

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИСТЕМ ОДНОФАЗНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ И РЕАКТОРОВ С ВИТЫМИ МАГНИТОПРОВОДАМИ

Садовой А. С.

Николаевский национальный аграрный университет

Обоснованы технические решения изменения конструкций электромагнитных систем с целью уменьшения материалоёмкости и повышения надёжности однофазных трансформаторов и реакторов с витыми магнитопроводами. Указанные изменения заключаются в использовании совмещённых витых элементов трапецевидного сечения, формирующих шестигранные сечения стержней. Достигается повышение прочности изоляции при увеличении изгиба витков катушек в угловых зонах с 90° до 120° , а также создаётся возможность снижения массоёмкостных показателей и потерь активной мощности названных индукционных статических устройств уменьшением средней длины витков обмоток. Определены задача и метод оптимизационного сравнительного анализа вариантов однофазных электромагнитных систем указанных устройств.

Постановка проблемы. В различных системах электрооборудования, радиотехнической и электронной аппаратуры широко применяются однофазные трансформаторы и реакторы (дрессели) [1, 2].

Существует множество различных конструкций индукционных статических устройств (ИСУ). Которые имеют как миниатюрные так и гигантские размеры для транспортировки которых требуются специальные железнодорожные платформы или мощные плавучие средства [1-3].

К настоящему времени конструктивно-структурные решения состоящих в производстве указанных ИСУ с "традиционными" прямоугольными конфигурациями сечений магнитопроводов [2] достигли практического предела развития [3].

В "традиционных" конструкторско-технологических решениях активной части трансформаторов малой, средней и большой мощности [1, 2] структуры планарных и пространственных электромагнитных систем (ЭМС) сформированы плоскими параллельными, а также цилиндрическими образующими поверхностями (ОП) стержней и обмоточных окон [4].

Плоские ОП планарных ЭМС массового выпуска обеспечивают низкую трудоемкость производства шихтованных и витых магнитопроводов на основе фактора идентичности ширины слоев электротехнической стали (ЭТС) в сечении стержней, но создают прямоугольную форму витков катушек обмоток. Прямоугольная форма повышает среднюю длину витка и снижает прочность изоляции при малом радиусе прямоугольного изгиба проводника [3]. Криволинейная форма витков катушек с цилиндрическими ОП уменьшает среднюю длину витка, но значительно усложняет и удорожает технологию производства магнитопроводов.

Поэтому задача дальнейшего усовершенствования однофазных ИСУ различного назначения является важной и актуальной.

Анализ последних достижений и публикаций. Традиционными способами повышения технического уровня ЭМС электромеханических устройств являются использование усовершенствованных электротехнических материалов и технологий изготовления, а также оптимизационное проектирование. На основе освоения производства новой анизотропной и аморфной рулон-

ных ЭТС осуществляется массовый выпуск витых магнитопроводов с минимальной толщиной слоёв ЭТС и достигнуто снижение потерь однофазных ИСУ. Технология навивки также снижает трудоёмкость производства магнитопроводов применением средств комплексной автоматизации.

Цель статьи. Обосновать технические решения усовершенствования однофазных трансформаторов и реакторов с витым магнитопроводом.

Основные материалы исследования. Из [4, 5] известны конструкции как однофазных, так и трёхфазных ЭМС которые могут быть усовершенствованы путём преобразования образующих контуров (ОК) стержней обмоточных окон и обмоточных катушек витых магнитопроводов.

Согласно конструкции и способу изготовления ЭМС, который предложен в [6], стержни шестигранного сечения (рис. 1а) и магнитопровод в целом состоят из секций, которые навиваются из ленты ЭТС изменяющейся ширины. В свою очередь такая лента $aa'b'b$ выполняются "косым" разделением cd прямоугольной полосы на две симметричные части $acdb$ и $ca'b'd$. (рис. 1б).

Шестигранные сечения стержней уменьшают среднюю длину витка и повышают надёжность обмоточных катушек относительно аналога с прямоугольным сечением увеличением угла изгиба витков с 90° до 120° .

На рис. 2. приведены примеры традиционных магнитопроводов с четырёх граням сечением стержней которые могут быть преобразованы согласно [6] до структур с шестигранным сечением.

Также возможно усовершенствование ИСУ изменением числа и положений в пространстве активных элементов, например использованием трех стержней магнитопровода вместо двух (рис. 3).

Варианты однофазной ЭМС с трехстержневым витым разрезным магнитопроводом отличаются четырёхгранными (рис. 3, а) и шестигранными (рис. 3, б) сечениями стержней и трехсекционной первичной (вторичной) обмоткой. Катушки обмоток ЭМС (рис. 3) выполняются на каркасах отдельно от магнитопроводов аналогично "традиционным" планарным ЭМС и лишены известных недостатков не плотности укладки и повышения длины витка тороидальной намотки [1, 2, 4].

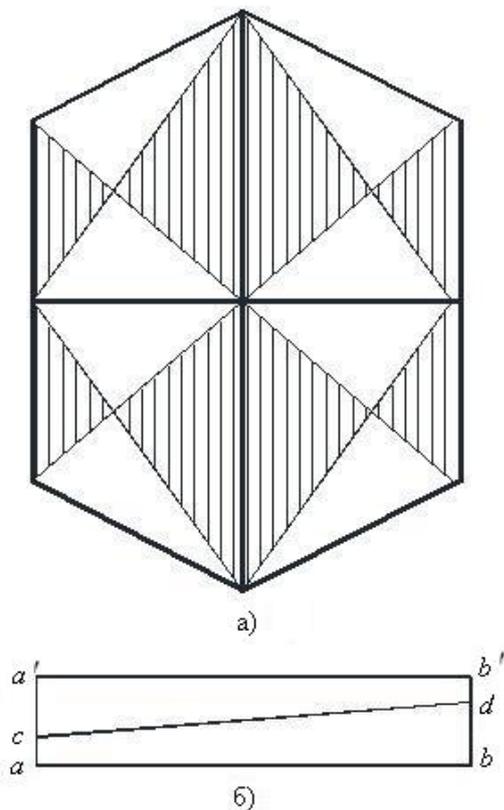


Рисунок 1 – Поперечное сечение магнитопровода из четырёх секций (а) и схема разделения ленты стали для навивки секции (б)

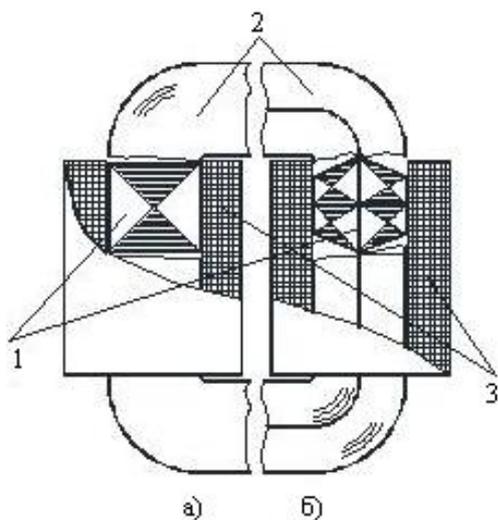


Рисунок 2 - Примеры традиционных витых магнитопроводов с четырёхгранным (а) и шестигранным (б) сечением стержней: 1 – стержень; 2 – ярмо; 3 – катушка обмотки

Для решения задач практического использования определённого варианта однофазных трансформаторов (ОТ), целесообразно выполнять сравнительный анализ, который удовлетворял бы условию универсальности. [7-10].

Оптимизационный сравнительный анализ вариантов ЭМС может быть осуществлён при соблюдении принципа электромагнитной эквивалентности,

на основе определения и сопоставления экстремумов (минимумов) целевых функций (ЦФ) соответствующих основным показателям технического уровня и специальным управляемым переменным (УП).

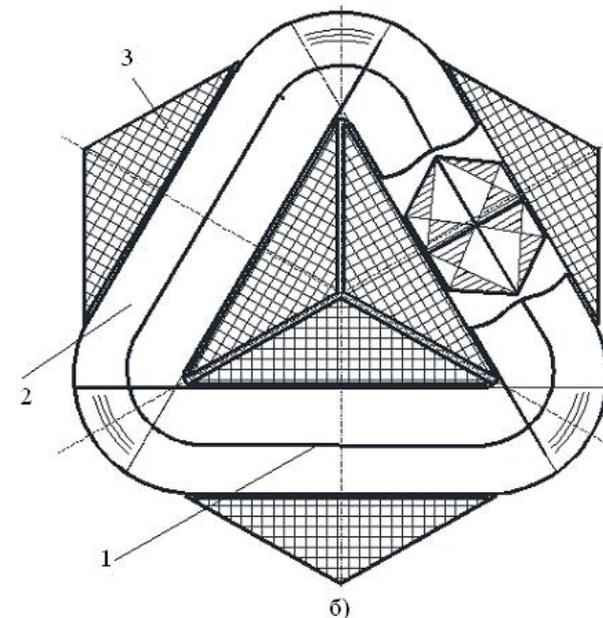
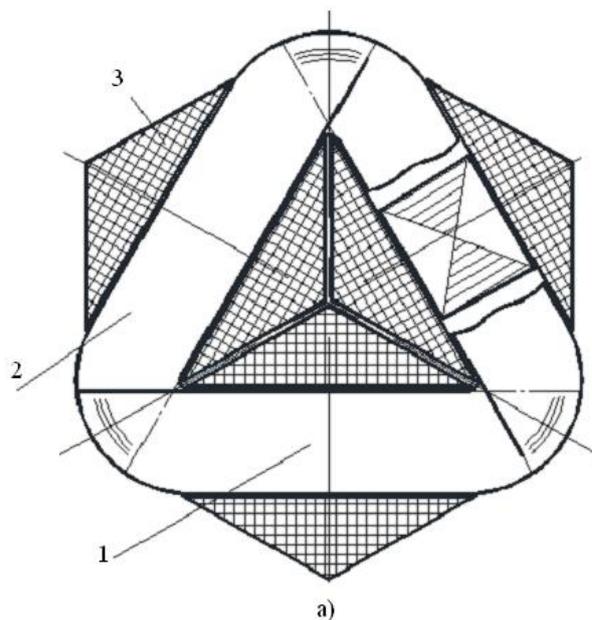


Рисунок 3 - Варианты конструктивных схем (в поперечном сечении) однофазной пространственной радиальной электромагнитной системы с витыми магнитопроводами с четырёхгранными (а) и шестигранными (б) поперечными сечениями:

1 – стержень; 2 – ярмо; 3 – катушка обмотки

УП включают электромагнитные нагрузки и элементы геометрии, соответствующие конкретным конфигурациям катушек обмоток и стержней магнитопроводов [2]. Одними из взаимонеприемлемых геометрических УП оптимизации традиционных ЭМС [1, 2] являются соотношение сторон прямоугольного сечения и диаметр образующего контура секционированного "ступенчатого" сечения стерж-

ня. Указанное несоответствие затрудняет объективный сравнительный анализ различных структурных вариантов ЭМС.

Для сравнительного анализа рассматриваемых вариантов в соответствии с принципом электромагнитной эквивалентности [10] принимаются специальные относительные УП являющиеся универсальными для вариантов сравниваемых ЭМС. На основе ЦФ с указанными УП установлены преимущества однофазных ЭМС "традиционной" и "не традиционной" конструкции [11].

Выводы. Обоснованы технические решения повышения ПТУ на основе использования "безотходной" технологии производства магнитопроводов. Сравнительный анализ для выбора наилучшей ЭМС с точки зрения минимумов капитализованных затрат, а также потерь возможен на основе метода структурной оптимизации с частными или интегральными критериями.

Список використаних джерел

1. Бальян Р. Х. Трансформаторы для радиоэлектрики / Р. Х. Бальян. – М.: Сов. Радио, 1971. – 720 с.
2. Белопольский И. И. Расчет трансформаторов и реакторов малой мощности. / И. И. Белопольский, Е. И. Каретникова, Л. Г. Пикалова – М.: Энергия, 1973. – 399 с.
3. Ставинский А. А. Генезис структур и предпосылки усовершенствования трансформаторов и реакторов преобразованием контуров электромагнитных систем (системы с шихтованными и витыми магнитопроводами) / А. А. Ставинский // Электротехника і електромеханіка. – 2011. – № 6 – С. 33–38.
4. Тихомиров П. М. Расчет трансформаторов: учебное пособие для вузов / П. М. Тихомиров. – 5-е изд. перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 528 с.
5. Ставинский А. А. Формирование структур статических электромагнитных систем на основе нетрадиционных образующих контуров / А. А. Ставинский, Р. А. Ставинский, Е. А. Авдеева // Электротехнічні та комп'ютерні системи. – 2013. – № 11(87). - С. 74–81.
6. Патент на корисну модель № 65005. Україна. Магнітопровід індукційного статичного пристрою / А. А. Ставинський, Р. А. Ставинський, О. А. Авдєєва, О. С. Садовий. - № u201104986; заяв. 20.04.11; опуб. 25.11.11, бюл. № 22. - 3 с.
7. Wu C. J. Minimum weight EI core and pot core inductor are transformer designs / C. J. Wu, F. C. Lee // IEEE Trans Magn - Vol. 16. - № 5. – P. 755 – 758.
8. Eleftherios I. Amoialis Methodology for the optimum design of power transformers using minimum number of input parameters / Eleftherios I. Amoialis, Pavlos S. Georgilakis, Member, IEEE, Erion Litsos // ICEM. – 2006. – P. 470.
9. Andersen O. W. Optimized design of electric power equipment / O. W. Andersen // Computer Applications in Power. - Jan. 1991. - Vol. 4. - № 1. - P. 11-15.
10. Ставинский А. А. Метод сравнительного анализа статических электромагнитных систем, от-

личающихся структурой и конфигурацией элементов / А. А. Ставинский, Р. А. Ставинский, Е. А. Авдеева // Электротехнічні та комп'ютерні системи. – 2014. – № 14 (90). – С. 53 – 60.

11. Садовой А. С. Сравнительный анализ масстоимостных показателей однофазных трансформаторов и реакторов с прямоугольными и шестигранными сечениями стержней стержневого витого магнитопровода / А. С. Садовой // Вісник аграрної науки Причорномор'я. – 2016. – № 4. – С. 143–154.

Анотація

УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ СИСТЕМ ОДНОФАЗНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ І РЕАКТОРІВ З ВИТИМИ МАГНІТОПРОВОДАМИ

Садовий О. С.

Обґрунтовано технічні рішення зміни конструкції електромагнітних систем з метою зменшення матеріалоємності та підвищення надійності однофазних трансформаторів і реакторів з витими магнітопроводами. Зазначені зміни полягають у використанні суміщених витих елементів трапецієподібного перерізу, які формують шестигранні перетини стрижнів. Досягається підвищення міцності ізоляції при збільшенні вигину витків котушок в кутових зонах з 90° до 120°, а також створюється можливість зниження масовартісних показників і втрат активної потужності названих індукційних статичних пристроїв зменшенням середньої довжини витків обмоток. Визначено завдання і метод оптимізаційного порівняльного аналізу варіантів однофазних електромагнітних систем зазначених пристроїв.

Abstract

IMPROVEMENT OF ELECTROMAGNETIC SYSTEMS OF ONE-PHASE TRANSFORMERS AND REACTORS WITH WIRELESS MAGNETIC WIRES

A. Sadovoy

Technical solutions for changing the designs of electromagnetic systems are substantiated with the aim of reducing the material capacity and increasing the reliability of single-phase transformers and reactors with twisted magnetic circuits. The specified changes consist in use of the combined twisted elements of a trapezoidal section forming hexagonal cross-sections of cores. An increase in the strength of insulation is achieved with an increase in the bending of coil turns in the corner zones from 90° to 120°, and it is also possible to reduce the mass-cost characteristics and the loss of active power of the named induction static devices by reducing the average length of the windings of the windings. The task and method of optimization comparative analysis of the variants of single-phase electromagnetic systems of these devices are determined.

Технические характеристики установки для обработки яблок: рабочая частота 75,8 ГГц; кратковременная относительная нестабильность частоты 10^{-8} ; выходная мощность 650 мВт; крутизна электронной перестройки 600 МГц/В. В экспериментах определялось число сапрофитных бактерий, плесневых грибов и дрожжевых клеток на поверхности плодов. Характеристики микробиологического анализа по определению сапрофитных бактерий и плесневых грибов являются обобщёнными. На поверхности яблок могут существовать одновременно возбудители нескольких видов фитопатологических болезней грибкового и бактериального происхождения. Результаты микробиологического анализа на поверхности яблок до и после электромагнитной обработки приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Численность микроорганизмов на поверхности яблок перед закладкой их на хранение (число клеток на 1 гр. яблок)

Варианты	Сапрофитные бактерии				Среднее по повторностям
	1	2	3	4	
Контроль	2,3 10^3	2,2 10^3	2,2 10^3	2,1 10^3	2,2 10^3
Опыт	4	2	2	0	2,0
Плесневые грибы					
Контроль	5	4	5	2	4,0
Опыт	0	0	0	0	0,0
Дрожжевые клетки					
Контроль	53	54	52	53	53,0
Опыт	0	0	0	0	0,0

В табл. 2 приведены данные о результатах хранения яблок после обработки их электромагнитным излучением. Проведенные испытания показывают, что обработка яблок перед хранением ЭМИ с параметрами (табл. 1): частота 75,8 ГГц; мощность источника излучения 650 мВт; время экспозиции 60 с приводит к уничтожению большинства микроорганизмов на поверхности яблок. Температура окружающей среды при хранении яблок не превышала 18-20°C. В контрольных образцах яблок (без обработки ЭМИ) табл. 2 сохранность плодов через 60 суток составила 56 %. В опытной партии (облучённые яблоки перед закладкой на хранение) через 60, 80 и 100 дней сохранность плодов составила 100%. Проведенные испытания показывают, что обработка яблок перед хранением ЭМИ с параметрами (табл. 1): частота 75,8 ГГц; мощность источника излучения 650 мВт; время экспозиции 60 с приводит к уничтожению большинства микроорганизмов на поверхности яблок.

Таблица 2 – Результаты хранения яблок после электромагнитной обработки

Вариант опыта	Опытные партии, кг				Общее количество, кг.	Срок хранения, дней	Выход стандартной продукции, %
	1	2	3	4			
Контроль	2 5 0	2 5 0	2 5 0	2 5 0	1000	60	56
Опыт № 1	2 5 0	2 5 0	2 5 0	2 5 0	1000	60	100
Опыт № 2	2 5 0	2 5 0	2 5 0	2 5 0	1000	80	100
Опыт № 3	2 5 0	2 5 0	2 5 0	2 5 0	1000	100	100
Опыт № 4	2 5 0	2 5 0	2 5 0	2 5 0	1000	120	92

Температура окружающей среды при хранении яблок не превышала 18-20°C. В контрольных образцах яблок (без обработки ЭМИ) табл. 2 сохранность плодов через 60 суток составила 56 %. В опытной партии (облучённые яблоки перед закладкой на хранение) через 60,80 и 100 дней сохранность плодов составила 100% Сохранность плодов опытной партии через 120 дней показала, что выход стандартной продукции уменьшился на 8 %. Уменьшение стандартной продукции на 8 % связано с активизацией интенсивности дыхания яблок, то есть за счёт окислительного распада органических веществ и образования активных метаболитов. Скорость дыхательного газообмена яблок с окружающей средой зависит от вида и состояния плодов, характера и интенсивности процессов жизнедеятельности клеток, температуры, газопроницаемости кожицы и пограничного слоя газов, парциального давления компонентов газовой среды в тканях и среды. Результаты микробиологического анализа через 120 дней (табл. 3) подтверждают тот факт, что загнивание плодов яблонь происходит за счёт активизации процессов дыхания.

Таблица 3 – Численность микроорганизмов на поверхности яблок после хранения

Вариант опыта	Сапрофитные бактерии, число клеток	Плесневые грибы, число клеток	Дрожжевые клетки, число клеток	Срок хранения, дней
Контроль	2,6 10^3	8	160	60
Опыт	20	2	10	120

Для того чтобы определить возможные отклонения в химическом составе яблок, прошедших обработку электромагнитным излучением, были проведены анализы, общепринятые на консервных предприятиях. Результаты этих анализов приведены в табл.4.

Таблица 4 – Химический состав яблок до обработки и после обработки ЭМИ в процессе длительного хранения

Показатели химического состава	Контроль	Опыт после обработки ЭМИ	Опыт после хранения
Сух. вещество, %	16,3	16,3	17,1
Общий сахар, %	11,5	11,7	12,1
Аскорбиновая кислота, мг/100 г	10	9,8	8,7
Кислотность, %	0,4	0,4	0,28

Оценивая результаты анализа, приведенные в таблице 4, можно сделать определённый вывод: обработка яблок перед закладкой на хранение электромагнитным излучением с оптимальными биотропными параметрами не изменяет качества плодов и не влияет на их химический состав. Экономическая эффективность от применения электромагнитной технологии для длительного хранения яблок составит около 10000 грн на 1 т. продукции.

Выводы. 1. Установлено, что для длительного хранения яблок их следует облучать электромагнитным излучением с параметрами: частота 75,8±0,1 ГГц; мощность на поверхности яблок 650±0,5 мВт; время экспозиции 60±5,0 с., температура окружающей среды 18-20°C.

2. Применение ЭМИ миллиметрового диапазона для обработки яблок позволяет уничтожить микроорганизмы на их поверхности и увеличить срок хранения яблок до 120 суток и даже больше при температуре 18-20°C в условиях внешней среды.

Список использованных источников

1. Федюшко Ю. М. Анализ технологии хранения фруктоплодов / Ю. М. Федюшко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України", 2016. – Вип. 175. – С. 160–162.

2. Федюшко Ю. М. Биофизические предпосылки для уничтожения вредных микроорганизмов на плодах яблонь электромагнитной энергией / Ю. М. Федюшко, А. Д. Черенков // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України", 2016. – Вип. 176. – С. 93 – 95.

3. Гудковский В. А. Прогрессивные технологии хранения плодов / В. А. Гудковский, А. А. Кладь,

А. Е. Балакирев, Ю. Б. Назаров // Достижения науки и техники АПК, 2009. – № 2. – С. 66–70.

4. Каширская Н. Я. Болезни семечковых культур / Н. Я. Каширская. – Мичуринск, 2006. – 164 с.

5. Черенков А. Д. Воздействие низкоэнергетических электромагнитных измерений на мембранный потенциал и объем клеток биологических объектов / А. Д. Черенков // Микроволновые технологии в народном хозяйстве. Внедрение. Проблемы. Перспективы. – К.: ТЕС, 2000. – С. 152–155.

6. Aleksandr D. Cherenkov Theoretical Analysis of Electromagnetic Field Electric Tension Distribution in the Seeds of Cereals / Aleksandr D. Cherenkov, Natalija G. Kosulina and Aleksandr V. Sapruca // Research journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, November – December – 2015, – RJPBCS 6 (6) – Page NO. 1686 – 1694.

7. Заявка № 2553873 Франция, Кл. F26В 3/47. Способ сушки, стерилизации, обеззараживания и дезинфекции лекарственных растений или растений для приправ с помощью микроволновой печи. Заявлено 19.10.83 г.

Анотація

ДОСВІД ТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ ЯБЛУК ОБРОБЛЕНИХ ПЕРЕД ЗБЕРІГАННЯМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ

Федюшко А. Ю.

У даній статті розглянута інформаційна електромагнітна технологія для тривалого зберігання яблук в умовах зовнішнього середовища при температурі 20°C. Дана технологія передбачає обробку яблук перед закладкою на зберігання електромагнітним випромінюванням з оптимальними біотропними параметрами (частота, потужність, експозиція). Проведені випробування показали, що застосування електромагнітного випромінювання дозволило знищити мікроорганізми на поверхні яблук і збільшити термін зберігання до 120 діб в умовах зовнішнього середовища.

Abstract

THE EXPERIENCE OF LONG-TERM STORAGE OF APPLES PROCESSED BEFORE STORAGE BY ELECTROMAGNETIC RADIATION

A. Fedyushko

This article describes the information of the electromagnetic technology for long-term storage of apples in ambient conditions at a temperature of 20°C. This technology provides for the processing of the apples before laying on storage of electromagnetic radiation with optimal biotropic parameters (frequency, power, exposure). Tests have shown that the use of electromagnetic radiation allowed to destroy microorganisms on the surface of apples and increase the storage period up to 120 days in ambient conditions.