

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ УДАРНО-АКТИВАТОРНО-ДЕЗИНТЕГРАТОРНОЙ ОБРАБОТКИ В ТЕХНОЛОГИЯХ ПОЛУЧЕНИЯ СИРОПОВ ИЗ КРАХМАЛСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

А.А. Сабиров¹, Н.В. Баракова¹, Е.А. Самоделкин²

¹ Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург

² Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей», г. Санкт-Петербург

Крахмальная патока находит широкое применение в народном хозяйстве, одобрена для применения в пищевой промышленности, безопасна для здоровья человека. Также крахмальный сироп используется при кормлении сельскохозяйственных животных и птицы для восполнения легкодоступных углеводов. Основной технологической стадией при получении патоки и сиропов является каталитическая конверсия крахмала в низкомолекулярные сахара. В качестве катализатора используются минеральные кислоты (соляная) и ферментные препараты амилаз. Использование соляной кислоты имеет ряд существенных недостатков с точки зрения очистки продукта от вспомогательного компонента и безопасности труда. Также ферментативный гидролиз позволяет получить замес с меньшим гидромодулем. Но главным недостатком таких сиропов является отсутствие в конечном продукте биологически активных веществ, к которым можно отнести аминокислоты. Одним из способов получения патоки с другими качественными показателями – получение сиропов из цельного зерна. Деструкция зернового сырья может осуществляться различными способами: механическое дробление, экструдирование, кавитация, инфракрасное облучение и другие. Для предгидролизной обработки сырья используются также машины ударного действия (дезинтеграторы и дисмембраторы), кольцевые измельчители, штифтовые разрыхлители. Среди этого ряда установок особый интерес представляют дезинтеграторы. С помощью данных установок можно достичь предварительной механохимической активации зернового сырья, при которой химическая структура помола подвергается глубоким изменениям, существенно разрушаются крахмальные и белковые матрицы, происходит деструкция высокомолекулярных соединений. В перспективе это позволяет минимизировать использование вспомогательных материалов – ферментных препаратов, снизить температуру процесса гидролиза при получении сиропов.

Ключевые слова: крахмальная патока, модификация крахмала, гидролиз, соляная кислота, ферментный препарат, цельное зерно, механическое дробление, кавитационная обработка, инфракрасное облучение, установки ударно-активаторно-дезинтеграторного действия.

В настоящее время в промышленно развитых странах свекловичный и тростниковый сахар все больше замещаются сахаристыми продуктами [1]. Различают сиропы (патоки), полученные как продукты при производстве столового сахара из свеклы или сахарного тростника-сырца (черной патоки), и сиропы, полученные из крахмалсодержащего сырья [2]. Все виды патоки находят широкое применение в народном хозяйстве – в пищевой промышленности, сельском хозяйстве.

Патоки, полученные при модификации крахмала – крахмальные патоки, применяются в хлебопекарной и кондитерской промышленности – при производстве хлеба, карамельных конфет, пастилы, мармелада, халвы, ириса, печенья, тортов [3–6], в консервной промышленности для приготовления варенья,

повидла и джемов, при производстве мороженого и замороженных десертов [7].

Широко используют патоку для производства пива. Использование патоки в пивоварении обеспечивает снижение себестоимости за счет частичной замены дорогого солода. При производстве водки патока применяется для смягчения вкуса [8].

Крахмальная патока представляет собой продукт, вырабатываемый из крахмала путем его гидролиза с применением кислот и/или амилолитических ферментных препаратов. После гидролиза все сиропы фильтруют, обесцвечивают и сгущают.

До последнего времени при получении крахмальной патоки производился кислотный гидролиз крахмала. Крахмал, поступающий на гидролиз, должен быть достаточно чистым.

Он должен содержать не более 0,2 % растворимых веществ, не более 0,7 % нерастворимого белка, не более 0,13 % золы. Общее количество примесей не должно превышать 1,7–1,8 %. Очень важно, чтобы крахмал был очищен от белков еще до осахаривания, так как присутствие белка в крахмальной суспензии при варке может привести к сильному пенообразованию.

При кислотном гидролизе разжижение и осахаривание крахмала осуществляется одним катализатором – соляной кислотой. Кислотное осахаривание крахмальной суспензии осуществляется под давлением, а степень осахаривания регулируется путем изменения температуры, продолжительности обработки, рН и давления. Благодаря каталитическому действию находящейся под давлением кислоты крахмал превращается в осахаривателях в декстрозу, мальтозу, мальтотриозу, мальтотетрозу, а также в разнообразные олигосахариды [9].

Осахаренные гидролизаты содержат от 0,9 до 2 % взвешенных частиц, в основном белка, часть нерастворимых примесей гидролизата составляет мезга. Для удаления примесей используют фильтрование и осаждение. После фильтрования получают фильтрат, интенсивность окраски которого зависит от чистоты крахмала, продуктов гидролиза белков, содержания минеральных веществ, органических и жирных кислот, фосфатов и других факторов.

Для обесцвечивания паточного сиропа применяют очистку адсорбентами – активированным углем или ионообменными смолами. Обработка паток ионообменными смолами позволяет получать продукт более высокого качества, более устойчивого при хранении и повторных нагревах [10].

В настоящее время при производстве крахмальных паток применяют кислотно-ферментативное и многоэтапное ферментативное осахаривание.

При использовании кислотно-ферментативной технологии крахмальное молоко под воздействием кислоты подвергается частичному гидролизу до достижения требуемого декстрозного эквивалента (ДЭ), свидетельствующего о небольшом содержании декстрозы. При кислотно-ферментативном гидролизе разжижение осуществляется соляной кислотой, осахаривание – амилазами [11].

Соляная кислота – недорогостоящий катализатор, однако ее применение имеет ряд существенных недостатков, а именно:

– жесткие факторы воздействия на крахмал (низкие значения рН, высокая температура), что приводит к частичной деградации продуктов гидролиза;

– реверсия глюкозы с образованием продуктов, придающих неприятный вкус гидролизату;

– относительно низкая доброкачественность гидролизатов, обусловленная введением соляной кислоты и ее последующей нейтрализацией. Процесс нейтрализации проводится с целью прекращения гидролиза крахмала до достижения заданной степени осахаривания и перевода свободных минеральных кислот, недопустимых в пищевых продуктах, в безвредные соли [12].

Избежать перечисленных недостатков позволяет метод ферментативного гидролиза крахмала.

При использовании многоэтапной ферментативной технологии крахмальные гранулы вначале стадии клейстеризации, а затем полимерная структура крахмала распадается под действием α -амилаз. С помощью различных технологий можно производить многочисленные виды сиропов, обладающих различной вязкостью, степенью сладости, гигроскопичностью и сбраживаемостью.

Если процесс осахаривания прервать так, чтобы образовались фрагменты, состоящие из молекул глюкозы от 2 до 20, то есть декстрозный эквивалент (ДЭ) не превышал 20, то получим одну из разновидностей паток – мальтодекстрин.

Для производства сиропов с высоким содержанием фруктозы сначала с помощью одной из вышеописанных технологий изготавливают сироп с высоким ДЭ, а затем его подвергают воздействию фермента изомеразы, преобразующего часть декстрозы во фруктозу.

В зависимости от углеводного состава паток подразделяют на следующие виды:

- низкоосахаренная;
- карамельная кислотная;
- карамельная ферментативная;
- мальтозная;
- высокоосахаренная.

При ферментативном способе обе стадии гидролиза крахмала осуществляются амилазами – либо α - и β -амилазами ячменного со-

лода, либо бактериальными α -амилазами и грибными глюкоамилазами.

При ферментативном способе гидролиза крахмала для разжижения крахмального клейстера применяют термостабильные бактериальные α -амилазы. Их высокая разжижающая активность позволяет перерабатывать крахмальные суспензии с концентрацией крахмала 35–40 %. Поскольку α -амилазы быстро инактивируются при высоких концентрациях H^+ -ионов, разжижение ведут при стабильной для фермента зоне pH – 5,5–7,0.

Нагревание осуществляется ступенчато, до температуры соответствующей температуре клейстеризации крахмала, при этом одновременно с образованием крахмального клейстера под действием термостабильной α -амилазы идет его гидролиз. Конечная температура обработки от 80 до 100 °С. Разжижение занимает от 2 до 4 часов и обычно завершается, когда количество редуцирующих веществ составит 20–25 %.

Вторая стадия ферментативного гидролиза осуществляется ферментными препаратами, содержащими глюкоамилазную активность. Осахаривание ведется при температуре 55–58 °С и pH 5,0–5,5. Дозировка препарата может составлять 0,15–0,20 % к сухому крахмалу в расчете на активность препарата 250 ед./г. Продолжительность осахаривания колеблется от 3 до 6 часов, в зависимости от назначения вырабатываемой патоки. Затем крахмальную суспензию нагревают до температуры 90 °С для инактивации ферментов, осветляют, фильтруют и выпаривают до содержания сухих веществ 78 %.

Готовый сахаристый продукт – крахмальная патока, сироп, представляет собой бесцветную или слегка желтоватую, очень вязкую жидкость сладкого вкуса. Сладость её в 3–4 раза ниже сладости сахарозы. Недостатком таких сиропов является отсутствие в патоке биологически активных веществ, к которым можно отнести аминокислоты.

Один из способов получения патоки с другими качественными показателями – это получение их из цельного зерна, при котором предусматривается предварительное измельчение зерна и последующий ферментативный гидролиз в две стадии.

На первой технологической стадии процесса происходит разжижение крахмала с использованием комплексного ферментного

препарата, содержащего α -амилазу, протеазу и бета-глюконазу из культур микроорганизмов.

Данный способ получения сиропов позволяет получать мальтозный сироп из цельного зерна без предварительного выделения из него крахмала, сокращать общую продолжительность процесса и обеспечивает высокую чистоту получаемого продукта, обогащенного не только моно и дисахаридами, но и белками, пищевыми волокнами, витаминами, минеральными веществами. Но в настоящее время не существует технологии получения из цельного зерна концентрированных сиропов. По этой причине научные работы в данной области являются актуальными [13].

Исследования, проведенные на крахмале, содержащемся в зерне, показали, что регулировать значение точки клейстеризации крахмала возможно либо дозой внесения комплекса ферментных препаратов амилолитического и целлюлолитического действия [14], либо степенью деструкции зернового сырья [15].

Деструкция зернового сырья может осуществляться различными способами: механическое дробление, экструдирование, кавитация и другие.

Механизм кавитационной обработки зерна заключается в вихревом перемешивании массы, что приводит к разрушению оболочки растительных клеток, мелкодисперсному измельчению частиц зерна для освобождения крахмала и увеличения поверхностной площади его взаимодействия с ферментами. По данной технологии в жидкой зерновой патоке накапливается до 14 % простых сахаров (глюкоза) [16].

Провести глубокую деструкцию зернового сырья можно с помощью обработки зерна инфракрасным излучением (ИК излучение). Так как величина плотности потока ИК излучения достаточно большая, то влага, сконцентрированная в зерне, нагревается до 110–150 °С, что приводит к быстрому повышению давления водяных паров, при этом уменьшаются прочностные характеристики зерна [17, 18].

Для предгидролизной обработки сырья используются также машины ударного действия (дезинтеграторы и дисмембраторы), кольцевые измельчители, штифтовые разрыхлители. Среди этого ряда установок особый интерес представляют дезинтеграторы.

Дезинтеграторы – это устройства, работа которых основана на принципе свободного

удара (поэтому в названии метода на первом месте стоит ударная обработка). Измельчаемый материал непрерывно подается в рабочую камеру в центр между двумя высокоскоростными вращающимися в противоположных направлениях роторами. На каждом роторе концентрическими окружностями установлены ударные органы – пальцы. Роторы входят друг в друга таким образом, что концентрические окружности с пальцами одного ротора размещаются внутри концентрических окружностей с пальцами другого.

Частицы измельчаемого материала сначала сталкиваются с одним из пальцев первого (внутреннего ряда) и разрушаются при столкновении. Получившиеся осколки отбрасываются по касательной к окружности вращения этого ряда пальцев и сталкиваются с идущими им навстречу пальцами второго ряда. После вторичного разрушения осколки отбрасываются по касательной к окружности вращения второго ряда пальцев и сталкиваются с пальцами третьего ряда и так далее. Измельченный таким образом материал ссыпается в приемный бункер через разгрузочный патрубок в нижней части рабочей камеры.

Особенностью и преимуществом дезинтеграторов по сравнению с другими мелющими агрегатами является быстротечность процессов измельчения, когда за интервал времени порядка 10 с^{-2} обрабатываемый в этих установках материал получает от 2 до 7 высокоинтенсивных удара.

При интенсивном механическом воздействии на исходное сырье возникают явления, которые в корне отличаются от процесса «мягкой» обработки. Структура и текстура материала претерпевают радикальные изменения. Происходит возрастание избыточной энергии системы, разрыв межмолекулярных связей, стабилизирующих надмолекулярную структуру природных органических полимеров, понижение плотности, возрастание площади поверхности, изменение валентных углов и межмолекулярных расстояний полимерных цепей, ослабление кристалличности. Все эти процессы объединяются в понятие механохимической дезагрегации [19].

Степень деструкции на предмет доступности к органическим веществам (в частности к углеводам) при различных способах измельчения с точки зрения максимальной доступности к компонентам, составляющим зерна пшеницы, оценивалась анализом химиче-

ского состава, полученного с использованием хроматографа. При этом было установлено, что в ходе УДА-обработки пшеницы в исследуемых пробах: глюкоза (%) – 1,41 (трехрядный ротор), 1,48 (пятирядный ротор), а также мальтоза (%) – 2,05 (трехрядный ротор), 1,84 (пятирядный ротор). Следует отметить, что при роторном размоле (близком к обработке вальцами) содержание глюкозы в пробе составляет 1,21 % и наблюдается полное отсутствие мальтозы. А этот факт свидетельствует, что в результате УДА-обработки зерен пшеницы происходит безферментное разрушение крахмала [20].

Выводы. Применение композиции ферментных препаратов и предварительной механохимической активации зернового сырья на установках ударно-активаторно-дезинтеграторного действия создают предпосылки для разработки новых инновационных технологий получения сиропов из цельного зерна, что может служить альтернативой технологиям получения патоки из крахмала.

Литература

1. Аксенов, В.В. Комплексная переработка растительного крахмалосодержащего сырья в России / В.В. Аксенов // Вестник КрасГАУ. – 2007. – № 5. – С. 213–218.
2. Kulneva, N.G. Improving the efficiency of juice purification in beet-sugar production / N.G. Kulneva, G.A. Buckley, M.V. Zhuravlev // The international research journal. – 2013. – V. 1, № 4 (11). – P. 99–101.
3. Yun, Wu. Preparation of microporous starch by glucoamilase and ultrasound / Wu Yun, Xianfeng Du, et al. // Starch – Stärke. – 2011. – V. 63. – P. 217–225.
4. Yao Wei Rong. Adsorbent Characteristics of Porous Starch / Yao Wei Rong, Yao Hui Yuan // Starch – Stärke. – 2002. – V. 54. – P. 260–263.
5. Hu G.H., Huang S., Cao S., Ma Z. Effect of enrichment with hemicellulose from rice bran on chemical and functional properties of bread // Food Chemistry. – 2009. – V. 115, Iss. 3. – P. 839–842.
6. Li Xia et al. Physicochemical, crystalline, and thermal properties of native, oxidized, acid, and enzyme hydrolyzed Chinese yam (*Dioscorea oppositifolia* Thunb) // Starch – Stärke. – 2011. – V. 63, № 2. – P. 616–624.
7. Ляпина, М.А. Стратегические направления развития предприятий кондитерской промышленности России: дис. ... канд. экон. наук / М.А. Ляпина. – 2008. – 222 с.

8. Романюк, Т.И. Получение осветленного сусле из зерна ржи и его сбраживание на этанол / Т.И. Романюк, Е.А. Чусова, Г.В. Агафонов // *Производство спирта и ликероводочных изделий*. – 2013. – № 4. – С. 13–16.
9. Аксёнов, А.А. Получение мальтозной и глюкозной патоки из некоторых видов крахмала / А.А. Аксёнов, А.В. Максименко, Е.А. Фёдорова // *Вестник КрасГАУ*. – 2007. – № 3. – С. 217–221.
10. Кокаева, З.К. Разработка технологических решений использования мальтозной патоки в хлебопекарном производстве: дис. ... канд. техн. наук / З.К. Кокаева. – 2009. – С. 72–84.
11. Андреев, Н.Р. Структура, химический состав и технологические свойства основных видов крахмалосодержащего сырья / Н.Р. Андреев, В.Г. Карпов // *Хранение и переработка сельхоз сырья*. 1999. – № 7. – С. 30–33.
12. Sujka M., Jamroz J. Characteristics of Pores in Native and Hydrolyzed Starch Granules // *Starch/Stärke*. – 2010. – 62. – P. 229–235.
13. Баракова, Н.В. Исследование влияния ферментных препаратов на вязкость высококонцентрированных замесов из ячменя при производстве этилового спирта / Н.В. Баракова, В.Б. Тишин // *Производство спирта и ликероводочных изделий*. – 2010. – № 4. – С. 24–26.
14. Начетова, М.А. Выбор и обоснование температуры водно-тепловой обработки замесов из экструдированной пшеницы / М.А. Начетова, Н.В. Баракова // *Производство спирта и ликероводочных изделий*. – 2013. – № 3. – С. 29–32.
15. Исследование действия амилолитических ферментов на нативный крахмал различных видов в гетерогенной среде / Н.Д. Лукин, Э.М. Бородин, А.А. Папахин и др. // *Достижения науки и техники АПК*. – 2013. – № 10. – С. 62–64.
16. Романюк, Т.И. Получение осветленного сусле из зерна ржи и его сбраживание на этанол / Т.И. Романюк, А.Е. Чусова, Г.В. Агафонов // *Производство спирта и ликероводочных изделий*. – 2013. – № 4. – С. 13–16.
17. Крикунова, Л.Н. ИК-обработка сырья в спиртовом производстве / Л.Н. Крикунова, О.С. Омисова, О.С. Журба // *Известия вузов*. – 2004. – № 4. – С. 46–49.
18. Lomovsky, O. Mechanochemically Assisted Extraction / O. Lomovsky, I. Lomovsky // *Enhancing Extraction Processes in the Food Industry*, ed. by N. Lebovka, E. Vorobiev, F. Chemat. – NY – London: CRC Press, 2011. – P. 361–398.
19. Ошкордин, А.И. Кинетика и динамика измельчения растительного сырья для производства пищевых продуктов / А.И. Ошкордин, Л.Ю. Лаврова, Г.А. Усов // *Ползуновский Вестник*. – 2011. – № 2. – С. 202–206.
20. Применение ударно-активаторно-дезинтеграторной обработки (уда-обработки) для подготовки зернового сырья при конструировании продуктов питания с повышенной усвояемостью / Е.А. Самоделкин, Н.В. Баракова, Я.И. Дегтяренко, В.Е. Мартыненко // VII Международная научно-техническая конференция «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке» (Санкт-Петербург, 17–20 ноября 2015 г.): материалы конференции. – 2015. – № 2. – С. 247–250.

Сабиров Альфир Альбертович. Аспирант, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (г. Санкт-Петербург), alfa@sibbio.ru

Баракова Надежда Васильевна. Кандидат технических наук, доцент кафедры пищевой биотехнологии продуктов из растительного сырья, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (г. Санкт-Петербург), n.barakova@mail.ru

Самоделкин Евгений Александрович. Ведущий инженер, ФГУП Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» (г. Санкт-Петербург), smdllkn@inbox.ru

Поступила в редакцию 15 марта 2017 г.

SUBSTANTIATION OF THE APPLICATION OF SHOCK-ACTIVATOR-DISINTEGRANT TREATMENT IN THE TECHNOLOGIES FOR OBTAINING SYRUPS FROM STARCH-CONTAINING RAW MATERIALS

A.A. Sabirov¹, N.V. Barakova¹, E.A. Samodelkin²

¹ St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, St. Petersburg, Russian Federation

² Central Research Institute of Structural Materials "Prometey", St. Petersburg, Russian Federation

Starch syrup is widely used in the national economy and approved to be safe for human health to use it in the food industry. In addition, starch syrup is used in feeding agricultural animals and poultry to supplement the readily accessible carbohydrates. The main technological stage upon the production of molasses and syrups is the catalytic conversion of starch into low molecular weight sugar. Mineral acids (hydrochloric) and enzymatic agents of amylases are used as catalysts. The use of hydrochloric acid has a number of disadvantages in terms of product purification of excipients and work safety. In addition, enzymatic hydrolysis allows to obtain the batch with less duty of water. The main drawback of such syrups is that the target product lacks biologically active substances, which include amino acids. One of the ways to obtain a syrup with other quality indicators is getting syrups from whole grains. Destruction of grain raw materials can be implemented by various methods: mechanical grinding, extrusion, cavitation, infrared irradiation and others. Percussion machines (disintegrators and dismembrators), ring cutters, finger shortening are also used for prehydrolysis processing of raw materials. The disruptors are among this number of units of particular interest. It is possible to achieve the preliminary mechanochemical activation of raw grain with the help of these installations. So the chemical structure of the grinding is subjected to profound changes, the starch and protein matrix are greatly destroyed, the high-molecular compounds are destructed. In the future this allows you to minimize the use of excipients such as enzymatic drugs, to reduce the temperature of the hydrolysis process upon receipt of the syrups.

Keywords: starch syrup, starch modification, hydrolysis, hydrochloric acids, enzymatic agents, whole grains, mechanical grinding, cavitation processing, infrared irradiation, installation of shock-activator-disintegrating action.

References

1. Aksenov V.V. [Complex processing of vegetable and starch-containing raw materials in Russia]. *Vestnik KrasGAU* [The Bulletin of KrasGAU], 2007, no. 5, pp. 213–218. (in Russ.)
2. Kulneva N.G., Buckley G.A., Zhuravlev M.V. Improving the efficiency of juice purification in beet-sugar production. *The international research journal*, 2013, vol. 1, no. 4 (11), pp. 99–101.
3. Yun Wu, Xianfeng Du et al. Preparation of microporous starch by glucoamilase and ultrasound. *Starch – Stärke*, 2011, vol. 63, pp. 217–225. DOI: 10.1002/star.201000036
4. Yao Wei Rong, Yao Hui Yuan. Adsorbent Characteristics of Porous Strach. *Starch – Stärke*, 2002, vol. 54, pp. 260–263. DOI: 10.1002/1521-379X(200206)54:6<260::AID-STAR260>3.0.CO;2-Z
5. Hu G.H., Huang S., Cao S., Ma Z. Effect of enrichment with hemicellulose from rice bran on chemical and functional properties of bread. *Food Chemistry*, 2009, vol. 115, iss. 3, pp. 839–842. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.12.092
6. Li Xia at al. Physicochemical, crystalline, and thermal properties of native, oxidized, acid, and enzyme hydrolyzed Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb). *Starch – Stärke*, 2011, vol. 63, no. 2, pp. 616–624. DOI: 10.1002/star.201100017
7. Lyapina M.A. *Strategicheskie napravleniya razvitiya predpriyatij konditerskoy promyshlennosti Rossii* [Strategic directions of development of enterprises of confectionery industry of Russia: dis. Cand. Ekon. Sciences], 2008. 222 p.
8. Romanyuk T.I., Chusova E.A., Agafonov G.V. [Obtaining the clarified wort from rye grain and its fermentation to ethanol]. *Proizvodstvo spirta i likerovodochnykh izdeliy* [Production of alcohol and alcoholic beverages], 2013, no. 4, pp. 13–16. (in Russ.)

9. Aksenov A.A., Maksimenok A.V., Fedorova E.A. [Production of maltose and glucose syrup from some types of starch]. *Vestnik KrasGAU* [The Bulletin of KrasGAU], 2007, no. 3, pp. 217–221. (in Russ.)
10. Kokaeva Z.K. *Razrabotka tekhnologicheskikh resheniy ispol'zovaniya mal'toznoy patoki v khlebopekarnom proizvodstve* [The development of technological solutions use malt syrup in baking production: dis. candidate of engineering sciences], 2009, pp. 72–84.
11. Andreev N.R., Karpov V.G. [Structure, chemical composition and technological properties of the main types of starch-containing raw materials]. *Khranenie i pererabotka sel'khoz syr'ya* [Storage and processing of agricultural products], 1999, no. 7, pp. 30–33. (in Russ.)
12. Sujka M., Jamroz J. Characteristics of Pores in Native and Hydrolyzed Starch Granules. *Starch – Stärke*, 2010, vol. 62, pp. 229–235. DOI: 10.1002/star.200900226
13. Barakova N.V., Tishin V.B. [A study of the influence of enzyme preparations on viscosity of highly concentrated mixtures of barley in the production of ethanol]. *Proizvodstvo spirta i likerovodochnykh izdeliy* [Production of alcohol and alcoholic beverages], 2010, no. 4, pp. 24–26. (in Russ.)
14. Nchetova M.A. [Selection and justification of the temperature of the water-heat treatment of mixtures of extruded wheat]. *Proizvodstvo spirta i likerovodochnykh izdeliy* [Production of alcohol and alcoholic beverages], 2013, no. 3, pp. 29–32. (in Russ.)
15. Lukin N.D., Borodina E.M., Papakhin A.A., Shatalova O.V., Krivandin A.V. [The study of the action of amylolytic enzymes on native starches of various types in a heterogeneous environment]. *Dostizhenniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of agriculture], 2013, no. 10, pp. 62–64. (in Russ.)
16. Romanyuk T.I., Chusova A.E., Agafonov G.V. [Obtaining the clarified wort from rye grain and its fermentation to ethanol]. *Proizvodstvo spirta i likerovodochnykh izdeliy* [Production of alcohol and alcoholic beverages], 2013, no. 4, pp. 13–16. (in Russ.)
17. Krikunova L.N., Omisova O.S., Zhurba O.S. [IR-processing of raw materials in alcohol production]. *Izvestiya vuzov*, 2004, no. 4, pp. 46–49. (in Russ.)
18. Lomovsky O., Lomovsky I. Mechanochemically Assisted Extraction. *Enhancing Extraction Processes in the Food Industry*, ed. by N. Lebovka, E. Vorobiev, F. Chemat, NY – London, CRC Press, 2011, pp. 361–398. DOI: DOI: 10.1201/b11241-14
19. Oshkordin A.I., Lavrova L.Yu., Usov G.A. [Kinetics and dynamics of grinding vegetable raw materials for food production]. *Polzunovskiy Vestnik* [Polzunovskii Bulletin], 2011, no. 2, pp. 202–206. (in Russ.)
20. Samodelkin E.A., Barakova N.V., Degtyarenko Ya.I., Martynenko V.E. [The Use of shock-activator-disintegrating processing (UDA-processing) for the preparation of grain raw materials in the design of foods with improved digestibility]. *VII Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Nizkotemperaturnye i pishchevye tekhnologii v XXI veke»* [VII international scientific-technical conference “Low-temperature and food technologies in XXI century” (Saint-Petersburg, 17–20 November 2015): proceedings of the conference], 2015, no. 2, pp. 247–250. (in Russ.)

Alfir A. Sabirov. Postgraduate student, St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (St. Petersburg), alfa@sibbio.ru

Nadezhda V. Barakova. Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Food Biotechnology of Plant-Based Products, St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (St. Petersburg), n.barakova@mail.ru

Evgeny A. Samodelkin. Leading Engineer, Federal State Unitary Enterprise of the Central Research Institute of Structural Materials “Prometey” (St. Petersburg), smdlkn@inbox.ru

Received 15 March 2017

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Сабиров, А.А. Обоснование применения ударно-активаторно-дизинтеграторной обработки в технологиях получения сиропов из крахмалсодержащего сырья / А.А. Сабиров, Н.В. Баракова, Е.А. Самodelкин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2017. – Т. 5, № 2. – С. 60–66. DOI: 10.14529/food170208

FOR CITATION

Sabirov A.A., Barakova N.V., Samodelkin E.A. Substantiation of the Application of Shock-Activator-Disintegrant Treatment in the Technologies for Obtaining Syrups from Starch-Containing Raw Materials. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2017, vol. 5, no. 2, pp. 60–66. (in Russ.) DOI: 10.14529/food170208