

Исследование порошкообразных экстрактов из зернового сырья с помощью рентгеноструктурного анализа

Инна В. Новикова	¹	noviv@list.ru
Елена А. Коротких	¹	dobruly@bk.ru
Алексей В. Коростелев	¹	vinodelvgta@mail.ru
Геннадий В. Агафонов	¹	kafedra_tbsp@mail.ru
Анастасия А. Пенкина	¹	penkia@mail.ru

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Реферат. В настоящее время наблюдается очередной этап повышенного интереса к улучшению качества и расширению ассортимента безалкогольных напитков и пива с выпуском новых наименований за счет привлечения альтернативных видов растительного сырья, в том числе технологичных ингредиентов рецептов – порошкообразных экстрактов солодов различных зерновых культур – ячменя, гречихи, гороха, кукурузы. Рентгенодифракционный эксперимент является одним из наиболее точных методов исследования структуры вещества на атомном и молекулярном уровне. Рентгеновская дифрактометрия позволяет, во-первых, определить характерные межатомные расстояния в веществе по положению пиков на дифрактограмме и идентифицировать их – оценить данное расстояние между атомами разных элементов. Во-вторых, по ширине дифракционных пиков можно оценить степень упорядочения структуры и определить характерные размеры полимерных образований. В-третьих, рентгеновская дифрактометрия позволяет оценить состав смеси веществ на основе сопоставления дифрактограмм от смешиваемых веществ. Впервые методом рентгеноструктурного анализа проведено сравнительное исследование структурно-механических свойств порошкообразных солодовых экстрактов с оценкой растворимости. Идентифицированы основные межатомные расстояния в экстрактах; проведено сравнительное рентгенодифракционное исследование экстракта ППЭ-2, полученного без добавления и с внесением низкосахаренной патоки при сушке. Расчет дает следующие размеры областей когерентного рассеяния: для ППЭ-2 $L = 56,07 \cdot 10^{-10}$ м; для ППЭ-2 С (патокой) $L = 7,470 \cdot 10^{-10}$ м с учетом расчетного показателя растворимости вещества с характерным размером частиц. На основе сравнения пиков рентгеновских дифрактограмм и учета размерного эффекта растворимости установлено, что добавление низкосахаренной патоки к экстракту при сушке позволяет повысить его растворимость в 1,7 раза, что согласуется с данными по растворимости, полученными по стандартной методике.

Ключевые слова: порошкообразные экстракты, солод, растворимость, рентгенодифракционное исследование

Investigation of grain raw materials powder extracts using X-ray diffraction analysis

Inna V. Novikova	¹	noviv@list.ru
Elena A. Korotkikh	¹	dobruly@bk.ru
Alexey V. Korostelev	¹	vinodelvgta@mail.ru
Gennady V. Agafonov	¹	kafedra_tbsp@mail.ru
Anastasia A. Penkina	¹	penkia@mail.ru

¹ Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Summary. Nowadays we are witnessing another stage of increased interest in improving the quality and expanding the range of soft drinks and beer with the production of new items by attracting alternative types of plant raw materials, including the technological ingredients of the recipes - powder extracts of malt of various crops - barley, buckwheat, pea, corn. X-ray diffraction experiment is one of the most accurate methods for studying the structure of matter at the atomic and molecular level. X-ray diffractometry allows, first, to determine the characteristic interatomic distances in a matter due to the position of the peaks in the diffractogram and to identify them-to determine the given distance between atoms of different elements. Secondly, the width of the diffraction peaks can be used to evaluate the degree of structure ordering and to determine the characteristic dimensions of polymer formations. Third, X-ray diffractometry makes it possible to evaluate the composition of substances mixture by comparing diffractograms of the substances being mixed. For the first time, a comparative study of the structural and mechanical properties of powdered malt extracts with the evaluation of solubility was carried out by X-ray diffraction analysis. The main interatomic distances in the extracts are identified; comparative X-ray diffraction study of the extract of PPE-2 obtained without addition and with the application of low-sugared molasses during drying was done. The calculation suggests the following dimensions of the coherent scattering areas: for PPE-2 $L = 56,07 \cdot 10^{-10}$ m; for PPE-2 C (molasses) $L = 7,470 \cdot 10^{-10}$ m taking into account the calculated solubility index of a substance with a characteristic particle size. On the basis of comparing X-ray diffraction peaks and taking into account the size solubility effect, it was found that the addition of low-sugared molasses to the extract during drying makes it possible to increase its solubility by 1.7 times, which is consistent with the solubility data obtained by the standard procedure.

Keywords: powdered extracts, malt, solubility, vegetable raw materials, X-ray diffraction analyses

Для цитирования

Новикова И.В., Коротких Е.А., Коростелев А.В., Агафонов Г.В., Пенкина А.А. Исследование порошкообразных экстрактов из зернового сырья с помощью рентгеноструктурного анализа // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 2. С. 143–147. doi:10.20914/2310-1202-2017-2-143-147

For citation

Novikova I.V., Korotkikh E.A., Korostelev A.V., Agafonov G.V., Penkina A.A. Investigation of grain raw materials powder extracts using X-ray diffraction analysis. *Vestnik VGUET* [Proceedings of VSUET]. 2017. vol.79. no. 2. pp. 143–147. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2017-2-143-147

Введение

В настоящее время наблюдается очередной этап повышенного интереса к улучшению качества и расширению ассортимента безалкогольных напитков и пива с выпуском новых наименований за счет привлечения альтернативных видов растительного сырья, в том числе технологичных ингредиентов рецептур – порошкообразных экстрактов солодов различных зерновых культур – ячменя, гречихи, гороха, кукурузы [1, 2, 4–7, 10].

Экстракт представляет собой порошок из агломерированных частиц экстракта разных форм и размеров, зависящих от режимов сушки [8–10]. Одним из основных физико-химических показателей экстрактов является растворимость. При распылительной сушке индекс растворимости должен быть не более 0,200 – 0,005 см³ сырого осадка (растворимость 98,0–99,5%). Чем меньше индекс растворимости, тем больше растворимость порошка в воде.

Рентгенодифракционный эксперимент является одним из наиболее точных методов исследования структуры вещества на атомном и молекулярном уровне [3]. Рентгеновская дифрактометрия позволяет, во-первых, определить характерные межатомные расстояния в веществе по положению пиков на дифрактограмме и идентифицировать их – оценить данное расстояние между атомами разных элементов. Во-вторых, по ширине дифракционных пиков можно оценить степень упорядочения структуры и определить характерные размеры полимерных образований. В-третьих, рентгеновская дифрактометрия позволяет оценить состав смеси веществ на основе сопоставления дифрактограмм от смешиваемых веществ.

Материалы и методы

Для исследования некоторых технологических свойств порошкообразных экстрактов были получены образец ППЭ-1 – трехкомпонентный экстракт солодов (гречишный: кукурузный: ячменный – 1:1:1); ППЭ-2 – трехкомпонентный экстракт солодов – гречишный: гороховый: ячменный – 1:1:1); образец ПГрСЭ – экстракт солода гречихи; образец ПГСЭ – экстракт солода гороха [1, 2].

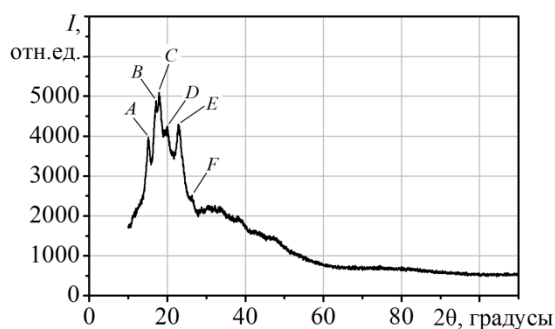


Рисунок 1. Дифрактограмма от ППЭ-2

Figure 1. The diffraction pattern of PPE-2

Для получения порошкообразных продуктов применяли распылительную сушку [8, 9]. Разработанная физико-математическая модель сушки позволила подобрать оптимальные технологические параметры, при которых образуется сплошная, прочно удерживающаяся на стенках, пленка порошкообразного продукта. При реализации режима получали порошкообразные экстракты с необходимыми структурно – механическими свойствами при максимальной эффективности процесса.

Для рентгенодифракционного исследования были подготовлены образцы экстрактов, которые помещали в цилиндрическое углубление медной ювелиры и утрамбовывали со связующим рентгенопрозрачным веществом.

Полученные результаты и их обсуждение

Рентгеновские дифрактограммы были получены для всех образцов солодовых экстрактов в виде графиков в программе MS Excel, по которым проводили Фурье-преобразование и получали диаграммы другого типа с четким физическим смыслом, с анализом и сопоставлением данных структурообразовании дисперсных частиц порошков. На рисунках 1, 2 приведены дифрактограммы трехкомпонентного экстракта ППЭ-2 (из солодов гречихи, гороха, ячменя).

Получены результаты по совершенствованию одной из основных технологических характеристик порошков – растворимости. ППЭ-2 был получен при обычном режиме распылительной сушки (дифрактограмма на рисунке 1), а также путем добавления в высушиваемый экстракт низкоосахаренной патоки в количестве 10% от массы сухих веществ в экстракте (дифрактограмма на рисунке 2).

Низкоосахаренная патока (ГОСТ Р 52060-2003 «Патока крахмальная. Общие технические условия») содержит большое количество декстринов, проявляет антикристаллизационные свойства, увеличивает растворимость сахарозы, патоку применяют для сохранения консистенции продуктов.

На дифрактограмме, представленной на рисунке 1, отчетливо выделяются рентгенодифракционные пики А, В, С, D, E, F. Угловое положение пиков совпадает между дифрактограммами (таблица 1), однако их относительная интенсивность различна.

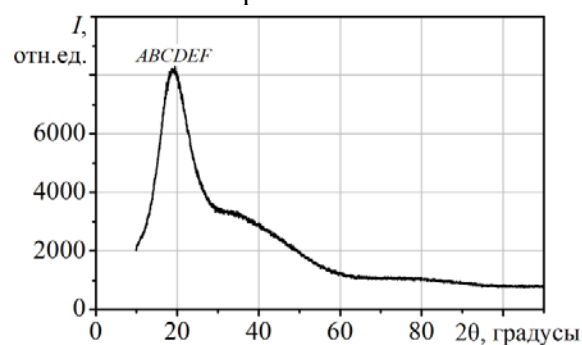


Рисунок 2. Дифрактограмма от ППЭ-2 с патокой

Figure 2. The diffraction pattern of PPE-2 with molasses

Угловое положение рентгенодифракционных пиков

Table 1.

The angular position of the x-ray diffraction peaks

Образец экстракта солода Sample of malt extract	Угловое положение 2θ пика на дифрактограмме, ° The angular position of the 2θ peak on the diffraction pattern, °					
	A	B	C	D	E	F
ПГСЭ PGSE	15,26	17,32	18,19	19,76	23,04	26,20
ПГрСЭ PGrSE	15,14	17,14	17,99	20,00	22,92	26,35
ППЭ-1 PPE-1	15,23	17,32	18,11	19,88	23,01	24,89
ППЭ-2 PPE-2	15,20	17,30	18,08	19,88	22,98	25,87
Среднее Average value	15,22	17,29	18,10	19,90	22,99	25,88

Наличие выраженного пика на рентгеновской дифрактограмме означает, что в исследуемом компоненте находится большая доля одинаковых межатомных расстояний, которые формируют так называемые области когерентного рассеяния. Для органических веществ пики могут давать такие пары атомов, как С–С, С–О, О–О, С–N, N–O, N–N, например, белковые вещества, аминокислоты и другие компоненты экстрактов. Несмотря на большое содержание атомов водорода в органических веществах, его коэффициент отражения для рентгеновских лучей мал из-за малого количества электронов в атоме, поэтому расстояния Н–Н, С–Н, О–Н (углеводы) практически не образуют пики на дифрактограммах.

Наличие пиков на дифрактограмме свидетельствует либо кристаллической структуре вещества (при низких пиках – нанокристаллической), либо выраженной полимерной структуре. В обоих случаях существует определенный порядок в расположении атомов, из-за чего большая доля межатомных расстояний оказывается приблизительно одинаковой, а это приводит к появлению соответствующего пика на дифрактограмме.

Межатомные расстояния d рассчитали по угловому положению пиков дифрактограммы 2θ с помощью условия Вульфа–Брэгга [3]:

$$\frac{d}{n} = \lambda / \left(2 \sin \frac{(2\theta)}{2} \right), \quad (1)$$

где n – порядок отражения (может принимать значения 1, 2..., и для пиков в левой части дифрактограммы равно 1); λ – длина волны рентгеновского излучения.

По данной формуле для полученных ранее в таблице 1 усредненных угловых положений пиков рассчитаны межатомные расстояния:

для пика А $2\theta = 15,22^\circ$ $d = 5,817 \cdot 10^{-10}$ м;

для пика В $2\theta = 17,29^\circ$ $d = 5,125 \cdot 10^{-10}$ м;

для пика С $2\theta = 18,10^\circ$ $d = 4,897 \cdot 10^{-10}$ м;

для пика D $2\theta = 19,90^\circ$ $d = 4,458 \cdot 10^{-10}$ м;

для пика E $2\theta = 22,99^\circ$ $d = 3,865 \cdot 10^{-10}$ м;

для пика F $2\theta = 25,88^\circ$ $d = 3,440 \cdot 10^{-10}$ м.

Структура исследуемых экстрактов является чрезвычайно сложной для того, чтобы с высокой адекватностью можно было сопоставить полученные расстояния d с конкретными межатомными расстояниями. По своей величине $(3,4-5,8) \cdot 10^{-10}$ м найденные расстояния соответствуют парам О–О, С–С, N–N в типичных полимерных молекулах. Расстояния С–О, N–О, С–N, по-видимому, имеют значительный разброс в зависимости от типа связи (одинарные, двойные связи и т. п.) и расположения в молекуле, поэтому формируют довольно низкие, сложно отделяемые пики на дифрактограммах при углах $26-40^\circ$.

Наиболее важным результатом является качественное различие дифрактограмм от ППЭ-2 и ППЭ-2 (с патокой) (рисунки 1, 2). Добавление патоки в экстракт позволило добиться отсутствия выраженных острых пиков А, В, С, D, E, F на дифрактограмме. Отсутствие пиков означает очень малый размер областей когерентного рассеяния, если структура склонна к полимеризации, то полимерные молекулы довольно короткие. Данное обстоятельство подтверждается качественным методом анализа на наличие мальтодекстринов с молекулярной массой 2900–3700 Дальтон.

Малый размер областей когерентного рассеяния свидетельствует о высокой скорости растворимости вещества. Для ППЭ скорость растворимости является одним из основных технологических параметров. Оценим, во сколько раз растворимость ППЭ-2 (с патокой), выше, чем ПГСЭ, образец 1.

По ширине пиков на рентгеновской дифрактограмме можно определить размер области когерентного рассеяния с использованием формулы Шерера.

$$L = \frac{\lambda}{\Delta(2\theta) \cos \frac{(2\theta)}{2}}, \quad (2)$$

где L – характерный размер области когерентного рассеяния; (2θ) и $\Delta(2\theta)$ – угловое положение и полуширина исследуемого пика (выраженные в радианах). Полуширина пика определяется как его ширина на половине высоты.

Для пиков А, В, С, D, Е, F ориентировочная ширина пика $\Delta(2\theta)$ составляет около $1,6^\circ$. Для широкого пика ширина $\Delta(2\theta)$ составляет около 12° . Для оценки примем положение пика $2\theta = 20^\circ$. Тогда расчет дает следующие размеры областей когерентного рассеяния: для ППЭ-2 $L = 56,07 \cdot 10^{-10}$ м; для ППЭ-2 С (патокой) $L = 7,470 \cdot 10^{-10}$ м;

В ППЭ-2 размер областей когерентного рассеяния примерно в 10 раз больше размера полимерной ячейки, тогда как в ППЭ (с патокой) – примерно в 1,5 раза больше.

Размер областей когерентного рассеяния L для ППЭ-2 и ППЭ 2 (с патокой) различается примерно в 7,5 раз, поэтому можно ожидать, что и их растворимость будет существенно различаться. Оценку улучшения растворимости можно провести по формуле Гиббса–Оствальда–Фрейндлиха:

$$s(L) = s(\infty) \cdot 10^{\frac{\alpha}{L}}, \quad (3)$$

где $s(L)$ – растворимость вещества с характерным размером частиц L ; $s(\infty)$ – растворимость бесконечно-протяженной поверхности вещества; α – параметр, зависящий от поверхностной энергии раздела фаз, температуры, молярного объема вещества.

Характерное значение параметра α имеет порядок $2 \cdot 10^{-10}$ м⁻¹. Поэтому растворимость s_1 и s_2 вещества в двух дисперсных состояниях L_1 и L_2 относится, как:

$$\frac{s_2}{s_1} = 10^{\alpha \left(\frac{1}{L_2} - \frac{1}{L_1} \right)}. \quad (4)$$

Подставляя полученные значения $L_1 = 56,07 \cdot 10^{-10}$ м и $L_2 = 7,470 \cdot 10^{-10}$ м, получаем отношение растворимостей $s_2/s_1 = 1,706$. То есть, для ППЭ-2 (с патокой) растворимость выше, чем ППЭ-2 примерно в 1,7 раза.

Результаты рентгенодифракционного исследования и расчетов согласуются с данными

по растворимости экстракта, которая выражается в см³ нерастворившегося сырого осадка, полученного в пробирке после центрифугирования растворенной навески сухого порошка (таблица 2).

Таблица 2.
Растворимость экстрактов

Table 2.

The solubility of extracts

Образец Sample	Индекс растворимости, см ³ Solubility index, cm ³
ППЭ PPE	0,052±0,002
ПГСЭ PGSE	0,031±0,002
ПГрСЭ PGrSE	0,045±0,002
ППЭ-1 PPE-1	0,034 ±0,002
ППЭ-2 PPE-2	0,019±0,002
ППЭ-2 (с патокой) PPE-2 (with molasses)	0,052±0,002

Выводы

Впервые методом рентгеноструктурного анализа проведено сравнительное исследование структурно-механических свойств порошкообразных солодовых экстрактов с оценкой растворимости. Идентифицированы основные межзаточные расстояния в экстрактах; проведено сравнительное рентгенодифракционное исследование экстракта ППЭ-2, полученного без добавления и с внесением низкосахаренной патоки при сушке. Расчет дает следующие размеры областей когерентного рассеяния: для ППЭ-2 $L = 56,07 \cdot 10^{-10}$ м; для ППЭ-2 С (патокой) $L = 7,470 \cdot 10^{-10}$ м с учетом расчетного показателя растворимости вещества с характерным размером частиц. На основе сравнения пиков рентгеновских дифрактограмм и учета размерного эффекта растворимости установлено, что добавление низкосахаренной патоки к экстракту при сушке позволяет повысить его растворимость в 1,7 раза, что согласуется с данными по растворимости, полученными по стандартной методике.

ЛИТЕРАТУРА

- Новикова, И.В., Коротких Е.А., Агафонов Г.В., Яковлева С.Ф. Микробиологические аспекты технологии напитков на основе порошкообразных солодовых экстрактов // Вестник ВГУИТ. 2014. № 4. С. 135–141
- Коротких Е.А. Новикова И.В., Агафонов Г.В., Хрипушин В.В. Квас специального назначения // Вестник ВГУИТ. 2013. № 2. С. 134 – 139.
- Violeau, D. Fluid Mechanics and the SPH Method: Theory and Applications.: Oxford University Press, 2012. 594 с.
- Singh Z., Chadha P., Sharma S. Evaluation of oxidative stress and genotoxicity in battery manufacturing workers occupationally exposed to lead // Toxicology International. 2013. T. 20, № 1. С. 95–100.
- Mäkinen O.E., Zannini E., Arendt E.K. Germination of Oat and Quinoa and Evaluation of the Malts as Gluten Free // Baking Ingredients Plant Foods for Human Nutrition. 2013. T. 68, № 1. pp. 90–95.

- Fogarasi A.L., Kun S, Tankó G, Stefanovits-Bányai É. A comparative assessment of antioxidant properties, total phenolic content of einkorn, wheat, barley and their malts // Food Chemistry. T. 167, no 15. 2015
- Cauvain, S. Other cereals in breadmaking // Technology of breadmaking, 2015. pp. 377-397.
- Чусова А.Е., Алексеева Н.И., Верзилина Н.Д., Полянский К.К. Получение подсластителя из растительного сырья // Пиво и напитки. 2013. № 1. С. 24–27.
- Шлыкова А.П., Колобаева А.А., Котик О.А. Исследование растительных экстрактов как сырья для производства кваса брожения // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 8. С. 319
- Саранов И.А., Магомедов М.Г., Шахов С.В. Гранулирование порошкообразного концентрата квасного сула // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 4 (часть 2). С. 400–401.

11 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.

REFERENCES

- 1 Novikova, I.V., Korotkih E.A., Agafonov, G.V., Yakovleva S.F. Microbiological aspects of technology of drinks on the basis of powdery malt extracts // Vestnik VGUIT (Proceedings of VSUET). 2014, no 4. pp. 135–141. (in Russian).
- 2 Korotkih E.A. Novikova I.V., Agafonov G.V., Hripushin V.V. Kvas of the special purpose. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2013, no 2. pp. 134–139. (in Russian).
- 3 Violeau, D. Fluid Mechanics and the SPH Method: Theory and Applications: Oxford University Press, 2012. 594 p.
- 4 Singh Z., Chadha P., Sharma S. Evaluation of oxidative stress and genotoxicity in battery manufacturing workers occupationally exposed to lead. *Toxicology International*. 2013. vol. 20, no 1. P. 95 – 100.
- 5 Mäkinen O.E., Zannini E., Arendt E.K. Germination of Oat and Quinoa and Evaluation of the Malts as Gluten. *Baking Ingredients Plant Foods for Human Nutrition*. 2013. vol. 68, no. 1. pp. 90–95.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Инна В. Новикова д. т. н., профессор, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, noviv@list.ru

Елена А. Коротких к. т. н., доцент, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, dobruly@bk.ru

Алексей В. Коростелев к. т. н., доцент, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, vinodelvgta@mail.ru

Геннадий В. Агафонов д. т. н., профессор, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, адрес пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kafedra_tbsp@mail.ru

Анастасия А. Пенкина студент, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, penkia@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 25.03.2017

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 29.04.2017

6 Fogarasi A. A comparative assessment of antioxidant properties, total phenolic content of einkorn, wheat, barley and their malts. *Food Chemistry*. vol. 167, no 15. 2015, pp.

7 Cauvain S. Other cereals in breadmaking. *Technology of breadmaking*, 2015. pp. 377–397.

8 Chusova A.E., Alekseeva N.I., Verzilina N.D., Polyanskiy K.K. Receiving of sweetener from vegetable raw materials. *Pivo i napitki* [Beer and beverages]. 2013, no 1. pp. 24–27 (in Russian).

9 Shlykova A.P., Kolobaeva A.A., Kotik O.A. Research of plant extracts as raw materials for production of kvas with fermentation. *Sovremennye naukoemkie tehnologii*. 2013. no 8. pp. 319. (in Russian).

10 Saranov I.A., Magomedov M.G., Shahov S.V. Granulation of the powdery concentrate of the kvas mash. *Mezhdunarodnyj zhurnal jeksperimental'nogo obrazovanija*. 2015, no 4 (part 2), pp. 400–401. (in Russian).

11 Ivanov P.P., Plotnikov I.B., Khalturin M.A. The effect of temperature of extractant on the process of obtaining the extract from frozen fruits of mountain ash red in the machine with vibrating nozzle. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda* [Bulletin of the International Academy of refrigeration]. 2014. no. 3. pp. 64–68. (in Russian).

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Inna V. Novikova doctor of technical sciences, professor, technology of industrial fermentations and sugar making department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, noviv@list.ru

Elena A. Korotkih candidate of technical sciences, assistant professor, technology of industrial fermentations and sugar making department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, dobruly@bk.ru

Alexey V. Korostelev candidate of technical sciences, assistant professor, technology of industrial fermentations and sugar making department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vinodelvgta@mail.ru

Gennady V. Agafonov doctor of technical sciences, professor, technology of industrial fermentations and sugar making department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kafedra_tbsp@mail.ru

Anastasia A. Penkina student, technology of industrial fermentations and sugar making department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, penkia@mail.ru

CONTRIBUTION

All authors equally took part in writing the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 3.25.2017

ACCEPTED 4.29.2017