

УДК [664.8.039.5+664.9.03]:537.868

**Шипулин Валентин Иванович, Барышев Михаил Геннадьевич,
Касьянов Геннадий Иванович, Ольховатов Егор Анатольевич**

УСТАНОВКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПИЩЕВЫХ СРЕД НИЗКОЧАСТОТНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ С МОДУЛИРУЕМЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Статья посвящена инновационному научно-практическому направлению в пищевой индустрии – обработке сырья и продуктов его переработки модулированным электромагнитным полем низкочастотного диапазона. В обобщенном виде представлены научные аспекты и этапы создания установки для проведения обработок пищевых сред электромагнитным полем. Показана применимость разработанного устройства с целью повышения длительности сроков хранения продовольственного сырья и продукции, производимой из него при максимальной экономической выгоде.

Ключевые слова: электромагнитное поле, низкие частоты, модуляция сигнала, инактивация микрофлоры, пищевые среды, сроки хранения.

Valentin Shipulin, Mikhail Baryshev, Gennady Kasyanov, Egor Olkhovатов EQUIPMENT FOR FOOD PROCESSING LOW-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD WITH MODULATED CHARACTERISTICS

The article is devoted to the innovative scientific and practical direction in the food industry – the impact on raw materials and products of its processing by a modulated electromagnetic field of the low-frequency range. In a generalized form, scientific aspects and stages of creating an installation for processing food media by an electromagnetic field are presented. The applicability of the developed device is shown with the purpose of increasing the duration of storage of food raw materials and products made from it at the maximum economic benefit.

Key words: electromagnetic field, low frequencies, signal modulation, inactivation of microflora, food media, shelf life.

Введение / Introduction. В последние годы в мире с целью повышения длительности сроков хранения пищевого сырья, полупродуктов и продуктов питания разработано для внедрения в производство немало различных способов электрофизической (сверхвысокочастотное (СВЧ), ультразвуковое (УЗ), ультрафиолетовое (УФ), ионизирующее излучения) и газоселективной (регулируемая и модифицированная газовая среда) обработки пищевых сред растительного и животного происхождения. Перечисленные способы хотя и позволяют снижать потери сырья при хранении до 10 %, однако являются дорогостоящими.

Нами разработана и предложена производству более эффективная и экологически безопасная технология обработки биологических объектов с помощью сложномодулированных электромагнитных полей низких частот (ЭМПНЧ), позволяющая существенно снизить микробную обсемененность сырья и повысить сроки хранения продукции. Установка, разработанная сотрудниками КубГТУ, позволяет реализовать данную технологию; она удостоена медалей международных салонов изобретений «Конкурс Лепин» (г. Страсбург, Франция) и «Архимед-2014» (г. Москва, Россия), а также вошла в ТОП-100 лучших разработок России 2014 г.

Материалы и методы / Materials and methods. Исследования по разработке установки для обработки пищевых сред ЭМПНЧ с целью продления сроков хранения путём инактивации патогенной микрофлоры с пролонгированным эффектом проводили в следующем порядке. На первом этапе [1,

2, 3] осуществлялась оценка эффекта от воздействия ЭМП НЧ с модулируемыми характеристиками на патогенную и условно-патогенную микрофлору пищевых сред (*in vitro*). На втором этапе в ходе проводимых экспериментов обработкам подвергались непосредственно пищевые среды (*in vivo*). На каждом из упомянутых этапов объекты воздействия помещались в экранированную камеру, со встроенным излучателем вращающегося ЭМП низкочастотного диапазона. Следует упомянуть, что эффективность воздействия вращающегося электромагнитного поля объясняется рядом научных гипотез, выходящих за пределы классической физики [4].

На рис. 1 приведена схема конструкции устройства для обработки объектов вращающимся электромагнитным полем.

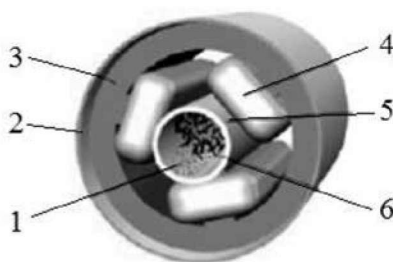


Рис. 1. Устройство для обработки объектов вращающимся ЭМП:

1 – исследуемый объект; 2 – экранированная камера; 3 – магнитопровод индуктора; 4 – трёхфазная обмотка индуктора; 5 – корпус рабочей зоны аппарата; 6 – ферромагнитные иглы

Устройство для обработки объектов вращающимся электромагнитным полем входит в состав разработанной нами и предложенной производству установки для обработки сельскохозяйственного сырья ЭМП НЧ (рис. 7). Разработка предложенной установки базируется на обширных предварительных теоретических изысканиях и длительной экспериментальной работе.

Результаты и обсуждение / Results and discussion. При проведении экспериментов по выявлению воздействия вращающегося ЭМП НЧ на объекты исследования использовали катушку с внутренним диаметром 3 см, площадью поперечного сечения S 30 см², с количеством витков провода n 2 500 и индуктивностью L на уровне 0,3 Гн. Мобильный излучатель экранированным кабелем подключали к генератору. Основные параметры, характеризующие разработанную установку, вычисляли следующим образом.

Для расчета импеданса излучателя использовали формулу

$$Z_u = \left[R_a^2 + (2\pi fL)^2 \right]^{1/2}, \quad (1)$$

где R_a – величина активного сопротивления катушки; L – величина индуктивности катушки; f – величина частоты электромагнитных колебаний.

Величину магнитной индукции соленоида обычно связывают с амплитудой силы тока I , возникающего в катушке с n количеством витков, поперечным сечением S и индуктивностью L :

$$B = \frac{LI}{nS}. \quad (2)$$

Таким образом, формулу (2) преобразовали в (3):

$$B = \frac{LU}{nSZ_u}, \quad (3)$$

где U – приложенное к катушке амплитудное напряжение.

При известной величине магнитной индукции B можно вычислить напряженность поля вблизи катушки по формуле

$$H = \frac{B}{\mu\mu_0}, \quad (4)$$

где μ – магнитная проницаемость объекта; μ_0 – магнитная проницаемость вакуума.

Напряженность поля на некотором расстоянии от излучателя до обрабатываемого объекта определяли по формуле

$$H = \frac{Ir^2}{2(r^2 + b^2)^{3/2}} = \frac{Ur^2}{2Z_u(r^2 + b^2)^{3/2}}, \quad (5)$$

где b – длина пути от катушки до исследуемого объекта; r – радиус катушки.

Расчёт величины ослабления магнитного поля стенками камеры осуществляли следующим образом. Многослойную катушку с 2 000 витков размещали на расстоянии 1 м от камеры и подавали на неё сигнал генератором ГЗ-118; подаваемое на катушку напряжение фиксировали осциллографом С1-78. Напряженность магнитного поля H в 1,5 м от катушки составляла 200 А/м. Катушка с 2 500 витков, находящаяся в середине камеры, была подключена экранированным кабелем к анализатору спектра С4-48. Напряженность магнитного поля в камере определяли по (4) и (5).

Величину намагничиваемости стального корпуса камеры подбирали, руководствуясь справочной литературой.

Ослабление величины магнитного поля в диапазоне от 3 Гц до 20 кГц и от 30 кГц до 300 кГц составляло соответственно 40 Дб и 60 Дб.

Обработку объектов при исследовании влияния на них ЭМП НЧ проводили на установке, схема которой показана на рис. 2.

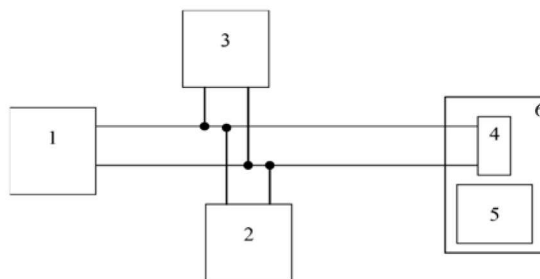


Рис. 2. Принципиальная схема установки для исследования влияния ЭМП НЧ на объекты исследования:

1 – генератор электромагнитного поля ГЗ-118; 2 – частотомер Ф5041; 3 – осциллограф С1-78;
4 – излучатель (соленоид); 5 – обрабатываемый объект; 6 – емкость для размещения обрабатываемых объектов

На этой установке исследовали влияние на обрабатываемые объекты различных видов модуляции электромагнитного поля (рис. 3).

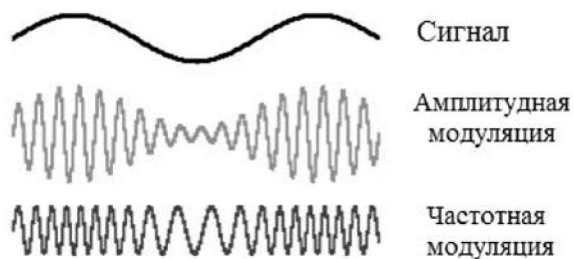


Рис. 3. Виды модуляции электромагнитного поля

Генерирование электромагнитных колебаний осуществляли генератором 1 в низкочастотном диапазоне, при этом сигнал поступал на частотомер 2 и осциллограф 3 по пути следования к излучателю 4, расположенному внутри емкости 6, где находились обрабатываемые объекты 5.

Описанная установка генерировала синусоидальные колебания в диапазоне от 3 Гц до 20 кГц, с нестабильностью частоты от 0,01 до 0,2 %.

Амплитудную модуляцию (АМ) электромагнитного поля низкочастотного диапазона осуществляли при помощи установки, схема которой изображена на рис. 4.

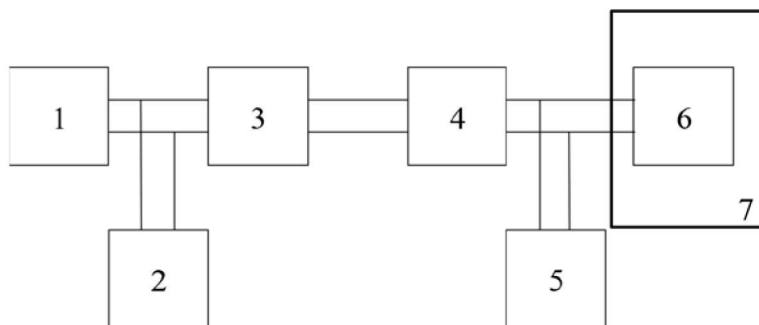


Рис. 4. Принципиальная схема установки для исследования влияния на обрабатываемые объекты АМ ЭМП НЧ:

1 – генератор колебаний; 2 – частотомер; 3 – генератор несущей частоты; 4 – осциллограф; 5 – усилитель сигнала; 6 – излучатель (соленоид); 7 – емкость для размещения обрабатываемых биообъектов

Генератором 1 осуществляли генерирование низкочастотных электромагнитных колебаний, которые регистрировались частотомером 2 и подавались для создания их амплитудной модуляции на генератор 3 с несущей частотой, от которого – на вход усилителя сигналов 4, а с его выхода – на вход осциллографа 5 и на излучатель 6, при посредстве которого обрабатывали объекты, размещённые в емкости 7.

Коэффициент амплитудной модуляции

$$m_{ам} = \left(\frac{U_{max} - U_{min}}{U_{max} + U_{min}} \right) \cdot 100 \%$$

определяли по осциллограмме амплитудно-модулированного сигнала.

Для вычисления напряженности поля с использованием (6)–(10) необходимо знать значения напряжения амплитудно-модулированного сигнала, который может быть записан в виде (6)

$$U_{ам}(t) = [U_m + a(t)] \cos \omega t, \quad (6)$$

где $a(t)$ – информационный сигнал; ω – угловая частота; t – время; U_m – амплитуда несущего сигнала.

Поскольку в качестве модулирующего сигнала нами используются гармонические колебания низкочастотного диапазона, то модулированное колебание можно представить в виде (7):

$$U_{ам}(t) = U_m (1 + m_{ам} \cos \Omega t) \cos \omega t, \quad (7)$$

где $m_{ам}$ – коэффициент амплитудной модуляции; Ω – частота модулирующего сигнала.

Найденное значение $U_{ам}$ подставляли в (2) и находили величину магнитной индукции, создаваемой излучателем внутри соленоида, после чего по (4) и (5) находили напряженность поля в определенной точке.

Частотную модуляцию (ЧМ) электромагнитного поля с низкочастотным амплитудомодулированным сигналом осуществляли на установке, схема которой изображена на рис. 5.

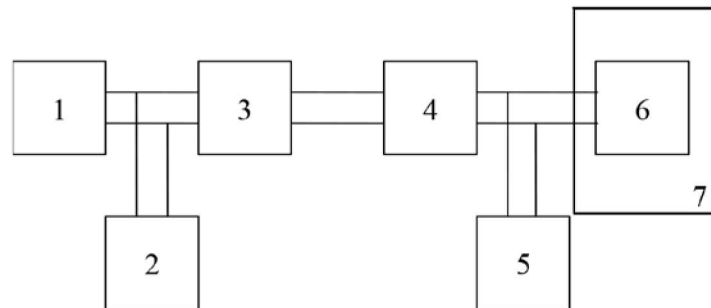


Рис. 5. Принципиальная схема установки для исследования влияния на обрабатываемые объекты ЧМ ЭМП НЧ:

1 – генератор ЭМ колебаний ГЗ-118; 2 – частотомер Ф5041; 3 – генератор несущей частоты ЛЗ1, также осуществляющий функцию частотно-модулирующего устройства; 4 – усилитель сигнала «Амфитон» 25У-202С (для несущей частоты звукового диапазона) с ограничителем его амплитуды на выходе; 5 – осциллограф С1-69; 6 – излучатель (соленоид); 7 – емкость для размещения обрабатываемых биообъектов

Синусоидальные колебания ЭМП НЧ от генератора 1 для регистрации поступали на частотомер 2, а для частотной модуляции – на генератор несущей частоты 3, с выхода которого – на вход усилителя 4, а с его выхода – на осциллограф 5 и на излучатель 6.

Несущая и модулирующая частота устанавливались с той же точностью и в том же диапазоне, что и при амплитудной модуляции. Девиация частот, измерение степени которой осуществлялось при помощи анализатора спектра С4-48, производилась в диапазоне от 0,1 Гц до 60 кГц. Магнитная индукция излучателя находилась в пределах, аналогичных амплитудной модуляции.

Форму огибающей частотно-модулированного колебания получали в соответствии со следующими рассуждениями.

Частота модуляции сигнала определяется по (8):

$$\omega = \omega_0 + \Delta\omega \sin \Omega t, \quad (8)$$

где $\Delta\omega$ – величина девиации частоты от её среднего значения; Ω – частота модулирующего сигнала; ω_0 – угловая частота несущего колебания; t – продолжительность обработки.

При этом частота девиации связана с амплитудой модулирующего напряжения (9):

$$\Delta\omega = k U_{\Omega}, \quad (9)$$

где U_{Ω} – амплитуда модулирующего напряжения; k – коэффициент пропорциональности.

Записать выражение для определения амплитуды частотно-модулированного колебания можно в виде (10):

$$U_{\text{чм}}(t) = U_m \cos(\omega_0 t + m_{\text{чм}} \sin \Omega t), \quad (10)$$

где U_m – амплитуда несущего колебания; $m_{\text{чм}}$ – индекс частотной модуляции с оценкой максимального отклонения фазы колебания при частотной модуляции

$$m_{\text{чм}} = \frac{\Delta\omega}{\Omega}.$$

Использование модулирующей частоты низкочастотного диапазона возможно с индексом частотной модуляции в пределах от 37 600 до 5. Относительное изменение частоты или глубина частотной модуляции, определяется отношением девиации частоты к несущей частоте

$$m_{\text{отн}} = \frac{\Delta\omega}{\omega_0}.$$

Для определения напряженности поля (или величины магнитной индукции), создаваемого излучателем (соленоидом), использовали значение напряжения, полученное по (10).

Измерение девиации частоты $\Delta\omega$ производили с помощью амплитудного детектора, входящего в состав схемы, приведенной на рис. 6.

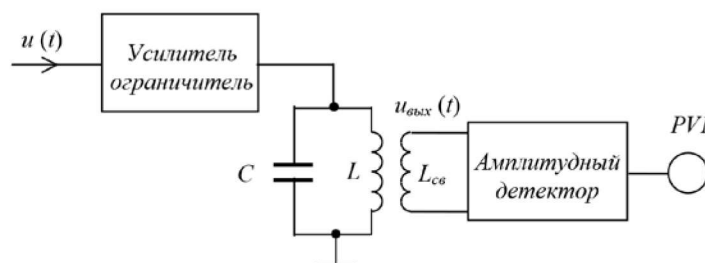


Рис. 6. Принципиальная схема устройства для измерения девиации частоты ЧМ электромагнитного сигнала

Усилитель-ограничитель, входящий в состав данного устройства, препятствует появлению паразитной (наведенной) амплитудной модуляции. Сгенерированный частотно модулированный сигнал подаётся в контур LC , с результирующей частотой $\omega_{рез}$. Вследствие изменения частоты входного сигнала изменяется напряжение выходного сигнала. Получаемое переменное напряжение подаётся на закрытый вход амплитудного детектора. Таким образом, благодаря амплитуде переменной составляющей U_m определяется значение девиации $\Delta\omega$ в исследуемом частотно модулированном колебании.

Результатом проведённых нами исследований является разработанная и предложенная производству установка для обработки сельскохозяйственного сырья ЭМП НЧ с модулируемыми характеристиками.

Аппаратурная схема разработанной нами установки приведена на рис. 7.

Описываемая установка представляет собой аппаратно-программный комплекс, который имеет малую энергоёмкость, низкий уровень напряженности ЭМП (1–12 мТл), характеризуется отсутствием шумового ЭМП за пределами 50-сантиметровой зоны и представляет собой надёжную, высокоточную автоматическую аппаратуру. Весь комплекс имеет массу 4 кг и потребляет около 60 Вт электроэнергии; функционирует в диапазоне используемых частот 18–48 Гц, что делает его полностью безопасным для обслуживающего персонала. Использование описываемого аппаратно-программного комплекса позволяет обрабатывать пищевые среды при снижении производственных затрат в 2–3 раза по сравнению с применяемыми ныне технологиями.

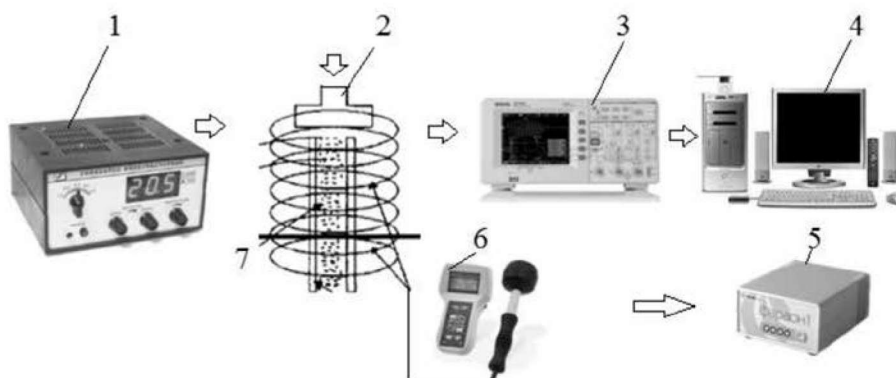


Рис. 7. Установка для обработки сельскохозяйственного сырья ЭМП НЧ:

- 1 – генератор ЭМП НЧ; 2 – устройство для обработки объектов вращающимся ЭМП;
3 – осциллограф; 4 – ПЭВМ; 5 – прибор для защиты от ЭМП; 6 – измеритель плотности потока ЭМ излучения;
7 – обрабатываемая пищевая среда

Заклучение / Conclusion. Под воздействием вихревого ЭМП НЧ, генерируемого предложенной установкой, изменяются электрофизические и химические свойства обрабатываемых объектов, что определяет инновационность разработанной нами технологии, заключающуюся в микро- и бактерицидном эффекте. При этом снижаются прямые затраты на инактивацию микрофлоры за счет работы генератора поля в автоматическом режиме при малом расходе электроэнергии – 60 Вт/ч, что позволяет повысить эффективность предпринимаемых мер в 2–3 раза. Снижаются общие потери, повышается выход товарной продукции, продляются сроки хранения продовольственного сырья и готовых продуктов. Если использовать новую технологию в производственной схеме «выращивание → обработка → хранение → переработка → реализация» [5], то можно наладить выпуск продукции с минимальной химизацией процесса на всех его этапах, а это позволит позиционировать производимую продукцию как «органическую» с переводом её в соответствующую ценовую категорию товаров.

ЛИТЕРАТУРА И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ

1. Барышев М. Г., Джимаков С. С., Кадамша А. М. Исследование влияния магнитообработанной воды на биологические объекты // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2008. № 2. С. 69–74.
2. Барышев М. Г. Воздействие низкочастотного электромагнитного поля на прокариотические и эукариотические микроорганизмы / М. Г. Барышев, Г. Н. Наумов, В. И. Дмитриев, Н. С. Васильев // Наука Кубани. 2008. № 4. С. 17–22.
3. Барышев М. Г. Влияние низкочастотного электромагнитного поля на биологические системы / М. Г. Барышев, Н. С. Васильев, Н. Н. Куликова, С. С. Джимаков. Ростов-н/Д.: ЮНЦ РАН, 2008. 288 с.
4. Мищенко М. В., Боков М. М., Гришаев М. Е. Активация технологических процессов обработки материалов в аппаратах с вращающимся электромагнитным полем // Фундаментальные исследования. 2015. № 2–16. С. 3508–3512.
5. Обработка сельскохозяйственного сырья электромагнитным полем низкой частоты. Теория и практика: монография [Электронный ресурс] / Г. И. Касьянов, М. Г. Барышев, Р. С. Решетова, В. Т. Христюк, Д. Е. Занин. СПб.: 2016. 296 с. URL: <http://e.lanbook.com/book/90693>

REFERENCES AND INTERNET RESOURCES

1. Baryshev M. G., Dzhimak S. S., Kadamsha A. M. Issledovanie vlijanija magnitoobrabotannoju vody na biologicheskie ob'ekty (Investigation of the effect of magnetically treated water on biological objects) // Vestnik RUDN. Serija: Jekologija i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti. 2008. № 2. Pp. 69–74.
2. Baryshev M. G. Vozdejstvie nizkochastotnogo jelektromagnitnogo polja na prokarioticheskie i jeukarioticheskie mikroorganizmy (The effect of a low-frequency electromagnetic field on prokaryotic and eukaryotic microorganisms) / M. G. Baryshev, G. N. Naumov, V. I. Dmitriev, N. S. Vasil'ev // Nauka Kubani. 2008. № 4, Pp.17–22.
3. Vlijanie nizkochastotnogo jelektromagnitnogo polja na biologicheskie sistemy (Influence of low-frequency electromagnetic field on biological systems), M. G. Baryshev, N. S. Vasil'ev, N. N. Kulikova, S. S. Dzhimak. Rostov-na-Donu: JuNC RAN, 2008. 288 p.
4. Mishhenko M. V., Bokov M. M., Grishaev M. E. Aktivacija tehnologicheskikh processov obrabotki materialov v apparatah s vrashhajushimsja jelektromagnitnym polem (Activation of technological processes of processing of materials in devices with a rotating electromagnetic field) // Fundamental'nye issledovanija. 2015. № 2–16. Pp. 3508–3512.
5. Obrabotka sel'skhozajstvennogo syr'ja jelektromagnitnym polem nizkoj chastoty. Teorija i praktika: Monografija [Jelektronnyj resurs] (Processing of agricultural raw materials by an electromagnetic field of low frequency. Theory and practice: monograph [Electronic resource]) / G. I. Kas'janov, M. G. Baryshev, R. S. Reshetova, V. T. Hristjuk, D. E. Zanin. SPb., 2016. 296 p. URL: <http://e.lanbook.com/book/90693>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Шипулин Валентин Иванович, доктор технических наук, профессор, проректор по учебной работе, Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, ул. Пушкина 1. E-mail: vshipulin@ncfu.ru

Барышев Михаил Геннадьевич, доктор биологических наук, профессор, проректор по научной работе и инновациям, Кубанский государственный университет, 350040 г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149. E-mail: nts@kubsu.ru

Касьянов Геннадий Иванович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии продуктов питания животного происхождения, Кубанский государственный технологический университет, 350072, Россия, г. Краснодар, ул. Московская, 2. E-mail: g_kasjanov@mail.ru

Ольховатов Егор Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии хранения и переработки растениеводческой продукции, Кубанский государственный аграрный университет им И.Т. Трубилина, 350044, Россия, г. Краснодар, ул. им. М.И. Калинина, д. 2. E-mail: olhovatov_e@inbox.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Shipulin Valentin Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Academic Affairs, North-Caucasian Federal University, Stavropol, st. Pushkin 1. E-mail: vshipulin@ncfu.ru

Baryshev Mikhail Gennadievich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Vice-Rector for Research and Innovation, Kuban State University, 350040 Krasnodar, st. Stavropolskaya, 149. E-mail: nts@kubsu.ru

Kasyanov Gennady Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Food Technology of Animal Origin, Kuban State Technological University, 350072, Russia, Krasnodar, st. Moscovskaya, 2. E-mail: g_kasjanov@mail.ru

Olhovatov Egor Anatolievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Storage and Processing of Plant Production, Kuban State Agrarian University behalf of IT. Trubilina, 350044, Russia, Krasnodar, st. behalf of M.I. Kalinin, 2. E-mail: olhovatov_e@inbox.ru