

# Опытно-промышленные испытания способа переработки замороженного плодово-ягодного сырья в вибрационном аппарате

**Сорокопуд Александр Филиппович**

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Адрес: 650043, город Кемерово, ул. Красная, д. 6

E-mail: [mapp@kemtipp.ru](mailto:mapp@kemtipp.ru)

**Иванов Павел Петрович**

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Адрес: 650043, город Кемерово, ул. Красная, д. 6

E-mail: [ipp7@yandex.ru](mailto:ipp7@yandex.ru)

**Суменков Максим Викторович**

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Адрес: 650043, город Кемерово, ул. Красная, д. 6

E-mail: [maksim.sumenkov@lada-avtoduk.ru](mailto:maksim.sumenkov@lada-avtoduk.ru)

**Иванова Людмила Анатольевна**

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Адрес: 650043, город Кемерово, ул. Красная, д. 6

E-mail: [lyuda\\_ivan@mail.ru](mailto:lyuda_ivan@mail.ru)

Выполненные ранее исследования способа экстрагирования замороженного плодово-ягодного сырья на моделях вибрационных аппаратов диаметром 0,15 м не позволили в полном объеме исследовать вопросы теплопередачи, размораживания, дробления, энергопотребления опытно-промышленной установки. В работе выполнена оценка факторов определяющих эффективность переработки замороженного плодово-ягодного сырья; анализ составляющих теплового баланса; разработка рекомендаций по конструктивному оформлению вибрационных аппаратов; анализ энергозатрат на работу вибрационных тарелок. Корпус установки диаметром 0,42 м оснащен теплообменной рубашкой, в которую заливается вода, нагреваемая трубчатыми электронагревателями. В корпусе установлена вибрационная тарелка диаметром 0,416 м, перфорированная цилиндрическими отверстиями диаметром 0,003 м, с долей свободного сечения 16,5 %. Шток и тарелка приводятся в возвратно поступательное движение в вертикальной плоскости с заданными значениями амплитуды и частоты. В аппарат загружались замороженные плоды красной или черноплодной рябины и вода, обеспечивая соотношение фаз твердого (Т) и жидкого (Ж)  $j = 0,2-0,4$ . Наличие теплообменной рубашки, оснащенной трубчатыми электронагревателями, позволяет регулировать подвод тепла к обрабатываемой системе в заданный момент времени и в необходимом количестве. Кривые извлечения сухих водорастворимых веществ полученные на аппаратах диаметром 0,15 м и 0,42 м близки между собой, при этом энергозатраты на проведение процесса сопоставимы и характеризуются близкими зависимостями. Это позволяет при переходе к аппаратам больших размеров необходимые энергозатраты принять пропорционально приведенным энергозатратам полученным на модельных аппаратах диаметром 0,15 м. В целом, полученные результаты показывают целесообразность использования вибрационных аппаратов диаметром до 0,42 м, оснащенных теплообменной рубашкой для переработки замороженного плодово-ягодного сырья.

**Ключевые слова:** рябина красная; рябина черноплодная; низкочастотные механические колебания; вибрационный экстрактор; размораживание; гидромодуль; экстрагирование

## Введение

Производство комбинированных и обогащенных продуктов питания зачастую построено на использовании концентрированных экстрактов, полученных из местного растительного сырья (Аванесов, 2016, с. 28-32). Суровые климатические условия Сибири – короткий срок созревания плодов и ягод, которые обычно являются скоропортящимися определяют способ консервирования, достаточно удобный для дальнейшей переработки. (Зайцева, 2012, с. 176) Наиболее дешевым и простым способом сохранения плодов и ягод является их замораживание при минус 18°C и дальнейшее хранение при этой температуре в течение 6-9 месяцев (Андреева, 2008, с. 208). Этот способ позволяет сохранить достаточно большое количество полезных веществ в сырье: витаминов, биологически активных веществ, минералов, микро- и макроэлементов, и крайне удобен как способ предварительной обработки плодово-ягодного сырья перед последующим экстрагированием (Иванов, 2014, с. 64-68). Медленное замораживание плодово-ягодного сырья сопровождается разрушением клеточных структур образовавшимися крупными кристаллами льда. В конечном итоге это облегчает последующее извлечение целевых компонентов (Сорокопуд, 2017, с. 3-9).

Традиционная технология переработки замороженного плодово-ягодного сырья предусматривает его дробление и дефростацию, отжим сока и последующее экстрагирование жома (Киселева, 2009, с. 7-11). Это сопряжено с большими производственными площадями, затратами времени, применением специального оборудования для осуществления отмеченных операций, и характеризуется высокими потерями сырья при перемещении его между операциями (Сорокопуд, 2014, с. 136). В тоже время, использование концентрированных плодово-ягодных экстрактов при производстве различных пищевых продуктов нашло широкое практическое применение (Оботурова, 2013, с. 48-50). В частности разработаны технологии производства сухих быстрорастворимых напитков (Кравченко, 2018, с. 5-10), безалкогольных напитков функционального назначения (Аванесов, 2016, с. 28-32) и слабоалкогольных напитков (Поляков, 2011, с. 523) на основе плодово-ягодных экстрактов.

Таким образом, разработка новых и совершенствование существующих способов переработки замороженного плодово-ягодного сырья в

экстракты, обеспечивающих повышение производительности, снижение энергозатрат, являющихся более гибкими, способными легко перенастраиваться на другой вид сырья без существенного изменения аппаратного оформления, с возможностью проведения максимального числа операций в одной технологической единице оборудования – актуальная научно-техническая проблема для пищевой промышленности и соответствует основным направлениям развития и совершенствования технологических линий и оборудования в них (Панфилов, 2007, с. 319).

## Литературный обзор

Наложение низкочастотных механических колебаний (НЧМК) на обрабатываемую систему при осуществлении ряда технологических процессов позволяет существенно интенсифицировать их (Варсанов, 1985, с. 240). Преимущества этого способа: создание вертикального знакопеременного движения обрабатываемой среды; интенсификация скорости обновления поверхности контакта фаз (Малышев, 2001, с. 800-805); простота конструкции; невысокая металло- и энергоемкость; высокая эффективность извлечения целевого компонента (Завьялов, 2010, с. 2011). Подводимая к системе внешняя энергия равномерно или по заранее заданному закону распределяется по рабочему объему аппарата (Шишацкий, 2018, с. 25-29); создаются достаточно благоприятные условия для диспергирования фаз, выравниванию неравномерности потока фаз по объему аппарата, создаются условия близкие к режиму идеального смешения (Бабенко, 2009, с. 336). Конструкции аппаратов этого типа отличаются возможностью быстрого перехода от одной обрабатываемой системы к другой, что особенно актуально при организации мини производств (Сорокопуд, 2014, с. 136).

Высокая эффективность наложения на систему низкочастотных механических колебаний отмечается и в ряде зарубежных работ: сокращение времени на осуществление процесса (Aravamundan, 1999, p. 1596-1604); повышение эффективности при невысоких энергозатратах (Ni, 2003, p. 373-383); турбулизация пограничного слоя (Shichting, 2017); возможность направленного подвода внешней энергии к обрабатываемой среде (Stella, 2008, p. 3996-4007); создание в аппарате условий для эффективного протекания диффузионно-конвективного массообмена в системах «жидкость – твердое тело» (Rathilal, 2010, p. 218),

а также возможность значительного повышения удельной производительности (Sincuba, 2015).

В данной работе рассматривается запатентованный способ получения экстрактов из замороженного плодово-ягодного сырья при воздействии НЧМК, создаваемых перфорированной тарелкой с применением в качестве экстрагента воды (Сорокопуд, 2008). При этом процесс осуществляется в емкостном аппарате, снабженном перфорированной тарелкой, совершающей колебания в вертикальной плоскости. Это позволяет последовательно проводить операции размораживания, дополнительного дробления и экстрагирования в одном аппарате.

### Теоретическое обоснование

Рассматриваемый способ (Сорокопуд, 2008) исследовался авторами, а также в диссертационных работах (Плотников, 2011, с. 150; Астафьева, 2013, с. 153; Халтурин, 2016, с. 136). Показано, что процессы переработки замороженного плодово-ягодного сырья осуществляются за 3-10 мин., при невысоких энергозатратах (Иванов, 2015, с. 16-20). Установлены рациональные и оптимальные параметры для переработки некоторых видов плодов и ягод, таких как: ирга, рябина красная, рябина черноплодная, клюква, брусника, черника, смородина черная и др. Предложены рекомендации для разработки аппаратов промышленных размеров (Сорокопуд, 2018, с. 154-162). Однако, исследования выполнены на моделях диаметром 0,14-0,15 м, это не позволило изучить многие важные вопросы, связанные с особенностями осуществления способа, в частности с размораживанием сырья и др., что в известной степени сдерживает внедрение способа в промышленность (Сорокопуд, 2014, с. 136).

Модельные аппараты диаметром 0,14-0,15 м ввиду конструктивных особенностей имели достаточную массу для предварительного накопления тепловой энергии, необходимой для размораживания исследуемых видов плодово-ягодного сырья, конечная температура экстрактов при этом составляла 3-8 °С, при гидромодуле (соотношении фаз: Т - твердой и Ж - жидкой  $j = (Т/Ж) = 0,3-0,4$ ). Источниками тепла, необходимого для размораживания являются: тепло сосредоточенное в экстрагенте; тепло накопленное в материале элементов установки; тепло передаваемое из окружающей среды (при отсутствии теплоизоляции); тепло выделяющееся при диссипации

энергии колебаний вибрационного органа (Плотников, 2011, с. 150). Как уже отмечалось, способ (Сорокопуд, 2008) осуществляется периодически, и для проведения следующего цикла переработки замороженного сырья аппарат необходимо нагреть до 19-20 °С. Безусловно это требует дополнительных затрат времени на обслуживание аппарата и тем больше, чем больше его масса, а также дополнительных энергозатрат на подготовку теплоносителя (Иванов, 2014, с. 64-68).

Уменьшение времени подготовки аппарата, доведение его температуры до рабочей, установление рационального способа подготовки теплоносителя – важная практическая задача, решение которой позволит повысить производительность аппарата при снижении энергозатрат, повысить гибкость способа при переработке различных видов плодово-ягодного сырья.

Однако процесс размораживания плодово-ягодного сырья в воде имеет известную особенность, которая отмечена в работе (Сорокопуд, 2017, с. 3-9) и заключается в том, что при быстром подводе тепла к замороженным плодам и ягодам на их поверхности образуется «мягкий» слой, теплопроводность которого ниже, что осложняет процессы размораживания и последующего разрушения, и в конечном счете экстракцию и растворение кристаллов льда (замороженного сока). Это важное обстоятельство, и в рассматриваемом способе носит характер ограничения. Предлагаемая работа направлена на совершенствование способа получения экстрактов из замороженного плодово-ягодного сырья в условиях низкочастотного механического воздействия.

Тепловой баланс способа аналитически рассмотрен в работе (Плотников, 2011, с. 150), а эксперименты с использованием в качестве твердой фазы замороженных ягод черники, теплофизические характеристики которых широко представлены в доступной литературе, позволили установить соотношения между источниками тепла. При этом использованы общеизвестные выражения и формулы.

Недостаток информационной базы для осуществления расчетов отдельных составляющих теплового баланса процесса размораживания и прежде всего теплофизических характеристик замороженного плодово-ягодного сырья, а также сложность масштабирования предопределили переход к модели аппарата диаметром  $Da = 0,42$  м с двойной стенкой, собранной на базе варочного котла модели КПЭСМ.

Целью работы является исследование процесса переработки замороженного плодово-ягодного сырья в аппарате с вибрационной тарелкой, совершенствование способа получения экстрактов и его аппаратного оформления.

В соответствие с поставленной целью необходимо решить следующие задачи:

1. Исследование и оценка основных факторов определяющих процесс получения экстрактов из замороженных плодов рябины красной и черноплодной;
2. Анализ составляющих теплового баланса процесса получения экстрактов в аппарате с вибрационной тарелкой по способу (Сорокопуд, 2008);
3. Анализ энергозатрат на работу вибрационной тарелки.
4. Разработка рекомендаций по аппаратному оформлению вибрационного аппарата для осуществления рассматриваемого способа;

## Исследование

На Рисунке 1 представлена упрощенная схема экспериментальной установки основу, которой составляет варочный котел КПЭСМ с внутренним диаметром варочного сосуда 0,42 м и вместимостью 60 л (Кирпичников, 2010, с. 496).

Варочный сосуд (1) цилиндрической формы имеет выпуклое торосферическое дно, к которому прикреплены трубчатые электронагреватели (16). Для выравнивания интенсивности обогрева стенки варочного сосуда используется теплообменная рубашка, которая образуется путем сварки варочного сосуда (1) и наружного котла (18).

С помощью пустотелых цапф котел устанавливают на станину (2) с возможностью поворота относительно горизонтальной оси с помощью червячного редуктора. Положение аппарата жестко фиксируется в любой промежуточной точке. Правая полая цапфа (13) служит для установки необходимых при варке приборов (конденсатоотводчик, воронка, электроконтактный манометр, предохранительный клапан и др., на схеме не показаны)

В варочном сосуде на штоке (4) установлена вибрационная тарелка (14) имеющая возможность совершать колебания в вертикальной плоскости. Диаметр тарелки 0,416 м, она устанавливается перпендикулярно штоку и жестко крепится на нем. Тарелка перфорирована отверстиями диаме-

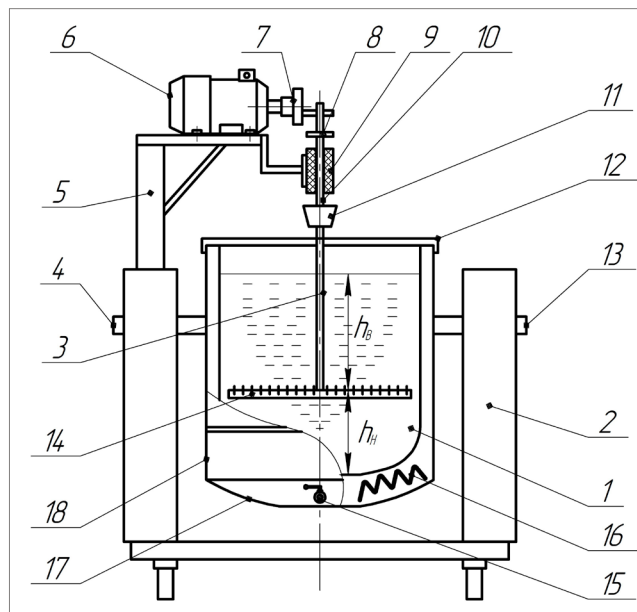


Рисунок 1. Схема установки: 1 – варочный сосуд; 2 – станина; 3 – шток; 4 – цапфа левая; 5 – опора электродвигателя привода; 6 – привод; 7 – планшайба сменная; 8 – ограничитель сменный; 9 – подшипник скольжения; 10 – водило; 11 – разъем конический; 12 – крышка съемная; 13 – цапфа правая; 14 – тарелка вибрационная; 15 – кран сливной; 16 – трубчатый электронагреватель (ТЭН); 17 – дно съемное; 18 – котел наружный.

тром 0,003 м, и имеет долю свободного сечения 16,5%, толщина диска тарелки 0,003 м. По периферии тарелки установлено кольцо высотой 0,016 м и направленно в сторону дна. Шток с помощью конического разъема (11) плотно соединен с водилом (10), которое передает тарелке поступательные движения от планшайбы (7). Планшайба установлена на валу электродвигателя (6) и имеет несколько отверстий, в одно из которых устанавливается палец на определенном расстоянии от центра планшайбы. Это расстояние и определяет амплитуду колебаний. Частота колебаний тарелки соответствует частоте вращения электродвигателя (6), который напрямую связан с вибрационной тарелкой.

В качестве привода вибрационной тарелки использовался электродвигатель постоянного тока мощностью 2,5 кВт, включенный в сеть переменного тока через диодный мост и автотрансформатор. Электродвигатель (6) устанавливали на станину варочного котла с помощью специальной опоры (5), к которой также крепился, подшипник скольжения (9) обеспечивающий центровку тарелки (14) относительно корпуса варочного сосуда.

Измерение затраченной мощности, подводимой на обмотки электродвигателя проводили ваттметром типа Д5016, классом точности 0,2; измерение частоты вращения вала электродвигателя проводили с использованием комбинированного цифрового тахометра SanpoMeter DT2236B с классом точности 0,05. Температуру жидкой фазы измеряли ртутным термометром типа ТЛ-9 с ценой деления 0,1 °С.

При проведении исследований использовались замороженные при температуре минус 18°С и хранившиеся при этой же температуре плоды рябины красной и рябины черноплодной. Эти культуры широко распространены в Западной Сибири, как в дикорастущем, так и в культивируемом видах (Зайцева, 2012, с. 176), и обладают достаточно обширным и богатым составом витаминов, микро и макроэлементов, пригодны для широкой промышленной переработки (Мищенко, 2014, с. 352-357).

В процессе работы брали пробы для определения содержания сухих водорастворимых веществ (СВРВ) рефрактометрическим методом. Пробы фильтровали на вакуум-фильтрационной установке.

В основном порядок работы на установке следующий. Согласно описанию рассматриваемого способа (Сорокопуд, 2008) в емкость аппарата вносили заданное количество замороженных плодов, затем заливали необходимое количество растворителя (воды). Эксперимент проводили при следующих параметрах вибрации тарелки: амплитуда  $A = 0,007$  м, частота  $n = 8,3-13,3$  Гц, при этом устанавливалось соотношение фаз в диапазоне  $j = 0,2-0,5$ . Параметры работы аппарата установлены на основе литературных данных и результатов собственных исследований. Вода заливалась в рубашку котла согласно плану эксперимента. При необходимости вода в рубашке подогревалась путем кратковременного включения ТЭНов. Интенсивное перемешивание фаз в рабочем объеме аппарата обеспечивало создание равномерного температурного поля и исключало локальный перегрев твердой фазы (замороженных плодов). При проведении экспериментов масса системы (Т + Ж) оставалась постоянной и составляла 14,2 кг. Высота слоя обрабатываемой системы в сосуде составляла при этом ( $h_n + h_v$ ) = 0,09-0,105 м. Расстояние от дна сосуда до тарелки по вертикальной оси составляло  $47 \pm 2$  мм. и было неизменным во всех экспериментах. Опыты проводились не менее чем в трехкратной повторности.

## Результаты и их обсуждение

Первый этап опытов проводился при значениях параметров:  $j = 0,2-0,4$ ;  $A = 0,007$  м;  $n = 8,3-13,3$  Гц, температура в помещении составляла 19 °С, растворитель – вода (СанПиН 2.1.4.1074-01), заливался в сосуд при температуре 20 °С. Первый этап состоял из четырех серий.

В первой серии вода в рубашку не заливалась. После подачи экстрагента и замороженных плодов включался электродвигатель привода вибрационной тарелки. Через 10 мин. после наложения на систему низкочастотного механического воздействия размораживания не происходило – плоды красной рябины образовывали сплошной смерзшийся агломерат, температура экстрагента была близка к 0 °С. Аналогичная ситуация была и при попытке переработать плоды черноплодной рябины, разморозка плодов не происходила, поскольку теплового запаса энергии в растворе было недостаточно, а двойная стенка рубашки успешно выполняет роль теплоизолятора.

Вторая серия опытов – в греющую рубашку была залита вода температурой 20 °С в количестве 5,3 л, при этом уровень воды в рубашке был на 0,01 м выше дна варочного сосуда. Вследствие чего варочный сосуд через дно осуществлял теплопередачу с водой в рубашке, причем в рубашке теплообмен происходил за счет конвективных токов, в самом сосуде теплоотдача осуществлялась более интенсивно за счет воздействия низкочастотных механических колебаний. Через 7-8 мин. после наложения на систему НЧМК появились признаки размораживания смерзшегося агломерата плодов. Количество отдельных плодов в объеме растворителя возросло. Результаты были аналогичны для обеих культур.

Третья серия – в греющую рубашку была залита вода в объеме 7,0 л с температурой 20 °С. Уровень воды в рубашке соответствовал половине высоты слоя обрабатываемой системы в сосуде. Как выше отмечалось, если в рубашке теплообмен осуществлялся в условиях конвекции, то внутри сосуда наложение НЧМК существенно интенсифицировало процесс за счет знакопеременного движения элементов перерабатываемой системы. Через 3-5 мин. после обработки системы НЧМК смерзшийся агломерат плодов отсутствовал как у рябины красной, так и у черноплодной. Температура экстракта была не выше плюс 1 °С.

Четвертая серия – в греющую рубашку была залита вода с температурой 20 °С в объеме 9,1 л. Уровень воды в рубашке был на 15-20 мм. выше уровня обрабатываемой системы во внутреннем сосуде. В данном случае в теплообмене через стенку сосуда участвует весь объем обрабатываемой системы вследствие наложения НЧМК. Внутри рубашки стенка сосуда омывается конвективными токами.

Через 1-3 мин. после наложения НЧМК замороженные плоды практически отсутствовали, а температура экстракта составляла 1-3 °С.

Кривые выхода сухих водорастворимых веществ из замороженных плодов рябины красной и рябины черноплодной приведены на Рисунках 2 и 3. Условия работы аппарата соответствовали четвертой серии – рубашка изначально заполнялась водой с температурой 20°С, на высоту в 0,01-0,02 м больше высоты слоя перерабатываемой системы.

Результаты первого этапа исследования показывают, что количество тепла, вносимое в перерабатываемую систему растворителем (водой) крайне недостаточно для осуществления переработки, и в первую очередь операции размораживания. Массы элементов установки с рубашкой также недостаточно для накопления необходимого для размораживания количества тепловой энергии. Наполнение рубашки водой позволяет увеличить массу элементов установки и тем самым создать необходимый запас тепла. Вполне очевидно, что процесс теплопередачи следует интенсифицировать путем улучшения условий теплоотдачи от стенки к воде в сосуде. Увеличение объема воды в рубашке позволило создавать более благоприятные условия для передачи тепла к перерабатываемой системе, что

расширяет возможности установки при переходе на работу с другими системами.

Полученные результаты могут быть использованы для предварительной оценки составляющих теплового баланса при переработке других систем. Окончательно вопрос о количестве воды заливаемой в рубашку может быть решен только опытным путем для конкретной перерабатываемой системы.

Следует отметить, что в четвертой серии в теплообмене через стенку сосуда участвует весь объем обрабатываемой системы вследствие наложения НЧМК.

Второй этап исследования проводился при тех же условиях, что и четвертая серия первого этапа при изменении соотношения фаз. Результаты исследований на втором этапе приведены на Рисунках 2 и 3. Окончательное насыщение экстрагента СВРВ наступает через 20 мин. для плодов обеих культур. Повышение частоты колебаний тарелки интенсифицирует процесс насыщения растворителя сухими растворимыми веществами, сокращается время достижения максимальной концентрации и возрастает ее величина.

Изменение соотношения фаз ( $j$ ) с 0,4 до 0,2 сопровождается возрастанием концентрации сухих растворимых веществ в экстракте до 5,7 % масс. для рябины черноплодной и 9 % масс. для рябины красной. Эти значения уже приемлемы для решения вопроса о целесообразности дальнейшего концентрирования экстрактов традиционными методами.

Результаты первого и второго этапов исследования позволяют утверждать о достаточной

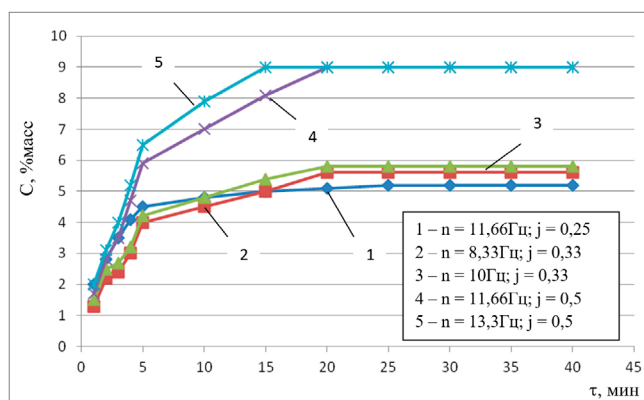


Рисунок 2. Зависимость конечной концентрации СВРВ в экстрактах рябины красной.

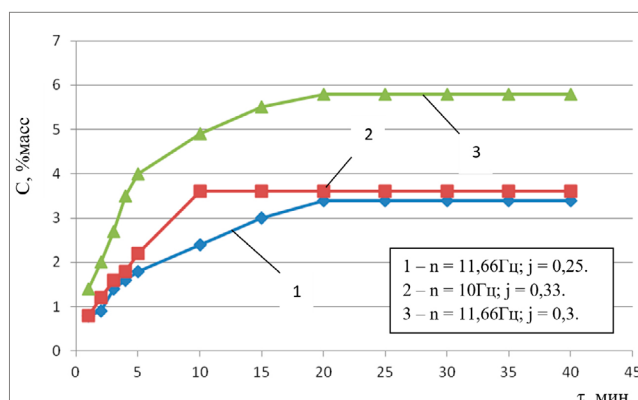


Рисунок 3. Зависимость конечной концентрации СВРВ в экстрактах рябины черноплодной.

сложности происходящих в вибрационном аппарате процессов и необходимости дополнительного подвода тепла к системе в процессе переработки.

На третьем этапе исследований, который отличался от условий четвертой серии первого этапа тем, что вода в греющей рубашке нагревалась путем кратковременного (2 мин) включения ТЭНов начиная с 1,5 мин. после начала работы электропривода вибрационной тарелки. Такая временная задержка необходима для осуществления процесса разрушения перерабатываемых плодов. Так как за указанный промежуток времени происходит оттаивание поверхности плодов и размягчения их кожицы, как наиболее упругой части плода, при этом мякоть остается замороженной, что увеличивает ударную нагрузку при соприкосновении плода с вибрационной тарелкой, а также стенками и дном корпуса. Это обстоятельство позволяет существенно ускорить подготовку плодово-ягодного сырья к последующей стадии – экстрагированию, а дополнительный подвод тепла, в свою очередь интенсифицировать диффузионный массообмен. Результаты третьего этапа исследований приведены на Рисунках 4 и 5.

Сопоставление результатов на Рисунках 2 и 4, а также 3 и 5 убедительно показывает, что подогрев экстрагента путем кратковременного включения ТЭНов позволяет на 20-30 % сократить время выхода системы на равновесную концентрацию СВРВ. Величина равновесной концентрации при этом остается неизменной, а температура экстракта повышается на 2-5 °С.

Энергетическая характеристика технологического оборудования является важной, обуславливающей его технико-экономические показатели,

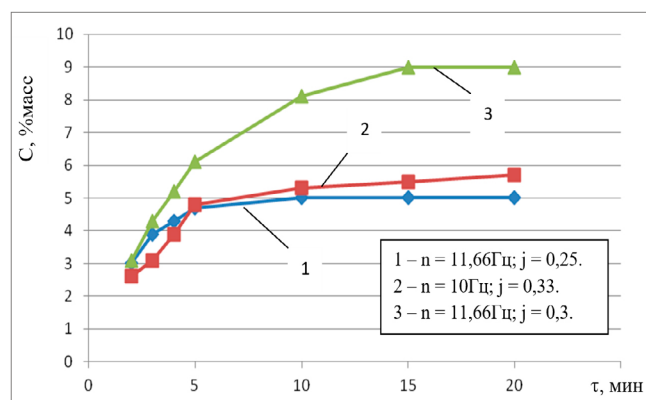


Рисунок 4. Зависимость конечной концентрации СВРВ в экстрактах рябины красной при использовании подогрева.

полученные экспериментальные данные представлены на Рисунках 6 и 7.

При испытании модельных аппаратов диаметром 0,14-0,15 м на различных плодово-ягодных системах получены эмпирические уравнения для определения энергозатрат. При рассмотрении вопросов моделирования авторы и другие исследователи рекомендовали применять аппараты диаметром до 0,5 м при высоте рабочей зоны  $h_n + h_b = 0,09-0,14$  м, соотношение фаз при этом  $j \geq 0,2$ .

Анализ данных приведенных на Рисунках 6 и 7 показывает, что они идентичны и характеризуются практически одинаковыми зависимостями. Так с увеличением частоты колебаний тарелки ( $n$ ) и гидромодуля ( $j$ ) энергозатраты на осуществление процесса переработки плодов черноплодной рябины возрастают.

По достижению шестой минуты и в дальнейшем энергозатраты для вибрационного аппарата диаметром 0,146 м остаются неизменными, это объясняется завершением процесса разрушения плодов и выравниванием дисперсного состава перерабатываемой системы, вследствие чего не происходит закупоривание отверстий перфорации тарелки и уменьшается величина перепада давления по обе стороны вибрационной тарелки.

Для вибрационного аппарата диаметром 0,42 м после шести минут переработки, энергозатраты несколько снижаются и выравниваются к 20 мин., это обстоятельство также свидетельствует о некотором снижении интенсивности протекающих процессов в аппарате диаметром 0,42 м, по сравнению с моделями диаметром 0,15 м.

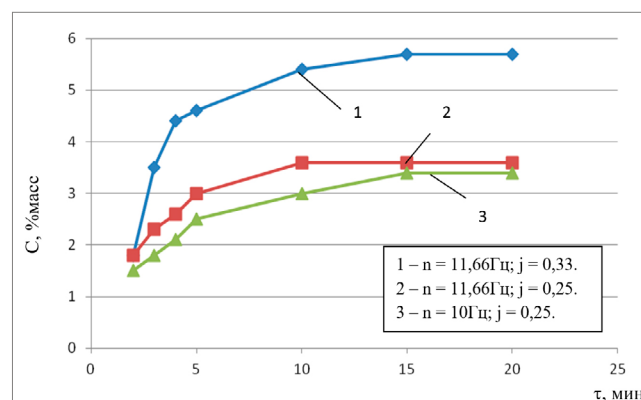


Рисунок 5. Зависимость конечной концентрации СВРВ в водных экстрактах рябины черноплодной при использовании подогрева.

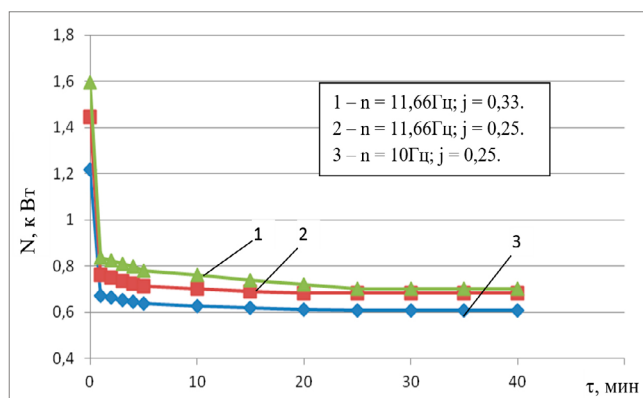


Рисунок 6. Зависимость затрачиваемой мощности от времени переработки замороженных плодов рябины черноплодной в аппарате диаметром 0,42 м.

В начальный период времени энергетическая характеристика имеет «пиковые участки», характерные для начала работы аппарата.

Сопоставление «пиковых» энергозатрат показывает, что в аппарате диаметром 0,42 м они составляют  $N = 1,2-1,6$  кВт. При тех же условиях в модельном аппарате диаметром 0,146 м величина энергозатрат составила  $N = 0,12-0,2$  кВт. При увеличении диаметра вибрационного аппарата в 2,88 раза площадь его поперечного сечения выросла в 8,9 раза. Сравнивая пиковые нагрузки в обоих аппаратах, получим, что они возросли в 10,4-8 раз. На участке стабильной работы (стабильных энергозатрат) в аппарате диаметром 0,146 м они составляют 0,65-0,75 кВт. Увеличение составило 10,8-6,2 раза. Приведенные данные по энергозатратам получены на обоих аппаратах при рациональных значениях параметров (конструктивных, режимных).

Анализ данных показывает, что при переходе к аппарату большего диаметра энергозатраты возрастают пропорционально удельным энергозатратам. Отклонение экспериментальных данных от расчетных для «пиковых» нагрузок составляет до 16 %; на участке стабильных энергозатрат до 20 %.

Такой подход может быть использован при подборе электродвигателя привода вибрационной тарелки диаметром до 0,6 м. Из данных представленных на Рисунках 6 и 7 следует, что «пиковые» нагрузки выше нагрузок при стабильной работе примерно в 1,5 раза. Если пиковые нагрузки принять за основу при расчете потребной

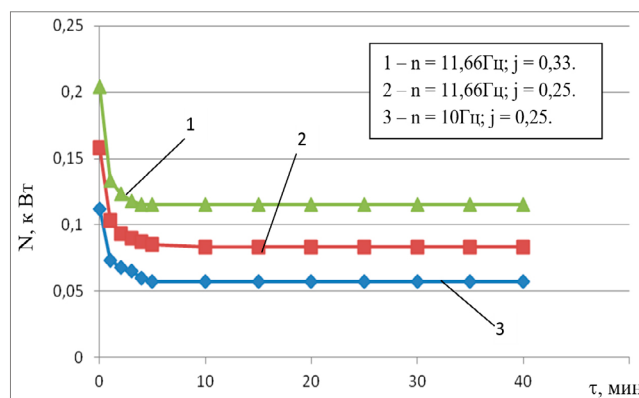


Рисунок 7. Зависимость затрачиваемой мощности от времени переработки замороженных плодов рябины черноплодной в аппарате диаметром 0,146 м.

мощности электродвигателя, то коэффициент запаса следует принять равным 1,3.

Выполненные исследования показали, что выбор варочного котла типа ВКЭСМ в качестве базового при аппаратном оформлении изучаемого способа оправдан. Это позволило в основном решить поставленные задачи исследования. Рекомендации конструктивного характера – размещение ТЭНов на дне наружной емкости, ширину рубашки следует увеличить до 30-35 мм для того, чтобы обеспечить больший объем воды в рубашке и улучшить условия ее циркуляции. Базовая конструкция котла предусматривает применение автоматической системы подогрева, что может быть использовано после корректировки в изучаемом процессе.

Качественный анализ составляющих теплового баланса показал, что передача тепла в обрабатываемую систему целесообразна через корпус аппарата (рубашку). Это позволяет интенсифицировать процесс размораживания плодово-ягодного сырья, сократить время выхода системы на равновесную концентрацию.

Нагрев воды в рубашке через 1,5 мин. после начала воздействия НЧМК позволяет интенсифицировать процесс за счет естественного возрастания коэффициента диффузии при экстрагировании плодов рябины.

Подвод тепла при экстрагировании позволяет более полно насыщать экстрагент извлекаемыми веществами и по существу довести их концентрацию в экстракте до минимально необходимого значения, чтобы целесообразность процесса

концентрирования была очевидна и с технической точки зрения и с экономической.

Наличие рубашки на корпусе существенно расширяет возможности вибрационного аппарата при практической реализации рассматриваемого способа (Сорокопуд, 2008) на различных видах плодово-ягодного сырья, повышает гибкость способа и его аппаратурного оформления.

При отсутствии данных о теплофизических свойствах замороженного сырья на практике необходимо будет находить конкретные рекомендации по условиям обогрева рубашки и аппарата в целом. Как уже отмечалось в перспективе целесообразно использовать систему автоматизации обогрева рубашки аппарата применяя стандартные программы.

### Выводы

Проведенные экспериментальные исследования и анализ теплового баланса процесса получения экстрактов в вибрационном аппарате диаметром 0,42 м из замороженных плодов красной и черноплодной рябины показали, что тепла вносимого в перерабатываемую систему экстрагентом и корпусом аппарата недостаточно для осуществления размораживания плодов, чего не было выявлено при аналогичных исследованиях в аппаратах диаметром 0,14-0,15 м. Однако, частичное размораживание поверхности (кожицы) плодов при сохранении мякоти в замороженном состоянии позволяет добиться желаемого разрушения плодов в течение первых полутора минут обработки в поле механических колебаний, а дополнительный подвод тепла через греющую рубашку аппарата позволяет существенно интенсифицировать процесс экстрагирования, за счет роста коэффициента диффузии. Это обеспечивает получение близких между собой кривых извлечения сухих водорастворимых веществ на аппаратах диаметром 0,146 и 0,42 м.

Экспериментально доказана сопоставимость зависимостей энергозатрат на работу вибрационной тарелки в аппаратах диаметром 0,146 и 0,42 м, как в режиме «пиковых», так и стационарных нагрузок. Установлена возможность моделирования затрат мощности электропривода по приведенным (отнесенным к площади сечения аппарата) энергозатратам. В целом, полученные результаты показывают целесообразность использования вибрационных аппаратов диаметром до

0,42 м оснащенных теплообменной рубашкой для переработки замороженных плодов рябины красной и черноплодной.

### Литература

- Аванесов В.М., Плаксин Ю.М., Стрелюхина А.Н., Ларин В.А. Применение растительных экстрактов при производстве напитков функционального назначения // Хранение и переработка сельхозсырья. 2016. № 7. С. 28-32.
- Андреева Е.В. Исследование процесса экстрагирования замороженных ягод клюквы в поле низкочастотных механических колебаний [производство плодово-ягодных экстрактов] // Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. 2008. № 1. С. 20.
- Астафьева А.Н. Исследование способов переработки замороженных плодов и ягод в вибрационном экстракторе: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12. Кемерово, 2013. 153 с.
- Бабенко Ю.И., Иванов Е.В. Экстрагирование. Теория и практические приложения. СПб.: НПО «Профессия», 2009. 336 с.
- Варсановьев В.Д., Кольман-Иванов Э.Э. Вибрационная техника в химической промышленности. М.: Химия, 1985. 240 с.
- Завьялов В.Л., Бодров В.С., Мисюра Т.Г. Закономерности и перспективы применения виброэкстрагирования для переработки растительного сырья // Пленарные докл. IV Международной конференции «ЭОС 2010». Воронеж: ВГТА, 2010. С. 2011.
- Зайцева И.С. Комплексная переработка плодово-ягодного сырья Сибири. М.: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. 176 с.
- Иванов П.П., Плотников И.Б., Халтурин М.А. Влияние температуры экстрагента на процесс получения экстракта из замороженных плодов рябины красной в аппарате с вибрационной насадкой // Вестник международной академии холода. 2014. № 3. С. 64–68.
- Иванов П.П., Семенов А.Г., Халтурин М.А. Процесс разрушения замороженных плодов рябины красной в аппарате с вибрационной тарелкой // Хранение и переработка сельхозсырья. 2015. № 8. С. 16-20.
- Кирпичников В.П., Ботов М.И. Оборудование предприятий общественного питания: учебник для студ. высш. учеб. заведений в 3 ч. Ч. 2. Тепловое оборудование. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 496 с.
- Киселева Т.Ф., Зайцева И.С., Пеков Д.Б., Бабий Н.В. Выявление предпосылок комплексной пере-

- работки плодово-ягодного сырья Сибирского региона // Техника и технология пищевых производств. 2009. № 3. С. 7-11.
- Кравченко С.Н., Миллер Е.С., Плотникова И.О., Попов А.М. Совершенствование процесса экстрагирования в производстве быстрорастворимых напитков // Хранение и переработка сельхозсырья. 2018. № 1. С. 5-10.
- Малышев Р.М., Кутепов А.М., Золотников А.Н. Влияние наложения поля низкочастотных колебаний на эффективность экстрагирования и математическая модель процесса // Докл. РАН. 2001. № 6. С. 800-805.
- Мищенко Е.В., Мищенко В.Я. Исследование кинетики процесса экстрагирования растворимых веществ из плодов рябины // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2014. № 11-2. С. 352-357.
- Оботурова Н.П., Судакова Н.В., Кокоева В.С., Зайцев А.С. Применение экстрактов растительного сырья при производстве пищевых продуктов // Пищевая промышленность. 2013. № 6. С. 48-50.
- Панфилов В.А. Теория технологического потока. М.: КолосС, 2007. 319 с.
- Плотников И.Б. Совершенствование способа получения экстрактов из замороженного ягодного сырья в аппарате с вибрационной тарелкой: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12. Кемерово, 2011. 150 с.
- Поляков В.А., Бурачевский И.И., Тихомиров А.В., Зайнуллин Р.А. Плодово-ягодное и растительное сырье в производстве напитков. М.: ДеЛи плюс, 2011. 523 с.
- Сорокопуд А.Ф., Иванов П.П. Плодово-ягодные экстракты Западной Сибири: теоретические и практические аспекты: монография. Кемерово: Издательство Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2014. 136 с.
- Сорокопуд А.Ф., Игушов Н.В. Особенности переработки замороженных плодов жимолости в аппарате с вибрационной тарелкой // Вестник международной академии холода. 2017. № 3. С. 3-9.
- Сорокопуд А.Ф., Мустафина А.С., Бакин И.А., Игушов Н.В. Повышение эффективности извлечения биоактивных соединений плодов жимолости в вибрационном экстракторе // Хранение и переработка сельхозсырья. 2018. № 4. С. 154-162.
- Способ получения экстрактов: пат. 2341979 Рос. Федерация. №2007116408/13 / Сорокопуд А.Ф., Суменков М.В.; заявл. 02.05.2007; опубл. 27.12.2008. Бюл. №36.
- Халтурин М.А. Разработка экстрактора с вибрационной насадкой для переработки замороженных плодов рябины красной: дисс. ... канд. техн. наук: 05.18.12. - Кемерово, 2016. 136 с.
- Шишацкий Ю.И., Никель С.А., Буданов А.В., Власов Ю.Н. Влияние наложения низкочастотных механических колебаний на эффективность экстрагирования // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2018. Т. 80. № 1(75). С. 25-29.
- Aravamundan K., Baird M.H.I. Effects of mass transfer on the hydrodynamic behavior of a Karr reciprocating plate column // Ind. Eng. Chem. Res. 1999. No. 38. P. 1596-1604.
- Ni X., Mackley M.R., Harvey A.P., Stonestreet P., Baird M.H.I., Rao N.V.R. Mixing through oscillation and pulsations – a guide to achieving process enhancements in the chemicals and process industries // Transactions of the Institution of Chemical Engineers. 2003. No. 81. Part A. P. 373-383.
- Rathilal S. Modelling of a Vibrating-plate Extraction Column: Ph.D. thesis. Durban, University of KwaZulu-Natal, 2010. 218 p.
- Shlichting H., Gersten K. Boundary Layer Theory. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2017. 804 p.
- Sincuba N.D. Effect of tray design on the performance of a vibrating plate extraction column. Durban: University of Technology, 2015. 155 p.
- Stella A., Mensforth K.H., Bowser T., Stevens G.W., Pratt H.R.C. Mass transfer performance in Karr reciprocating plate extraction columns // Ind. Eng. Chem. Res. 2008. No. 47. P. 3996-4007

# The Experimental-Industrial Trials of Frozen Fruit Processing Method Using an Oscillating Apparatus

**Alexander F. Sorokopud**

Kemerovo State University  
6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650000, Russian Federation  
E-mail: mapp@kemtipp.ru

**Pavel P. Ivanov**

Kemerovo State University  
6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650000, Russian Federation  
E-mail: ipp7@yandex.ru

**Maksim V. Sumenkov**

Kemerovo State University  
6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650000, Russian Federation  
E-mail: maksim.sumenkov@lada-avtoduk.ru

**Lyudmila A. Ivanova**

Kemerovo State University  
6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650000, Russian Federation  
E-mail: lyuda\_ivan@mail.ru

The previous researches carried out using 0.15 m diameter oscillating apparatuses did not enable us to comprehensively investigate the issues of heat transfer, defrosting, grinding and apparatus power consumption. The factors defining the efficiency of frozen fruit processing were evaluated in the article as well as the constituents of thermoanalysis and power inputs were analyzed and the recommendations on the constructive design of oscillating apparatuses were developed. The vessel of 0.42 m diameter has jacketed walls. The space between them is filled with water heated by tubular electric heating elements. The vessel is equipped with an oscillating plate of 0.416 m diameter and 0.003 m thickness, perforated with the holes of 0.003 m diameter. Free section ratio is 16.5%. The rod and the plate are caused to move back-and-forth vertically with given amplitude and frequency values. The apparatus was loaded with frozen rowanberries and chokeberries and water providing solid phase (S) – to – liquid phase (L) ratio  $j = 0,2-0,4$ . The availability of the jacket allowed us to regulate the heat supply to the processed system at the given moment of time and in the required amount. The curves of dry water-soluble substances extraction from frozen rowanberries and chokeberries in 0.15 m and 0.42 m apparatuses are similar to each other, at the same time power inputs are identical and characterized by almost the same dependencies. It allows us to take power inputs in the transition to bigger size apparatuses as proportional to specific power inputs measured in 0.15 m diameter apparatuses. Considered all, the obtained results show the reasonability of using 0.42 m diameter oscillating apparatuses equipped with a heat-exchange jacket for frozen fruit processing.

**Keywords:** rowanberries; chokeberries; low frequency mechanical oscillations; defrosting; hydromodulus; extraction

## Reference

- Andreeva E.V. Issledovanie processa ekstragirovaniya zamorozhennyh yagod klyukvy v pole nizkochastotnyh mekhanicheskikh kolebaniy [proizvodstvo plodovo-yagodnyh ekstraktov] [The research on the extraction of frozen cranberries in the field of low frequency mechanical oscillations [production of fruit extracts]. *Pishchevaya i pererabatyvayushchaya promyshlennost. Referativnyy zhurnal* [Food and processing industry. Abstract journal], 2008, no. 1, pp. 20.
- Astafeva A.N. Issledovanie sposobov pererabotki zamorozhennyh plodov i yagod v vibracionnom ekstraktore. Dis. kand. tekhn. nauk [The research

- of frozen fruit processing using an oscillating extractor. Ph.D. (Technical) thesis]. Kemerovo, 2013. 153 p.
- Babenko Yu.I., Ivanov E.V. Ekstragirovanie. Teoriya i prakticheskie prilozheniya. [Extraction. Theory and practical application]. Saint-Petersburg: NPO «Professiya», 2009. 336 p.
- Varsanofev V.D., Kolman-Ivanov E.E. Vibracionnaya tekhnika v himicheskoy promyshlennosti [Oscillating machines in chemical industry]. Moscow: Himiya, 1985. 240 p.
- Malyshev R.M., Kutepov A.M., Zolotnikov A.N. Vliyanie nalozheniya polya nizkochastotnykh kolebaniy na effektivnost ekstragirovaniya i matematicheskaya model processa [The influence of imposition of low frequency vibrations on the efficiency of extraction and mathematical model of the process]. *Dokl. RAN [Reports of the Russian Academy of Sciences]*, 2001, no. 6, pp. 800-805.
- Shishackiy Yu.I., Nikel S.A., Budanov A.V., Vlasov Yu.N. Vliyanie nalozheniya nizkochastotnykh mekhanicheskikh kolebaniy na effektivnost ekstragirovaniya [Effect of the imposition of low-frequency mechanical oscillations on the extraction efficiency]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologij [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies]*, 2018, vol. 80, no. 1(75), pp. 25-29.
- Kiseleva T.F., Zajceva I.S., Pekov D.B., Babij N.V. Vyyavlenie predposylok kompleksnoj pererabotki plodovo-yagodnogo syrya Sibirskogo regiona [Revealing of preconditions of complex processing of fruit-berry raw material of Siberian region]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv [Technique and technology of food production]*, 2009, no. 3, pp. 7-11.
- Zavialov V., Bodrov V., Misyura T.G. Zakonomernosti i perspektivy primeneniya vibroekstragirovaniya dlya pererabotki rastitelnogo syrya [Patterns and prospects of the application of vibroextraction to the processing of vegetable raw material]. In *Plenarnye dokl. IV Mezhdunarodnoj konferencii "EOS 2010" [Plenary reports of the IV International conference "EOS 2010"]*, Voronezh: VSTA, 2010. pp. 2011.
- Zajceva I.S. Kompleksnaya pererabotka plodovo-yagodnogo syrya Sibiri [Complex processing of fruit raw material of Siberia]. Moscow: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. 176 p.
- Ivanov P.P., Semenov A.G., Halturin M.A. Process razrusheniya zamorozhennykh plodov ryabiny krasnoj v apparate s vibracionnoj tarelkoj [The research on destruction of frozen ashberries in an apparatus with an oscillating plate]. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyrya [Storage and processing of food production]*, 2015, no. 8, pp. 16-20.
- Ivanov P.P., Plotnikov I.B., Halturin M.A. Vliyanie temperatury ekstragenta na process polucheniya ekstrakta iz zamorozhennykh plodov ryabiny krasnoj v apparate s vibracionnoj nasadkoj [The influence of extracting agent temperature on the process of frozen ashberries extracting in the apparatus equipped with the vibrating nozzle]. *Vestnik mezhdunarodnoj akademii holoda [Journal of International Academy of Refrigeration]*, 2014, no. 3, pp. 64-68.
- Kirpichnikov V.P., Botov M.I. Oborudovanie predpriyatij obshchestvennogo pitaniya: uchebnik dlya stud. vyssh. ucheb. zavedenij v 3 ch. Ch. 2. Teplovoe oborudovanie [Equipment for catering establishments: In 3 parts. Part 2. Thermal equipment]. Moscow: Izdatelskij centr «Akademiya», 2010. 496 p.
- Mishchenko E.V., Mishchenko V.Ya. Issledovanie kinetiki processa ekstragirovaniya rastvorimyh veshchestv iz plodov ryabiny [Kinetics of the extraction process of soluble substances from ashberries]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki [Proceedings of the Tula State University. Technical sciences]*, 2014, no. 11-2, pp. 352-357.
- Panfilov V.A. Teoriya tekhnologicheskogo potoka [The theory of technological flow]. Moscow: KolosS, 2007. 319 p.
- Plotnikov I.B. Sovrushenstvovanie sposoba polucheniya ekstraktov iz zamorozhennogo yagodnogo syrya v apparate s vibracionnoj tarelkoj. Dis. kand. tekhn. nauk [The development of frozen fruit extraction method using an apparatus with an oscillating plate. Ph.D. (Technical) thesis]. Kemerovo, 2011. 150 p.
- Polyakov V.A., Burachevsky I.I., Tikhomirov A.V., Zainullin R.A. Plodovo-yagodnoe i rastitelnoe syre v proizvodstve napitkov [Fruit and vegetable raw material in the production of beverages]. Moscow: DeLi plyus, 2011. 523 p.
- Sorokopud A.F., Mustafina A.S., Bakin I.A., Igushov N.V. Povyshenie effektivnosti izvlecheniya bioaktivnykh soedinenij plodov zhimolosti v vibracionnom ekstraktore [An increasing of extraction efficiency of bioactive agents of a honeysuckle berries in a vibration extractor]. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyrya [Storage and processing of food production]*, 2018, no. 4, pp. 154-162.
- Oboturova N.P., Sudakova N.V., Kokoeva V.S., Zajcev A.S. Primenenie ekstraktov rastitelnogo syrya pri proizvodstve pishchevykh produktov [The use of extracts of plant material in food production]. *Pishchevaya promyshlennost [Food industry]*, 2013, no. 6, pp. 48-50.

- Avanesov V.M., Plaksin Yu.M., Strelyuhina A.N., Larin V.A. Primenenie rastitelnykh ekstraktov pri proizvodstve napitkov funkcionalnogo naznacheniya [The use of plant extracts in the manufacture of functionality beverages]. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyrya* [Storage and processing of food production], 2016, no. 7, pp. 28-32.
- Kravchenko S.N., Miller E.S., Plotnikova I.O., Popov A.M. Sovershenstvovanie processa ekstragirovaniya v proizvodstve bystrorastvorimyyh napitkov [Improvement of the extraction process in the production of instant drinks]. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyrya* [Storage and processing of food production], 2018, no. 1, pp. 5-10.
- Sorokopud A.F., Igushov N.V. Osobennosti pererabotki zamorozhennykh plodov zhimolosti v apparate s vibracionnoj tarelkoj [The processing of honeysuckle frozen fruits in the apparatus with vibrating plate]. *Vestnik mezhdunarodnoj akademii holoda* [Bulletin of International Academy of Refrigeration], 2017, no. 3, pp. 3-9.
- Sorokopud A.F., Ivanov P.P. Plodovo-yagodnye ekstrakty Zapadnoj Sibiri: teoreticheskie i prakticheskie aspekty [Fruit and berry extracts of Western Siberia: theoretical and practical aspects]: monografiya. Kemerovo: Izdatelstvo Kemerovskij tekhnologicheskij institut pishchevoj promyshlennosti, 2014. 136 p.
- Sposob polucheniya ekstraktov [The methods of producing extracts]: Pat. 2341979 Russian Federation. No. 2007116408/13. Sorokopud A.F., Sumenkov M.V.; declared. 02.05.2007; publ. 27.12.2008, bulletin no. 36.
- Halturin M.A. Razrabotka ekstraktora s vibracionnoj nasadkoj dlya pererabotki zamorozhennykh plodov ryabiny krasnoj. Dis. kand. tekhn. nauk [The development of an oscillating extractor for frozen rowanberry processing. Ph.D. (Technical) thesis]. Kemerovo, 2016. 136 p.
- Aravamundan K., Baird M.H.I. Effects of mass transfer on the hydrodynamic behavior of a Karr reciprocating plate column. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 1999, no. 38, pp. 1596-1604.
- Ni X., Mackley M.R., Harvey A.P., Stonestreet P., Baird M.H.I., Rao N.V.R. Mixing through oscillation and pulsations – a guide to achieving process enhancements in the chemicals and process industries. *Transactions of the Institution of Chemical Engineers*, 2003, no. 81, part A, pp. 373-383.
- Rathilal S. Modelling of a Vibrating-plate Extraction Column. Ph.D. thesis. University of KwaZulu-Natal, Durban, 2010. 218 p.
- Shlichting H., Gersten K. Boundary Layer Theory. Berlin, Heidelberg: Springer-Ferlag, 2017. 804 p.
- Sincuba N.D. Effect of tray design on the performance of a vibrating plate extraction column. Durban: University of Technology, 2015. 155 p.
- Stella A., Mensforth K.H., Bowser T., Stevens G.W., Pratt H.R.C. Mass transfer performance in Karr reciprocating plate extraction columns. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2008, no. 47, pp. 3996-4007.