

5. Radnaev D.N. Metodologicheskie osnovy razrabotki tekhnologii i tekhnicheskikh sredstv poseva pri vozdelevanii zernovykh kultur v usloviakh Zabaikalia: avtoreferat dis. ... doktora tekhnicheskikh nauk / Vost.-Sib. gos. un-t tekhnologii i upr. – Ulan-Ude, 2013.

6. Korrektor-raspredelitel stsepnogo vesa boronovalnogo mashinno-traktornogo agregata, patent na izobretenie No. 2782360 Ros. Federatsiia, MKI A01V 21/08, E.E. Kuznetsov, S.V. Shchitov, V.V. Leonov, A.N. Kushnarev, A.A. Kislov zaiavitel i patentoobladatel FGBOU VO Dalnevostochnyi GAU,

zaiavka No. 2022104842 ot 22.02.2022. Opublikovano 26.10.2022. Biul. No. 30.

7. GOST 26955-86. Tekhnika selskokhoziaistvennaia mobilnaia. Normy vozdeistviia dvizhitelei na pochvu. – Moskva: Izd-vo standartov, 1986. – 18 s.

8. GOST R 58656-2019. Tekhnika selskokhoziaistvennaia mobilnaia. Metody opredeleniia vozdeistviia dvizhitelei na pochvu. – Moskva: Izd-vo standartov, 2019. – 20 s.



УДК 66.096.5-932.2

DOI: 10.53083/1996-4277-2024-240-10-93-100

И.А. Короткий, А.М. Осинцев, Е.В. Короткая, А.Н. Расщепкин, А.В. Усов

I.A. Korotkiy, A.M. Osintsev, E.V. Korotkaya, A.N. Rasshchepkin, A.V. Usov

ОБОСНОВАНИЕ СКОРОСТНОГО РЕЖИМА ВОЗДУШНОГО ПОТОКА ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ПРИ ФЛЮИДИЗАЦИОННОМ ЗАМОРАЖИВАНИИ ЯГОД ЖИМОЛОСТИ

SUBSTANTIATION OF AIR FLOW SPEED RATE FOR MINIMIZING ENERGY COSTS DURING FLUIDIZED-BED FREEZING OF HONEYSUCKLE BERRIES

Ключевые слова: жимолость, флюидизация, быстрое замораживание, скороморозильный аппарат, псевдоожоженный слой, шоковая заморозка.

Флюидизационное замораживание позволяет наилучшим образом сохранить качественные характеристики плодов и ягод. Проектирование процессов низкотемпературной обработки во флюидизационных скороморозильных аппаратах является комплексной задачей, требующей учета различных факторов, имеющих разнонаправленное влияние на процесс. Разработка доступных энергоэффективных систем, обеспечивающих высокое качество замороженного плодового сырья, является важным направлением развития агропромышленных технологий. Целью исследования выбран анализ режимов низкотемпературной обработки при флюидизационном замораживании ягод жимолости с точки зрения оптимизации энергетических затрат при реализации процесса. Анализ энергетических затрат для реализации процесса флюидизационного замораживания основывался на теории подобия в процессе теплообмена с использованием критериальных уравнений теории подобия. Расчеты производились с помощью электронных таблиц Excel и программного пакета MathCad. Определен диапазон скоростей флюидизации для замораживания ягод жимолости в диапазоне температур воздушной среды от -15 до -45°C. Допустимый диапазон скоростей потока воз-

духа составляет от 1,5 до 9 м/с, что обеспечивает режим флюидизации, при этом не допускает унос ягод жимолости из рабочей зоны аппарата. Минимальные энергетические затраты на реализацию процесса флюидизационного замораживания для ягод жимолости будут иметь место при скорости движения воздуха порядка 1,5-2 м/с при минимальной температуре воздушной среды. Результаты исследования позволили сделать вывод о целесообразности понижения температуры воздуха во флюидизационном скороморозильном аппарате при скорости движения воздуха, близкой к нижней границе диапазона скоростей флюидизации. В этом случае затраты энергии на организацию движения воздуха при замораживании 1 кг ягоды при скорости движения воздуха 2 м/с и температуре воздушной среды -40°C составят 45 кДж.

Keywords: honeysuckle, fluidization, rapid freezing, fast-freezing system, fluidized bed, shock freezing.

Fluidized-bed freezing allows at best preserving the quality characteristics of fruits and berries. Designing of low-temperature processing in fluidized-bed fast-freezing systems is a complex task that requires taking into account various factors that have multidirectional influence on the process. The development of affordable energy-efficient systems that ensure high quality of frozen fruit and berry raw materials is an important direction in the development

of agro-industrial technologies. The research goal was to analyze low-temperature processing regimes during fluidized-bed freezing of honeysuckle berries from the point of view of optimizing energy costs when implementing the process. The analysis of energy costs for the implementation of fluidized-bed freezing was based on the theory of similarity in heat transfer processes using criterion equations of the theory of similarity. Calculations were made using Excels spreadsheets and the MathCad software package. The range of fluidization rates for freezing honeysuckle berries was determined in the air temperature range from -15°C to -45°C . The acceptable range of air flow speeds is from 1.5 to 9 m/s. This range provides a fluidiza-

tion regime while preventing the removal of honeysuckle berries from the working area of the system. The minimum energy costs for implementing fluidized-bed freezing process for honeysuckle berries will occur at an air speed of about 1.5-2 m/s at a minimum air temperature. The research findings allow concluding that it is advisable to lower the air temperature in fluidized-bed fast-freezing system at an air speed close to the lower limit of the fluidization speed range. In this case, the energy consumption for organizing air movement when freezing 1 kg of berries will be 45 kJ at an air speed of 2 m/s and an air temperature of -40°C .

Короткий Игорь Алексеевич, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово, Российская Федерация, e-mail: krot69@mail.ru.

Осинцев Алексей Михайлович, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово, Российская Федерация, e-mail: olex1@mail.ru.

Короткая Елена Валерьевна, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово, Российская Федерация, e-mail: lena_short@mail.ru.

Расщепкин Александр Николаевич, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово, Российская Федерация, e-mail: technochołod@mail.ru.

Усов Андрей Васильевич, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово, Российская Федерация, e-mail: usov-kemtipp@rambler.ru.

Korotkiy Igor Alekseevich, Dr. Tech. Sci., Prof., Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation, e-mail: krot69@mail.ru.

Osintsev Aleksey Mikhaylovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation, e-mail: olex1@mail.ru.

Korotkaya Elena Valerevna, Dr. Tech. Sci., Prof., Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation, e-mail: lena_short@mail.ru.

Rasshchepkin Aleksandr Nikolaevich, Dr. Tech. Sci., Prof., Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation, e-mail: technochołod@mail.ru.

Usov Andrey Vasilevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation, e-mail: usov-kemtipp@rambler.ru.

Введение

Жимолость является одной из значимых ягодных культур в Сибири. Она богата сахарами, органическими кислотами, дубильными и красящими веществами, аскорбиновой кислотой и Р-активными соединениями. Это обуславливает высокую пищевую ценность плодов жимолости. Кроме того, ягоды жимолости обладают выраженным лечебно-профилактическим действием [1].

В ягодах жимолости содержится до 9% сахаров, около 1% кислот (в том числе до 50 мг% аскорбиновой кислоты), витамины Р, В₁, В₂, провитамин А, пектиновые, дубильные и красящие вещества, соли калия, магния, фосфора, кальция, железа, марганца, йода, меди и другие микроэлементы [2]. Регулярное потребление в пищу ягод жимолости способствует снижению кровяного давления, укрепляет стенки кровеносных сосудов, защищает организм от отравления солями тяжелых металлов [3].

Поскольку в Западной Сибири имеется достаточная сырьевая база высокоценного продукта жимолости, изучение возможности использования ягоды для заготовки и низкотемпературного консервирования представляет большой практический интерес [4].

Замораживание является оптимальным способом длительного хранения ягод, при этом быстрое замораживание позволяет наилучшим образом сохранить ценные компоненты и структуру плодов [5].

Оптимальным, с точки зрения технической реализации процесса, а также сохранения товарного вида и органолептических характеристик ягод, является флюидизационное замораживание [6]. При этом необходимо иметь в виду, что ягоды жимолости имеют вытянутую форму – линейный размер ягод жимолости в зависимости от сорта может достигать в длину до 2,5 мм, к тому же содержание воды в них составляет порядка 85%. Ягоды жимолости имеют доста-

точно нежную консистенцию, поэтому обладают подверженной механическим повреждениям структурой.

При этом флюидизационное замораживание является достаточно энергоемким процессом, поскольку требуется не только создать условия для эффективного теплоотвода от объекта замораживания при низких температурах, но и обеспечить эффективную циркуляцию и теплообмен больших объемов воздуха в ограниченном пространстве скороморозильного аппарата [7].

Флюидизационное замораживание является эффективным методом низкотемпературной обработки агропромышленного сырья, поскольку позволяет наилучшим образом сохранить качественные характеристики продукта. Важным преимуществом этого метода также является равномерное охлаждение и замораживание того продукта, низкотемпературная обработка которого производится.

Цель работы заключалась в определении диапазона скоростей движения воздушной среды в флюидизационном скороморозильном аппарате, в котором реализация процесса замораживания в псевдооживленном слое потребует минимальных энергетических затрат.

Проектирование процессов низкотемпературной обработки во флюидизационных скороморозильных аппаратах является комплексной задачей, требующей учета различных факторов, имеющих разнонаправленное влияние на процесс [8]. Один из ключевых аспектов при таком проектировании – анализ и оптимизация условий замораживания при различных режимах низкотемпературной обработки.

Выполнение работы потребовало решения следующих **задач**:

- создание методики расчета энергетических затрат, необходимых для организации режима флюидизации ягод в воздушном флюидизационном аппарате;
- определение критических скоростей флюидизации при замораживании ягод жимолости при различных температурных режимах низкотемпературной обработки;
- определение рабочего диапазона скоростей флюидизации в скороморозильном аппарате, обеспечивающего возникновение псевдооживленного слоя и исключающего унос ягод из рабочей зоны при замораживании;

- определение диапазона скоростей движения воздуха при флюидизационном замораживании, обеспечивающего минимальный уровень энергетических затрат при реализации процесса.

Объект исследования и методика расчета

Для проектирования процессов быстрого замораживания ягод жимолости необходимо задаться массогабаритными показателями сырья. На основании статистических исследований ягод жимолости (сорт Черничка), собранной в Кемеровской области урожаям 2021-2022 гг., определены следующие средние значения: средняя масса единичной ягоды 0,72 г, плотность продукта 932 кг/м³, насыпная плотность ягод 643 кг/м³, пористость слоя 0,321, средние размеры единичной ягоды, поскольку ягоды жимолости имеют вытянутую форму, средний эквивалентный диаметр ягоды в максимальном по диаметру сечении составляет 8,5±0,5 мм, длина ягоды 19±0,5 мм.

Границы режима флюидизации задаются критическими скоростями w' , w'' [9]. Первая критическая скорость w' характеризует начало левитации ягод в потоке проходящего через них воздуха и определяется как функция кинематической вязкости воздуха (ν_a , м²/с) и диаметра d плода (м)

$$w' = \frac{\nu_a}{d} \times \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}}. \quad (1)$$

Критерий Архимеда (Ar), определяемый через соотношение плотностей продукта (ρ_{np} , кг/м³) и проходящего через него воздуха (ρ_a , кг/м³), определяется по формуле

$$Ar = \frac{g \cdot d \cdot \rho_{np}}{\nu_a^2 \cdot \rho_a}, \quad (2)$$

где g – ускорение свободного падения.

Вторая критическая скорость движения воздуха w'' характеризует скорость, при которой возможен унос ягод из рабочей зоны аппарата:

$$w'' = \frac{\nu_a}{d} \times \frac{Ar}{18 + 0,6 \cdot \sqrt{Ar}}. \quad (3)$$

Продолжительность замораживания ягод жимолости с достаточно высокой точностью можно определить по формуле Планка [10]. Для продуктов с эквивалентным диаметром d (м) формула Планка учитывает коэффициент теплоотдачи от продукта к воздуху (α , Вт/(м²·К)), теплопроводность замороженной части продукта

($\lambda_3, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$), плотность продукта ($\rho_{np}, \text{кг}/\text{м}^3$) и удельную теплоту, отводимую от продукта в процессе замораживания ($q_3, \text{Дж}/\text{кг}$):

$$\tau_3 = \frac{q_3 \cdot \rho_{np}}{t_{кр} - t_a} \times \frac{d}{6} \left(\frac{d}{4\lambda_3} + \frac{1}{\alpha} \right), \quad (4)$$

где $t_{кр}$ – криоскопическая температура продукта, °С.

Коэффициент теплоотдачи α можно представить как функцию критерия Нуссельна (Nu), теплопроводности воздуха (λ_a) и диаметра продукта (d) по формуле:

$$\alpha = Nu \cdot \lambda_a / d. \quad (5)$$

Критерий Нуссельта для теплоотдачи при флюидизации зависит от критериев Прандтля Pr и Рейнольдса Re и определяется по уравнению:

$$Nu = 0,03 \cdot Pr^{1/3} \cdot Re. \quad (6)$$

Критерий Прандтля, в свою очередь, зависит от параметров воздуха – динамической вязкости ($\mu_a, \text{Па}\cdot\text{с}$), удельной величины изобарной теплоемкости ($c_p, \text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$) и теплопроводности (λ_a):

$$Pr = \mu_a c_p / \lambda_a. \quad (7)$$

Критерий Рейнольдса определяется динамическими характеристиками воздушного потока – скоростью ($\omega, \text{м}/\text{с}$), плотностью ($\rho_a, \text{кг}/\text{м}^3$), динамической вязкостью (μ_a) и диаметром продукта (d):

$$Re = \omega \cdot d \cdot \rho_a / \mu_a. \quad (8)$$

Теплота, отводимая при воздушном замораживании от ягоды, передается воздуху, поэтому при расчете процесса низкотемпературной обработки необходимо рассчитать количество воздуха ($m_a, \text{кг}$), способное воспринять эту теплоту [11].

Определить количество воздуха для замораживания 1 кг ягоды можно по формуле:

$$m_a = \frac{\Delta h}{c_p \cdot \Delta t_a}, \quad (9)$$

где Δh – разность энтальпий ягоды при изменении ее температуры от +10°С до -18°С, Дж/кг;

Δt_a – изменение температуры воздуха после теплового взаимодействия с продуктом, К.

Изменение энтальпии ягод при замораживании в заданном температурном диапазоне определяется исходя из известного компонентного состава ягод [12], а также из теплоты фазового перехода влаги, присутствующей в ягодах жимолости. Δh соответствует произведению коэффициента теплоотдачи α от ягоды к воздуху,

площади поверхности плода F_{np} и среднелогарифмической разности температуры Δt_m :

$$\Delta h = \alpha \cdot F_{np} \cdot \Delta t_m. \quad (10)$$

Среднелогарифмическая разность температур определяется по формуле:

$$\Delta t_m = \frac{t_{e2} - t_{e1}}{\ln \frac{t_{кр} - t_{e1}}{t_{кр} - t_{e2}}}, \quad (11)$$

где t_{e1} – температура воздуха на входе в рабочую зону;

t_{e2} – температура воздуха на выходе из рабочей зоны;

$t_{кр}$ – криоскопическая температура ягод [12].

Температуру воздуха на выходе из рабочей зоны определяли методом последовательных приближений из формулы (13).

Объем воздуха V_a , соответствующий требуемой массе, определенной по формуле (9), рассчитывается по формуле:

$$V_a = m_a / \rho_a. \quad (12)$$

Количество энергии (L_a), необходимое для обеспечения циркуляции требуемого количества воздуха с заданной скоростью, определяется по формуле:

$$L_a = V_a \cdot \Delta P / \eta_e, \quad (13)$$

где η_e – к.п.д. вентилятора;

ΔP – аэродинамическое сопротивление системы циркуляции воздуха.

Наибольшая величина потерь в аэродинамическом контуре имеет место в псевдооживленном слое, сетчатом поддоне для замораживаемой ягоды, а также в орбренных секциях испарителя [14]. Потери давления в других элементах аэродинамического контура относительно невелики, поэтому их можно учесть аэродинамическим КПД вентилятора.

Аэродинамическое сопротивление псевдооживленного слоя ($\Delta P_\phi, \text{Па}$) зависит от характеристик потока воздуха и параметров продукта:

$$\Delta P_\phi = 1,67 \left(Re \frac{H_c}{d} \right)^{0,2} \times \frac{G_{np}}{F_n}, \quad (14)$$

где H_c – высота псевдооживленного слоя, м;

F_n – площадь, занимаемая ягодами на сетчатом поддоне, м^2 ;

G_n – масса ягоды на сетчатом поддоне.

Высота псевдооживленного слоя определяется по формуле:

$$H_c = H_0 \left(\frac{1 - \varepsilon_0}{1 - \varepsilon} \right), \quad (15)$$

где H_0 – высота слоя продукта на поддоне до режима флюидизации, м;

ε_0 – пористость ягод;

$$\varepsilon = \left(\frac{18Re + 0,36Re^2}{Ar} \right)^{0,21} \quad \text{– пористость ягод}$$

в режиме флюидизации.

Аэродинамическое сопротивление сетчатого поддона (ΔP_n , Па) определяется по эмпирической формуле:

$$\Delta P_n = 13,72 \cdot w^2 - 43,12 \cdot w + 119,36, \quad (16)$$

где w – скорость потока воздуха, м/с.

Аэродинамическое сопротивление оребренной секции испарителя (ΔP_u , Па) находится по формуле:

$$\Delta P_u = 1,35 \cdot A \cdot Re^{-0,24} \rho_a \cdot w^2, \quad (17)$$

где A – коэффициент, учитывающий характеристики секции испарителя.

Гидравлическое сопротивление аэродинамического контура определяется как сумма значимых аэродинамических сопротивлений с учетом дополнительно возникающих сопротивлений, расчет которых не производился, $\xi=1,1$:

$$\Delta P = \xi (\Delta P_\phi + \Delta P_n + \Delta P_u). \quad (18)$$

Результаты исследования

Результаты определения критических скоростей флюидизации, рассчитанные по формулам (1-3) для ягод жимолости, представлены на графиках (рис. 1).

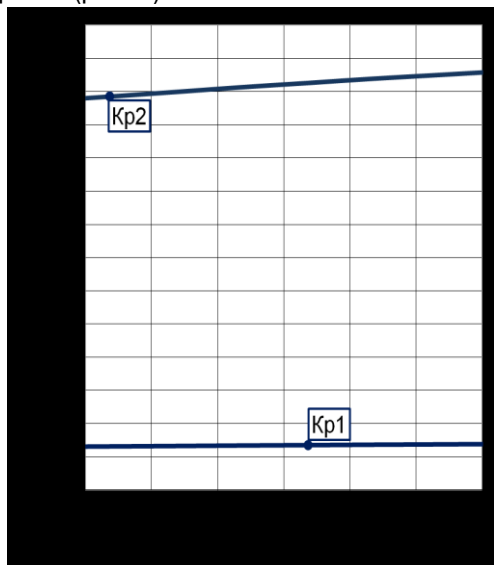


Рис. 1. График зависимости критических скоростей флюидизации $w'(Kp1)$ и $w''(Kp2)$ для жимолости от температуры воздуха t

Диапазон скоростей воздуха, в котором имеет место флюидизация, в рабочей зоне аппарата составляет от 1,3 до 12,3 м/с в диапазоне температур воздуха $-45 \div -15^\circ\text{C}$.

Учитывая индивидуальные характеристики отдельных ягод, определен диапазон скоростей, который рекомендован для быстрого замораживания ягод жимолости в скороморозильном аппарате воздушного типа. Диапазон скоростей воздуха, гарантирующий возникновение эффекта флюидизации и исключающий унос ягод из рабочей зоны, составляет $2 \div 9$ м/с.

Расчет продолжительности замораживания ягод жимолости при различных режимах низкотемпературной обработки позволяет оптимизировать процесс и обеспечить высокую эффективность замораживания продукции [15]. Результаты расчетов, выполненные по формулам (4)-(8), представлены на графиках (рис. 2).

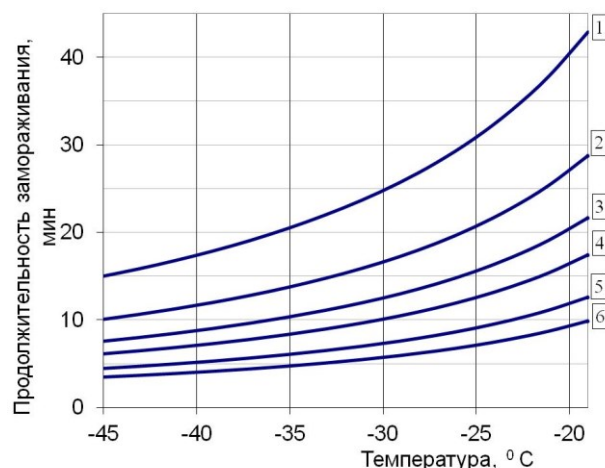


Рис. 2. Продолжительность замораживания ягод жимолости при скорости движения воздуха:

1 – 2 м/с; 2 – 3 м/с; 3 – 4 м/с; 4 – 5 м/с;
5 – 7 м/с; 6 – 9 м/с

С помощью формул (9)-(18) определены затраты энергии на создание и поддержание режима флюидизации в рабочей зоне скороморозильного аппарата для замораживания ягод жимолости в зависимости от скорости и температуры воздушной среды. Начальная температура ягоды (t_n) принималась 10°C , конечная температура замораживаемой ягоды (t_k) -18°C . Полученные зависимости приведены на рисунке 3.

Результаты расчетов свидетельствуют о том, что для ягод жимолости на интенсивность флюидизационного замораживания наибольшее

влияние оказывает понижение температуры воздуха в флюидизационном аппарате. Увеличение скорости движения воздуха приводит к повышению интенсивности теплообмена и уменьшению продолжительности замораживания, однако рост энергозатрат, обусловленный необходимостью создания большей скорости воздушной среды, не дает выигрыша за счет уменьшения продолжительности низкотемпературной обработки. Таким образом, для флюидизационного замораживания ягод жимолости оптимальными являются скорости, близкие к скоростям начала флюидизации.

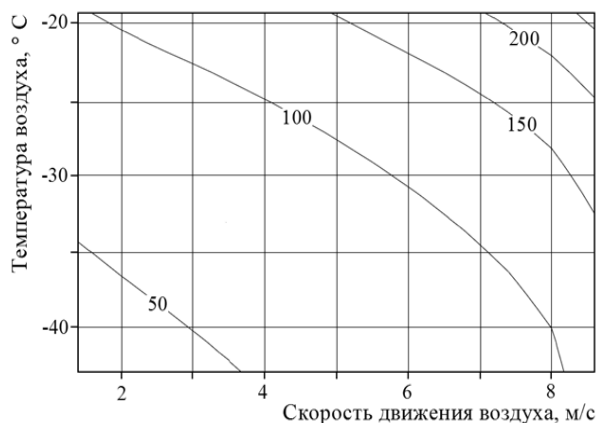


Рис. 3. Удельные затраты энергии (кДж/кг), требуемые для обеспечения режима флюидизации в скороморозильном аппарате при замораживании ягод жимолости от начальной температуры ягод 10°С до конечной среднеобъемной температуры ягоды -18°С

Заключение

Увеличение скорости движения воздуха в псевдооживленном слое интенсифицирует теплообмен, уменьшает продолжительность замораживания ягоды и, таким образом, уменьшает расход энергии на обеспечение режима флюидизации. При этом с увеличением скорости движения растут пропорционально квадрату скорости аэродинамические потери в циркуляционном контуре скороморозильного аппарата. В этом контексте увеличение скорости движения воздушной среды увеличивает энергетические затраты на организацию движения воздушной среды. Соответственно, при относительно малых скоростях увеличение скорости движения воздуха уменьшает удельные энергетические затраты, требуемые для замораживания ягоды. При относительно высоких скоростях движения воздуха увеличение энергетических затрат, не-

обходимое для компенсации возрастающих аэродинамических потерь, превышает положительный эффект от увеличения эффективности теплообмена при низкотемпературной обработке ягоды.

Результаты расчетов свидетельствуют о том, что для ягод жимолости диапазон скоростей флюидизации, в котором энергозатраты на обеспечение циркуляции воздуха в скороморозильном аппарате минимальны, составляет $2 \pm 0,5$ м/с. При этом энергетические затраты, необходимые для обеспечения циркуляции воздуха уменьшаются с понижением температуры воздушной среды. Энергетические затраты на обеспечение циркуляции воздушной среды для температуры воздуха в скороморозильном аппарате -40°С при скорости движения воздуха 2 м/с составят 45 кДж на 1 кг замороженной ягоды.

Библиографический список

1. Короткий, И. А. Сибирская ягода. Физико-химические основы технологий низкотемпературного консервирования / И. А. Короткий; Федеральное агентство по образованию, Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет). – Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет), 2007. – 146 с. – ISBN 978-5-89289-475-3. – Текст: непосредственный.
2. Зарицкий, А. В. Биологические особенности и химический состав ягод сортов и гибридов жимолости селекции Дальневосточного ГАУ / А. В. Зарицкий, А. П. Пакулина, Т. П. Платонова. – DOI 10.22450/19996837_2023_2_13. – Текст: непосредственный // Дальневосточный аграрный вестник. – 2023. – Т. 17, № 2. – С. 13-21.
3. Богатырев, А. Н. Технологическая оценка разных сортов жимолости для замораживания и сушки / А. Н. Богатырев, Н. Ю. Степанова. – Текст: непосредственный // Пищевая промышленность. – 2016. – № 3. – С. 44-47. – EDN WBANXV.
4. Перспективы разработки нектаров функционального назначения на основе плодового сырья Сибирского региона / М. С. Куракин, С. В. Новоселов, А. В. Нехорошева [и др.]. – DOI 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.02.018. – Текст: непосредственный // Ползуновский вестник. – 2020. – № 2. – С. 93-99.

5. Исследование процесса замораживания и размораживания плодовых соков / В. Ю. Овсянников, Я. И. Кондратьева, Н. И. Бостынец, А. Н. Денежная. – Текст: непосредственный // Вестник Международной академии холода. – 2015. – № 3. – С. 23-27. – EDN ULPOJF.

6. Короткий, И. А. Исследование влияния режимов замораживания и низкотемпературного хранения на качественные показатели ягод черной смородины / И. А. Короткий. – Текст: непосредственный // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2008. – № 2. – С. 291-294. – EDN ISDFVT.

7. Колодязная, В. С. История и перспективы развития холодильной технологии пищевых продуктов / В. С. Колодязная, О. Н. Румянцова, Е. И. Кипрушкина. – DOI 10.17586/1606-4313-2023-22-1-47-54. – Текст: непосредственный // Вестник Международной академии холода. – 2023. – № 1. – С. 47-54.

8. Венгер, К. П. Экспериментальные исследования процесса флюидизации при замораживании растительной продукции в низкотемпературном воздушном потоке / К. П. Венгер, В. Е. Цибульских. – Текст: непосредственный // Вестник науки. – 2020. – Т. 5, № 5 (26). – С. 213-219. – EDN OWQRMS.

9. Остроумов, Л. А. Исследование процессов замораживания плодов и ягод / Л. А. Остроумов, О. Н. Буянов, И. А. Короткий. – Текст: непосредственный // Техника и технология пищевых производств. – 2009. – № 1 (12). – С. 32-36. – EDN KUFVNB.

10. Korotkiy, I. A. Analysis of the energy efficiency of the fast freezing of blackcurrant berries / I. A. Korotkiy // Foods and Raw Materials. – 2014. – Vol. 2, No. 2. – P. 3-14. – DOI 10.12737/5454.

11. Определение режимов замораживания пищевых продуктов / Н. С. Николаев, В. Н. Корниенко, П. И. Пляшешник, А. Г. Донецких. – DOI 10.20914/2310-1202-2020-2-17-24. – Текст: непосредственный // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2020. – Т. 82, № 2(84). – С. 17-24.

12. Короткий, И. А. Определение теплофизических свойств компонентов плодовоовощной смеси в процессе замораживания / И. А. Короткий, Г. Ф. Сахабутдинова, М. И. Ибрагимов. – Текст: непосредственный // Техника и технология пищевых производств. – 2016. – № 1 (40). – С. 81-86. – EDN VRDJDB.

13. Методика определения криоскопической температуры для различных плодов и ягод / И. А. Короткий, Е. Н. Неверов, Е. В. Короткая, О. Ю. Лапшакова. – DOI 10.32786/2071-9485-2022-02-26. – Текст: непосредственный // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2022. – № 2 (66). – С. 202-208.

14. Грибов, Д. И. Технологический расчет инновационного флюидизационного скороморозильного аппарата для плодовоовощной продукции / Д. И. Грибов. – Текст: непосредственный // Холодильная техника. – 2020. – № 5. – С. 30-33. – EDN OKNIZA.

15. Короткий, И. А. Энергетическая эффективность низкотемпературных систем / И. А. Короткий, А. Н. Расщепкин. – DOI 10.31515/1019-8946-2023-02-54-57. – Текст: непосредственный // Молочная промышленность. – 2023. – № 2. – С. 54-57.

References

1. Korotkii, I.A. Sibirskaja igoda. Fiziko-khimicheskie osnovy tekhnologii nizkotemperaturnogo konservirovaniia / I.A. Korotkii; Federalnoe agentstvo po obrazovaniiu, Kemerovskii tekhnologicheskii institut pishchevoi promyshlennosti (universitet). – Kemerovo: Kemerovskii tekhnologicheskii institut pishchevoi promyshlennosti (universitet), 2007. – 146 s. – ISBN 978-5-89289-475-3.

2. Zaritskii, A.V. Biologicheskie osobennosti i khimicheskii sostav igod sortov i gibridov zhimolosti seleksii Dalnevostochnogo GAU / A.V. Zaritskii, A.P. Pakusina, T.P. Platonova // Dalnevostochnyi agrarnyi vestnik. – 2023. – Т. 17, No. 2. – S. 13-21. – DOI 10.22450/19996837_2023_2_13.

3. Bogatyrev, A.N. Tekhnologicheskaja otsenka raznykh sortov zhimolosti dlia zamorazhivaniia i sushki / A.N. Bogatyrev, N.Iu. Stepanova // Pishchevaia promyshlennost. – 2016. – No. 3. – S. 44-47.

4. Perspektivy razrabotki nektarov funktsionalnogo naznachenii na osnove plodovo-igodnogo syria Sibirskogo regiona / M.S. Kurakin, S.V. Novoselov, A.V. Nekhorosheva [i dr.] // Polzunovskii vestnik. – 2020. – No. 2. – S. 93-99. – DOI 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.02.018.

5. Issledovanie protsessa zamorazhivaniia i razmorazhivaniia plodovykh sokov / V.Iu. Ovsianikov, I.A. Kondrateva, N.I. Bostynets, A.N. Denezhnaia // Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda. – 2015. – No. 3. – S. 23-27.

6. Korotkii, I.A. Issledovanie vliianiia rezhimov zamorazhivaniia i nizkotemperaturnogo khraneniia na kachestvennye pokazateli iagod cherno smorodiny / I.A. Korotkii // Vestnik KrasGAU. – 2008. – No. 2. – S. 291-294.

7. Kolodiaznaia, V.S. Istoriia i perspektivy razvitiia kholodilnoi tekhnologii pishchevykh produktov / V.S. Kolodiaznaia, O.N. Rumiantseva, E.I. Kiprushkina // Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda. – 2023. – No. 1. – S. 47-54. – DOI 10.17586/1606-4313-2023-22-1-47-54.

8. Venger, K.P. Eksperimentalnye issledovaniia protsessov fluidizatsii pri zamorazhivaniii rastitelnoi produktsii v nizkotemperaturnom vozдушnom potoke / K.P. Venger, V.E. Tsibulskikh // Vestnik nauki. – 2020. – T. 5, No. 5 (26). – S. 213-219.

9. Ostroumov, L.A. Issledovanie protsessov zamorazhivaniia plodov i iagod / L.A. Ostroumov, O.N. Buianov, I.A. Korotkii // Tekhnika i tekhnologiiia pishchevykh proizvodstv. – 2009. – No. 1 (12). – S. 32-36.

10. Korotkiy, I. A. Analysis of the energy efficiency of the fast freezing of blackcurrant berries / I. A. Korotkiy // Foods and Raw Materials. – 2014. – Vol. 2, No. 2. – P. 3-14. – DOI 10.12737/5454.

11. Opredelenie rezhimov zamorazhivaniia pishchevykh produktov / N.S. Nikolaev, V.N. Kornienko, P.I. Pliasheshnik, A.G. Donetskikh

// Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii. – 2020. – T. 82, No. 2(84). – S. 17-24. – DOI 10.20914/2310-1202-2020-2-17-24.

12. Korotkii, I.A. Opredelenie teplofizicheskikh svoystv komponentov plodoovoshchnoi smesi v protsesse zamorazhivaniia / I.A. Korotkii, G.F. Sakhabutdinova, M.I. Ibragimov // Tekhnika i tekhnologiiia pishchevykh proizvodstv. – 2016. – No. 1 (40). – S. 81-86.

13. Metodika opredeleniia krioskopicheskoi temperatury dlia razlichnykh plodov i iagod / I.A. Korotkii, E.N. Neverov, E.V. Korotkaia, O.Iu. Lapshakova // Izvestiia Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie. – 2022. – No. 2 (66). – S. 202-208. – DOI 10.32786/2071-9485-2022-02-26.

14. Gribov, D.I. Tekhnologicheskii raschet innovatsionnogo fluidizatsionnogo skoromoroziinogo apparata dlia plodoovoshchnoi produktsii / D.I. Gribov // Kholodilnaia tekhnika. – 2020. – No. 5. – S. 30-33.

15. Korotkii, I.A. Energeticheskaiia effektivnost nizkotemperaturnykh sistem / I.A. Korotkii, A.N. Rasshchepkin // Molochnaia promyshlennost. – 2023. – No. 2. – S. 54-57. – DOI 10.31515/1019-8946-2023-02-54-57.



УДК 631.3:667.699.887

DOI: 10.53083/1996-4277-2024-240-10-100-106

**М.Х. Искандаров, Д.В. Ромашев,
А.В. Пчельников, А.П. Илясов**
M.Kh. Iskandarov, D.V. Romashev,
A.V. Pchelnikov, A.P. Ilyasov

ОГНЕСТОЙКИЕ И АНТИСТАТИЧЕСКИЕ ЛАКОКРАСОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ТЕХНИКИ И ОБОРУДОВАНИЯ АПК

FIRE-RESISTANT AND ANTISTATIC PAINT COATINGS FOR MACHINERY AND EQUIPMENT OF AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Ключевые слова: лакокрасочное покрытие, техника и оборудование, агропромышленный комплекс, огнестойкость, диэлектрические свойства, гидроксид алюминия, гидроксид магния, наноразмерные частицы, модификация.

Эксплуатация машин и оборудования в АПК отличается специфическими особенностями, одной из которых является повышенная пожароопасность, при которой работает мобильная техника в АПК. Пожароопас-

ность объектов АПК может быть значительно снижена применением их надежного заземления, а также специальных огнезащитных и антистатических лакокрасочных покрытий. Рассматриваются вопросы использования порошков наноразмерных материалов ($Al(OH)_3$ и $Mg(OH)_2$, с размером частиц 30-50 нм) в качестве добавок, которые при введении в лакокрасочные материалы дают возможность изменить их физико-химические свойства: огнестойкость (способность к возгоранию и распространению пламени) и антистати-