукции, сохранить питательные вещества, расширить возможности кулинарного применения, а также обеспечить устойчивость и экологичность продовольственной системы – сушка овощей. Сушка овощей – это не просто традиционный способ консервации, а технологический процесс, обладающий рядом преимуществ, которые оказывают существенное влияние на хранение, транспортирование и питательную ценность продукции. Важным этапом, влияющим на качество конечного продукта, его пищевую ценность и срок хранения, является предварительная обработка овощей перед сушкой. В последние годы исследователи проявляют интерес к применению электромагнитных полей крайне низкой частоты (ЭМП КНЧ) в качестве перспективного метода предварительной обработки [8–12]. Несмотря на то, что технология находится на стадии изучения и развития, она

демонстрирует значительный потенциал для революционных изменений в процессе сушки овощей.

Одним из основных перспективных направлений применения ЭМП КНЧ является сохранение качества и питательной ценности овощей, снижение микробной загрязненности, улучшение текстуры сушеных продуктов и повышение энергоэффективности процесса сушки. Однако важно понимать, что исследования в области применения ЭМП КНЧ для подготовки овощей к сушке все еще находятся на ранней стадии. Требуется дополнительные исследования для подтверждения безопасности и эффективности этого метода, а также для оптимизации параметров обработки для различных видов овощей. Кроме того, необходима разработка и внедрение соответствующего оборудования для промышленного масштаба. В связи с этим, членами коллектива разработано и собрано экспериментальное устройство для обработки продукции растениеводства ЭМП КНЧ [13].

Целью данного исследования явилось определение оптимальных параметров обработки электромагнитными полями крайне низких частот свежих овощей для обеспечения максимального сохранения биологически активных веществ, высоких показателей качества и снижения потерь в процессе сушки.

Задачи исследования: изучить влияние параметров обработки ЭМП КНЧ овощей (моркови столовой, капусты белокачанной и кабачков) на изменение их внешних повреждений, твердости (по возможности), убыли массы, биохимического состава в процессе хранения в провоцирующих условиях (12 °C) с целью установления оптимальных параметров обработки ЭМП КНЧ.

МЕТОДЫ

Для выбора видов и сортов овощей, оптимальных для сушки, были собраны данные по хозяйствам Краснодарского края о том, какие сорта овощей имеют наибольшие посевные площади и урожайность. На основании полученных данных был проведен сравнительный анализ по урожайности и физико-химическому составу сырья и отобраны оптимальные для сушки: морковь столовая сорта Аркадия, капуста белокачанная гибрид Бригадир, кабачки гибрид Искандер.

Предварительную обработку ЭМП КНЧ проводили с использованием экспериментальной лабора-

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ОВОЩЕЙ ПЕРЕД СУШКОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ КРАЙНЕ НИЗКИХ ЧАСТОТ

торной установки [13]. Варьировали такие параметры, как частота электромагнитного поля и время обработки. При этом частоту ЭМП изменяли в диапазоне от 16 до 40 Гц, время обработки – в диапазоне от 10 до 40 минут; электромагнитная индукция оставалась постоянной: 10 мТл (морковь, капуста белокочанная); 3 мТл (кабачки). Данные параметры были получены авторами на основе ранее проведенных исследований. Для предварительной обработки объектов исследования подобраны следующие режимы:

- 1: частота, 16 Гц; время обработки, 40 мин;
- 2: частота, 16 Гц; время обработки, 30 мин;
- 3: частота, 16 Гц; время обработки, 20 мин;
- 4: частота, 16 Гц; время обработки, 10 мин;
- 5: частота, 24 Гц; время обработки, 30 мин;
- 6: частота, 24 Гц; время обработки, 20 мин;
- 7: частота, 24 Гц; время обработки, 10 мин;
- 8: частота, 32 Гц; время обработки, 20 мин;
- 9: частота, 32 Гц; время обработки, 10 мин;
- 10: частота, 40 Гц; время обработки, 10 мин.

Оценку степени образования внешних повреждений на поверхности овощей определяли после 6 дней хранения (морковь столовая, кабачки) и 10 дней (капуста белокочанная) в провоцирующих условиях ($t = 12 \pm 2^\circ \text{C}$ и ОВВ $40 \pm 5\%$) в соответствии со шкалой, разработанной Мегиасом и др. (2014) и рассчитывали итоговый индекс поверхностных повреждений в зависимости от степени повреждения: 0 = повреждений нет; 1 = 5 % поверхности с повреждениями; 2 = от 6 до 15 % поверхности с повреждениями; 3 = от 16 до 25 % поверхности с повреждени-

ями; 4 = от 26 до 50 % поверхности с повреждениями; 5 = более 50 % поверхности с повреждениями.

Процент потери веса во время хранения оценивали путем взвешивания 12 отдельных плодов через 6 дней хранения (морковь столовая, кабачки) и 10 дней (капуста белокочанная) после обработки и вычисляли среднее значение.

Твердость была определена у 12 обработанных ЭМП КНЧ и 12 контрольных плодов для каждого сорта/гибрида с помощью пенетрометра GY-3 ($d = 8 \text{ мм}$). Твердость измеряли на поперечном срезе в дистальной, средней и проксимальной областях. Общая упругость каждого плода соответствовала среднему значению по этим трем показателям.

Массовую долю сухих растворимых веществ определяли по ГОСТ ISO 2173-2013 [14]; витамина С – по методу С.М. Прокошева [15]; сахаров – по ГОСТ 8756.13-87 [16]. Эксперименты проводились в трёхкратной повторности (с допустимой максимальной разницей в 5 % между повторными измерениями). Анализ данных проводился с использованием описательной статистики и дисперсионного анализа с применением Microsoft Excel и Statistica.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В таблицах 1–3 приведены результаты исследования влияния обработки ЭМП КНЧ моркови столовой сорта Аркадия, капусты белокочанной сорта Бригадир, кабачков сорта Искандер на изменение внешних повреждений, убыли массы и твердости (для кабачков) в процессе хранения в провоцирующих условиях.

Таблица 1 – Влияния обработки ЭМП КНЧ на внешние повреждения и убыль массы моркови столовой сорта Аркадия

Table 1 – Effects of ELF EMF treatment on changes in external damage and weight loss of Arkadiya table carrots

Наименование показателя	Номер режима									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
контроль (1 день 11.09.24)										
Масса ¹ , кг	440,7									
контроль (6 день 16.09.24)										
ИПП ²	3,3±0,58									
Убыль массы ¹ , %	45,72									
обработанные (6 день 16.09.24)										
ИПП ²	2,24± 0,35	2,26± 0,24	2,56± 0,36	2,48± 0,42	2,12± 0,31	2,13±0,3 2	2,16± 0,12	2,10±0, 34	2,10± 0,35	2,10± 0,28
Убыль массы. %	46,51	46,10	45,53	46,59	44,77	45,87	45,09	43,27	38,77	31,61

¹ Данные представляют собой среднее значение для 12 плодов

² Индекс поверхностных повреждений

Таблица 2 – Влияния обработки ЭМП КНЧ на внешние повреждения и убыль массы капусты белокочанной гибрида Бригадир

Table 2 – Effects of ELF EMF treatment on changes in external damage and mass loss of white cabbage hybrid Brigadir

Наименование показателя	Номер режима									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
контроль (1 день 11.09.24)										
Масса ¹ , г	1989,2									
контроль (10 день 20.09.24)										
ИПП ²	3,43±0,28									
Убыль массы ¹ , %	24,50									
обработанные (10 день 20.09.24)										
ИПП ₂	3,24± 0,23	3,22± 0,26	3,18± 0,31	3,17± 0,34	3,15± 0,31	3,01± 0,29	3,15± 0,26	3,18± 0,28	3,09± 0,38	3,10± 0,31
Убыль массы. %	23.90	22.65	20.90	20.42	19.67	18.98	19.17	19.25	19.05	19.00

¹ Данные представляют собой среднее значение для 12 плодов

² Индекс поверхностных повреждений

Таблица 3 – Влияния обработки ЭМП КНЧ на внешние повреждения и убыль массы и твердости кабачков сорта Искандер

Table 3 – Effects of ELF EMF treatment on changes in external damage, weight loss and firmness of Iskander squash

Наименование показателя	Номер режима									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
контроль (1 день 07.09.24)										
Масса ¹ , г	754,9									
Твердость ¹ , кг/см ²	4,4									
контроль (6 день 12.09.24)										
ИПП ²	4,50±0,22									
Убыль массы, %	14,96									
Твердость ¹ , кг/см ²	10,5									
обработанные (6 день 12.09.24)										
ИПП ²	4,10±0,18	4,0±0,34	3,81±0,23	3,78±0,47	3,79±0,13	3,75±0,26	3,71±0,31	3,72±0,19	3,68±0,26	3,55±0,23
Убыль массы, %	13,19	12,03	11,92	11,39	11,42	11,21	10,80	10,98	10,34	10,09
Твердость ¹ , кг/см ²	10,1	10,2	9,9	10,2	10,3	10,1	9,8	9,6	9,8	9,6

¹Данные представляют собой среднее значение для 12 плодов²Индекс поверхностных повреждений

Учитывая наблюдаемые в процессе хранения потери биологически активных веществ, таких как витамин С, сахара и растворимые сухие вещества, было изучено влияние предварительной обработки ЭМП КНЧ (10 режимов) на величину этих потерь. Основной целью данного этапа исследования являлось определение общего влияния предварительной обработки ЭМП КНЧ на сохранность биологически активных веществ в овощах в процессе хранения. Витамин С, как водорастворимый и более лабильный витамин, чувствителен к внешним воздействиям,

включая электромагнитное поле и условия хранения. В связи с этим, динамика изменения витамина С была выбрана в качестве индикатора общего влияния обработки на сохранность биохимического состава. На рисунках 1–3 представлены результаты анализа динамики изменения содержания биологически активных веществ моркови сорта Аркадия, капусты белокачанной гибрида Бригадир и кабачков гибрида Искандер, полученные в результате усреднения данных по 10 режимам обработки.

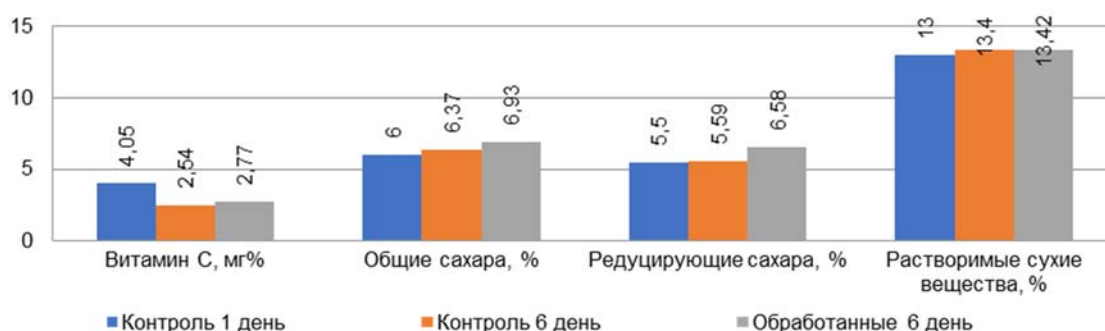


Рисунок 1 – Влияние обработки ЭМП КНЧ на изменение биохимического состава моркови столовой сорта Аркадия

Figure 1 – Effect of ELF EMF treatment on changes in the biochemical composition of table carrots of the Arcadia variety

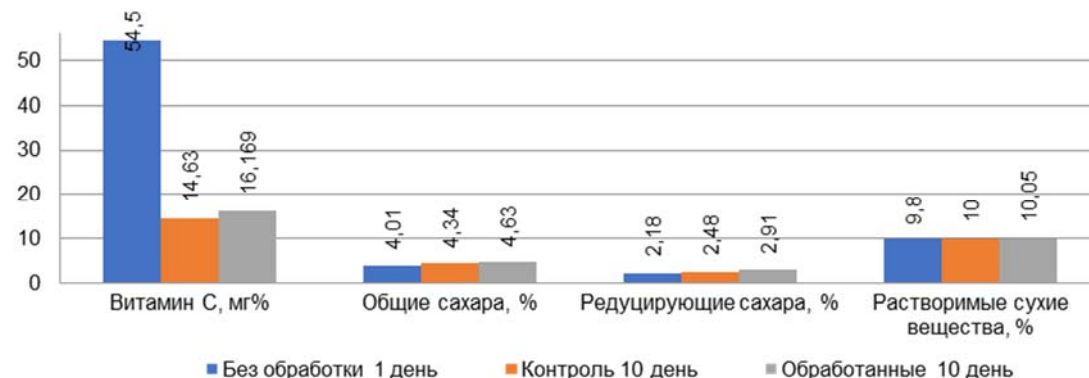


Рисунок 2 – Влияние обработки ЭМП КНЧ на изменение биохимического состава капусты белокачанной гибрида Бригадир

Figure 2 – The effect of ELF EMF treatment on changes in the biochemical composition of the Brigadir hybrid white cabbage

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ОВОЩЕЙ ПЕРЕД СУШКОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ КРАЙНЕ НИЗКИХ ЧАСТОТ

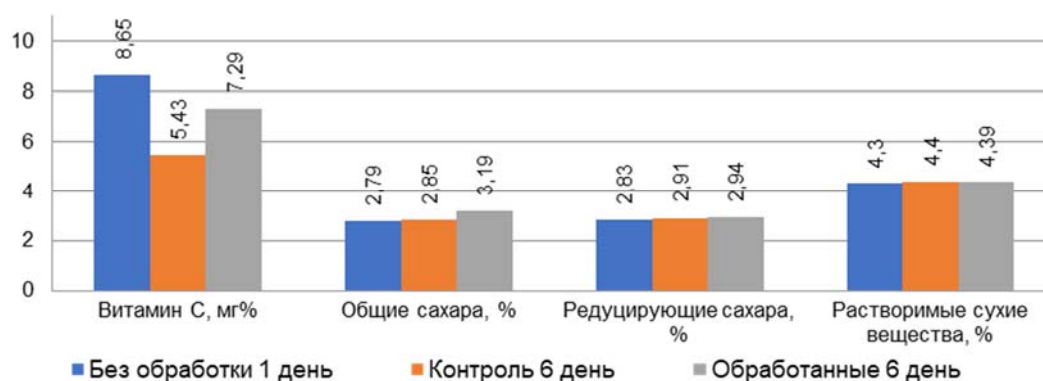


Рисунок 3 – Влияние обработки ЭМП КНЧ на изменение биохимического состава кабачков гибрида Искандер

Figure 3 – Effect of ELF EMF treatment on changes in the biochemical composition of Iskander hybrid squash

Установлено, что обработка ЭМП КНЧ моркови столовой сорта Аркадия снижает индекс поверхностных повреждений (ИПП) по сравнению с контролем. Наибольшее снижение ИПП наблюдается в режимах 5–10. Убыль массы при этом варьируется в зависимости от режима обработки. Наименьшая убыль массы наблюдается в режимах 9 и 10.

Обработка ЭМП КНЧ капусты белокочанной гибрида Бригадир незначительно снижает индекс поверхностных повреждений (ИПП) по сравнению с контролем. Наибольшее снижение ИПП наблюдается в режимах 6 и 9. Убыль массы значительно снижается при обработке ЭМП КНЧ во всех режимах по сравнению с контролем. Наименьшая убыль массы наблюдается в режиме 6.

Обработка ЭМП КНЧ кабачков гибрида Искандер снижает индекс поверхностных повреждений (ИПП) по сравнению с контролем. Наибольшее снижение ИПП наблюдается в режиме 10. Убыль массы также снижается при обработке ЭМП КНЧ по сравнению с контролем. Наименьшая убыль массы наблюдается в режиме 10. Обработка ЭМП КНЧ сдерживает рост твердости плодов по сравнению с контролем. Наименьшая твердость наблюдается в режимах 8 и 10.

В результате изучения влияния предварительной обработки ЭМП КНЧ на изменение биохимического состава установлено, что после хранения в течение 6 дней моркови столовой сорта Аркадия наблюдается снижение витамина С с 4,05 мг/100 г до 2,54 мг/100 г (контроль) и 2,77 мг/100 г (среднее значение, обработанные); увеличение общих сахаров с 6,0 % до 6,37 % (контроль) и 6,93 % (среднее значение, обработанные); увеличение редуцирующих сахаров с 5,5 % (контроль) до 5,59 % (контроль) и 6,58 % (среднее значение, обработанные); увеличение растворимых сухих веществ с 13,0 % до 13,4 % (контроль) и 13,42 % (среднее значение, обработанные), рисунок 1.

Установлено, что после хранения в течение 10 дней капусты белокочанной гибрида Бригадир наблюдается снижение витамина С с 54,5 мг/100 г до 14,63 мг/100 г (контроль) и 16,17 мг/100 г (среднее значение, обработанные); происходит незначительное увеличение общих сахаров с 4,01 % до 4,34 % (контроль) и 4,63 (среднее значение, обработанные); увеличение редуцирующих сахаров с 2,18 % до 2,48 % (контроль) и 2,91 % (среднее значение, обработанные); незначительное увеличение растворимых

сухих веществ с 9,8 % до 10,0 % (контроль) и 10,05 % (среднее значение, обработанные), рисунок 2.

Установлено, что после хранения в течение 6 дней кабачков гибрида Искандер наблюдается снижение витамина С с 8,65 мг/100 г до 5,43 мг/100 г (контроль) и 7,29 мг/100 г (среднее значение, обработанные); увеличение общих сахаров с 2,79 % до 2,85 % (контроль) и 3,19 % (среднее значение, обработанные); небольшое увеличение редуцирующих сахаров с 2,83 % до 2,91 % (контроль) и 2,94 % (среднее значение, обработанные); незначительное увеличение растворимых сухих веществ с 4,3 % до 4,4 % (контроль) и 4,39 % (среднее значение, обработанные), рисунок 3.

Таким образом, наблюдаются общие положительные тенденции влияния предварительной обработки овощей ЭМП КНЧ:

- замедление процесса снижения содержания витамина С (аскорбиновой кислоты) во всех исследованных образцах овощей по сравнению с контролем: морковь – на 5,7 %, капуста – на 2,7 %, кабачки – на 21,5 %;
- увеличение содержания общих и редуцирующих сахаров по сравнению с контролем: морковь (общих сахаров – на 8,8 %, редуцирующих сахаров – на 17,8 %; капуста: общих сахаров – на 7,2 %, редуцирующих сахаров – на 17,8 %; кабачки: общих сахаров – на 12,2 %, редуцирующих сахаров – на 1,0 %);
- увеличение концентрации растворимых сухих веществ по сравнению с контролем является типичной характеристикой овощей во время хранения: морковь – на 0,15 %, капуста – на 0,5 %, кабачки – на 0,16 %. Это увеличение объясняется двумя основными механизмами: во-первых, потерей влаги, которая концентрирует имеющиеся растворимые вещества; во-вторых, продолжающимся метаболизмом определённых углеводов в овощах, что приводит к увеличению содержания растворимых сахаров.

Установлено, что применение обработки ЭМП КНЧ положительно влияет на сохранение витамина С, общих и редуцирующих сахаров, а также на сохранение сухих веществ, что является важным аспектом, влияющим на питательную ценность, вкусовые качества, срок хранения и безопасность овощей.

Для определения оптимальных параметров обработки ЭМП КНЧ моркови столовой, капусты белокочанной и кабачков была проведена математическая обработка результатов эксперимента.

В качестве критерия локального оптимума была выбрана зависимость убыли массы от частоты ЭМП (x_1) времени обработки (x_2). Для выявления оптимальных технологических режимов обработки был проведен анализ ANOVA, выявлены достоверно различающиеся области варьирования x_1 и x_2 с $p < 0.05$ для убыли массы. Корреляционный анализ выявил сильную отрицательную зависимость убыли массы ($r < -0.8$) для частоты и среднюю положительную ($r > 0.4$) для длительности обработки. Области варьирования частоты ЭМП (x_1) времени обработки (x_2) с минимальным значением убыли массы использованы как рекомендуемые технологические режимы.

Для таких показателей, как содержание массовой доли общих и редуцирующих сахаров, содержание растворимых сухих веществ, индекс поверхностных повреждений, анализом ANOVA достоверных различий не выявлено ($p > 0.1$), но корреляционный анализ показывает ($r < -0.7$) наличие сильной отрицательной корреляции индекса поверхностных повреждений с частотой, что в сочетании с достоверностью различий, близкой к пограничной ($p < 0.2$), показывает необходимость проведения исследований для получения дополнительных данных. Показатель масса не

использовался из-за структуры выборки и был заменён на убыль массы. Для содержания витамина С выявлены области с флуктуацией достоверности различия, но корреляционный анализ показывает достаточно слабую положительную зависимость ($r = 0.25...0.35$) из-за локального пика в экспериментальных данных. Также полученный пик, не отображаемый графиком функции, существенно ослабил коэффициент детерминации зависимости $SvC = f(x_1, x_2)$ до $R^2 < 0.8$.

Для поиска экстремума функции (оптимума режимов обработки) необходимо было провести уточняющий полнофакторный экспериментальный шаг поиска, для чего сдвинули диапазоны варьирования частоты ЭМП от 28 до 52 Гц, и время обработки от 25 до 55 мин.

На основе проведенных экспериментальных данных были подобраны оптимальные индивидуальные параметры обработки ЭМП КНЧ, важных для различных видов овощей, с целью обеспечения максимального сохранения биологически активных веществ, высоких показателей качества и снижения потерь, таблица 4.

Таблица 4 – Оптимальные индивидуальные параметры обработки ЭМП КНЧ овощей
Table 4 – Optimal individual parameters for processing vegetables with ELF EMF

Объекты исследования	Обработка ЭМП КНЧ			Оптимальный срок хранения, дней
	Значение электромагнитной индукции, мТл	Частота электромагнитного поля, Гц	Время обработки, мин	
Морковь сорт Аркадия	10	40	10	6
Капуста сорт Бригадир	10	24	20	10
Кабачки гибрид Искандер	3	40	10	6

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Различные виды продукции имеют разную степень чувствительности к электромагнитным полям. Подбор оптимальных параметров обработки ЭМП позволит:

- минимизировать потери биологически активных веществ;
- сохранить высокие показатели качества продукции;
- оптимизировать процессы тепловой обработки растительного сырья (использование определенных частот и интенсивности полей поможет способствовать более равномерной и эффективной сушке продукции, а также улучшению структуры и текстуры сырья);
- достичь более энергоэффективного процесса сушки и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. Это особенно актуально в условиях повышенного интереса к экологически чистым и энергоэффективным технологиям.

Таким образом, подбор оптимальных параметров обработки электромагнитных полей крайне низких частот является важным шагом в разработке технологии и оборудования для подготовки растительного сырья к сушке. Это позволит достичь максимального сохранения биологически активных веществ и обеспечить высокие показатели качества продукции.

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Кубанского научного фонда № 24-26-20051, <https://rscf.ru/project/24-26-20051/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента Российской Федерации от 1.12.2016 № 642 (ред. от 15.03.2021) «Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации до 2030 года» // Собрание законодательства Российской Федерации, 05.12.2016, № 49 ст. 6887 // URL : <https://base.garant.ru/71551998/?ysclid=m4ve497ccp314880837>. (дата обращения 02.09.2024).
2. Прогноз научно-технологического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации до 2030 года. Утв. приказом Минсельхоз Российской Федерации от 12 января 2017 года. № 3 // URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71499570/?ysclid=m4ve29qwk182057344>. (дата обращения 02.09.2024).
3. Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства РФ на 2017–2025 годы. утв. Указом Президента Российской Федерации от 25 августа 2017 г. № 996 // URL: <file:///C:/Users/ЯкТатВик/Downloads/Программа-развития-2022-г.-1.pdf>. (дата обращения 02.09.2024).
4. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29.06.2016 г. № 1364-р «Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года» // URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_200636/. (дата обращения 02.09.2024).
5. Указ Президента Российской Федерации от 21.01.2020 г. № 20 (ред. от 22.01.2020) «Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации» // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: www.pravo.gov.ru. (дата обращения 02.09.2024).
6. Программа фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 годы), утв. Распоряжением Правительства РФ от 31.12.2020 г. № 3684-р // URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71499570/?ysclid=m4ve29qwk182057344>.

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2025

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ОВОЩЕЙ ПЕРЕД СУШКОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ КРАЙНЕ НИЗКИХ ЧАСТОТ

file:///C:/Users/ЯкТатВик/Downloads/skzO0DEvyFOIBtXobzP
A3zTyC71cRAOi%20(1).pdf. (дата обращения 02.09.2024).

7. Usall J., Ippolito A., Sisquella M., Neri F. Physical treatments to control postharvest diseases of fresh fruits and vegetables // *Postharvest Biology and Technology*. 2016. № 122. P. 30–40.

8. Ojaghian M.R., Zhang J., Xie G., Wang Q. Efficacy of UV-C radiation in inducing systemic acquired resistance against storage carrot rot caused by *Sclerotinia sclerotiorum* // *Postharvest Biology and Technology*. 2017. № 130. P. 94–102.

9. Купин Г.А., Викторова Е.П., Алёшин В.Н., Михайлюта Л.В. Исследование влияния электромагнитного поля на изменение микробиальной обсеменности корнеплодов моркови в процессе хранения // *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2015. № 4 (20). С. 231–236.

10. Першакова Т.В., Купин Г.А., Тягушева А.А., Алёшин В.Н. Влияние обработки электромагнитными полями на активность пероксидазы и содержание полифенолов в капусте при хранении // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2021а. № 5–6 (383–384). С. 21–25.

11. Першакова Т.В., Купин Г.А., Горлов С.М., Тягушева А.А., Алёшин В.Н. Влияние электромагнитных полей крайне низкой частоты на содержание воды, клетчатки, растворимых углеводов, белка и витамина С в цветной капусте при хранении // *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2021b. № 68 (2). С. 287–296.

12. Pershakova T.V., Kupin G.A., Mihaylyuta L.V., Babakina M.V., Gorlov S.M., Lisovoy V.V. Investigation of the influence of an extremely low-frequency electromagnetic field on carrot phytopathogens in-vivo and in-vitro // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2018. № 8. P. 1897–1901.

13. Патент № 182572 Российская Федерация, МПК A23B 7/00(2006.01). Установка для обработки фруктов или овощей перед закладкой на хранение : № 2018115940 : заявл. 2018.04.26 : опубл. 2018.08.23 / Купин Г.А., Першакова Т.В., Алёшин В.Н., Панасенко Е.Ю., Горлов С.М. ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия" (ФГБНУ СКФНЦСВВ). 5 с.

14. ГОСТ ISO 2173-2013. Межгосударственный стандарт. Продукты переработки фруктов и овощей. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ. М. : Стандартинформ, 2014. 7 с.

15. Бурштейн А.И. Методы исследования пищевых продуктов / А.И. Бурштейн. Определение витамина С (Прокошев) // Под ред. А.И. Бурштейн. К. : Государственное медицинское издательство УССР, 1963. 372 с.

16. ГОСТ 8756.13-87. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров. М. : Стандартинформ, 2010. 11 с.

Информация об авторах

Г. А. Купин – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Краснодарского научно-исследовательского института хранения и переработки сельскохозяйственного сырья.

Т. В. Першакова – доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Краснодарского научно-исследовательского института хранения и переработки сельскохозяйственного сырья.

А. А. Тягушева – аспирант, младший научный сотрудник Краснодарского научно-исследовательского института хранения и переработки сельскохозяйственного сырья.

Е. С. Семиряжко – аспирант, младший научный сотрудник Краснодарского научно-исследовательского института хранения и переработки сельскохозяйственного сырья.

Information about the authors

G.A. Kupin - Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Krasnodarsk Scientific Research Institute for Storage and Processing of agricultural Raw materials.

T.V. Pershakova - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, leading researcher at the Krasnodar Research Institute for Storage and Processing of Agricultural Raw Materials.

A.A. Tyagusheva - postgraduate student, junior research fellow at the Krasnodar Research Institute for Storage and Processing of Agricultural Raw Materials.

E.S. Semiryazhko - postgraduate student, junior research fellow at the Krasnodar Research Institute for Storage and Processing of Agricultural Raw Materials.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 22 октября 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 22 Oct 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.