

УДК 663.433:621.384.52

[https://doi.org/10.47612/2073-4794-2023-16-1\(59\)-69-75](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2023-16-1(59)-69-75)

Поступила в редакцию 11.11.2022

Received 11.11.2022

Д. А. Зайченко¹, А. А. Литвинчук¹, А. В. Куликов¹, К. И. Жакова¹,
А. М. Миронов²

¹РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси
по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь

²ООО «Эвозон», г. Минск, Республика Беларусь

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОАКТИВИРОВАННОГО ВОЗДУХА НА ПРОЦЕСС СУШКИ ЯЧМЕННОГО СОЛОДА

Аннотация. Сушка является одним из самых энергоемких процессов пищевой промышленности. Перспективным способом интенсификации данного процесса является использование электроактивированного воздуха. В статье приведены результаты экспериментальных исследований влияния обработки электроактивированным воздухом ячменного солода на интенсификацию процесса его сушки. Установлено, что при сушке в озонированной среде наблюдается сжатие клеточных мембран под действием озона, что создает градиент давления и «выталкивает» влагу без ее испарения и повышения температуры. Изучено влияние предварительной обработки солода электроактивированным воздухом на показатель активности воды. Разработаны рациональные режимы интенсификации процесса сушки за счет использования биостимулирующих свойств электроактивированного воздуха.

Ключевые слова: ячменный солод, электроактивированным воздух, процесс сушки, активность воды.

D. A. Zaichenko¹, A. A. Litvinchuk¹, A. V. Kulikov¹, K. I. Zhakova¹,
A. M. Mironov²

¹RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”,
Minsk, Republic of Belarus

²Evozon LLC Minsk, Republic of Belarus

STUDY OF THE EFFECT OF ELECTROACTIVATED AIR ON THE DRYING PROCESS OF BARLEY MALT

Abstract. Drying is one of the most energy intensive processes in the food industry. A promising way to intensify this process is the use of electroactivated air. The article presents the results of experimental studies of the effect of electroactivated air treatment of barley malt on the intensification of its drying process. It has been established that during drying in an ozone-air environment, cell membranes are compressed under the action of ozone, which creates a pressure gradient and “pushes out” moisture without its evaporation and temperature increase. The effect of pre-treatment of malt with electroactivated air on the water activity index was studied. Rational modes of intensification of the drying process have been developed through the use of biostimulating properties of electroactivated air.

Key words: barley malt, electroactivated air, drying process, water activity.

Введение. Одним из наиболее энергоемких процессов в пищевой промышленности является сушка. В настоящее время проводятся разработки разнообразных технологий и технических решений для интенсификации данного процесса. Основные работы направлены на повышение эффективности сушки за счет снижения энергоемкости процесса путем оптимизации технологических параметров [1–4]. При этом для рационального использования энергетических ресурсов необходимо учитывать индивидуальные особенности высушиваемого сырья.

Большой расход энергии на сушку при производстве солода является одной из предпосылок для более глубокого изучения данного процесса. Комплексный анализ этой проблемы показал, что интенсивность процесса сушки возможно повысить, если отойти от классического представления о данной технологии и внедрить в нее составляющие элементы, которые будут оказывать на объект обработки не только физическое, но и химико-биологическое воздействие.

Поисковые исследования в данном направлении показали, что перспективным решением обозначенной выше проблемы является применение для интенсификации процесса сушки электроактивированного воздуха. При прохождении воздуха через электроразрядные установки образуется значительное количество оксидов азота и озона, обеспечивающие наличие комплекса физических и химико-биологических воздействий на обрабатываемое сырье.

Сушка свежепросоженного солода заключается в снижении влажности с 42–46 % (в зависимости от принятой технологии и типа получаемого солода) до 3,5–4 % для светлых и 1,5–2,0 % для темных солодов. В процессе обезвоживания различают 2 стадии: *подсушивание* (сушка при низких температурах до влажности 10 %, при которой удаляется свободная влага) и *нагревание сухого солода* (влага удаляется трудно, т.к. этому препятствуют сначала капиллярные, а затем и коллоидные взаимодействия, которые удерживают влагу в зерне).

Вода — составная часть всех пищевых продуктов. Технологические свойства, интегральный показатель качества и сроки хранения пищевых продуктов во многом зависят от свойств, количества и состояния (форма и энергия связи, активность) содержащейся в них воды [5].

Классификация форм связи воды в материалах, учитывающая природу образования связи и энергию взаимодействия, предложена П. А. Ребиндером. Все формы связи воды он разделил на три группы: химическая, физико-химическая, физико-механическая. В соответствии с этой классификацией различают следующие виды связанной воды: химически связанная, адсорбционно связанная, вода макро- и микрокапилляров; осмотически связанная и вода, свободно удерживаемая каркасом тела (иммобилизационная). Данная классификация была существенно дополнена и расширена Е. Д. Козаковым с учетом роли воды в биологических и биохимических процессах.

Таким образом, вода в материале или продукте может находиться в свободном и связанном состоянии. Свободная вода по своим свойствам приближается к обычной воде. Она легко удаляется из материала или продукта при высушивании, отжимании, прессовании, замерзает при температуре около 0 °С.

Химически связанная вода имеет очень прочную связь и не удаляется при высушивании, она входит в состав молекул. Ее можно удалить только в результате реакций, сопровождающихся выделением воды (меланоидинообразование, карамелизация и др.).

Физико-химически связанная вода подразделяется на воду, связанную моно- и полимолекулярной адсорбцией.

Влажность на уровне мономолекулярной адсорбции (3–6 %) имеют продукты сублимационной сушки — быстрорастворимый кофе и др. Считается, что вода, связанная мономолекулярной адсорбцией, не является растворителем и не участвует в химических реакциях, не замерзает при температурах, близких к абсолютному нулю.

Влажность на уровне полимолекулярной адсорбции (6–14 %) характерна для многих сухих продуктов (пищевые концентраты, мука, крупы и т. п.). В продуктах с влажностью на уровне полимолекулярной адсорбции невозможен микробиологический рост, но могут происходить ферментативные процессы и реакции меланоидинообразования (потемнение, изменение запаха и др.).

Осмотическая связь воды обусловлена тем, что давление пара над раствором ниже, чем над растворителем (свободной водой). Осмотически удерживаемая вода диффундирует в виде жидкости через полупроницаемые мембраны живых клеток вследствие разности концентраций внутри и вне клетки. К осмотически связанной воде относят и воду набухания, и структурную воду, удерживаемую при формировании гелей.

К физико-механически связанной воде относят воду микро- и макрокапилляров. Капиллярно связанная вода удерживается за счет возникновения адсорбционной связи мономолекулярного слоя у стенок капилляра и снижения давления пара над вогнутым мениском в капилляре по сравнению с давлением пара над плоской поверхностью свободной воды.

Некоторые пищевые продукты и материалы хорошо поглощают из окружающей среды или выделяют пары воды и летучие вещества. Этот процесс называется сорбцией. Частные случаи: адсорбция — поглощение веществ из растворов или газов поверхностью твердого тела; аб-

сорбция — поглощение веществ из смеси газов жидкостью во всем объеме; десорбция — обратный процесс перехода веществ из поверхностного слоя в окружающую среду.

Для оценки степени участия воды в различных химических, биохимических и микробиологических реакциях широко применяют показатель активность воды a_w , определяемый как отношение парциального давления паров воды над продуктом к парциальному давлению пара над чистой водой. Показатель «активность воды» был предложен У. Скоттом в 1953 г. и в настоящее время широко применяется на практике.

Показатель «активность воды» определяет характер и направление массового обмена, интенсивность биологических, физико-химических и химических процессов, происходящих в пищевых продуктах.

Перемещение воды в коллоидных капиллярно-пористых материалах обусловлено наличием градиента потенциала переноса, которым служит разность значений активности воды и продукта. Величина потенциала непосредственно связана с энергией связи воды в продукте. Так, адсорбционно связанная вода перемещается в продукте в виде пара и потенциалом переноса является парциальное давление пара. Вода микро- и макрокапилляров перемещается в виде жидкости (молекулярный перенос) или пара. В первом случае потенциалом переноса служит капиллярный потенциал, во втором — парциальное давление паров воды. Осмотически связанная вода перемещается в виде жидкости (диффузионный перенос), и потенциалом является осмотическое давление, которое связано с активностью воды раствора.

Для определения активности воды пищевых продуктов используют различные методы: манометрические (непосредственное измерение давления паров воды в вакууме), гигрометрические, тензометрические и т. д.

Поскольку градиент значений активности воды продукта и относительной влажности окружающей среды служит движущей силой массового обмена при различных термических и гидротермических процессах данные об активности воды обрабатываемых продуктов необходимы для обоснования рациональных режимов этих процессов.

Получение данных по влиянию электроактивированного воздуха на активность воды обрабатываемого солода позволит более глубоко изучить процесс сушки солода и влияние на него обработки электроактивированным воздухом, значительно снизить поиск рациональных режимов обработки.

В технологиях сушки растительных материалов озон был впервые использован в 1980 году в ГСХИ (в настоящее время УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия») Троцкой Т.П. [6] в опытах на зерне. При этом ставилась задача обеззараживания зерна параллельно с конвективной сушкой. Был достигнут положительный эффект не только в плане обеззараживания, но и в плане интенсификации сушки.

Воздействие озона на первом этапе сушки на растительные материалы инициирует устичное движение, регулирующее интенсивность транспирации (процесса движения воды через растение и ее испарение через наружные органы растения). Индуцируемое озоном усиление транспирации приводит к резкому снижению оводненности растительной ткани и потере тургорного давления, что обуславливает нарушение регуляторных функций устьиц.

Результаты исследований в данной области [8] показали, что при сушке в озоновооздушной среде сжатие клеточных мембран под действием озона будет создавать градиент давления и «выталкивать» влагу без ее испарения и повышения температуры.

В комплексе рассмотренные аспекты взаимодействия озона с высушиваемым растительным материалом в процессе сушки в озоново-воздушной среде снижают энергетический уровень связей влаги с материалом и вносят определенный вклад в интенсификацию тепло-массообмена. В результате исследований процесса сушки растительных материалов озонированным сушильным агентом однозначно установлено, что ускорение массообменных процессов происходит за счет увеличения влагоотдачи самого высушиваемого материала на основе физико-химических, биохимических процессов [9–11].

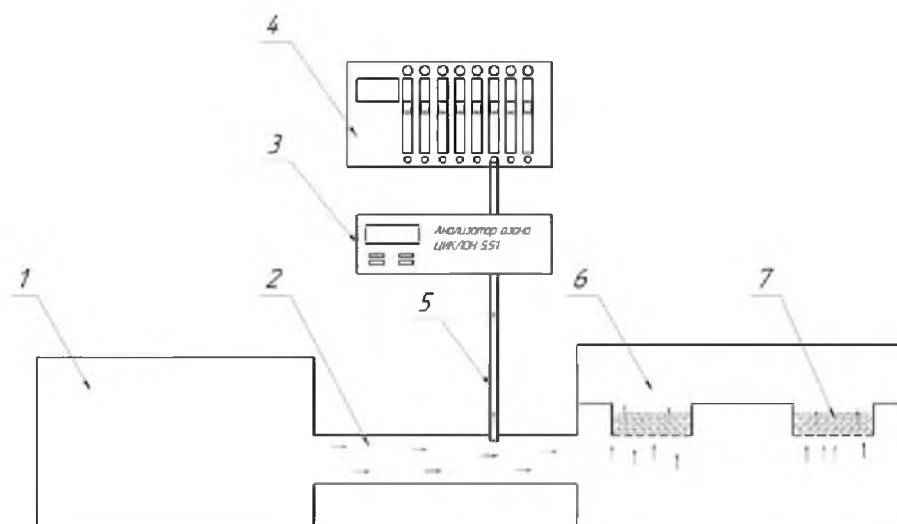
Цель работы — изучить влияние предварительной обработки солода электроактивированным в разрядной камере воздухом на процесс сушки солода.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- ♦ определить влияние предварительной обработки солода электроактивированным воздухом на показатель активности воды;
- ♦ разработать рациональные режимы интенсификации процесса сушки за счет использования биостимулирующих свойств электроактивированного воздуха.

Приборы и методика проведения испытаний. Для выполнения научно-исследовательской работы использованы следующие приборы и оборудование.

Электроактивацию воздуха проводили при помощи пластинчатого генератора озона производства ООО «ЭВОЗОН» Обработку солода проводили на лабораторной установке, принципиальная схема которой и общий вид представлены на рис. 1–2. Поток воздуха, проходя через озонатор, преобразуется в озono-воздушную смесь, которая по воздуховоду подается в нижнюю часть короба и проходя через слой свежепорощенного солода оказывает влияние на растущее зерно. С помощью газоанализатора определена концентрация озона в озono-воздушной смеси. Для измерения концентрации озона применялся оптический газоанализатор «ЦИКЛОН – 5.51» производства ЗАО «ОПТЕК», а также автоматический восьмиканальный пробоотборник воздуха ОП 824ТЦ.



1 — генератор озона; 2 — воздуховод; 3 — газоанализатор озона «ЦИКЛОН 5.51»; 4 — автоматический пробоотборник воздуха; 5 — трубка для забора газа в анализатор; 6 — короб с сетчатым дном для обработки образцов; 7 — обрабатываемый солод.

Рис. 1. Принципиальная схема лабораторной установки
Fig. 1. Schematic diagram of the laboratory installation



Рис. 2. Обработка свежепорощенного солода электроактивированным воздухом
Fig. 2. Processing of freshly brewed malt with electroactivated air

Обработку солода, отобранного перед стадией сушки с грядок ОАО «Белсолод», проводили в лабораторных условиях с концентрациями озона в озono-воздушной смеси (ОВС) 5, 15 и 45 мг/м³, и продолжительностью озонирования 2, 4, 8, 20 минут. Диапазон изменения концентраций озона определялся исходя из ранее полученного опыта при проведении сушки растительного сырья с использованием озона, в частности лекарственных трав, корня валерьяны, а также зерна. Данные концентрации не оказывают негативного влияния на физико-химические показатели высушиваемого материала и довольно легко достижимы в про-

изводственных условиях. Разная продолжительность обработки исследовалась для определения дальнейших технологических приемов обработки пророщенного солода в производственных условиях.

Контрольная сушка образцов проводилась в сушильном шкафу при температуре воздуха 50–55 °С (рис. 3).



Рис. 3. Контрольная сушка обработанных образцов
Fig. 3. Control drying of treated samples

Влажность определяли при помощи высушивания до постоянной массы на автоматическом анализаторе влажности Эвлас-2М.

Результаты исследований и их обсуждение. Проведен ряд экспериментов по определению показателя активности воды в обработанном солоде и контрольная сушка обработанных образцов. Анализируя данные (рис. 4) по влиянию обработки электроактивированным воздухом на показатель активности воды, установили следующую закономерность: при обработке электроактивированным воздухом пророщенного на грядке солода, непосредственно после обработки, происходит снижение активности воды на 5–7 % по сравнению с контрольным образцом необработанного солода, затем происходит рост данного показателя на 6–8 % выше уровня необработанного солода, что свидетельствует о пропорциональном изменении энергии связи воды с материалом.

Градиент значений активности воды продукта служит движущей силой массообмена при различных термических и гидротермических процессах, а полученные данные об активности воды обрабатываемого солода свидетельствуют о том, что процесс сушки солода целесообразно начинать в той фазе, когда активность воды обработанного солода больше, чем необработанного. По результатам исследований установлено, что наиболее целесообразно переходить к сушке не менее чем через 60 минут после обработки в течении 4 и 8 минут в барьерном разряде, и не менее чем через 120 минут при обработке в течение 2 минут стримерным разрядом.

Несмотря на то, что при обработке стримерным разрядом, судя по активности воды, наблюдалось более длительное угнетение влагоотдачи, дальнейшее увеличение показателя активности воды превысило данный показатель у образцов, обработанных в барьерном разряде. Таким образом для проведения дальнейших исследований и поиска рациональных режимов обработки вызывает интерес исследование обоих режимов работы озонаторного оборудования.

Проведена контрольная сушка обработанных образцов. В ходе сушки каждые 30 минут проводился отбор проб для определения влажности высушиваемых образцов. Результаты исследования влияния обработки электроактивированным воздухом растущего солода на продолжительность его сушки представлены на графике (рис 5).

Анализируя данные по влиянию обработки электроактивированным воздухом на процесс сушки свежепророщенного солода, можно сделать заключение о положительном влиянии данной обработки на процесс сушки. В среднем наблюдается ускорение процесса на 10–12 %, а в некоторых опытах оно достигало 15%.

Заключение. С целью интенсификации процесса сушки пророщенного солода изучено влияние предварительной обработки солода электроактивированным воздухом на показатель активности воды. Определено, что градиент значений активности воды продукта служит

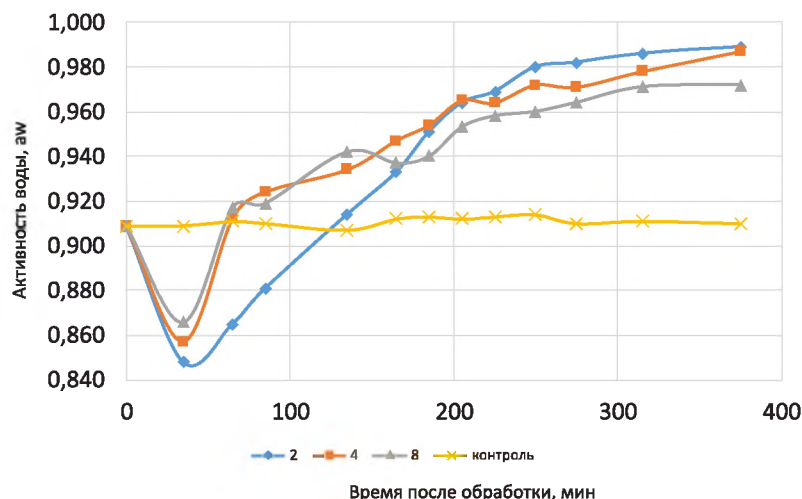


Рис. 4. Зависимость активности воды в обрабатываемых пробах от времени после обработки
 Fig. 4. Dependence of water activity in the processed samples on the time after processing

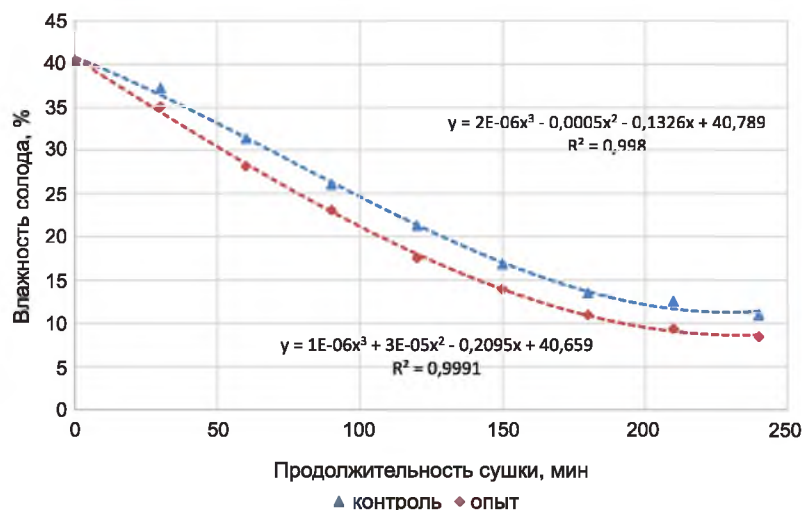


Рис. 5. Зависимость влажности обработанного в течении 20 минут электроактивированным воздухом с концентрацией озона 5 мг/м³ (нижняя кривая) и необработанного контрольного образца (верхняя кривая) от времени сушки
 Fig. 5. Dependence of the humidity of the electroactivated air with an ozone concentration of 5 mg/m³ treated for 20 minutes (lower curve) and the untreated control sample (upper curve) on the drying time

движущей силой масовлагообмена при различных термических и гидротермических процессах. Анализ полученных результатов об активности воды обрабатываемого солода, позволил разработать рациональные режимы сушки солода. Установлено, что для интенсификации процесса сушку солода целесообразно начинать не менее чем через 60 минут после предварительной обработки его электроактивированным воздухом в течение 4 и 8 минут в барьерном разряде, и не менее чем через 120 минут при обработке в течение 2 минут стримерным разрядом. В результате проведенных исследований установлено, что предварительная обработка свежепропорощенного солода электроактивированным воздухом способствует повышению эффективности и ускорению процесса на 10–12 % по сравнению с традиционной схемой сушки солода.

Список использованных источников

1. Атаназевич, В. И. Сушка пищевых продуктов: справочное пособие / В.И. Атаназевич. — М.: ДеЛи, 2000. — 296с.
2. Гинзбург, А. С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов/А.С. Гинзбург. — М.: Пищевая промышленность, 1973.— 528 с.

3. *Аминов, М. С.* Технологическое оборудование консервных и овощесушильных заводов / М.С. Аминов, М.С. Мурадов, Э.М. Аминова. — М.: Колос, 1996. — 432 с.
4. *Бурич, О.* Сушка плодов и овощей / О. Бурич, Ф. Берки. — М.: Пищевая промышленность, 1978. — 280 с.
5. Активность воды как фактор стабильности качества продукции общественного питания — Режим доступа: https://moodle.kstu.ru/pluginfile.php/299306/mod_resource/content/1/Лекция.%20Активность%20воды.pdf. — Дата доступа: 17.03.2022.
6. Авторское свидетельство №1095899 (СССР). Способ сушки семян зерновых культур. — 1981, бюл. №3.
7. *Родичев, В. А.* Энергосберегающие технологии производства сельскохозяйственных культур / В.А. Родичев, Т.В. Царькова // Механизация и электрификация сельского хозяйства. — 1987. — №2. — С. 62–64.
8. *Троцкая, Т. П.* Энергосберегающая технология сушки сельскохозяйственных материалов в озонородной среде / Т. П. Троцкая. — Минск, 1997. — 75 с. — (Препринт / БелНИИМСХ).
9. *Bloome, P. D.* Simulation of low temperature drying of shelled corn bading to optimization. Unpublished Ph.D. Thesis. Univ, of Illings / P. D. Bloome. — Urbana, 1998. — 168 p.
10. *Stove, G.C.* Simultaneous multilayer grain drying / G.C. Stove. — Trans. ASAE, 14, 2002. — P.134–137.
11. *Баскаков, И. В.* Совершенствование технологии послеуборочной обработки и хранения зернового материала: диссертация доктора сельскохозяйственных наук : 05.20.01 / И.В. Баскаков. — Воронеж, 2019. — 339 с.

Информация об авторах

Зайченко Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, заместитель генерального директора по научной и инновационной работе РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: info@belproduct.com

Литвинчук Александр Аркадьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела новых технологий и техники РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: newteh@belproduct.com

Куликов Алексей Валентинович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела новых технологий и техники РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: newteh@belproduct.com

Жакова Кристина Ивановна, кандидат технических наук, ученый секретарь РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: info@belproduct.com

Миронов Алексей Михайлович, кандидат технических наук, директор ООО «Эвонзон» (ул. Ольшевского, д. 20, 220041, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: 6357316@mail.ru

Information about authors

Zaichenko Dmitry Alexandrovich, PhD (Engineering), Deputy General Director for Scientific and Innovative Work of RUE "Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus" (29 Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: info@belproduct.com

Litvinchuk Alexander Arkadievich, PhD (Engineering), Senior Researcher of the Department of New Technologies and Engineering of RUE "Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus" (29 Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: newteh@belproduct.com

Kulikov Alexey Valentinovich, PhD (Engineering), Senior Researcher of the Department of New Technologies and Engineering of RUE "Scientific and Practical Centre for Food-stuffs of the National Academy of Sciences of Belarus" (29 Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: newteh@belproduct.com

Zhakova Cristina Ivanovna, PhD (Engineering), scientific secretary of RUE "Scientific and Practical Centre for Food-stuffs of the National Academy of Sciences of Belarus" (29 Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: info@belproduct.com

Mironov Alexey Mikhailovich, PhD (Engineering), Director of Evozon LLC (Minsk, 20 Olshevsky Str., 220041, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: 6357316@mail.ru