

УДК: 664.2.094.941-02

Поступила в редакцию 14.10.2025
Received 14.10.2025¹М. С. Алексеенко, ¹И. М. Почичкая, ²В. В. Литвяк, ³С. М. Бутрим¹РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», Республика Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь;²Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха», г. Москва, Российская Федерация;³Научно-исследовательский институт физико-химических проблем Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ, ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КИСЛОТНОГИДРОЛИЗОВАННЫХ КРАХМАЛОВ

Аннотация. Кислотный гидролиз представляет собой сложный многофакторный процесс, который позволяет, путем изменения его параметров, получить широкий спектр продуктов с различными физико-химическими свойствами [1, 4]. Целью работы является определение физико-химических, органолептических и микробиологических свойств картофельного и кукурузного крахмалов, полученных в результате кислотного гидролиза. В работе установлено, что имеется тенденция к снижению относительной степени кристалличности в результате кислотного гидролиза с увеличением продолжительности и температуры гидролиза, а также концентрации кислоты и суспензии. Это свидетельствует о разрыхлении кристаллических областей и увеличении доли аморфной фазы в результате кислотной обработки. Также установлено, что, несмотря на частичное разрушение их кристаллических областей, наблюдается сохранение надмолекулярной структуры гранул. В работе изучено реологическое поведение крахмальных клейстеров, представляющих собой неньютоновские жидкости, которые однозначно можно классифицировать как псевдопластики. Разработана номограмма для определения температуры гидролиза при использовании 0,5 н. серной кислоты и 0,5 н. соляной кислоты в течение 6 ч. В результате проведенного спектрального анализа доказано, что кислотный гидролиз не приводит к образованию новых функциональных групп или изменению основной структуры мономера – глюкопиранозы. Также в работе описаны микробиологические и органолептические показатели кислотного гидролизированных крахмалов.

Ключевые слова: модифицированные крахмалы, кислотный гидролиз, картофельный крахмал, кукурузный крахмал, физико-химические свойства, дифрактограмма, номограмма, микротопография, ИК-спектр.

¹M. S. Alekseenko, ¹I. M. Pochickaya, ²V. V. Litvyak, ³S. M. Butrim¹RUE «Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus», Minsk, Republic of Belarus;²All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing – Branch of Russian Potato Research Centre, Moscow, Russian Federation;³Belarusian State University, Research Institute for Physical Chemical Problems, Minsk, Republic of Belarus

PHYSICO-CHEMICAL, ORGANOLEPTIC AND MICROBIOLOGICAL PROPERTIES OF ACID-HYDROLYZED STARCHES

Abstract. Acid hydrolysis is a complex multifactorial process which allows, by varying its parameters, to obtain a wide range of products with different physicochemical properties [1, 4]. The aim of the work is to determine the physicochemical, organoleptic and microbiological properties of potato and corn starches obtained by acid hydrolysis. The work has established that there is a tendency for the

relative degree of crystallinity to decrease as a result of acid hydrolysis with increasing duration and temperature of hydrolysis, as well as the concentration of acid and suspension. This indicates loosening of the crystalline regions and an increase in the proportion of the amorphous phase as a result of acid treatment. It has also been established that, despite the partial destruction of their crystalline regions, preservation of the supramolecular structure of the granules is observed. The work has studied the rheological behavior of starch pastes, which are non-Newtonian fluids that can be clearly classified as pseudoplastics. A nomogram has been developed for determining the hydrolysis temperature using 0.5 N sulfuric acid and 0.5 N hydrochloric acid for 6 hours. Spectral analysis demonstrated that acid hydrolysis does not result in the formation of new functional groups or changes in the basic structure of the monomer, glucopyranose. The microbiological and organoleptic properties of acid-hydrolyzed starches are also described.

Keywords: modified starches, acid hydrolysis, potato starch, corn starch, physicochemical properties, diffractogram, nomogram, micrograph, IR spectrum.

Введение. Крахмал и крахмалопродукты являются важнейшим ресурсом для национальной экономики. Сферы их применения чрезвычайно широки: от пищевой (кондитерская, хлебопекарная, молочная отрасли и др.) до текстильной, бумажной, фармацевтической и даже металлургической промышленности. Кроме того, крахмал служит сырьем в химическом производстве для получения сорбита, лаков, пленок и другой продукции. Вследствие особенностей химического строения, крахмал играет решающую роль в формировании структуры и потребительских характеристик многих продуктов, в том числе и картофелепродуктов. Мировой тренд показывает рост производства и потребления крахмала, особенно модифицированных видов, получаемых путем направленного изменения их свойств. Модифицированные крахмалы – крахмалы с измененными (улучшенными) физико-химическими свойствами под воздействием физического, химического, биологического или смешанного факторов [1-3]. Для Республики Беларусь вопрос импортозамещения в этой сфере стоит остро: годовая потребность в нативных и модифицированных крахмалах составляет около 2500 тонн. Многие местные предприятия выражают готовность поддержать разработку отечественных высокоэффективных технологий их производства. Сфера применения натуральных (нативных) крахмалов в современной промышленности довольно ограничена. В условиях постоянного роста рынка и спроса на материалы с заданными функциями, производство модифицированных крахмалов стало решением, позволяющим преодолеть эти ограничения и значительно расширить области их промышленного использования. Модифицированный крахмал, получаемый путем химической, физической, биологической или комбинированной обработки, приобретает свойства, отличные от исходного сырья. В процессе модификации крахмал наделяется такими функциями, как загущающая, влагоудерживающая, студнеобразующая, эмульгирующая и пленкообразующая способности [1, 4]. Использование модифицированного крахмала в рецептурах позволяет не только снизить его дозировку, но и улучшить ключевые характеристики продукции: консистенцию, органолептические свойства и срок годности. Кислотноголизованные крахмалы применяются при производстве консервированных изделий, соусов, в качестве загустителя или желирующего агента в молочной промышленности; в кондитерской промышленности его применяют при изготовлении жевательных конфет, желе; также они используются в качестве наполнителя при производстве пакетированных супов быстрого приготовления [1, 3].

Объекты исследования. Объектами исследования являются нативный картофельный и кукурузный крахмалы, кислотноголизованные крахмалы (картофельный и кукурузный).

Методы исследований. Кислотный гидролиз картофельного и кукурузного крахмала проводили при $(30-50) \pm 3$ °C в течение 2–6 ч при использовании 0,1 н. и 0,5 н. водного раствора соляной (HCl) и серной кислот (H₂SO₄).

Реакцию кислотного гидролиза осуществляли следующим образом: навеску крахмала при перемешивании диспергировали в определенном объеме раствора соляной или серной кислоты (концентрация суспензии крахмала – 20 %, 30 %, 40 %), затем термостатировали при фиксированной температуре 30–50 °C, после чего через 2–6 ч суспензию кислотноголизованного крахмала нейтрализовали 0,1 н. или 0,5 н. раствором гидроокиси натрия до pH 6,0–7,0 при помощи универсальной индикаторной бумаги, затем кислотноголизованный крахмал отделяли от раствора на стеклянном пористом фильтре под вакуумом, промывали водой и сушили в сушильном шкафу при температуре 35 °C.

Морфологическую структуру оценивали на сканирующем электронном микроскопе LEO 1420 (Germany). Металлизацию препаратов осуществляли золотом в вакуумной установке EMITECH K 550X [5].

Гранулометрический анализ нативных и кислотногидролизированных крахмалов проводили путем измерения размеров крахмальных гранул на микрофотографиях, полученных при электронной микроскопии, и последующей обработки результатов измерений общепринятыми статистическими методами.

Исследования волновых чисел нативных и кислотногидролизированных крахмалов проводили с использованием ИК-спектрометра с преобразованием Фурье (фирма BRUKER модель ALPNA – Германия) с применением приставки НПВО (нарушенного полного внутреннего отражения) – ATR Di [6].

Расшифровку спектров проводили в соответствии с источниками [6-9].

Фазовую структуру исследовали методом рентгенографии [10-12]. Апробированы различные методики подготовки образцов крахмала для съемки дифрактограмм: затирка порошка в кювету-держатель и холодное прессование. Экспериментально установлено, что наиболее качественные препараты крахмала для записи рентгенограмм получаются в результате холодного прессования порошков.

Дифракционные кривые записывали на рентгеновском дифрактометре HZG 4A (Carl Zeiss, Jena, Germany) с использованием медного (CuK_α) излучения, фильтрованного никелем. Все кривые снимались в абсолютно идентичных условиях, в шаговом режиме дискретного сканирования. Шаговый режим сканирования, в отличие от непрерывного, обеспечивает высокую информативность и точность метода рентгенофазового анализа: возможность прецизионного определения положения дифракционных рефлексов. Дифракционные кривые исследуемых образцов записывали в режиме «на отражение».

Напряжение сдвига измеряли при помощи вискозиметра Брукфильда LVDV II+Pro (использовался SSA адаптер с измерительным шпинделем SC4-18 с объемом пробы 8 см³ с термостатирующей рубашкой), после чего рассчитывали динамическую вязкость [13].

Органолептические показатели определяли по ГОСТ 7698-93. Отбор и подготовку проб для микробиологических анализов проводили соответственно по ГОСТ 31904-2012 и ГОСТ 26669-85. Методы культивирования микроорганизмов осуществлялись по ГОСТ 26670-91. Определение КМАФАнМ проводили по ГОСТ 10444.15-94, БГКП – по ГОСТ 31747-2012, патогенных микроорганизмов – по ГОСТ 31659-2012. Дрожжи и плесени определяли по ГОСТ 10444.12-2013.

Результаты исследований и их обсуждение. Кислотный гидролиз представляет собой сложный многофакторный процесс, который позволяет, путем изменения его параметров, получить широкий спектр продуктов с различными физико-химическими свойствами.

Для изучения фазовых превращений, возникающих при кислотном гидролизе картофельного и кукурузного крахмала соляной и серной кислотами, был применен рентгенофазовый анализ. Исходные и модифицированные крахмалы имеют аморфно-кристаллическую структуру, которая претерпевает значительные изменения в процессе гидролиза.

Результаты анализа фазовой структуры нативных крахмалов и изменения их относительной степени кристалличности (ОСК) после гидролиза представлены на рис. 1. *a* – нативный картофельный крахмал; *b* – нативный кукурузный крахмал; *в* – картофельный крахмал, гидролизированный 0,5 н. раствором серной кислоты при 50 °С, 6 часов; *г* – картофельный крахмал, гидролизированный 0,5 н. раствором соляной кислоты при 50 °С, 6 ч; *д* – кукурузный крахмал, гидролизированный 0,5 н. раствором серной кислоты при 50 °С, 6 ч; *е* – кукурузный крахмал, гидролизированный 0,5 н. раствором соляной кислотой при 50 °С, 6 ч.

Как видно из рис.1, дифрактограмма нативного картофельного крахмала, характерная для полиморфной модификации В-типа (типичной для клубневых крахмалов), демонстрирует два четких дифракционных рефлекса. Наличие значительной доли аморфного гало указывает на рассеяние от неупорядоченной фазы. Значение ОСК для нативного картофельного крахмала составило 37,1%.

Дифрактограмма нативного кукурузного крахмала демонстрирует три дифракционных рефлекса низкой интенсивности и разрешенности, что указывает на малые размеры и высокую дефектность его кристаллитов. Наряду с дискретными пиками, на дифрактограмме фиксируется значительная доля диффузного рассеяния (аморфное гало), обусловленная наличием неупорядоченной фазы. Полученные данные позволяют идентифицировать структуру нативного кукурузного крахмала как А-тип, характерный для зерновых крахмалов. Рассчитанное значение относительной степени кристалличности составило 34,9 %.

Сравнение с дифрактограммами кислотногидролизированных образцов (рис. 1) показывает, что, несмотря на наличие дискретных максимумов, их пики становятся ниже и шире по сравнению с более острыми пиками нативных крахмалов. Это свидетельствует о разрыхлении кристаллических областей и увеличении доли аморфной фазы в результате кислотной обработки.

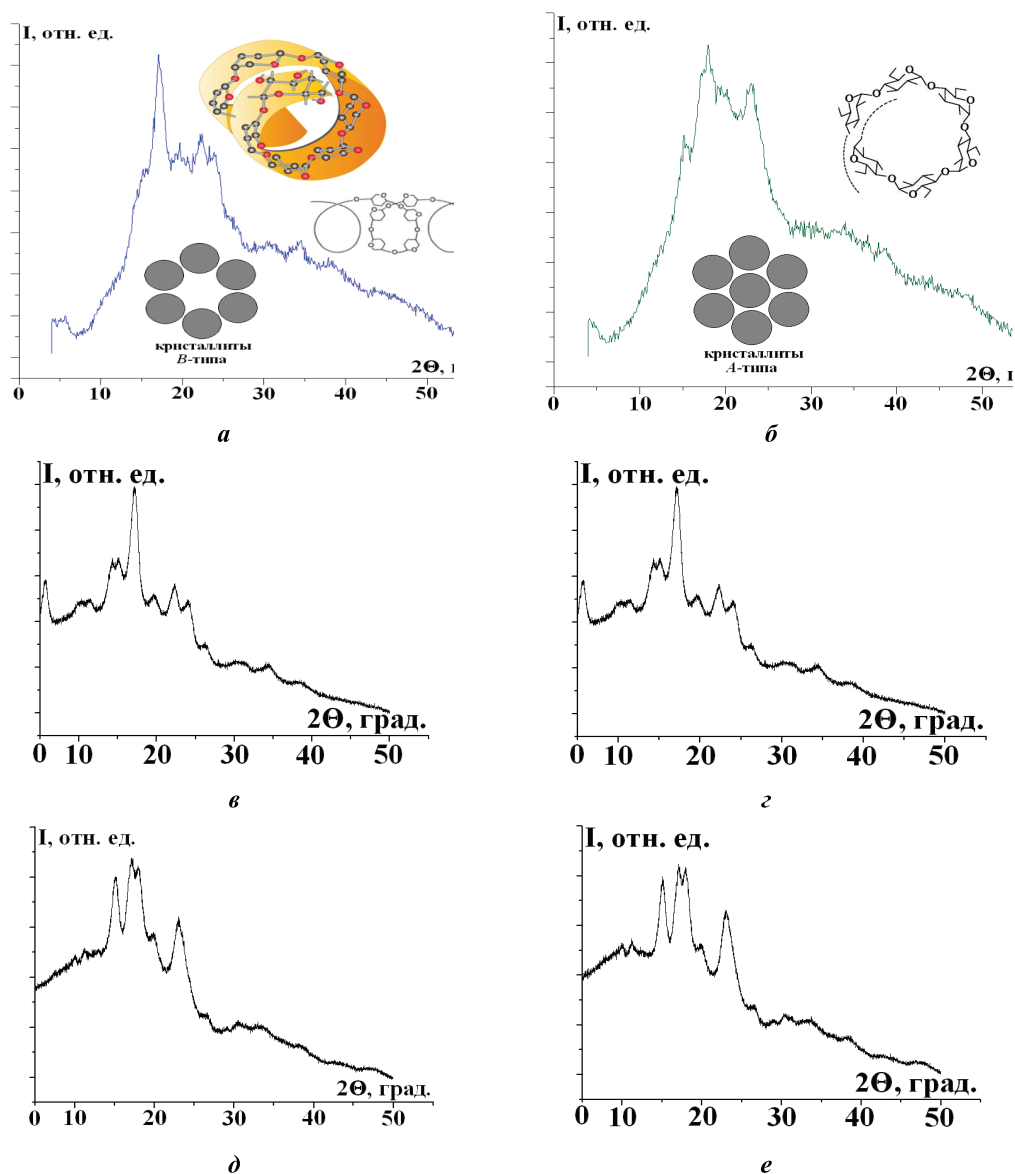


Рис. 1. Дифрактограммы нативных и кислотногидролизированных крахмалов
 Fig. 1. Diffraction patterns of native and acid-hydrolyzed starches

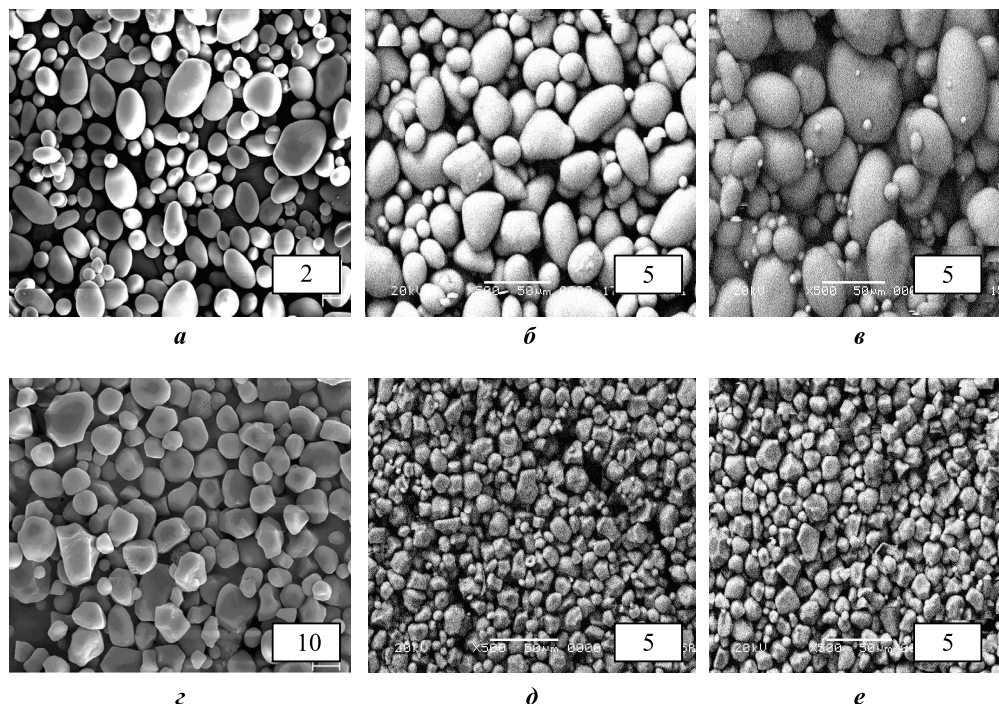
Рассчитана относительная степень кристалличности картофельных и кукурузных крахмалов, гидролизованных при температуре от 30 до 50 °С, при использовании серной и соляной кислот с концентрацией 0,1 н. и 0,5 н., при этом продолжительность обработки варьировалась от 2 до 6 часов, концентрация крахмальной суспензии при этом составляла 20 %, 30 % и 40 %.

Анализ полученных данных выявил общую тенденцию к снижению относительной степени кристалличности (ОСК) в результате кислотного гидролиза. Установлено, что значение ОСК уменьшается при повышении температуры процесса с 30 до 50 °С. Кроме того, гидролиз соляной кислотой приводит к более низким показателям кристалличности по сравнению с серной кислотой, а увеличение продолжительности обработки с 2 до 6 часов также способствует деградации кристаллической структуры.

Сохранение аморфно-кристаллического строения после обработки подтверждает, что холодный гидролиз неорганическими кислотами не разрушает гранулу целиком, что согласуется с данными сканирующей электронной микроскопии (рис. 2).

Как видно из рис. 2, форма гранул, характерная для нативных крахмалов, у кислотногидролизированных крахмалов сохраняется. Форма гранул нативного картофельного крахмала круглая и овальная, а для нативного кукурузного крахмала присуща многогранная и неправильная форма. Сохранение крахмальных гранул (недопущение их клейстеризации) при

химической модификации крахмала в суспензии очень важно в технологическом плане. Обезвоживание и сушка крахмала с целыми гранулами осуществляется значительно легче, чем с клейстеризованными (разрушенными). Наблюдается сохранение надмолекулярной структуры гранул, несмотря на частичное разрушение их кристаллических областей. Устойчивость гранул объясняется, вероятно, образованием вторичных поперечных сшивок между $\alpha(1\rightarrow4)$ - и $\alpha(1\rightarrow6)$ -глюкозидными связями. Процесс разрыхления кристаллических участков интенсифицируется с ростом температуры.



a –нативный картофельный крахмал; *б* – гидролизованный картофельный крахмал (0,5 н. H₂SO₄, 50 °С, 6 ч, концентрация крахмальной суспензии- 40%); *в* – гидролизованный картофельный крахмал (0,1 н. HCl , 50 °С, 2 ч, концентрация крахмальной суспензии - 40 %); *г* –нативный кукурузный крахмал; *д* –гидролизованный кукурузный крахмал (0,5 н. HCl, 50 °С, 6 ч, концентрация крахмальной суспензии - 40 %); *е* –гидролизованный кукурузный крахмал (0,5 н. HCl, 50 °С, 6 ч, концентрация крахмальной суспензии- 40%)

Рис. 2. Сканирующие электронные микрофотографии нативных и кислотногидролизванных крахмалов
Fig. 2. Scanning electron micrographs of native and acid-hydrolyzed starches

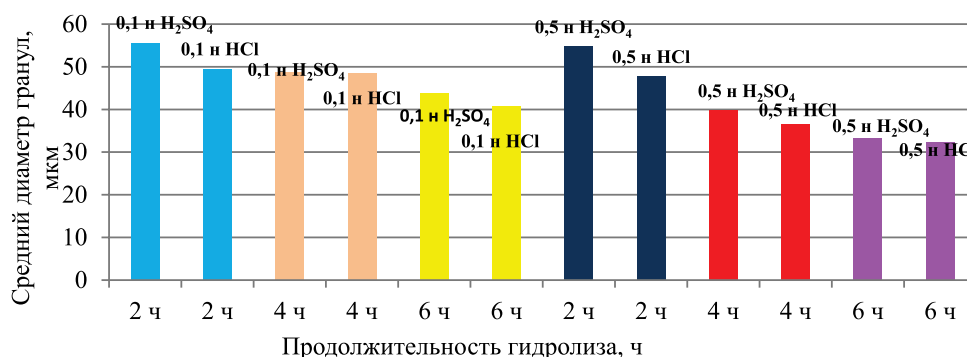


Рис. 3. Влияние продолжительности гидролиза, вида и концентрации кислоты на средний диаметр гранул картофельного крахмала (температура гидролиза 50 °С, концентрация крахмальной суспензии 40 %)
Fig. 3. The effect of hydrolysis duration, type and concentration of acid on the average granule diameter of potato starch (hydrolysis temperature 50 °С, starch suspension concentration 40%)

В процессе гидролиза происходит уменьшение среднего диаметра гранул кислотногидролизованного картофельного и кукурузного крахмала при увеличении продолжительности гидролиза, увеличении концентрации неорганической кислоты, увеличении температуры гидролиза, а также концентрации крахмальной суспензии (рис.3-6).

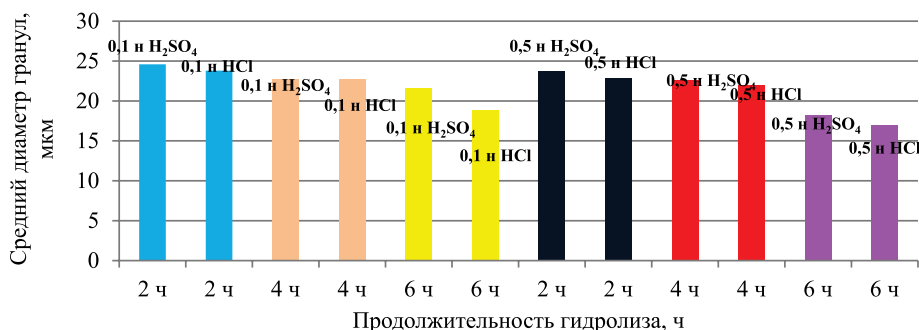


Рис. 4. Влияние продолжительности гидролиза, вида и концентрации кислоты на средний диаметр гранул кукурузного крахмала (температура гидролиза 50 °С, концентрация крахмальной суспензии 40 %)

Fig. 4 The effect of hydrolysis time, acid type and concentration on the average granule diameter of corn starch (hydrolysis temperature 50 °C, starch suspension concentration 40%)

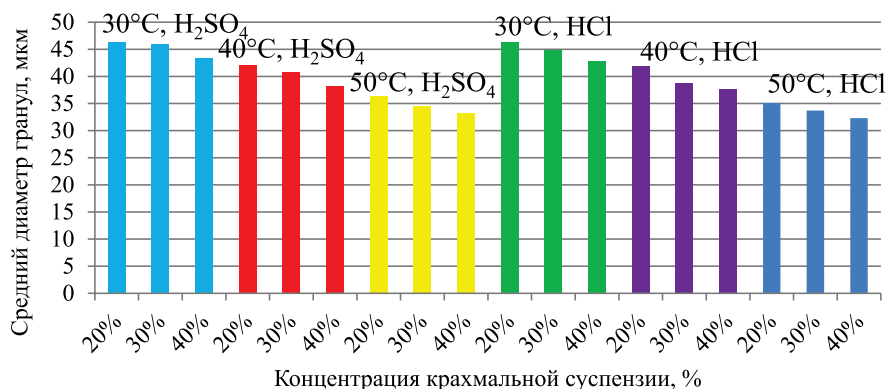


Рис. 5. Влияние концентрации крахмальной суспензии на средний диаметр гранул картофельного крахмала и температуры гидролиза (концентрация кислоты 0,5 н., продолжительность гидролиза – 6 ч)

Fig. 5. The effect of starch suspension concentration on the average granule diameter of potato starch and hydrolysis temperature (acid concentration 0.5 N, hydrolysis time – 6 h)

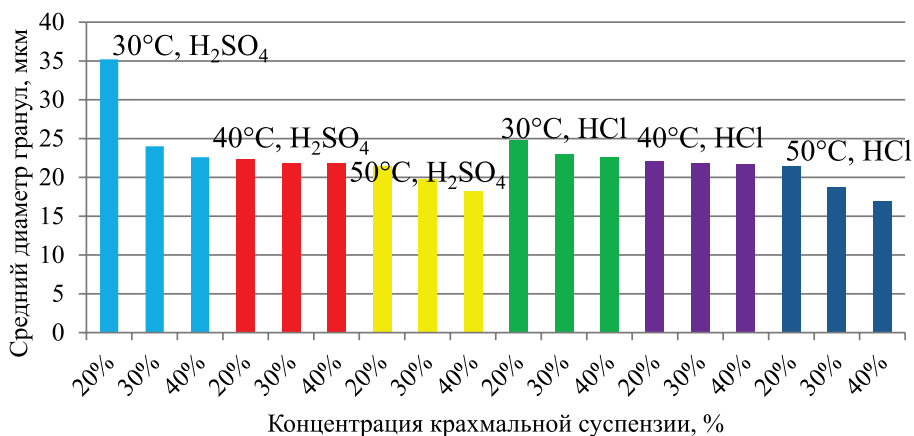


Рис. 6. Влияние концентрации крахмальной суспензии на средний диаметр гранул кукурузного крахмала и температуры гидролиза (концентрация кислоты 0,5 н., продолжительность гидролиза – 6 ч)

Fig. 6. The effect of starch suspension concentration on the average granule diameter of corn starch and hydrolysis temperature (acid concentration 0.5 N, hydrolysis time 6 h)

В данном случае модифицированный картофельный крахмал, характеризующийся наименьшим средним диаметром гранул (32,3 мкм), был получен при следующих технологических параметрах гидролиза: продолжительность – 6 ч, концентрация крахмальной суспензии – 40 %, температура – 50 °С, вид и концентрация неорганической кислоты – 0,5 н. раствор соляной кислоты. Для кислотногидролизованного картофельного крахмала, полученного в аналогичных условиях, но с использованием 0,5 н. серной кислоты, средний диаметр крахмальных гранул составил 33,3 мкм.

При этом для кукурузного крахмала наименьший средний диаметр гранул был отмечен у образца, полученного путем кислотного гидролиза в течение 6 ч в 40 %-ой суспензии при температуре 50 °С при использовании 0,5 н. соляной кислоты, и составил 17,0 мкм. При использовании 0,5 н. серной кислоты при прочих равных условиях был получен крахмал с диаметром гранул 18,2 мкм.

На следующем этапе работы было изучено реологическое поведение крахмальных клейстеров, которые преимущественно представляют собой неньютоновские жидкости. Неньютоновская жидкость – это жидкость, при течении которой ее вязкость зависит от градиента скорости [13]. Это означает, что их вязкость не является постоянной, а изменяется в зависимости от скорости сдвига. Такое поведение объясняется наличием в жидкости крупных молекул, формирующих сложные пространственные структуры и обуславливающих ее неоднородность. Чем интенсивнее внешнее воздействие на эти макромолекулы, тем выше проявляется вязкость, при этом продолжительность воздействия не влияет на параметры течения.

Эксперименты проводились в диапазоне скоростей сдвига от 0,084 до 132 с⁻¹, который соответствует реальным условиям технологических процессов с использованием таких клейстеров. Результаты показали, что независимо от условий кислотного гидролиза реологическое поведение всех образцов хорошо описывается степенным законом Оствальда-де-Ваале. Согласно данному закону, жидкости можно разделить на три типа в зависимости от индекса течения n : (при $n < 1$ – псевдопластики, т.е. при медленных движениях вязкость велика, затем убывает; при $n > 1$ – дилатантная жидкость, т.е. вязкость растет с увеличением скорости, при $n = 1$ – ньютоновская жидкость) [13]. Во всех исследованных случаях значения индекса течения оказались меньше единицы, что позволяет однозначно классифицировать клейстеры, приготовленные из кислотногидролизованных крахмалов как псевдопластики.

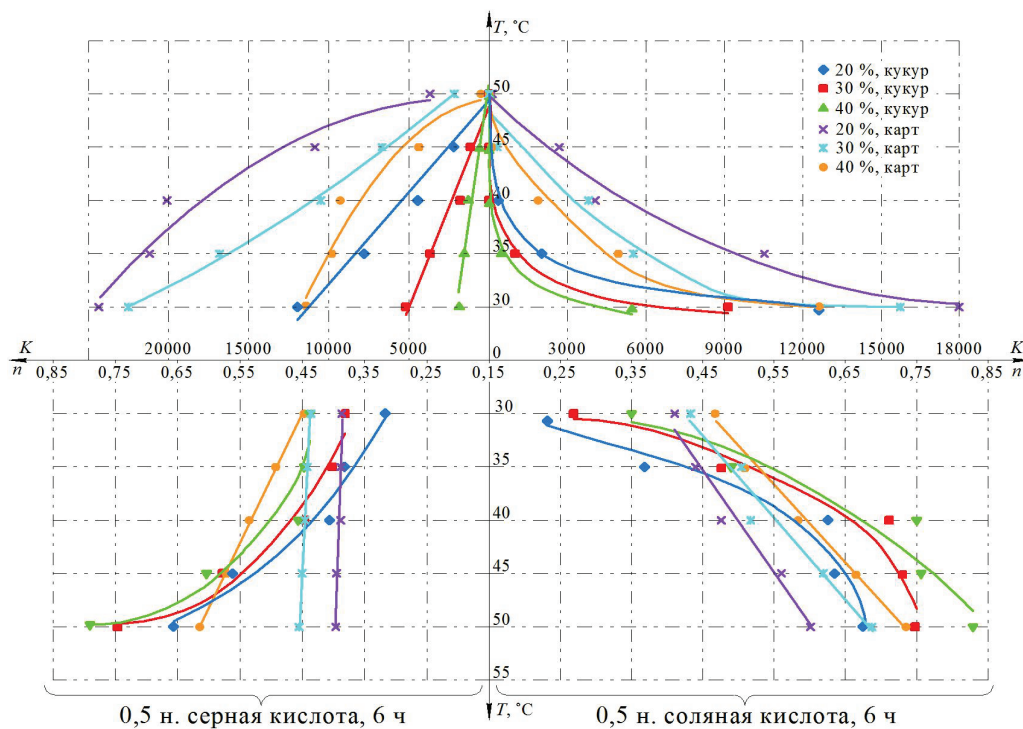
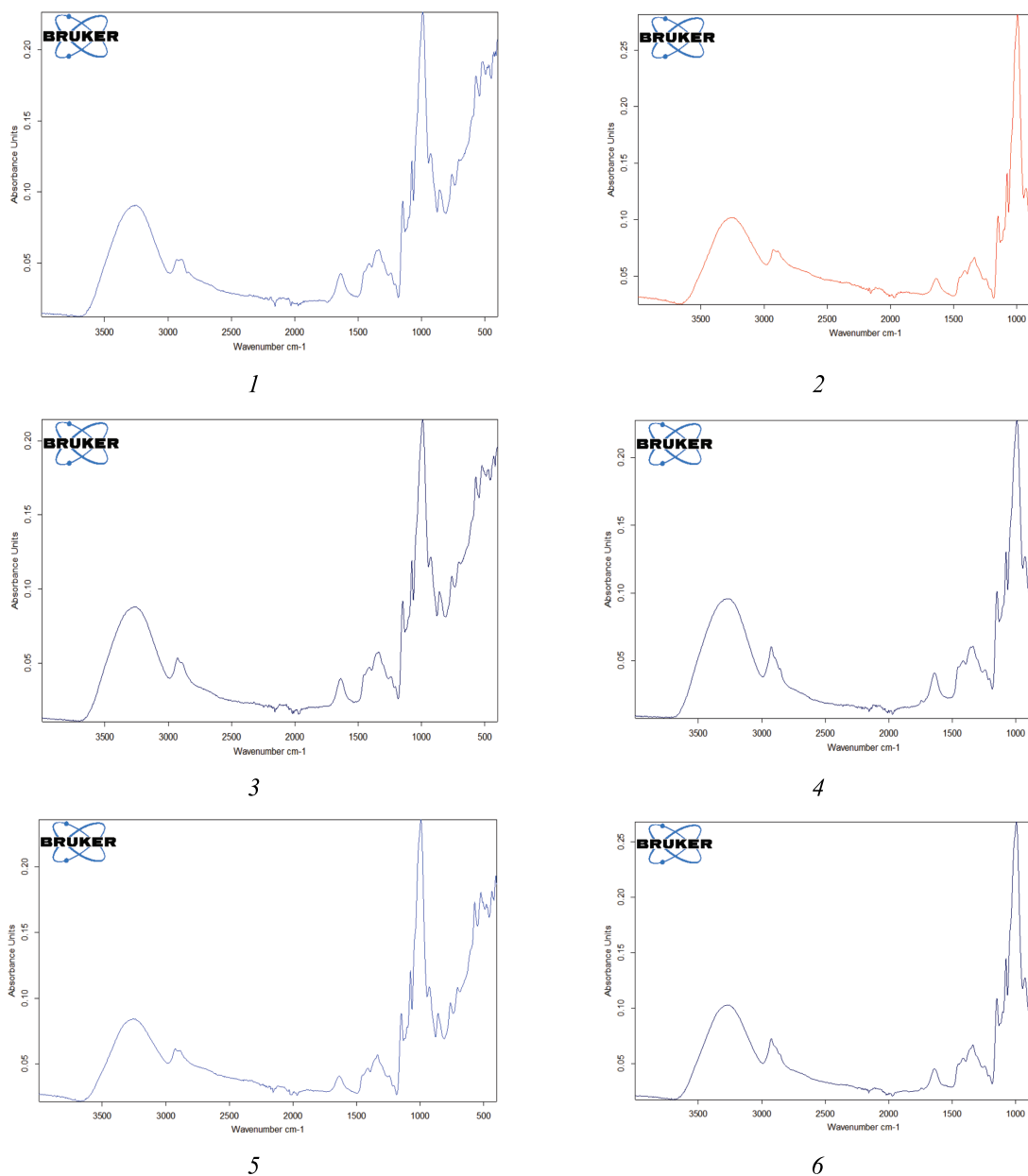


Рис. 7. Номограмма для определения температуры гидролиза при использовании 0,5 н. серной кислоты и 0,5 н. соляной кислоты в течение 6 ч
 Fig. 7. Nomogram for determining the hydrolysis temperature using 0.5 N sulfuric acid and 0.5 N hydrochloric acid for 6 hours

На основе установленных закономерностей был разработан практический алгоритм подбора технологических параметров кислотного гидролиза для получения крахмала с заданными реологическими свойствами. Сначала определяются коэффициенты K и n уравнения Оствальда-де-Ваале для целевого крахмала, затем по построенным зависимостям $n = f(X_1)$ и $K = f(X_1)$ устанавливаются необходимые технологические параметры, включая продолжительность гидролиза, концентрацию и тип кислоты, концентрацию крахмальной суспензии. На рис. 7 представлена номограмма для определения температуры гидролиза при использовании 0,5 н. серной кислоты и 0,5 н. соляной кислоты в течение 6 ч для различных концентраций суспензий картофельных и кукурузных крахмалов.



нативные: 1 – картофельный, 2 – кукурузный; кислотногидролизованные: 3 –картофельный крахмал, гидролизованный 0,5 н. раствором серной кислоты при 50 °С, 6 ч, 4 –картофельный крахмал, гидролизованный 0,5 н. раствором соляной кислоты при 50 °С, 6 ч; 5 – кукурузный крахмал крахмал, гидролизованный 0,5 н. раствором соляной кислоты при 50 °С, 6 ч, 6 –кукурузный крахмал, гидролизованный 0,5 н. раствором серной кислоты при 50 °С, 6 ч

Рис. 8. ИК-спектры крахмала
Fig. 8. IR spectra of starch

С целью изучения влияния кислотного гидролиза на химические связи и группы крахмальных полимеров проведен спектральный анализ. На рис. 8 представлены ИК-спектры нативных и кислотногогидролизованых картофельного и кукурузного крахмалов, полученных при самых жестких условиях в соответствии с матрицей эксперимента.

Анализ спектров (рис.8) продемонстрировал следующее:

1. Сохранение химической структуры: ИК-спектры нативных и модифицированных крахмалов практически идентичны, особенно в так называемой области «отпечатков пальцев» (750–1350 см⁻¹), которая уникальна для каждого вещества. Это доказывает, что кислотный гидролиз не приводит к образованию новых функциональных групп или изменению основной структуры мономера– глюкопиранозы.

2. Наличие ключевых связей: В спектрах всех образцов наблюдается характерное поглощение при 927-930 см⁻¹, указывающее на наличие α(1→4)-гликозидных связей.

3. Суть процесса гидролиза: процесс гидролиза приводит лишь к разрыву гликозидных связей (α(1→4) и α(1→6)), что уменьшает длину полимерных цепей (молекулярную массу), но не затрагивает химическое строение самих звеньев глюкозы.

Таким образом ИК-спектроскопия подтвердила, что кислотный гидролиз является безопасным видом модификации, так как не вызывает химических превращений в молекуле крахмала, а лишь укорачивает ее цепи. Полученные крахмалы пригодны для применения в пищевой промышленности.

Органолептические показатели нативных и кислотногогидролизованых картофельных и кукурузных крахмалов представлены в табл.1.

Т а б л и ц а 1. Органолептические показатели нативных и кислотногогидролизованых картофельных и кукурузных крахмалов
 Table 1. Organoleptic properties of native and acid-hydrolyzed potato and corn starches

Вид крахмала	Органолептические показатели			
	Внешний вид	Цвет	Запах	Вкус
<i>картофельный крахмал</i>				
Нативный (ГОСТ 7699-78)	Однородный порошок	От белого с кристаллическим блеском до белого с сероватым оттенком	Свойственный крахмалу, без постороннего запаха	Свойственный крахмалу, без постороннего привкуса
Гидролизированный:				
картофельный крахмал, гидролизированный 0,5 н. раствором серной кислоты при 50 °С, 6 ч	Однородный порошок	Белый	Свойственный крахмалу, без постороннего запаха	Свойственный крахмалу, без постороннего привкуса
картофельный крахмал, гидролизированный 0,5 н. раствором соляной кислоты при 50 °С, 6 ч	Однородный порошок	Белый	Свойственный крахмалу, без постороннего запаха	Свойственный крахмалу, без постороннего привкуса
картофельный крахмал, гидролизированный 0,1 н. раствором соляной кислоты при 50 °С, 2 ч	Однородный порошок	Белый	Свойственный крахмалу, без постороннего запаха	Свойственный крахмалу, без постороннего привкуса
картофельный крахмал, гидролизированный 0,1 н. раствором серной кислоты при 50 °С, 2 ч	Однородный порошок	Белый	Свойственный крахмалу, без постороннего запаха	Свойственный крахмалу, без постороннего привкуса

Окончание табл. 1

Вид крахмала	Органолептические показатели			
	Внешний вид	Цвет	Запах	Вкус
<i>кукурузный крахмал</i>				
Нативный (ГОСТ 32159-2013)	Однородный порошок	Белый. Допускается желтоватый оттенок	Свойственный крахмалу, без постороннего запаха	-
Гидролизированный:				
кукурузный крахмал, гидролизированный 0,5 н. раствором соляной кислоты при 50 °С, 6 ч	Однородный порошок	Белый с кремовым оттенком	Свойственный крахмалу, без постороннего запаха	Свойственный крахмалу, без постороннего привкуса
кукурузный крахмал, гидролизированный 0,5 н. раствором серной кислоты при 50 °С, 6 ч	Однородный порошок	Белый с кремовым оттенком	Свойственный крахмалу, без постороннего запаха	Свойственный крахмалу, без постороннего привкуса
кукурузный крахмал, гидролизированный 0,1 н. раствором соляной кислоты при 50 °С, 2 ч	Однородный порошок	Белый с кремовым оттенком	Свойственный крахмалу, без постороннего запаха	Свойственный крахмалу, без постороннего привкуса
кукурузный крахмал, гидролизированный 0,1 н. раствором серной кислоты при 50 °С, 2 ч	Однородный порошок	Белый с кремовым оттенком	Свойственный крахмалу, без постороннего запаха	Свойственный крахмалу, без постороннего привкуса

На рис. 9. Представлен внешний вид нативного и кислотногидролизованного картофельных и кукурузных крахмалов.

Проведены сравнительные исследования органолептических характеристик нативного и кислотногидролизованного крахмалов. Внешний вид, цвет и запах кислотногидролизованных картофельных и кукурузных крахмалов в незначительной степени отличаются от нативных картофельных и кукурузных.

Также в результате проведенных исследований установлено, что микробиологические показатели исходного сырья (нативного картофельного и кукурузного крахмала) соответствовали нормам п.9.9.1 СанНПиГН 52-2013.

Данные микробиологических исследований, представленные в таблице 2, подтвердили соответствие образцов кислотногидролизованных крахмалов по микробиологическим показателям СанНПиГН 52-2013 и могут быть рекомендованы для использования в пищевой промышленности.

Анализ данных таблицы 2 позволил установить, что количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, бактерий группы кишечных палочек (колиформные бактерии), патогенных микроорганизмов (в т.ч. сальмонелл), дрожжей и плесени в кислотногидролизованных картофельном и кукурузном крахмале соответствует нормам п.9.9.1 СанНПиГН 52-2013.

Вследствие детального изучения органолептических и физико-химических, а также микробиологических показателей можно сделать вывод, что данные кислотногидролизованные крахмалы могут применяться в пищевой промышленности для улучшения качества готовой пищевой продукции, а также технических целях.



нативные: 1 – картофельный, 2 – кукурузный; кислотногидролизированные: 3 –картофельный крахмал, гидролизированный 0,5 н. раствором серной кислоты при 50 °С, 6 ч, 4 –картофельный крахмал, гидролизированный 0,5 н. раствором соляной кислоты при 50 °С, 6 ч; 5 – кукурузный крахмал крахмал, гидролизированный 0,5 н. раствором соляной кислоты при 50 °С, 6 ч, 6 – кукурузный крахмал, гидролизированный 0,5 н. раствором серной кислоты при 50 °С, 6 ч

Рис. 9. Внешний вид крахмала
Fig. 9. Physical appearance of starch

Таблица 2. Микробиологические показатели нативных и кислотногидролизированных картофельного и кукурузного крахмалов
Table 2. Microbiological parameters of native and acid-hydrolyzed potato and corn starches

Показатели	КМАФАнМ, КОЕ/г	БГКП (колиформы) в 0,01 г продукта	Патогенные м/о, в т.ч. сальмонеллы в 25 г продукта	Дрожжи, КОЕ/г	Плесени, КОЕ/г
Согласно требованиям СанПиН 52-2013					
п.9.9.1	не более 1×10^5	не допускаются	не допускаются	не более $5,0 \times 10^2$	не более $5,0 \times 10^2$
Картофельный крахмал					
Нативный	$3,0 \times 10^2$	не обнаружено	не обнаружено	$3,0 \times 10$	$4,0 \times 10$
Гидролизированный:					

Окончание табл. 2

Показатели	КМАФАнМ, КОЕ/г	БГКП (колиформы) в 0,01 г продукта	Патогенные м/о, в т.ч. сальмонеллы в 25 г продукта	Дрожжи, КОЕ/г	Плесени, КОЕ/г
картофельный крахмал, гидролизированный 0,5 н. раствором серной кисло- ты при 50 °С, 6 ч	2,5×10 ²	не обнаружено	не обнаружено	2,0×10	3,0×10
картофельный крахмал, гидролизированный 0,5 н. раствором соляной кис- лоты при 50 °С, 6 ч	2,5×10 ²	не обнаружено	не обнаружено	2,0×10	2,0×10
картофельный крахмал, гидролизированный 0,1 н. раствором серной кисло- ты при 50 °С, 2 ч	3,0×10 ²	не обнаружено	не обнаружено	3,0×10	4,0×10
картофельный крахмал, гидролизированный 0,1 н. раствором соляной кис- лоты при 50 °С, 2 ч	3,0×10 ²	не обнаружено	не обнаружено	4,0×10	4,0×10
Кукурузный крахмал					
Нативный	4,5×10 ²	не обнаружено	не обнаружено	3×10	4×10
Гидролизированный:					
кукурузный крахмал, ги- дролитованный 0,5 н. раствором серной кисло- ты при 50 °С, 6 ч	3,5×10 ²	не обнаружено	не обнаружено	3,0×10	3,0×10
кукурузный крахмал, ги- дролитованный 0,5 н. раствором соляной кис- лотой при 50 °С, 6 ч	3,5×10 ²	не обнаружено	не обнаружено	2,0×10	3,0×10
кукурузный крахмал, ги- дролитованный 0,1 н. раствором серной кисло- ты при 50 °С, 2 ч	4,0×10 ²	не обнаружено	не обнаружено	2,0×10	3,0×10
кукурузный крахмал, ги- дролитованный 0,1 н. раствором соляной кис- лоты при 50 °С, 2 ч	4,0×10 ²	не обнаружено	не обнаружено	3,0×10	4,0×10

Список использованных источников

1. Жушман, А. И. Модифицированные крахмалы / А. И. Жушман. – М. : Пищепромиздат, 2007. – 235 с.
2. Углеводы в пищевых продуктах / М. О. Полумбрик [и др.]. – Минск : ИВЦ Минфина, 2016. – 591 с.
3. Соломин, Д. А. Инновации в производстве и применении модифицированных крахмалов / Д. А. Соломин, Л. С. Соломина // Хранение и перераб. сельхозсырья. – 2014. – № 3. – С. 19–22.
4. Ловкис, З. В. Технология крахмала и крахмалопродуктов : учеб. пособие / З. В. Ловкис, В. В. Литвяк, Н. Н. Петюшев. – Минск : Асобны, 2007. – 176 с.
5. Sawyer, L. C. Polymer microscopy / L. C. Sawyer, D. T. Grubb, G. F. Meyers. – New York : Springer, 2008. – 540 p.
6. Куренков, В. Ф. Практикум по химии и физике высокомолекулярных соединений : учеб. пособие / В. Ф. Куренков, Л. А. Бударина, А. Е. Заикин. – М. : КолосС, 2008. – 394 с.
7. Авраменко, В. Н. Инфракрасные спектры пищевых продуктов : справ. пособие / В. Н. Авраменко, М. П. Ельсон, А. А. Заика ; под общ. ред. В. Д. Попова. – М. : Пищевая пром-сть, 1974. – 175 с.
8. Жбанков, Р. Г. Инфракрасные спектры и структура углеводов / Р. Г. Жбанков. – Минск : Наука и техника, 1972. – 260 с.
9. Neely, W. B. Infrared spectra of carbohydrates / W. B. Neely // Advances in Carbohydrate Chemistry. – 1957. – Vol. 12. – P. 13–33.

10. Ковба, Л. М. Рентгенофазовый анализ / Л. М. Ковба, В. К. Трунов. – 2-е изд., доп. и перераб. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1976. – 232 с.
11. Ашихмина, Т. Я. Рентгенофазовый анализ соединений / Т. Я. Ашихмина. – Киров : КГПИ, 1994. – 72 с.
12. Wang, Q. Carbohydrates: physical properties / Q. Wang, P. J. Wood // Handbook of science, technology, and engineering / ed.: Y. H. Hui [et al.]. – Boca Raton ; London ; New York, 2006. – Vol. 1. – P. 2-1–2-18.
13. Максимов, А. С. Реология пищевых продуктов : лаб. практикум : учебник / А. С. Максимов, В. Я. Черных. – СПб. : ГИОРД, 2006. – 176 с.

Информация об авторах

Алексеевко Маргарита Сергеевна, старший научный сотрудник лаборатории хроматографических исследований Республиканского контрольно-испытательного комплекса РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, д. 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь)

E-mail: info@belproduct.com

Почицкая Ирина Михайловна, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник – заведующий научно-исследовательским сектором Республиканского контрольно-испытательного комплекса по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: pochitskaja@yandex.ru

Литвяк Владимир Владимирович, ведущий научный сотрудник лаборатории по испытаниям и внедрению модифицированных крахмалов Всероссийского научно-исследовательского института крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха» (ул. Некрасова, 11, 140051, мкр. Коренево, г.о. Люберцы, Московская обл., Российская Федерация).

E-mail: besserk1974@mail.ru

Бутрим Сергей Михайлович, ведущий научный сотрудник лаборатории химии полисахаридов Учреждение БГУ «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем» (ул. Ленинградская 14, 220030, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: butryms@bsu.by

Information about authors

Alekseenko Margarita Sergeevna, Senior Researcher at the Chromatographic Research Laboratory Republican Test Complex, RUE «Scientific-Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus» (29, Kozlova St., Minsk, 220037, Republic of Belarus).

E-mail: info@belproduct.com

Pochitskaya Irina Mikhailovna, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher – Head of Research Sector of the Republican Control and Testing Complex for Food Quality and Safety of the Republican Unitary Enterprise “Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food”. (29, Kozlova St., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: pochitskaja@yandex.ru

Litvyak Vladimir Vladimirovich, Leading Researcher, Laboratory for Testing and Implementation of Modified Starches, All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing – Branch of Russian Potato Research Centre (11 Nekrasov St., 140051, Korenevo Microdistrict, Lyubertsy, Moscow Region, Russian Federation).

E-mail: besserk1974@mail.ru

Butrym Sergei Mikhailovich, Leading Researcher, Laboratory of Polysaccharide Chemistry, Belarusian State University, Research Institute for Physical Chemical Problems (14 Leningradskaya St., 220030, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: butryms@bsu.by