УДК [634.733:641.524.6]:621.929.7

**А.Ф. Сорокопуд, А.Н. Астафьева**

# НАСЫЩЕНИЕ РАСТВОРИТЕЛЯ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ЗАМОРОЖЕННЫХ ЯГОД БРУСНИКИ В ВИБРОЭКСТРАКТОРЕ

Исследованы условия насыщения растворителя при переработке замороженных ягод брусники в аппарате с вибрационной тарелкой. Изучено влияние диаметра отверстий перфорации тарелки, соотношения фаз, количества циклов обработки. Установлено, что при рациональных значениях изученных параметров за 5 циклов концентрация сухих водорастворимых веществ увеличивается с 2,5 до 7,3 % масс. при использовании в качестве растворителя воды, при использовании 40 % об. этилового спирта – с 5,2 до 22 % масс. за 4 цикла.

Виброэкстрактор, многократное экстрагирование, ягоды брусники, выход сухих водорастворимых и спирторастворимых веществ.

**Введение**

Совершенствование современных технологий производства продуктов питания тесно связано с расширением ассортимента за счет переработки нетрадиционного сырья, переходом от использования искусственных пищевых добавок к натуральным, обладающим биологической активностью, разработкой специализированных, функциональных продуктов. Одним из основных направлений государственной политики в области здорового питания является создание широкого ассортимента гастрономически привлекательных, сбалансированных по составу, безопасных пищевых продуктов, обогащенных жизненно важными компонентами.

Основу многих таких продуктов питания составляют экстракты из плодово-ягодного и лекарственно-технического сырья, поскольку такое сырье содержит широкий комплекс аминокислот, белков, витаминов, минеральных веществ и др.

Таким образом, очень важным для кардинальных изменений в объеме и ассортименте выпуска пищевых продуктов является комплексное решение вопроса снабжения экстрактами производств, разрабатывающих новые виды продуктов, богатых биологически активными веществами [1].

Традиционный способ получения экстрактов – настаивание. Процесс настаивания растительного сырья является многостадийным. При этом продолжительность процесса составляет 10...28 сут. при настаивании в аппаратах или бочках, а в экстракционной установке до 2...4 сут., что не удовлетворяет с точки зрения создания современных машинных и ресурсосберегающих технологий [2].

В процессе производственной деятельности ресурсы предприятия занимают одно из центральных мест, поэтому вопрос ресурсосбережения и определения оптимального соотношения ресурсов на предприятии очень актуален в настоящее время [1].

Экстрагирование плодово-ягодного сырья в аппарате с вибрационной тарелкой обычно позволяет получить экстракты с содержанием сухих веществ 2…3,5 % массовых (далее % масс.), используя в качестве экстрагента воду [3, 4]. При использовании водно-спиртовых растворителей содержание сухих растворимых веществ в экстрактах выше [5].

Получение концентрированных экстрактов обычно осуществляется путем упаривания под вакуумом. Процесс энергоемкий, поэтому всегда возникает альтернативное предложение – подавать на упаривание более концентрированный экстракт.

В данной статье приведены результаты решения этой задачи путем многократного использования экстракта в качестве растворителя при переработке замороженного ягодного сырья в поле низкочастотных механических колебаний, создаваемых вибрационной тарелкой.

Поэтому целью работы является изучение метода насыщения растворителя путем многократного экстрагирования им замороженного ягодного сырья.

**Объекты и методы исследований**

В качестве объекта исследований выбраны ягоды брусники, благодаря особенностям химического состава являющиеся перспективным сырьем для различных отраслей пищевой промышленности [6]. В качестве растворителя – вода и водно-спиртовая смесь с содержанием этилового спирта 40 % об.

Для экстрагирования использовался вибрационный аппарат периодического действия (рис. 1). В аппарат загружали замороженные при температуре –18 $^0$С ягоды и заливали воду при комнатной температуре. При водно-спиртовом растворителе заливали воду, затем необходимое количество этилового спирта 95 % объемных (далее % об.) при комнатной температуре. Весовое соотношение сырья и экстрагента составляло j = 0,4 и 0,25. В аппарат вводилась перфорированная отверстиями диаметром do = 2,5*10$^{-3}$, 4*10$^{-3}$ и 5*10$^{-3}$ м тарелка толщиной 3*10$^{-3}$ м. Соотношение фаз и диаметр отверстий выбраны на основании проведенного литературного обзора [6–8] и по результатам предварительных экспериментов. Диаметр тарелки 142*10$^{-3}$ м, диаметр аппарата 146*10$^{-3}$ м, площадь свободного сечения тарелки 16,5 %. На тарелке по периферии установлена в сторону дна отбортовка высотой 14*10$^{-3}$ м. Тарелка устанавливалась на расстоянии (45…48)*10$^{-3}$ м от плоского дна аппарата и приводилась в возвратно-поступательное движение в вертикальной плоскости с частотой 10 Гц и амплитудой 14*10$^{-3}$ м. Частота колебаний тарелки выбрана по результатам предварительных экспериментов, амплитуда – на основании проведенного литературного обзора [7–9]. Экстрагирование велось в течение 10–25 мин до установления постоянной концентрации сухих веществ в экстракте. Полученный экстракт сливался самотеком и процеживался через на-

бор сит с размером ячеек: $1,7*10^{-3}$; $1,25*10^{-3}$; $1*10^{-3}$; $0,63*10^{-3}$; $0,5*10^{-3}$; $0,4*10^{-3}$; $0,315*10^{-3}$; $0,2*10^{-3}$ м для удаления кусочков шрота, семян. Затем экстракт фильтровался через фильтровальную бумагу под вакуумом и далее использовался как экстрагент для получения экстракта более высокой концентрации.

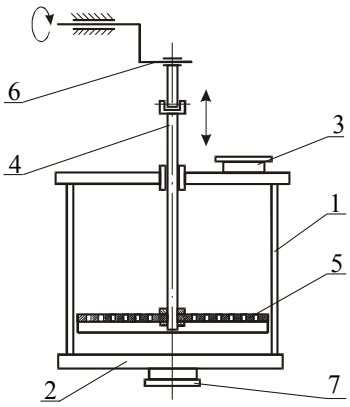



Рис. 1. Схема лабораторного экстрактора с вибрационной тарелкой

Вибрационный экстрактор (см. рис. 1) состоит из цилиндрического корпуса 1, плоского днища 2, устройств ввода 3 и вывода фаз 7. В корпусе установлен шток 4 с возможностью возвратно-поступательного движения в вертикальной плоскости, на котором жестко закреплена горизонтальная перфорированная тарелка 5, снабженная по периферии отбортовкой. Возвратно-поступательные движения штоку сообщаются при помощи кривошипно-шатунного механизма 6 от электродвигателя постоянного тока. Электродвигатель включен в сеть переменного тока через выпрямительный диодный мост и автотрансформатор. Все элементы установки, соприкасающиеся с экстрактом и сырьем, выполнены из нержавеющей стали.

Степень насыщения экстрагента сухими веществами измерялась рефрактометрическим методом по ГОСТ 28562-90 при помощи рефрактометра ИРФ-454 Б2М. При использовании водно-спиртового растворителя степень насыщения экстрагента сухими веществами измерялась фотоэлектроколориметрическим методом на приборе КФК-2.

Измерение мощности, подаваемой на обмотки электродвигателя, проводили ваттметром типа Д 5016 с классом точности 0,2 по ГОСТ 8476-78. Измерение частоты колебаний осуществляли часовым тахометром типа ТЧ-10Р.

**Результаты и их обсуждение**

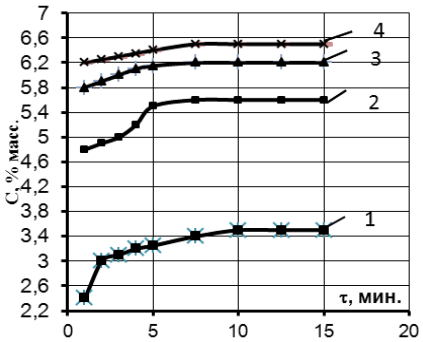
Из данных, представленных на рис. 2 и 3, следует, что насыщение экстрагента (воды) извлекаемыми сухими веществами происходило за 5...10 мин. Концентрация сухих водорастворимых веществ, равная Ск = 6 % масс., достигалась за 3 или 4 цикла, это объясняется различным соотношением фаз сырье – экстрагент.

Содержание сухих веществ в полученном экстракте после третьего цикла (см. рис. 2а) превышает содержание сухих веществ, полученных из такого же сырья методом традиционного настаивания в воде в течение 65...72 часов, на 3,4 % масс. при соотношении фаз j = 0,4.

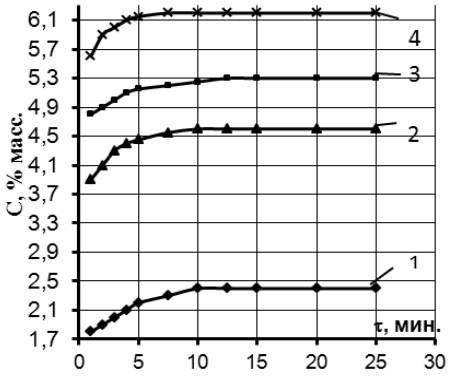
Во время экстрагирования температура экстрагента снижалась от (20±1) до (10±2) °С. При незначительном времени экстрагирования и невысокой температуре экстракта создаются достаточно благоприятные условия для сокращения потерь витаминов и биологически активных веществ, содержащихся в ягодах брусники.

Из рис. 2 видно, что после первого и второго циклов происходит резкое увеличение концентрации сухих водорастворимых веществ, последующие циклы такого резкого увеличения не дают. Это можно объяснить тем, что после второго цикла концентрация экстрактивных веществ в жидкой фазе близка к равновесной и последующий прирост ее затрудняется. Аналогичная ситуация имеет место при do = $4*10^{-3}$ м (см. рис. 3), но после 4 прохода. Однако достигаемая концентрация здесь выше – 7,3 % масс. за 5 проходов.

Из данных, представленных на рис. 6б, следует, что насыщение экстрагента (40 % об. смеси этанол – вода) извлекаемыми сухими веществами за первый цикл происходило через 7...10 мин. По окончании процесса содержание спирта в экстрактах определяли пикнометрическим методом ГОСТ 17310-2002, оно составило Сспк = 32, 34 и 26 % об. Количество сухих веществ в деалкоголизированном экстракте определяли рефрактометрическим методом ГОСТ 28562-90, оно составило 5,8 % масс. для первого цикла с j = 0,4 и 5,2 % масс. для параллельного с j = 0,33.




а




б

Рис. 2. Зависимости выхода сухих веществ от времени экстрагирования для ягод брусники: а – do = 5*10$^{-3}$ м, j = 0,4: 1 – Сн = 0 %; 2 – Сн = 4,8 %; 3 – Сн = 5,8 %; 4 – Сн = 6,2 %; б – do = 5*10$^{-3}$ м, j = 0,25: 1 – Сн = 0 %; 2 – Сн = 2,4 %; 3 – Сн = 4,6 %; 4 – Сн = 5,3 %

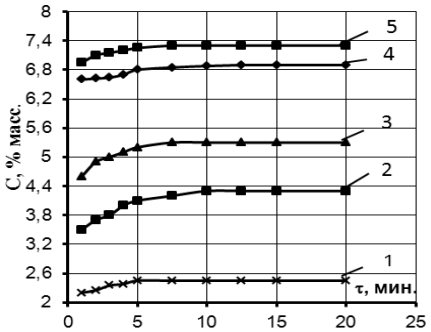
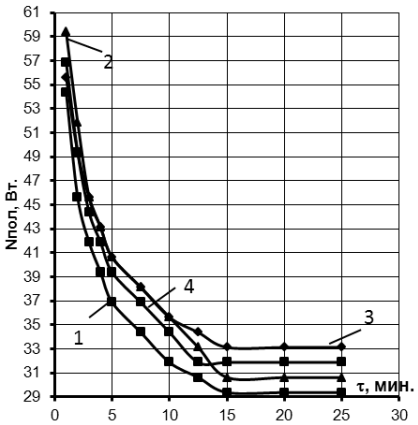
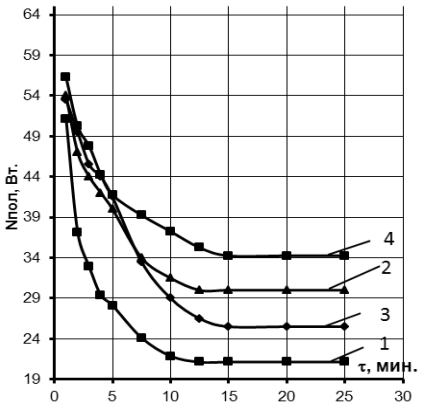



Рис. 3. Зависимости выхода сухих веществ от времени экстрагирования для ягод брусники, do = 4 *10$^{-3}$ м, j = 0,25: 1 – Ссн = 0 %; 2 – Ссн = 2,5 %; 3 – Сн = 4,3 %; 4 – Ссн = 5,3 %; 5 – Ссн = 6,9 %




а




б

Рис. 4. Зависимости полезной мощности от времени экстрагирования для ягод брусники: а – do = 4*10$^{-3}$ м, j = 0,25: 1 – Ссн = 0 %; 2 – Ссн = 2,5 %; 3 – Ссн = 4,3 %; 4 – Ссн = 5,3 %; 5 – Ссн = 6,9 %; б – do = 5*10$^{-3}$ м, j = 0,4: 1 – Сн = 0 %; 2 – Сн = 4,8 %; 3 – Сн = 5,8 %; 4 – Сн = 6,2 %

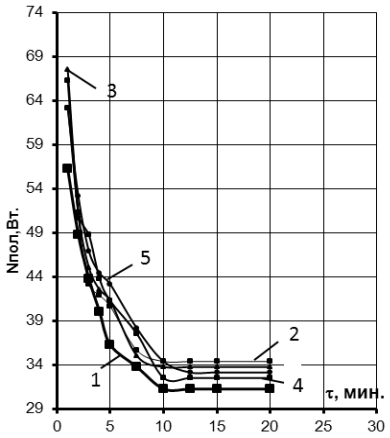
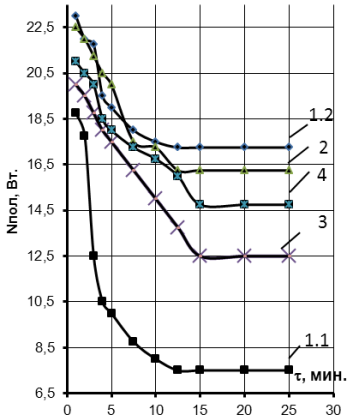
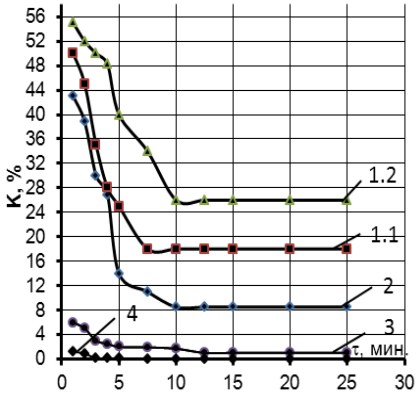



Рис. 5. Зависимости полезной мощности от времени экстрагирования для ягод брусники, do = 5*10$^{-3}$ м, j = 0,25: 1 – Ссн = 0 % масс.; 2 – Ссн = 2,4 % масс.; 3 – Ссн = 4,6 % масс.; 4 – Ссн = 5,3 % масс.; 5 – Ссн = 6,9 % масс.




а




б

Рис. 6: а – зависимости полезной мощности от времени экстрагирования; б – зависимости коэффициента пропускания от времени экстрагирования для ягод брусники; do = $2{,}5*10^{-3}$ м, j = 0,25, Сспн = 40 % об.: 1.1 – Ссн = 0 % масс., Сспк = 32 % об.; 1.2 – Ссн = 0 % масс., Сспк = 34 % об.; 2 – Ссн = 5,2 % масс., Сспк = 26 % об.; 3 – Ссн = 9,8 % масс., Сспк = 32 % об.; 4 – Ссн = 18 % масс., Сспк = 24 % об.

Содержание сухих веществ в полученном экстракте после второго цикла составило 9,8 % масс., после третьего цикла Ссухк = 18 % масс. (см. рис. 6б).

Анализ энергозатрат на осуществление изучаемого процесса выполнен с использованием полезных энергозатрат Nпол (Вт), которые определялись как разность между общими энергозатратами и затратами энергии на холостой ход (рис. 4, 5, 6а).

Для всех соотношений фаз и диаметров перфорации вибрационной тарелки характерен максимум энергозатрат в начальный период времени. Затем энергозатраты снижаются и через 10...15 мин после начала процесса становятся стабильными, примерно в 2 раза меньше пиковых.

Это можно объяснить следующим образом. В начальный момент времени струи жидкости, образуемые отверстиями в тарелке, и поток жидкости через кольцевую щель между корпусом и тарелкой встречают сопротивление в виде слоя замороженных ягод и их энергия затрачивается на деформацию и дробление ягод. По мере размораживания и разрушения ягод струи проникают на большую глубину и перемешивают образовавшуюся суспензию, встречая меньшее сопротивление. При этом полезные энергозатраты снижаются и становятся минимальными и постоянными во времени. В результате размораживания и разрушения ягод образуется достаточно однородный объем суспензии, на перемешивание которого затрачивается различное количество энергии в зависимости от условий эксперимента.

Как видно из данных, представленных на рис. 4 и 5, энергозатраты на создание взвешенного слоя возрастают с увеличением соотношения фаз и с уменьшением диаметра перфорации вибрационной тарелки.

Во время экстрагирования температура экстрагента снижалась от (20±1) до (13±2) °С. При незначительном времени обработки и невысокой температуре экстракта создаются достаточно благоприятные условия для сокращения потерь витаминов и биологически активных веществ, содержащихся в ягодах брусники.

Из рис. 2 видно, что с увеличением соотношения фаз возрастают энергозатраты на процесс экстрагирования. Это объясняется тем, что увеличивается высота слоя экстрагента над тарелкой, возрастает сила удара струй воды, образованных отверстиями тарелки при ее колебаниях, о ягоду.

Из полученных данных следует, что наиболее эффективным является режим при do = $4*10^{-3}$ м, j = 0,25, при котором достигается наибольшее извлечение сухих водорастворимых веществ.

Дисперсный анализ твердой фазы после экстрагирования показал, что около 60 % составляют частицы размером от 1 до $1{,}7*10^{-3}$ м. Это главным образом частицы кожуры и семена. Мякоть разрушена полностью до частиц размером $0{,}63*10^{-3}$ и $0{,}2*10^{-3}$ м.

После экстрагирования в твердой фазе еще остается некоторое количество сухих растворимых веществ, которые можно извлечь при помощи виброэкстрактора. В дальнейшем твердая фаза может использоваться в качестве пищевых и кормовых добавок.

При концентрировании растворов в роторно-распылительном испарителе (РРИ) разрушение витамина С за один проход составляет около 4 %, что позволяет сохранить содержание витамина С в концентрированном экстракте с массовой долей сухих веществ 55,2 % масс. на 64,6 % [9]. Поэтому можно предположить, что концентрирование экстрактов в виброэкстракторе позволяет сохранить витамин С в большем объеме, так как температура экстракта не превышает (13±2) $^0$С.

Концентрирование экстрактов в выпарных установках является многостадийным, сложным процессом с технической стороны, а также требующим затрат теплоносителя и создания вакуума. Процесс концентрирования в экстракторе отличается простотой, не требует создания вакуума и подвода теплоносителя.

Таким образом, полученный экстракт характеризуется более высоким содержанием сухих водо- и спирторастворимых веществ по сравнению с экстрактами, полученными за один цикл. В процессе исследования был изучен характер влияния весового соотношения сырья и экстрагента, диаметра отверстий перфорации тарелки и количества циклов на выход сухих водорастворимых веществ и затраты мощности.

Установлено, что наиболее высокое извлечение сухих водорастворимых веществ из ягод брусники достигается при do = $4*10^{-3}$ м, j = 0,25 за 5 циклов при наименьших энергозатратах. Параметры процесса насыщения растворителя при переработке плодово-ягодного сырья в аппарате с вибрационной тарелкой следует находить опытным путем для каждой партии сырья.

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что для замороженных ягод брусники достаточно 3–4 циклов экстрагирования водно-спиртовым растворителем, чтобы достичь содержания сухих веществ 16–22 % масс. Дальнейшее увеличение числа циклов будет экономически нецелесообразно.

Список литературы

1. Производство обогащенных продуктов с использованием экстрактов и их товароведная оценка / С.Н. Кравченко, С.С. Павлов. – М.; Кемерово: Издательское объединение «Российские университеты»: Кузбассвузиздат – АСТШ, 2006. – 151 с.

2. Домарецкий, В.А. Производство концентратов, экстрактов и безалкогольных напитков: справочник / В.А. Домарецкий. – К.: Урожай, 1990. – 245 с.

3. Пат. 2341979 Российская Федерация, МПК[7] A 23L 1/212. Способ получения экстрактов / Сорокопуд А.Ф., Суменков М.В.; заявитель и патентообладатель Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – № 2007116408/13; заявл. 02.05.2007; опубл. 27.12.2008, Бюл. № 12 (I ч.). – 5 с.

4. Сорокопуд, А.Ф. Интенсификация экстрагирования плодово-ягодного сырья с использованием низкочастотного воздействия / А.Ф. Сорокопуд, В.А. Помозова, А.С. Мустафина // Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья. – 2000. – № 5. – С. 35–39.

5. Пат. 2403808 Российская Федерация, МПК[7] A 23L 1/212. Способ получения экстрактов / Сорокопуд А.Ф., Плотников И.Б., Астафьева А.Н., Сорокопуд В.В.; заявитель и патентообладатель Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – № 2009122196/13; заявл. 09.06.2009; опубл. 20.11.2010, Бюл. № 23 (II ч.). – 5 с.

6. Жуков, Н.А. Дикорастущие плодово-ягодные культуры – основа для получения биологических добавок к пище / Н.А. Жуков. – М.; Киров: ЭКСПРЕСС, 2006. – 253 с.

7. Сорокопуд, А.Ф. Исследование процесса экстрагирования замороженных ягод клюквы в поле низкочастотных механических колебаний / А.Ф. Сорокопуд, М.В. Суменков // Совершенствование и разработка нового оборудования для пищевой промышленности: сб. науч. работ. – Вып. 1. – Кемерово, 2006. – С. 29–33.

8. Горлов, М.Д. Разработка и исследование вибрационного массообменного аппарата для экстрагирования плодово-ягодного сырья: дис. … канд. техн. наук. – Кемерово, 2005. – 157 с.

9. Иванов, П.П. Разработка технологии и аппаратурного оформления производства концентрированных плодово-ягодных экстрактов для молочной промышленности: дис. … канд. техн. наук. – Кемерово, 2002. – 135 с.

ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт
пищевой промышленности»,
650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47.
Тел./факс: (3842) 73-40-40
e-mail: office@kemtipp.ru

## SUMMARY

**A.F. Sorokopud, A.N. Astafjeva**

## SOLVENT SATURATION OF THE PROCESSING OF FROZEN COWBERRIES IN THE VIBROEXTRACTOR

Conditions of the saturation of a solvent in processing the frozen cowberries in the vibrating plate apparatus are investigated. Influence of the opening diameter of the plate punching; a ratio of phases; quantities of operation cycles is studied. It is established that with rational values of the investigated parameters for 5 cycles the concentration of dry water-soluble substances increases from 2,5 to 7,3 % when using water as a solvent, when using 40 % ethyl alcohol as a solvent it increases from 5,2 to 22 % for 4 cycles.

Vibroextractor, multiple extracting, output of dry water-soluble and alcohol-soluble substances.

Kemerovo Institute of Food Science and Technology
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia
Phone/Fax: +7(3842) 73-40-40
e-mail: office@kemtipp.ru