

УДК 66.048.54

## **Исследование процесса деалкоголизации спиртованных соков в роторном пленочном аппарате**

Канд. техн. наук **И.Е. Радионова**, iraradionowa@yandex.ru

Канд. техн. наук **В.В. Кисс**, vvkiss@yandex.ru

Университет ИТМО

191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

*В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований процесса деалкоголизации спиртованных соков в роторном пленочном аппарате с жестко закрепленными лопастями. Исследования производились на экспериментальном стенде. В процессе исследований изменялись основные параметры процесса деалкоголизации спиртованных соков, а именно: начальная температура сока, скорость подачи сока в аппарат, давление греющего пара и давление разряжения в аппарате. В результате исследований было определено влияние параметров проведения процесса деалкоголизации на эффективность данного процесса. Также были произведены исследования качественных и количественных характеристик спиртованных фруктовых соков до и после деалкоголизации. В результате установлено, что проведение процесса деалкоголизации в роторном пленочном аппарате позволяет получить фруктовые соки соответствующие установленным стандартам качества.*

**Ключевые слова:** деалкоголизация, спиртованные соки, роторный пленочный аппарат, параметры процесса.

---

## **Research of process of a dealkogolization spirtovannykh of juice in the rotor film device**

Ph. D. **I.E. Radionova**, iraradionowa@yandex.ru

Ph. D. **V.V. Kiss**, vvkiss@yandex.ru

ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

*In the real work results of pilot studies of process of a dealkogolization the spirtovannykh of juice in the rotor film device with rigidly fixed blades of Research are presented were made at the experimental stand. In the course of researches key parameters of process of a dealkogolization the spirtovannykh of juice changed, namely: reference temperature of juice, speed of supply of juice in the device, pressure of the heating steam and pressure of discharge in the device. As a result of researches influence of parameters of carrying out process of a dealkogolization on efficiency of this process was defined.*

*Also researches of qualitative and quantitative characteristics the spirtovannykh of fruit juice before and after a dealkogolization were made. It is as a result established that carrying out process of a dealkogolization in the rotor film device allows to receive the fruit juice conforming to the established quality standards.*

**Keywords:** dealkogolization, spirtovanny juice, rotor film device, process parameters.

---

## Введение

При производстве безалкогольных напитков основным сырьем являются плодово-ягодные соки. Наиболее простой и эффективный метод сохранения соков – консервирование их этиловым спиртом с последующей деалкоголизацией. (Алексеев В.П. 1985, Гитенштейн Б.М.,1987, Сачава М.С. 1987). В связи с тем, что плодово-ягодные соки являются термолабильными веществами, процесс деалкоголизации необходимо проводить при возможно низкой температуре и минимальной продолжительности контакта продукта с теплообменной поверхностью. Соблюдение данных условий возможно в роторных пленочных вакуум-выпарных аппаратах, которые обладают рядом существенных преимуществ перед многими аппаратами другого типа: значительно меньшая продолжительность процесса (до десятков секунд), более высокая эффективность тепло- и массообмена, которая достигается за счет того, что формирование пленочного течения продукта и его интенсивная турбулизация осуществляются под действием лопастей, укрепленных на валу вращающегося ротора. (Антипов С.Т. 2009).

## Материалы и методы

Роторные пленочные аппараты (РПА) относятся к классу аппаратов с подводом механической энергии, за счет которой лопасти ротора при его вращении образуют на рабочей поверхности пленочное течение обрабатываемого жидкого продукта. При этом свободная поверхность пленки продуктов взаимодействует с парогазовой фазой, находящейся внутри корпуса аппарата.(Василинец И.М.1989). Роторные пленочные вакуум-выпарные аппараты нашли широкое применение в пищевой промышленности (Алтаев К.Р.1987, Лисер с.А.1989, Алтаев С.А. 1989, Сафонова Е.А. 2003, Радионова И.Е.2014).

В процессе экспериментов деалкоголизацию спиртованных соков осуществляли на экспериментальной установке, в состав которой входили: роторный пленочный вакуум-выпарной аппарат с жестко закрепленными лопастями, камера каплеотделения, вакуумный насос, конденсатор.

В процессе экспериментов использовали следующие параметры аппарата:

- расстояние между соседними лопастями 113 мм, что соответствует для экспериментального аппарата с числом лопастей 3;
- зазор между лопастями ротора и рабочей поверхностью корпуса 1 мм (такая величина зазора является наиболее распространенной в РПА с жестко закрепленными лопастями);
- величина скорости концов лопастей ротора оставалась постоянной и равной 12 м/с.(Василинец И.М. 1989, Айтайулы С.2012)

Процесс деалкоголизации спиртованных соков проводили при подаче греющего пара в рубашку РПА. Подача исходного сока в аппарат изменилась в пределах 50-90 кг/ч. Для проведения исследований были использованы яблочный и виноградный спиртованные соки.

В процессе экспериментов контролировали давление греющего пара в рубашке аппарата, разрежение в системе, температуру исходного и деалкоголизованного сока, температуру внутренней поверхности стенки аппарата.

В процессе экспериментов контролировали давление греющего пара в рубашке аппарата, разрежение в системе, температуру исходного и деалкоголизованного сока, температуру внутренней поверхности стенки аппарата.

## Результаты и обсуждение

Качество соков определяли по органолептическим показателям без разведения дегустацией при 20 °С. Полученные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Оценка качества соков до и после деалкоголизации**

Наименование показателя	Наименование сока	Характеристика	
		Спиртованный сок	Деалкоголизованный сок
Внешний вид	Виноградный	Прозрачный, слабый опал, исчезающий после фильтрации	Прозрачный, без осадка и посторонних включений
	Яблочный	Прозрачный, слабый опал, исчезающий после фильтрации	Прозрачный, без осадка и посторонних включений
Цвет	Виноградный	Светло-коричневый	Кремовый
	Яблочный	Светло-коричневый	Кремовый
Вкус и аромат	Виноградный	Сладкий, спиртовый запах	Сладкий, с ароматом, свойственным винограду
	Яблочный	Сладкий, спиртовый запах	Сладкий, с ароматом свежих яблок

Дегустация деалкоголизованных соков показала, что соки имеют гармоничный вкус, хотя аромат их несколько слабее за счет частичной потери ароматических веществ. Деалкоголизация не придает им уваренных тонов, цвет соков не меняется.

Также качество соков оценивали по физико-химическим показателям:

- кислотность соков определил электрометрическим титрованием;
- содержание спирта в соках определяли после отгонки спирта по относительной плотности дистиллята;
- массовую долю сухих веществ рефрактометрическим методом;
- содержания пектиновых веществ. Физико-химические показатели приведены в таблице 2.

Таблица 2

**Физико-химические показатели качества соков**

Наименование сока	Наименование показателя				
	Объемная доля спирта, %	Массовая доля сухих веществ, %	Массовая концентрация титруемых кислот, г/100 см <sup>3</sup>	Содержание сахара, г/100 см <sup>3</sup>	Содержание пектиновых веществ, г/100 см <sup>3</sup>
Виноградный исходный	16,0	16,0	0,43	13,4	Следы
Деалкоголизованный полуконцентрат	0-5,6	18,5-32,5	0,45-0,86	15,5-27,4	Не более 0,1
Деалкоголизованный	0-4,5	16,0	0,36-0,38	13,4	Следы
Яблочный исходный	16,0	11,5	0,55	9,6	0,17
Деалкоголизованный полуконцентрат	0-5,5	13,5-32,6	0,7-1,3	11,3-27,2	0,34-0,9
Деалкоголизованный	0-4,3	11,5	0,5-0,55	9,5-9,6	0,15

Из таблицы 2 видно, что физико-химические показатели качества соков после деалкоголизации в РПА остаются практически без изменений. Кислотность почти во всех опытных образцах деалкоголизованного виноградного сока была ниже исходной, что связано с выпадением тартратов при обработке в РПА. Кислотность яблочного сока не меняется в связи с хорошей растворимостью солей яблочной кислоты.

Ароматические вещества исследовали на хроматографе.

Разделение смеси ароматообразующих компонентов проводили с программированием температуры в режиме от 30°C до 125°C со скоростью 3°C/мин, изотермический анализ при 125°C в течение 25 мин., дальнейшее повышение температуры колонки до 185°C с той же скоростью и последующим изотермическим элюированием при 185°C. Колонка из нержавеющей стали длиной 2,4 м и внутренним диаметром 3 мм была наполнена жидкой фазой – диэтиленгликолевый эфиром янтарной кислоты 15% от веса набивки – хромосорба W, промытого кислотой 80/100 меш. Чувствительность планенно-ионизационного детектора составляла 1:16, чувствительность самописца 1:1, Расход газа-носителя азота на выходе из колонки составлял 29 мл/мин, расход газов горелки детектора составлял: водорода – 30 мл/мин, а воздуха – 300 мл/мин. Запись сигналов плазменно-ионизационного детектора производили автоматически потенциометром ЗПП-0,9 с пределами измерений  $9-10 \cdot 10^{-3}$  В при скорости прохождения кареткой всей шкалы за 1 с. Скорость движения диаграммной ленты 400 мм/ч. Подготовку проб сока к газохроматографическому анализу осуществляли методом фронтально-адсорбционного концентрирования ароматических веществ.

В таблице 3 представлены результаты газохроматографического анализа спиртованного и деалкоголизованного соков.

Таблица 3

### Газохроматографический анализ соков

Компоненты	Содержание, %			
	Яблочный сок		Виноградный сок	
	Спиртованный	Деалкоголизованный	Спиртованный	Деалкоголизованный
Ацетальдегид	0,0008	0,0006	0,0006	0,0003
Пропионовый альдегид	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Метилацетат	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Этилацетат	0,0001	0,0000	0,0001	0,0001
Метил-пропионат	0,0001	0,0001	0,0002	0,0002
Метанол	0,0027	0,0008	0,0011	0,0003
Н-пропанол	0,0003	0,0002	0,0000	0,0000
Изобутанол	0,0003	0,0001	0,0005	0,0004
Н-бутанол	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001
Изоамил	0,0015	0,0007	0,0020	0,0016
Гексанол	0,0012	0,0009	0,0018	0,0012

Анализ данных таблицы 3 показывает, что состав деалкоголизованных соков незначительно отличается от исходного по группе летучих веществ. Кроме того, в деалкоголизованном соке отмечается снижение таких токсичных компонентов, как ацетальальдегид, придающего горечь, и метанол.

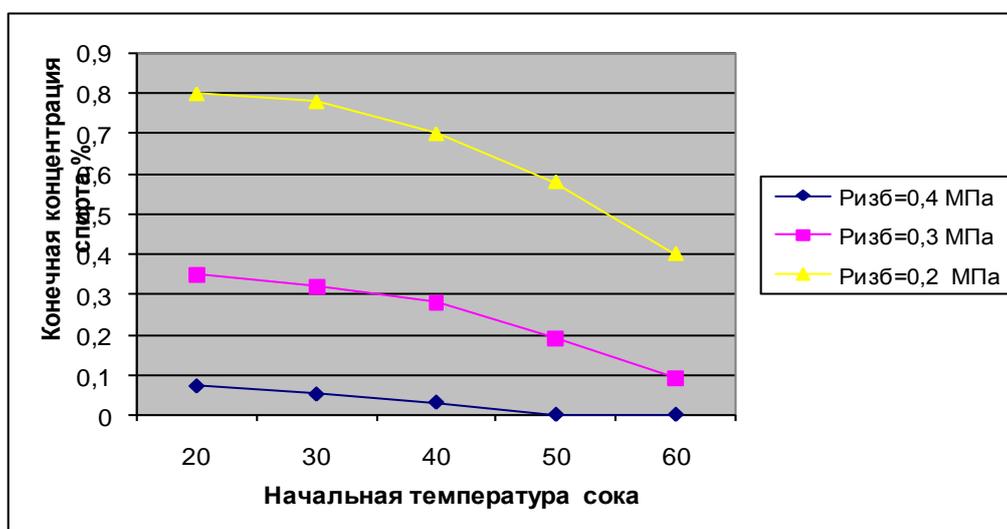
Таким образом, в результате деалкоголизации в роторном пленочном вакуум-выпарном аппарате качественные показатели плодово-ягодных соков практически не меняются.

Результаты экспериментальных исследований показали, что на глубину отгонки спирта влияют следующие технологические параметры процесса:

- начальная температура сока;
- скорость подачи спиртованного сока в аппарат;

- величина остаточного давления в аппарате;
- давление греющего пара, подаваемого в рубашку РПА.

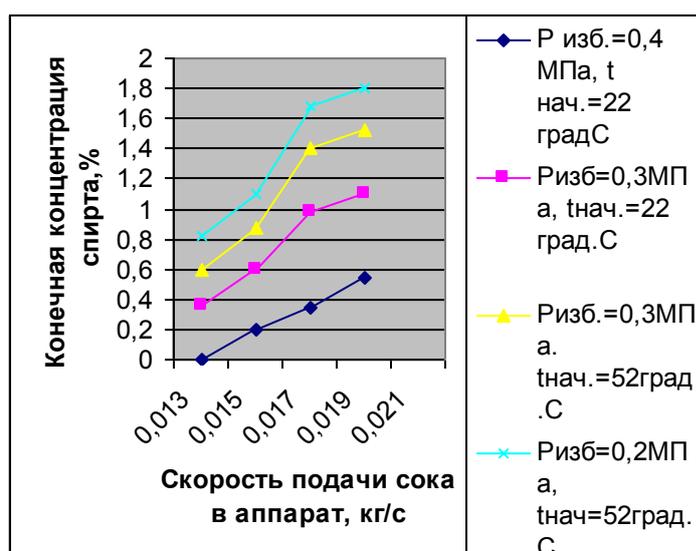
Влияние начальной температуры сока на глубину отгонки спирта показано на рис. 1.



**Рис. 1. Зависимость конечной концентрации спирта от начальной температуры сока**

Повышение параметра  $t_n$  приводит к снижению конечной концентрации спирта. Это обстоятельство обусловлено тем, что при увеличении начальной температуры сока все большая доля теплоты, передаваемой соку от стенки аппарата, тратится на отгонку спирта, и все меньшая – на нагрев до температуры деалкоголизации.

На рис. 2 представлены зависимости концентрации спирта в соке после деалкоголизации от скорости подачи исходного сока в аппарат.



**Рис. 2. Зависимость конечной концентрации спирта от скорости подачи сока в аппарат**

Характер зависимостей объясняется изменением гидродинамической обстановки: при увеличении скорости подачи сока в аппарат увеличиваются размеры «носовых волн», в которых транспортируется основная масса жидкости. Однако, в «носовых» волнах циркуляция жидкости хуже, чем в вихревых зонах, и это является одной из причин повышения конечной концентрации спирта.

Другой причиной, вероятно, является увеличение силы давления лопастей на «носовые» волны, из-за чего сокращается время нахождения сока в аппарате. Из рис. 2 видно, что даже при сравнительно большой подаче сока  $G_n = (1,7-2,5)10^{-2}$  кг/с и низкой начальной температуре  $t_n = 22-25^\circ\text{C}$  достигается удовлетворительная глубина отгонки спирта ( $f < 1,0 \%$ ). При этом давление греющего пара составляло 0,4 МПа.

На диаграмме 1 представлены зависимости съема спирта от скорости подачи сока в аппарат.

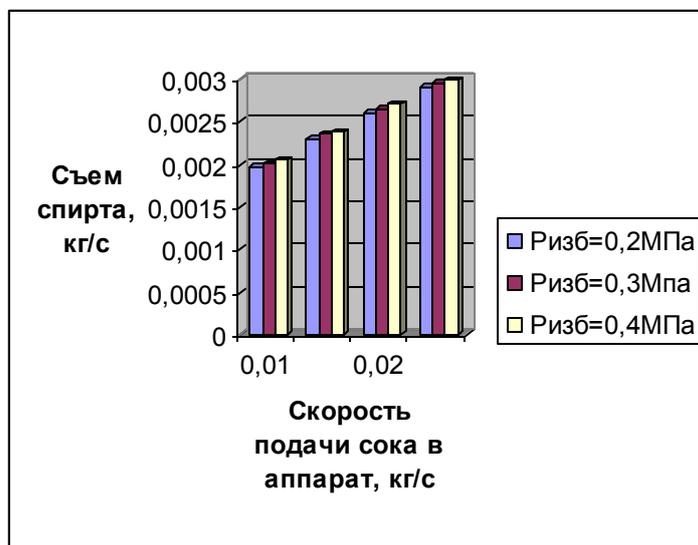


Диаграмма 1. Зависимость съема спирта от скорости подачи исходного сока в аппарат

Прямопропорциональный характер данных зависимостей говорит о том, что исследования проводились во втором основном режиме аппарата.

Увеличение давления греющего пара благоприятно сказывается на глубине отгонки спирта (рис.3).

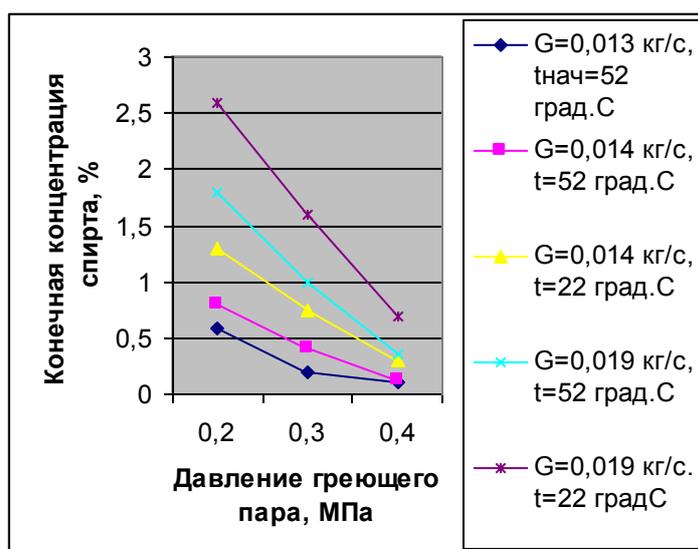


Рис. 3. Зависимость конечной концентрации спирта от давления греющего пара

Однако при высоких значениях происходит концентрирование сока, содержание сухих веществ увеличивается до 33%.

Для достижения требуемой концентрации сухих веществ необходимо разбавление полученного полуконцентрата сока обессоленной водой.

Повышение разрежения в аппарате обеспечивает снижение конечной концентрации, что объясняется понижением температуры деалкоголизации (рис. 4).

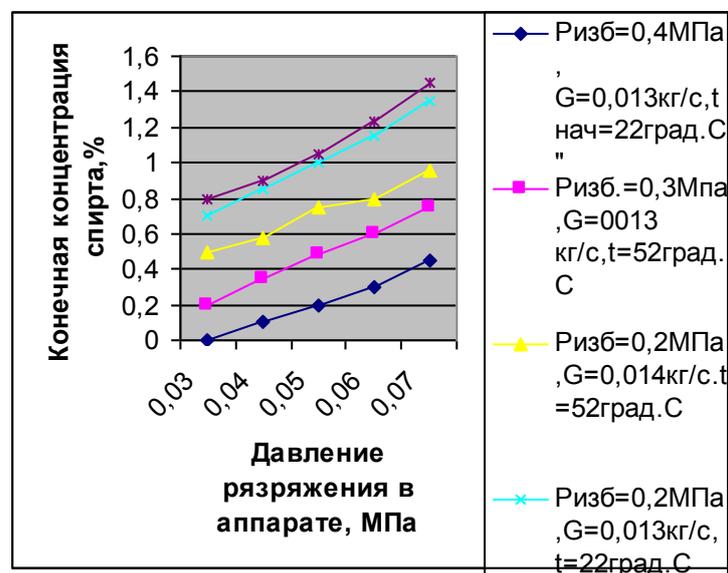


Рис. 4. Зависимости конечной концентрации спирта от разрежения в аппарате

### Выводы

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования показали, что в РПА с жестко закрепленными лопастями можно получить требуемую глубину отгонки спирта, причем оптимальная производительность аппарата по исходному соку составляет 43–60 л/ч. При этом за один проход продукта через аппарат объемной доля спирта в деалкоголизованном соке не превышает 1%. Даже при низком давлении греющего пара ( $P_{изб} = 0,203$  МПа) возможно получение полностью деалкоголизованного сока. При более высокой производительности аппарата такая глубина отгонки достигается либо за счет изменений, в определенных пределах, параметров  $t_n$ ,  $P_{изб}$ ,  $P_{ост}$ , либо проведением повторной деалкоголизации сока в РПА.

### Литература

1. Алтайулы С., Павлов И.О., Воронова Е.В. Использование метода конечных элементов для решения задачи тепломассообмена в ротационно-пленочных аппаратах // Вестник Воронеж. гос. ун-та инж. технологий. 2012. № 2. С. 45-48.
2. Алтайулы С. Ротационно-пленочные аппараты. Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГУИТ», 2012. 176 с.
3. Радионова И.Е., Кисс В.В. Результаты экспериментальных исследований процессов теплообмена при концентрировании пивного суслу // Международный научный институт «education» Ежемесячный научный журнал. 2014. №5. Ч. 2. С. 28-30.
4. Войнов Н.А., Николаев А.Л. Теплосъем при пленочном течении жидкости. Казань: Отечество, 2011. 224 с.
5. Войнов Н.А., Тароватый Д.В., Жукова О.П. Исследование вакуум-охладительной установки пленочного типа // Химия растительного сырья. 2010. № 3. С. 173-179.
6. Войнов Н.А., Жукова О.П., Ледник С.А., Николаев Н.А. Массоотдача в газожидкостном слое на вихревых ступенях // Теоретические основы химической технологии. 2013. Т.47. № 1. С.1-6.
7. Lednik S.A., Voinov O.P., Zhukova A.N., Voinov N.A. Condensation of steam-air mixture in a film-type apparatus. *Thermal Engineering*. 2012, V. 59, no. 1, pp. 75-80.
8. Емельянов А.А., Емельянов К.А., Сотников Ю.К., Тимаков А.С. Устройство для удаления влаги в вакууме: пат. 2432537 Российская Федерация. 2011. Бюл. № 30.

9. Сотников Ю.К., Емельянов К.А. Устройство автоматического выпаривания жидкого сельскохозяйственного сырья в вакууме // Автоматизация и современные технологии. 2012. №3. С.13-16.
10. Гриценко В.В. Совершенствование производства концентрированных плодово-ягодных экстрактов с использованием роторного распылительного испарителя: автореф. дис.... канд. техн. наук. Кемерово, 2009. 22 с.
11. Смирнов М.А. Разработка аппаратного оформления по переработке растительного сырья и изучение качества продукции: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Кемерово, 2011. 23 с.
12. Радионова И.Е., Кисс В.В. Исследование процесса концентрирования пивного сусла в роторном пленочном аппарате // Известия вузов. Пищевая технология. 2014. №№ 2–3.

## References

1. Altaiuly S., Pavlov I.O., Voronova E.V. Ispol'zovanie metoda konechnykh elementov dlya resheniya zadachi teplomassoobmena v rotatsionno-plenochnykh apparatakh. *Vestnik Voronezh. gos. un-ta inzh. tekhnologii*. 2012. № 2. pp. 45-48.
2. Altaiuly S. *Rotatsionno-plenochnye apparaty*. Voronezh, FGBOU VPO «VGUIT», 2012. 176 p.
3. Radionova I.E., Kiss V.V. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy protsessov teploobmena pri kontsentrirovanii pivnogo susla. *Mezhdunarodnyi nauchnyi institut «education» Ezhemesyachnyi nauchnyi zhurnal*. 2014. № 5. Ch. 2. pp. 28-30.
4. Voinov N.A., Nikolaev A.L. *Teplos'em pri plenochnom techenii zhidkosti*. Kazan, Otechestvo, 2011, 224 p.
5. Voinov N.A., Tarovaty D.V., Zhukova O.P. Issledovanie vakuum-okhladitel'noi ustanovki plenochnogo tipa. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*. 2010. № 3. pp. 173-179.
6. Voinov N.A., Zhukova O.P., Lednik S.A., Nikolaev N.A. Massootdacha v gazozhidkostnom sloe na vikhrevykh stupenyakh. *Teoreticheskie osnovy khimicheskoi tekhnologii*. 2013.V. 47. № 1. pp.1-6.
7. Lednik S.A., Voinov O.P., Zhukova A.N., Voinov N.A. Condensation of steam-air mixture in a film-type apparatus. *Thermal Engineering*. 2012, V. 59, no. 1, pp. 75-80.
8. Emel'yanov A.A., Emel'yanov K.A., Sotnikov Yu.K., Timakov A.S. *Ustroistvo dlya udaleniya vlagi v vakuume*. Patent RF no. 2432537. 2011.
9. Sotnikov Yu.K., Emel'yanov K.A. Ustroistvo avtomaticheskogo vyparivaniya zhidkogo sel'skokhozyaistvennogo syr'ya v vakuume. *Avtomatizatsiya i sovremennye tekhnologii*. 2012. №3. pp.13-16.
10. Gritsenko V.V. Sovershenstvovanie proizvodstva kontsentrirovannykh plodovo-yagodnykh ekstraktov s ispol'zovaniem rotnogo raspylitel'nogo isparitelya. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kemerovo, 2009. 22 p.
11. Smirnov M.A. Razrabotka apparatnogo oformleniya po pererabotke rastitel'nogo syr'ya i izuchenie kachestva produktsii. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kemerovo, 2011, 23 p.
12. Radionova I.E., Kiss V.V. Issledovanie protsessa kontsentrirovaniya pivnogo susla v rotrornom plenochnom apparate. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya*. 2014. №№ 2–3.