УДК 663.44

Н.В. Дубинина, В.В. Гриценко, Ж.В. Симсиве

ПОЛУЧЕНИЕ ЭКСТРАКТОВ ИЗ ЗАМОРОЖЕННОГО ПЛОДОВОГО СЫРЬЯ В ВИБРАЦИОННОМ АППАРАТЕ

Представлены результаты исследования процесса получения экстрактов из замороженных плодов боярышника кроваво-красного и калины обыкновенной в аппарате с вибрационной тарелкой. Получены уравнения множественной регрессии для расчета содержания сухих веществ, эффективности процесса и удельных энергозатрат в зависимости от амплитуды, частоты колебаний, диаметра отверстий в тарелке и времени достижения системой состояния равновесия.

Вибрационный аппарат, эффективность и удельные энергозатраты процесса, содержание сухих веществ.

Введение

В настоящее время большую актуальность в производстве пищевых добавок приобретает дикорастущее плодово-ягодное сырье. Объясняется это тем, что по пищевой ценности дикорастущие плоды и ягоды не уступают культурным, а по содержанию витаминов и органических кислот даже превосходят их. В то же время они представляют собой экологически более благоприятные продукты питания и отличаются неприхотливостью к почве и уходу, морозостойкостью, высокой урожайностью. Использование местных дикорастущих растительных ресурсов способствует значительной экономии дорогостоящего сырья с аналогичными или близкими по значению физико-химическими показателями, снижению расходов по доставке сырья к месту переработки, а также расширению ассортимента выпускаемой продукции [1].

Объемы переработки местного растительного сырья недостаточны с точки зрения использования существующей сырьевой базы. Это в определенной степени связано с низкой эффективностью традиционных методов извлечения из сырья целевых компонентов и обеспечения их сохранности в процессе переработки.

Одним из современных способов переработки плодово-ягодного сырья является экстрагирование водными и водно-спиртовыми растворителями с последующим концентрированием.

Способов проведения процесса экстрагирования большое множество, что обусловлено широким многообразием сырья и его свойствами. Поэтому для выбора способа экстрагирования применительно к определенному сырью необходимо учитывать, из каких стадий состоит процесс, какие факторы оказывают влияние на ту или иную стадию процесса.

В наиболее общем виде процесс экстрагирования состоит из четырех стадий: 1) проникновение растворителя в поры частиц сырья; 2) растворение целевого компонента; 3) перенос массы растворимых веществ диффузионным путем из внутренних областей частиц экстрагируемого материала в пограничный слой, прилегающий непосредственно к частице; 4) дуффузионно-конвективный перенос растворимых веществ через пограничный слой и распределение его по всей массе раствора [2, 3]. Две последние стадии являются основными стадиями, влияющими на скорость процесса.

Стадии экстрагирования различны по своей природе и имеют свои факторы, определяющие их скорость. К таким факторам относятся: степень измельчения растительного сырья; полярность экстрагента; вязкость и поверхностное натяжение растворителя; температура процесса экстрагирования; соотношение твердой и жидкой фаз; количество экстракций; физическое воздействие (низкочастотные механические колебания, ультразвук, перемешивание и др.); порозность; продолжительность экстрагирования. На процесс экстрагирования также оказывают влияние: размер молекул извлекаемых веществ; заряд коллоидных частиц протоплазмы клетки; наличие живой протоплазмы; наличие воздуха в сырье; удельная загрузка экстрактора (загрузочная плотность); скорость подачи экстрагента и другие факторы [4].

Среди многочисленных способов интенсификации процесса экстрагирования особое место занимает метод наложения на систему поля низкочастотных механических колебаний [5–7].

При создании высокоэффективных тепло- и массообменных аппаратов часто используют принцип подведения энергии извне к взаимодействующим средам. Наложение низкочастотных колебаний на взаимодействующие фазы – это один из наиболее эффективных способов подведения дополнительной внешней энергии [5]. При этом создается активный гидродинамический режим, значительно сокращается металло- и энергоемкость оборудования. При воздействии низкочастотных механических колебаний в процессе экстрагирования участвует практически вся поверхность экстрагируемого вещества, происходит интенсивное обновление межфазной поверхности [7].

Аппараты, в которых используются низкочастотные колебания, характеризуются высокой эффективностью массообмена при большой удельной производительности. Это объясняется тем, что подводимая внешняя энергия может равномерно или по заранее заданному режиму распределяться по поперечному сечению и высоте аппарата и нужным образом влиять на поле скоростей взаимодействующих фаз. Таким образом, создаются предпосылки к оптимальному дроблению дисперсной фазы, к уменьшению ее

полидисперсности, а также к выравниванию поперечной неравномерности и уменьшению продольного перемешивания. Однако влияние факторов, определяющих скорость процесса экстрагирования методом наложения низкочастотных механических колебаний, на его интенсивность еще недостаточно изучено и требует дальнейшего исследования.

Для этой цели была изготовлена экспериментальная установка, в основу конструкции которой положен емкостный экстрактор с вибрационной тарелкой [6].

Основным элементом установки является экстрактор периодического действия с вибрационной тарелкой (рис. 1).

Камера аппарата представляет собой цилиндрическую емкость 1, выполненную из нержавеющей стали с внутренним диаметром 0,139 м. В верхней части установки на раме жестко закреплена крышка экстрактора 5 с патрубком для отбора проб. В камере установлен с возможностью возвратно-поступательного движения в вертикальной плоскости шток 4 с жестко закрепленной на нем горизонтальной перфорированной тарелкой 2, снабженной по периферии кольцом. Штоку сообщаются возвратно-поступательные движения при помощи кривошипно-шатунного механизма 6 от электродвигателя переменного тока АИРМ71В6У3.

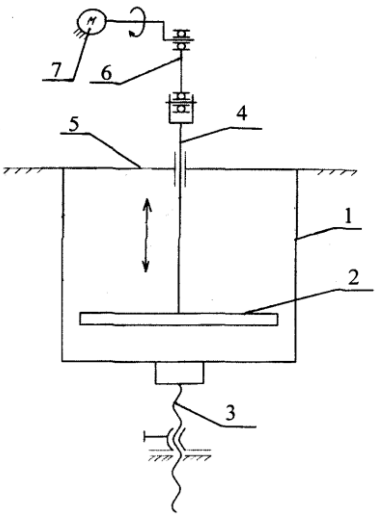

Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – камера аппарата; 2 – тарелка перфорированная; 3 – домкрат; 4 – шток; 5 – крышка экстрактора; 6 – механизм кривошипно-шатунный; 7 – электродвигатель

Тарелка 2 представляет собой перфорированный цилиндрическими отверстиями диск диаметром 0,135 м, выполненный из нержавеющей стали, толщиной 0,003 м. К нижней стороне диска коаксиально жестко прикреплено кольцо шириной 0,01 м. Плоскость диска тарелки параллельна днищу аппарата. Камера экстрактора устанавливается и фиксируется в расточенном пазу крышки при помощи домкрата 3.

Для регулирования частоты колебаний тарелки и фиксирования значений мощности в установке предусмотрен привод АСН 550-01.

В качестве способа экстрагирования выбран способ, разработанный на кафедре «Машины и аппараты пищевых производств» Кемеровского технологического института пищевой промышленности [8]. Особенность данного способа заключается в том, что экстрагированию в вибрационном экстракторе подвергается замороженное плодово-ягодное сырье. В силу того что сбор плодов и ягод носит сезонный характер, важным этапом технологии является сохранение их для дальнейшей переработки. Наименее энергоемким способом хранения плодов и ягод является замораживание, причем с целью последующей интенсификации выделения сока предпочтительно медленное и неглубокое замораживание, сопровождающееся образованием крупных кристаллов льда, которые более эффективно разрушают стенки клеток, что в последующем повышает выход питательных и ароматических веществ. Традиционный способ получения соков и экстрактов из замороженного плодово-ягодного сырья включает следующие стадии: размораживание, измельчение, отделение сока или экстрагирование. В ряде случаев экстрагирование твердой фазы после отжатия сока не производят. Однако такой способ отличается длительностью, наличием нескольких стадий, для осуществления которых требуется энергоемкое оборудование. При размораживании, измельчении и прессовании имеют место потери сока. Предложенный способ экстрагирования замороженного плодово-ягодного сырья в вибрационном экстракторе, по мнению авторов, позволяет сократить время, снизить энергозатраты, уменьшить число единиц оборудования и повысить качество получаемых продуктов.

Для экстрагирования использовали плоды боярышника кроваво-красного и калины обыкновенной урожая 2009 года, собранные в Рубцовском районе Алтайского края. Эти плодовые культуры известны своими полезными свойствами и богатым химическим составом. Благодаря высокой концентрации биологически активных веществ плоды боярышника давно применяются в народной и научной медицине для профилактики и лечения заболеваний сердца и сосудов. Плоды калины обладают противовоспалительным действием, способствуют снижению кровяного давления, стимулируют работу сердца [9].

Экстрагирование проводили следующим образом. Замороженные при температуре –18 ^{o}C плоды помещали в рабочий объем экстрактора под вибрационную тарелку. В качестве экстрагента использовалась вода температурой (20±2) ^{o}C. Во всех опытах объем обрабатываемой суспензии составлял 1,0 л. Тарелка приводилась в возвратно-поступательное движение в течение 40 мин. Через определенные промежутки времени (1…5 мин) из аппарата отбиралась проба экстракта. Отделение от проб твердой фазы проводилось фильтрацией через бумажный фильтр; количество извлекаемых сухих веществ в образцах определялось рефрактометром типа РЛ-2; отжатый на фильтре шрот взвешивали. Взвешивание плодов, экстрагента, шрота осуществлялось с помощью весов марки MW-120 с погрешностью измерения ±0,01 г.

На процесс экстрагирования, как отмечалось выше, оказывает влияние множество факторов, которые в свою очередь зависят от конструктивных и экс-

плуатационных особенностей аппарата, а также от способа проведения процесса.

Принимая во внимание вышеизложенное, был выделен ряд факторов, которые как отдельно, так и в совместном взаимодействии оказывают основное влияние на процессы, протекающие в экстракторе. К таким факторам относятся: соотношение фаз (сырье/экстрагент) – *j*, кг/кг; амплитуда колебаний тарелки – *A*, м; частота колебаний тарелки – *n*, Гц; диаметр отверстий в тарелке – d_0, м; доля свободного сечения тарелки – ἐ, %.

Целью работы является изучение закономерностей, описывающих процесс получения экстрактов.

Объекты и методы исследований

Соотношение фаз (сырье/экстрагент) определялось исходя из следующих условий. Увеличение доли твердой фазы ведет к повышению плотности суспензии; как следствие, ухудшаются условия для переноса водорастворимых веществ в экстрагент. Уменьшение доли твердой фазы приводит к разбавлению экстракта, что нежелательно с точки зрения последующих процессов технологического цикла. Помимо этого, увеличение доли экстрагента ведет к ускорению размораживания сырья, а также к более тонкому его измельчению. Серия предварительных экспериментов показала, что экстрагирование необходимо вести при следующих соотношениях фаз: для боярышника *j* = 1/2; 1/3 кг/кг; для калины *j* = 1/1; 1/1,5 и 1/2 кг/кг. В процессе проведения дальнейшей экспериментальной работы было выявлено, что наиболее оптимальными соотношениями фаз при экстрагировании данных плодов являются: для боярышника *j* = 1/2 кг/кг; для калины *j* = 1/1 кг/кг.

Амплитуда и частота колебаний тарелки являются факторами, определяющими интенсивность процесса экстрагирования [6]. Эти факторы оказывают влияние одновременно на ряд характеристик процесса: степень измельчения плодов, температура процесса и интенсивность физического воздействия. При этом необходимо отметить, что увеличение значений данных параметров в целом ведет к интенсификации процесса. Однако увеличение данных параметров также ведет к негативным последствиям, а именно к излишнему измельчению сырья и, как следствие, затруднению последующей фильтрации, а также к увеличению энергетических затрат. При этом амплитуда и частота колебаний тарелки являются определяющими факторами для процесса измельчения и времени размораживания ягод. Учитывая рекомендации [6], значения этих факторов принимались: *A* = 0,016; 0,018; 0,02 и 0,022 м; *n* для боярышника – (10,83±2,5) Гц; для калины – (8,33±2,5) Гц.

Изменение диаметра отверстий в тарелке влияет на интенсивность процесса экстрагирования и степень измельчения сырья. Уменьшение размеров отверстий приводит к увеличению скоростей истечения жидкости, что в свою очередь интенсифицирует процессы размораживания и дополнительного измельчения фрагментов, увеличивая тем самым поверхность контакта фаз. Однако уменьшение диаметра отверстий повышает вероятность их «засорения» частицами плодов и их семенами, что приводит к снижению эффективности процесса в целом. При проведении экспериментов d_0 принимался равным 0,0025; 0,003; 0,004 и 0,005 м при доле свободного сечения тарелки ἐ = 16,5 % [6].

Основными показателями интенсивности исследуемого процесса являются время насыщения (достижения равновесия) экстрагента $\tau_р$, величина достигаемой равновесной концентрации $С_{св.р}$ и мощность, потребляемая за время экстрагирования *N* [7]. Важным ограничивающим параметром является количество неразрушенных ягод после наступления состояния равновесия в системе – *m*, % масс.

При проведении экспериментов максимальное значение концентрации сухих веществ в экстракте боярышника 5,6 % масс., в экстракте калины 6,0 % масс. Для выбора рациональных режимов процесса из результатов экспериментов были исключены режимы, при которых максимальное значение концентрации сухих веществ в экстракте составило для боярышника менее 4,6 % масс., для калины менее 5,0 % масс.

При экстрагировании боярышника на некоторых режимах остается до 63 % неразрушенных плодов, при экстрагировании калины – до 95 %. Режимы, при которых остается более 3 % неразрушенных плодов, были признаны нерациональными и исключены из результатов экспериментов.

Результаты и их обсуждение

Анализ результатов экспериментов позволил сделать вывод, что для определения наиболее эффективных режимов экстрагирования необходимо комплексно учитывать режимные и энергетические параметры процесса. Для решения данной задачи в качестве критериев оценки были приняты следующие параметры.

1. Равновесная концентрация сухих веществ $С_{св.р}$, % масс.

2. Эффективность процесса экстрагирования Э, кг/(Дж·с), которую определяли следующим образом:

$$Э = \frac{П}{Е}, \quad (1)$$

где П – производительность экстрактора, кг/с; Е – энергетические затраты, Дж.

$$П = \frac{М_с - М_ш}{\tau_р} \cdot \frac{С_{св.р}}{100}, \quad (2)$$

где $М_с$ – масса смеси плодов и экстрагента, кг; $М_ш$ – масса шрота после экстрагирования, кг; $\tau_р$ – время достижения состояния равновесия системы, с; $С_{св.р}$ – равновесная концентрация сухих водорастворимых веществ в экстракте, % масс.

$$Е = \overline{N} \cdot \tau_р, \quad (3)$$

где $\overline{N}$ – среднее значение полезной мощности, потребляемой при экстрагировании, Вт.

$$\overline{N} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} N_i}{n}, \quad (4)$$

где N_i – значение полезной мощности при i-м измерении, Вт; n – количество i-х измерений.

Полезная мощность – разность между общими энергозатратами и энергозатратами на холостой ход.

3. Удельные затраты на процесс экстрагирования $Е_{уд}$, Дж/% масс., которые определяли как

$$Е_{уд} = \frac{Е}{С_{св.р}}. \quad (5)$$

В табл. 1 и 2 представлены результаты экспериментов и расчетов основных параметров процесса.

Таблица 1

Результаты экспериментов и расчета эффективности и удельных энергозатрат процесса получения экстракта боярышника

№ п/п	$A\times10^3$, м	n, Гц	$d_0\times10^3$, м	$С_{св.р}$, % масс.	$Э\cdot10^9$, кг/(Дж·с)	$Е_{уд}$, Дж/% масс.
1	20	13,33	4	5,6	1,44	5368
2	20	10,83	4	5,2	2,20	3782
3	20	13,33	3	5,0	1,11	7380
4	20	10,83	3	4,8	1,08	6450
5	20	13,33	5	4,6	0,84	7190
6	20	10,83	5	4,6	0,57	7148
7	20	13,33	2,5	4,6	0,85	8103
8	20	10,83	2,5	4,6	0,85	7207
9	22	13,33	4	5,6	2,26	4669
10	22	10,83	4	5,2	2,00	4336
11	22	13,33	3	5,0	1,05	8076
12	22	10,83	3	4,8	1,83	5344
13	22	13,33	5	4,6	2,51	4246
14	22	10,83	5	4,6	1,99	4187
15	22	13,33	2,5	4,8	0,91	8234
16	22	10,83	2,5	4,6	2,59	4510
17	18	13,33	4	5,2	1,09	5668
18	18	10,83	4	4,8	1,72	4013
19	18	13,33	3	4,6	1,30	6196
20	18	13,33	5	4,6	1,55	4904
21	18	13,33	2,5	4,6	0,87	7842

В ходе анализа экспериментальных данных наиболее рациональными позиционировались режимы, при которых показатель эффективности стремился к максимальным значениям.

Исходя из данных, представленных в табл. 1, можно сделать вывод, что рациональными режимами для экстрагирования плодов боярышника являются режимы № 16, 13, 9, расположенные по убыванию показателя эффективности процесса. Данные режимы проводились при амплитуде A = 0,022 м. Системы достигали равновесия на 7,5 мин. Влияние диаметра отверстий тарелок на эффективность процесса экстрагирования можно объяснить следующим образом. При d_0 = 0,0025 м (режим № 16; n = 10,8 Гц, Э = $2{,}59\cdot10^{-9}$ кг/(Дж·с)) в камере экстрактора создается интенсивная циркуляция жидкой фазы, что приводит к изменению гидродинамической обстановки, наблюдаемой с первых минут процесса. При частоте n = 13,3 Гц и аналогичных остальных параметрах процесса (режим № 15) за счет высоких энергозатрат значения показателя эффективности процесса значительно меньше (Э = $0{,}91\cdot10^{-9}$ кг/(Дж·с)). Диаметры отверстий тарелок d_0 = 0,004 м (режим № 9) и d_0 = 0,005 м (режим № 13) соизмеримы с размерами плодов. При d_0 = 0,005 м плоды более свободно проходят через отверстия в тарелке, чем при d_0 = 0,004 м. В результате при режиме № 9 плоды интенсивнее разрушаются и концентрация сухих веществ на данном режиме достигает максимальных значений ($С_{св.р}$ = 5,6 % масс.).

При амплитудах A = 0,018 м и A = 0,020 м на всех режимах остается порядка 3 % неразрушенных плодов. За счет этого выход экстракта снижен и, как следствие, значение производительности получается меньше. Следовательно, показатель эффективности достигает меньших значений. Исключение представляет режим № 2, при котором значение показателя эффективности относительно высокое (Э = $2{,}20\cdot10^{-9}$ кг/(Дж·с)), что объясняется следующим: система достигает состояния равновесия рано (на 7,5 мин), следовательно, значения энергозатрат минимальны по сравнению с другими режимами при амплитуде A = 0,02 м.

По результатам, представленным в табл. 2, можно сделать вывод, что оптимальными режимами для экстрагирования плодов калины являются режимы № 22, 24, 18, 7 и 17, расположенные по убыванию показателя эффективности процесса.

Максимальные значения показателя эффективности достигаются при амплитуде A = 0,018 м, n = 10,8 Гц, d_0 = 0,004 м (режим № 22; Э = $3{,}93\cdot10^{-9}$ кг/(Дж·с)) и d_0 = 0,005 м (режим № 24; Э = $3{,}67\cdot10^{-9}$ кг/(Дж·с)).

Более низкие значения показателя эффективности при аналогичных режимах на амплитудах A = 0,02 м (режим № 1; Э = $0{,}82\cdot10^{-9}$ кг/(Дж·с) и режим № 6; Э = $0{,}68\cdot10^{-9}$ кг/(Дж·с)) и A = 0,022 м (режим № 16; Э = $1{,}71\cdot10^{-9}$ кг/(Дж·с) и режим № 18; Э = $3{,}19\cdot10^{-9}$ кг/(Дж·с)) соответственно объясняются большими энергозатратами. Однако режим № 18 (A = 0,022 м, n = 10,8 Гц, d_0 = 0,005 м) следует отнести к наиболее рациональным режимам наряду с режимом № 17 (A = 0,022 м, n = 8,3 Гц, d_0 = 0,005 м), так как значения показателя эффективности на этих режимах составляют соответственно Э = $3{,}19\cdot10^{-9}$ и Э = $2{,}49\cdot10^{-9}$ кг/(Дж·с), что объясняется следующим: на этих режимах достаточно рано достигаются высокие значения концентрации сухих веществ: $С_{св.р}$ = 6 % масс. на 5 мин и $С_{св.р}$ = 5,6 % масс. на 10 мин соответственно.

Таблица 2

Результаты экспериментов и расчета эффективности и удельных энергозатрат процесса получения экстракта калины

№ п/п	$A\times10^3$, м	n, Гц	$d_0\times10^3$, м	$C_{св.р}$, % масс.	$Э\cdot10^9$, кг/(Дж·с)	$E_{уд}$, Дж/% масс.
1	20	10,83	4	5,0	0,82	11837
2	20	8,33	4	5,0	1,44	6248
3	20	10,83	3	5,6	1,27	10621
4	20	8,33	3	5,6	1,01	9372
5	20	8,33	5	5,4	1,96	6802
6	20	10,83	5	5,6	0,68	14708
7	20	8,33	2,5	5,4	2,51	5433
8	20	10,83	2,5	5,8	0,44	17753
9	16	10,83	3	5,6	1,14	5128
10	16	10,83	5	5,6	2,25	4004
11	16	10,83	2,5	6,0	1,72	4371
12	16	8,33	2,5	5,8	0,63	9581
13	22	8,33	3	5,6	0,47	16574
14	22	10,83	3	5,6	0,58	17121
15	22	8,33	4	5,4	1,83	5154
16	22	10,83	4	5,4	1,71	7775
17	22	8,33	5	5,6	2,49	3874
18	22	10,83	5	6,0	3,19	6511
19	22	8,33	2,5	5,6	0,63	16101
20	22	10,83	2,5	6,0	0,39	19750
21	18	8,33	4	5,6	1,48	2706
22	18	10,83	4	5,4	3,93	3332
23	18	8,33	5	5,4	0,53	12888
24	18	10,83	5	5,4	3,67	3667
25	18	10,83	3	5,2	1,25	6237
26	18	10,83	2,5	5,6	1,66	3045
27	18	8,33	2,5	5,2	0,27	19188

При амплитуде A = 0,02 м наиболее эффективным является режим № 7 (n = 8,3 Гц, d_0 = 0,0025 м, Э = $2{,}51\cdot10^{-9}$ кг/(Дж·с)). При диаметре отверстий тарелки d_0 = 0,0025 м в обрабатываемом объеме происходит интенсивная циркуляция жидкой фазы, что приводит к изменению гидродинамической обстановки в рабочей камере экстрактора.

Невысокие значения эффективности при амплитуде A = 0,016 м объясняются тем, что система достигает состояния равновесия сравнительно поздно (на 12,5…20 мин).

На основании проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

– при приготовлении экстракта из плодов боярышника факторы, влияющие на процесс, должны выбираться из следующих диапазонов: $A \in$ [0,018; 0,022] м; $n \in$ [10,83; 13,33] Гц; $d_0 \in$ [0,0025; 0,004] м и $\tau_р \in$ [450; 1200] с;

– при приготовлении экстракта из плодов калины – $A \in$ [0,016; 0,022] м; $n \in$ [8,33; 10,83] Гц; $d_0 \in$ [0,0025;0,005] м и $\tau_р \in$ [450; 1200] с.

После обработки экспериментальных данных на ЭВМ в среде статистического пакета STATISTICA-8,0 были получены уравнения регрессии, описывающие процесс получения экстрактов, которые имеют следующий вид.

Для экстракта из плодов боярышника в диапазонах $C_{св.р} \in$ [4,6; 5,6] % масс., Э $\in$ [$0{,}57\cdot10^{-9}$; $2{,}59\cdot10^{-9}$] кг/(Дж·с) и $E_{уд} \in$ [3782; 8234] Дж/% масс.:

$$C_{св.р} = 0{,}3074 + 91{,}4\cdot A + 0{,}0916\cdot n + 478{,}5\cdot d_0 + 0{,}000201\cdot\tau_р,\quad R = 94\ \%; \qquad (6)$$

$$Э\cdot10^9 = 2{,}587 + 49{,}4\cdot A - 0{,}094\cdot n + 198{,}95\cdot d_0 - 0{,}002716\cdot\tau_р,\quad R = 90\ \%; \qquad (7)$$

$$E_{уд} = -4924{,}34 + 201650\cdot A + 494{,}8\cdot n - 883220\cdot d_0 + 6{,}27\cdot\tau_р,\quad R = 93\ \%. \qquad (8)$$

Диапазоны $C_{св.р}$, Э и $E_{уд}$ были определены экспериментально.

Для экстракта из плодов калины обыкновенной в диапазонах $C_{св.р} \in$ [5; 6] % масс., Э $\in$ [$0{,}27\cdot10^{-9}$; $3{,}93\cdot10^{-9}$] кг/(Дж·с) и $E_{уд} \in$ [2706; 19750] Дж/% масс.:

$$C_{св.р} = 6{,}11 - 67\cdot A + 0{,}0483\cdot n - 26{,}2\cdot d_0 + 0{,}000777\cdot\tau_р,\quad R = 97{,}6\ \%; \qquad (9)$$

$$Э\cdot10^9 = 7{,}1 - 48{,}775\cdot A - 0{,}2002\cdot n - 116{,}79\cdot d_0 - 0{,}004485\cdot\tau_р,\quad R = 94\ \%; \qquad (10)$$

$$E_{уд} = -21772{,}5 - 10900\cdot A + 2338{,}9\cdot n - 1096500\cdot d_0 + 24{,}8\cdot\tau_р,\quad R = 91\ \%. \qquad (11)$$

Анализируя данные уравнения, можно заметить следующее: при экстрагировании плодов боярышника увеличение в указанных пределах амплитуды колебаний A ведет к увеличению выхода сухих растворимых веществ $C_{св.р}$ (уравнение (6)), что объясняется интенсификацией перемешивания фаз. По той же причине увеличение частоты колебаний n ведет к росту величины $C_{св.р}$. Рост концентрации $C_{св.р}$ с увеличением диаметра отверстий d_0 обусловливается структурой и размерами плодов боярышника, содержащих по 2–5 косточек. Размер косточки в несколько раз меньше размеров самого плода. Поэтому отверстия с меньшим диаметром могут частично перекрываться не разрушающимися при работе экстрактора косточками, в результате чего ухудшается гидродинамическая обстановка и снижается выход сухих растворимых веществ $C_{св.р}$. Увеличение времени экстрагирования в указанных пределах ведет к росту величины $C_{св.р}$ за счет увеличения продолжительности контакта фаз.

Из уравнения (8) можно заметить, что увеличение A и n ведет к увеличению $E_{уд}$ вследствие возрастания затрат мощности, потребляемой на перемещение рабочим органом. Увеличение $\tau_р$ также ведет к росту потребления энергии. В отличие от перечисленных факторов увеличение d_0 ведет к снижению энергозатрат, так как уменьшается сопротивление перемещению тарелки со стороны среды.

Рост значений A и d_0 ведет к росту показателя эффективности Э (уравнение (7)) за счет роста величины $C_{св.р}$. Увеличение n и $\tau_р$ ведет к снижению Э благодаря увеличению удельных энергозатрат $E_{уд}$.

Плоды калины имеют морфологию, значительно отличающуюся от морфологии плодов боярышника. У них водянистая структура, одна крупная косточка, размеры которой сопоставимы с размерами самих плодов. Поэтому влияние факторов A, n, d_0 и $\tau_р$ на процесс экстрагирования плодов калины во многом отличается от их влияния на процесс экстрагирования плодов боярышника. Например, при увеличении амплитуды A в силу наличия в плодах калины большого количества пектина [10], который является природным клеящим веществом [11], происходит интенсивное захватывание системой плоды – экстрагент воздуха, смесь из жидкой превращается в пенообразную. В результате уменьшается поверхность контакта фаз, поэтому снижаются выход сухих растворимых веществ $С_{св.р}$ (уравнение (9)) и показатель эффективности процесса Э (уравнение (10)). Энергетические затраты $Е_{уд}$ (уравнение (11)) с увеличением A также снижаются, что объясняется уменьшением гидравлического сопротивления перемещению тарелки со стороны среды.

Увеличение диаметра отверстий d_0 в тарелке также ведет к уменьшению величин $С_{св.р}$ (уравнение (9)), Э (уравнение (10)) и $Е_{уд}$ (уравнение (11)), это объясняется водянистой структурой плодов калины, имеющих довольно прочную оболочку. Такое строение плодов обусловливает то, что отверстия с меньшими диаметрами обеспечивают разрушение большего количества плодов по сравнению с отверстиями большего диаметра, что ведет к уменьшению выхода сухих растворимых веществ $С_{св.р}$ и снижению эффективности процесса Э при увеличении d_0. Снижение энергозатрат $Е_{уд}$ при увеличении d_0 обусловливается уменьшением сопротивления движению тарелки со стороны среды.

Влияние параметров n и $\tau_р$ на процесс экстрагирования плодов калины такое же, как и при экстрагировании плодов боярышника.

При оценке комплекса факторов, влияющих на процесс экстрагирования, необходимо учитывать, что величины $С_{св.р}$ и Э должны стремиться к максимальным значениям, а $Е_{уд}$ – к минимуму. Полученные уравнения регрессии делают возможным решение задачи оптимизации, которая формулируется следующим образом: найти такие значения входных факторов, которые обеспечивают как можно больший показатель эффективности процесса при наиболее возможном выходе сухих веществ и наименьших удельных энергозатратах.

Список литературы

1. Сорокопуд, А.Ф. Об использовании растительных ресурсов для обогащения продуктов питания / А.Ф. Сорокопуд, Н.В. Дубинина. – М., 2008. – 10 с. – Деп. в ЦИиТЭИагропром 18.02.08, № 3 ВС.

2. Аксельруд, Г.А. Экстрагирование (система твердое тело – жидкость) / Г.А. Аксельруд, В.М. Лысянский. – Л.: Химия, 1974. – 256 с.

3. Белобородов, В.В. Проблемы экстрагирования в пищевой промышленности / В.В. Белобородов // Известия вузов СССР. Пищевая технология. – 1986. – № 3. – С. 6–11.

4. Плотников, И.Б. Совершенствование способа получения экстрактов из замороженного ягодного сырья в аппарате с вибрационной тарелкой: дис. ... канд. техн. наук / Плотников Игорь Борисович. – Кемерово, 2011. – 150 с.

5. Городецкий, И.Я. Вибрационные массообменные аппараты / И.Я. Городецкий, А.А. Васин, В.М. Олевский, П.А. Луапанов. – М.: Химия, 1980. – 192 с.

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

7. Сорокопуд, А.Ф. Интенсификация экстрагирования плодово-ягодного сырья с использованием низкочастотного вибрационного воздействия / А.Ф. Сорокопуд, В.А. Помозова, А.С. Мустафина // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2000. – № 5. – С. 24–27.

8. Пат. 2341979 Российская Федерация, МПК51 A23L 1/212. Способ получения экстрактов / А.Ф. Сорокопуд, М.В. Суменков; заявитель и патентообладатель Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – № 2007116408/13; заявл. 02.05.2007; опубл. 27.12.2008, Бюл. № 36. – 4 с.

9. Сорокопуд, А.Ф. Целесообразность использования плодов боярышника кроваво-красного и калины обыкновенной для обогащения продуктов питания массового потребления / А.Ф. Сорокопуд, Н.В. Дубинина. – М., 2008. – 9 с. – Деп. в ЦИиТЭИагропром 18.02.08, № 2 ВС.

10. http://medicina.kharkov.ua/medicinal-plant/781-viburnum-opulus.html

11. http://www.calorizator.ru/product/raw/pectin

Рубцовский индустриальный институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова»,
658207, Россия, г. Рубцовск, ул. Тракторная, 2/6.
Тел./факс: (38557) 5-98-26
e-mail: rii@rubinst.ru

SUMMARY

N.V. Dubinina, V.V. Gritsenko, J.V. Simsive

OBTAINING OF EXTRACTS FROM FROZEN FRUIT RAW MATERIALS IN THE VIBRATORY APPARATUS

The results of the research on obtaining extracts from the frozen fruits of hawthorn and May rose in the apparatus with a vibrating plate are presented. The equations of multiple regression to calculate the content of solids, the process efficiency and specific energy consumption depending on amplitude, fluctuation frequency, diameter of openings in the plate and the period of achieving the equilibrium state by the system are obtained.

Vibratory apparatus, efficiency and specific energy consumption of the process, content of solids.

Rubtsovsk Industrial Institute
2/6, Traktornaya St., Rubtsovsk, 658207, Russia
Phone/Fax: +7 (38557) 5-98-26
e-mail: rii@rubinst.ru