

УДК 664.282
https://doi.org/10.47612/2073-4794-2021-14-1(51)-16-30

Поступила в редакцию 23.01.2021
Received 23.01.2021

А. А. Заболотец¹, В. В. Литвяк², А. И. Ермаков³

¹РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»,
г. Минск, Республика Беларусь

²Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов — филиал ФГБНУ «ФНЦ
пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, Московская обл., Российская Федерация

³Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

СПОСОБ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАТИВНЫХ КРАХМАЛОВ МЕТОДОМ КОМБИНАТОРИКИ

Аннотация. Проведен подробный гранулометрический анализ нативных крахмалов разного ботанического происхождения: сорговый с размером гранул 3,5–21,7 мкм и средним размером 11,0 мкм, пшеничный с размер гранул 2,8–30,7 мкм и средним размером 12,4 мкм, рисовый с размером гранул 2,7–7,9 мкм и средним размером 5,3 мкм, тритикалевый с размером гранул 4,0–30,7 мкм и средним размером 13,2 мкм, ржаной с размером гранул 4,9–42,8 мкм и средним размером 21,2 мкм, гороховый с размером гранул 6,1–32,3 мкм и средним размером 20,4 мкм, нутовый с размером гранул 6,0–25,6 мкм и средним размером 14,8 мкм, амарантовый с размером гранул 0,5–1,5 мкм и средним размером 1,1 мкм, ячменный с размером гранул 3,0–21,4 мкм и средним размером 10,9 мкм, тапиоковый с размером гранул 2,8–31,2 мкм и средним размером 10,6 мкм, овсяный с размером гранул 3,96–14,91 мкм и средним размером 7,39 мкм, картофельный с размером гранул 7,7–60,0 мкм и средним размером 21,7 мкм, кукурузный с размером гранул 3,6–19,2 мкм и средним размером 9,8 мкм, кукурузный высокоамилозный с размером гранул 3,3–11,65 мкм и средним размером 7,11 мкм, кукурузный высокоамилопектиновый с размером гранул 4,26–18,26 мкм и средним размером 9,94 мкм, пшеничный из сорта «Шортландинская 95» с размером гранул 1,74–20,48 мкм и средним размером 7,05 мкм, пшеничный из сорта «Астана» с размером гранул 2,52–26,74 мкм и средним размером 8,30 мкм, пшеничный из сорта «Акмола-2» с размером гранул 2,43–26,22 мкм и средним размером 8,11 мкм.

На основании гранулометрического анализа нативного крахмала разработан инновационный, высокоэффективный, экономный и экологически безопасный способ целенаправленного изменения физико-химических свойств нативных крахмалов различного ботанического происхождения методом комбинаторики.

Ключевые слова: нативный крахмал разного ботанического происхождения, сканирующая электронная микроскопия, смешивание, комбинаторика, крахмальная гранула

A.A. Zabolotets¹, V. V. Litvyak², A. I. Ermakov³

¹RUE “Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”,
Minsk, Republic of Belarus

²All-Russian Research Institute of Starch Products — Branch of the Federal Food Systems Center
named after V.M.Gorbatov RAS, Moscow Region, Russian Federation

³Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

METHOD FOR TARGETED CHANGE IN PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF NATIVE STARCHES BY THE METHOD OF COMBINATOR

Abstract. A detailed granulometric analysis of native starches of various botanical origin was carried out: sorghum with a granule size of 3,5–21,7 μm and an average size of 11,0 μm, wheat with a granule size of 2,8–30,7 μm and an average size of 12,4 μm, rice with a granule size of 2,7–7,9 μm and an average size of 5,3 μm, triticale with a granule size of 4,0–30,7 μm and an average size of 13,2 μm, rye with a granule size of 4,9–42,8 μm and an average size of 21,2 μm, pea with a granule size of 6,1–32,3 μm and an average size of 20,4 μm, chickpea with a granule size of 6,0–25,6 μm and an average size of 14,8 μm, amaranth with a granule

size of 0,5–1,5 μm and an average size of 1,1 μm , barley with a granule size of 3,0–21,4 μm and an average size of 10,9 μm , tapioca with a granule size of 2,8–31,2 μm and an average size of 10,6 μm , oat with a granule size of 3,96–14,91 μm and an average size of 7,39 μm , potato with a granule size of 7,7–60,0 μm and an average size of 21,7 μm , corn with a grain size of 3,6–19,2 μm and an average size of 9,8 μm , corn high amylose with a granule size of 3,3–11,65 μm and an average size of 7,11 μm , corn high amylopectin with a granule size of 4,26–18,26 μm and an average size of 9,94 μm , wheat from the «Shortandinskaya 95» variety With a granule size of 1,74–20,48 μm and an average size of 7,05 μm , wheat from the «Astana» variety with a granule size of 2,52–26,74 μm and an average size of 8,30 μm , wheat from the «Akmola-2» variety with a granule size of 2,43–26,22 μm and an average size of 8,11 μm .

Based on the granulometric analysis of native starch, an innovative, highly effective, economical and environmentally friendly method of purposefully changing the physicochemical properties of native starches of various botanical origin was developed using the combinatorial method.

Keywords: native starch of various botanical origin, scanning electron microscopy, mixing, combinatorics, starch granule

Введение. Нативный крахмал широко применяется в пищевой промышленности и для технических целей. Однако в связи с совершенствованием технологических способов переработки и значительным расширением ассортимента выпускаемой продукции характеристики нативного крахмала не всегда удовлетворяют современным требованиям. Для улучшения (целенаправленного изменения) свойств нативного крахмала применяют физические, химические или сочетанные модифицирующие факторы [1–23].

Актуальной проблемой современной технологии крахмала и крахмалопродуктов является разработка современных высокоэффективных методов целенаправленного изменения физико-химических свойств нативных крахмалов без использования модифицирующих факторов.

Цель представленного исследования — разработать способ целенаправленного изменения физико-химических свойств нативных крахмалов различного ботанического происхождения методом комбинаторики.

Материалы и методы исследования. Объектом исследований являются нативные крахмалы различного ботанического происхождения и смеси нативных крахмалов.

Морфологию структурных элементов крахмала (размеры, форма и особенности поверхности крахмальных гранул) изучали с использованием сканирующего электронного микроскопа LEO 1420, фирма Carl Zeiss, Германия (рис. 1) [24–27]. При изготовлении препаратов образцы крахмала в виде порошка наносили на металлическую подложку и прикрепляли к ее поверхности посредством токопроводящего клея. Затем на крахмал напыляли слой золота. Напыление проводили в вакуумной установке EMITECH K 550X, Германия.

Статистическая обработка полученных результатов исследования осуществлена с применением различных компьютерных программ: MS Office Excel 2003 по общепринятым методикам.

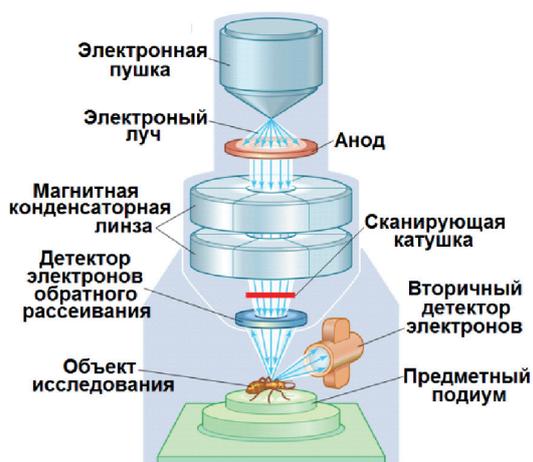


Рис. 1. Сканирующий электронный микроскоп LEO 1420 (Германия)

Fig. 1. LEO 1420 Scanning electron microscope (Germany)

Результаты исследований и их обсуждение. Согласно современным научным представлениям, элементарной структурной частью нативного крахмала, которая одновременно включает в себе

все особенности молекулярного и надмолекулярного строения нативного крахмала является крахмальная гранула [28–31]. Так, в крахмальной грануле имеется информация о строении нативного крахмала:

1. Молекулярном — полимер, в котором мономеры (остатки α -D-глюкопиранозы) связаны α -(1→4)- и α -(1→6)-глюкозидными связями, образуя амилозу (полисахарид линейного строения) и амилопектин (полисахарид разветвленного строения);

2. Надмолекулярном — аморфно-кристаллической фазовой структуре (степени аморфности и кристалличности), а также особенностях строения кристаллитов по плотности упаковки полимерных цепей крахмалов:

- ♦ А-тип кристаллической структуры с элементарной ячейкой орторомбического вида с параметрами: $a = 1,190$ нм, $b = 1,770$ нм, $c = 1,052$ нм, характерной для зернового нативного крахмала;

- ♦ В-тип кристаллической структуры с элементарной ячейкой гексагонального вида с параметрами: $a = b = 1,85$ нм, $c = 1,04$ нм, характерной для клубневого нативного крахмала;

- ♦ С-тип кристаллической структуры, которая является комбинацией А- и В-типов кристаллических структур;

- ♦ V-тип кристаллической структуры — комплексы амилозы с липидами.

Именно из-за уникальной особенности крахмальной гранулы заключать в себе одновременно строение и свойства молекулярного и надмолекулярного уровней структурной организации крахмала ее можно назвать квантом нативного крахмала. В настоящее время квант (от лат. *quantum* — «сколько») рассматривается как неделимая часть какой-либо величины в современной физике; общее название определённых порций энергии (квант энергии), момента количества движения (углового момента), его проекции и других величин, которыми характеризуют физические свойства микро- (квантовых) систем [32, 33]. Понятие кванта основывается на представлении квантовой механики о том, что некоторые физические величины могут принимать только определённые значения (говорят, что физическая величина квантуется). В некоторых важных частных случаях эта величина или шаг её изменения могут быть только целыми кратными некоторого фундаментального значения — и последнее называют квантом.

Следует отдельно отметить, что особенности формирования крахмальной гранулы зависят от многих геоклиматических факторов (температуры окружающей среды, количества осадков, количества солнечных дней, плодородия почвы и т.д.), контролируются биохимически (специализированными ферментативными системами) и генетически (ДНК, РНК и экспрессией генов) [30, 31, 34].

Таким образом, размер и форма крахмальных гранул — квантов нативного крахмала определяют (обуславливают) проявление физико-химических характеристик (свойств) нативного крахмала:

1. Общую молекулярную массу нативного крахмала (чем больше крахмальная гранула, тем больше общая молекулярная масса полимера).

2. Количество связанной влаги (чем больше крахмальная гранула, тем больше связанной влаги имеется в крахмале и наоборот).

3. Температуру клейстеризации (чем больше крахмальная гранула, тем меньше температура ее клейстеризации и наоборот).

4. Соотношение крахмальных фракций разветвленной фракции амилопектина и линейной амилозы (формирование крахмальной гранулы обусловлено взаимодействием линейных участков амилопектина друг с другом или с амилозой).

5. Реологические характеристики водно-крахмального клейстера (вязкость водно-крахмального клейстера обусловлена соотношением крахмальных фракций амилопектина и амилозы).

Основываясь на знаниях о структурной организации нативного крахмала, мы предложили оригинальный способ целенаправленного изменения физико-химических свойств без использования химических, физических и сочетанных модифицирующих факторов. Наша методика основывается на механическом смешивании нативных крахмалов с различным гранулометрическим составом с применением правила «креста» или «квадрата» (или «конверта») К. Пирсона [35–38].

Вначале получают нативный крахмал по известной стандартной технологии, которая включает следующие последовательно осуществляемые технологические операции [28, 29]:

1. Подготовка крахмалосодержащего сырья (клубней или зерна, или бобов) к переработке.

2. Измельчение крахмалосодержащего сырья (клубней или зерна, или бобов).

3. Извлечение нативного крахмала.

4. Максимально возможная очистка крахмальной суспензии.

5. Сгущение и обезвоживание крахмальной суспензии.

6. Сушка нативного крахмала.

7. Удаление металломагнитных примесей в нативном крахмале.

8. Фасовка нативного крахмала.
9. Упаковка нативного крахмала.
10. Маркировка нативного крахмала.
11. Транспортирование нативного крахмала потребителю или на склад готовой продукции.

В качестве сырья можно использовать любые крахмалосодержащие растения, качество которых соответствует действующим техническим нормативным правовым актам (ТНПА). Так, комбинаторные крахмалы можно получать из следующих нативных крахмалов, полученных по традиционной технологии:

1. Сорговый, получаемый из бессортовых растений сорго *Sorghum* по ТНПА (рис. 1: 1, 2; табл. 1): размер гранул 3,5–21,7 мкм и средний размер 11,0 мкм.
2. Пшеничный, получаемый из бессортовых растений пшеницы *Triticum* по ТНПА (рис. 1: 3, 4; табл. 1): размер гранул 2,8–30,7 мкм и средний размер 12,4 мкм.
3. Рисовый, получаемый из бессортовых растений риса *Oryza* по ТНПА (рис. 1: 5–7; табл. 1): размер гранул 2,7–7,9 мкм и средний размер 5,3 мкм.
4. Тритикалевый, получаемый из бессортовых растений тритикале *Triticosecale* (амфидиплоид ржи *secale* и пшеницы *triticum*) по ТНПА (рис. 1: 8, 9; табл. 1): размер гранул 4,0–30,7 мкм и средний размер 13,2 мкм.
5. Ржаной, получаемый из бессортовых растений ржи *Secale* по ТНПА (рис. 1: 10, 11; табл. 1): размер гранул 4,9–42,8 мкм и средний размер 21,2 мкм.
6. Гороховый, получаемый из бессортовых растений гороха *Pisum* по ТНПА (рис. 1: 12, 13; табл. 1): размер гранул 6,1–32,3 мкм и средний размер 20,4 мкм.
7. Нутовый, получаемый из бессортовых растений нута *Cicer arietinum* по ТНПА (рис. 1: 14, 15; табл. 1): размер гранул 6,0–25,6 мкм и средний размер 14,8 мкм.
8. Амарантовый, получаемый из бессортовых растений амаранта *Amaranthus* по ТНПА (рис. 2: 1–3; табл. 1): размер гранул 0,5–1,5 мкм и средний размер 1,1 мкм.
9. Ячменный, получаемый из бессортовых растений ячменя *Hordeum* по ТНПА (рис. 2: 4, 5; табл. 1): размер гранул 3,0–21,4 мкм и средний размер 10,9 мкм.
10. Тапиоковый, получаемый из бессортовых растений маниоки *Manihot* по ТНПА (рис. 2: 6, 7; табл. 1): размер гранул 2,8–31,2 мкм и средний размер 10,6 мкм.
11. Овсяный, получаемый из бессортовых растений овса *Avena* по ТНПА (рис. 2: 8; табл. 1): размер гранул 3,96–14,91 мкм и средний размер 7,39 мкм.
12. Картофельный, получаемый из бессортовых растений картофеля *Solanum tuberosum* L. по ТНПА (рис. 2: 9; табл. 1): размер гранул 7,7–60,0 мкм и средний размер 21,7 мкм.
13. Кукурузный, получаемый из бессортовых растений кукурузы *Zea mays* по ТНПА (рис. 2: 10–13; табл. 1): размер гранул 3,6–19,2 мкм и средний размер 9,8 мкм.
14. Кукурузный высокоамилозный, получаемый из гибридных растений кукурузы *Zea mays* по ТНПА (рис. 2: 14, 15; табл. 1): размер гранул 3,3–11,65 мкм и средний размер 7,11 мкм.
15. Кукурузный высокоамилопектиновый, получаемый из гибридных растений кукурузы *Zea mays* по ТНПА (рис. 3: 1, 2; табл. 1): размер гранул 4,26–18,26 мкм и средний размер 9,94 мкм.
16. Гречишный, получаемый из бессортовых растений гречихи *Fagopyrum* по ТНПА (рис. 3: 3–5).
17. Банановый, получаемый из бессортовых растений бананов (зеленых) *Musa* по ТНПА (рис. 3: 6, 7).
18. Пшеничный, получаемый из растений пшеницы *Triticum* сорта «Шортландинская 95» по ТНПА (рис. 3: 8; табл. 1): размер гранул 1,74–20,48 мкм и средний размер 7,05 мкм.
19. Пшеничный, получаемый из растений пшеницы *Triticum* сорта «Астана» по ТНПА (рис. 3: 9, 10; табл. 1): размер гранул 2,52–26,74 мкм и средний размер 8,30 мкм.
20. Пшеничный, получаемый из растений пшеницы *Triticum* сорта «Акмола-2» по ТНПА (рис. 3: 11; табл. 1): размер гранул 2,43–26,22 мкм и средний размер 8,11 мкм.

Важным подготовительным этапом предлагаемой методики является тщательная гранулометрическая оценка имеющихся нативных крахмалов при помощи световой микроскопии или сканирующей электронной микроскопии.

Сканирующие электронные микрофотографии нативного крахмала разного ботанического происхождения продемонстрированы на рис. 2–4. В табл. 1 показан гранулометрический анализ нативных крахмалов различного ботанического происхождения.

На основе результатов гранулометрического анализа нативных крахмалов осуществляется перевод среднего размера крахмальных гранул в проценты:

- ♦ за 100 % принимают наибольший размер крахмального зерна, существующий в природе, — крахмальное зерно картофельного крахмала размером 200 мкм или
- ♦ за 1 % принимают наименьший размер крахмального зерна, существующий в природе, — крахмальное зерно амарантового крахмала размером 1 мкм.

Таблица 1. Морфологическая характеристика нативного крахмала
разного ботанического происхождения
Table 1. Morphological characteristics of native starch of different botanical origin

	К-1	К-2	К-3	К-4	К-5	К-6	К-7	К-8	К-9
П-1	21,2	12,4	13,2	11,0	10,9	5,3	20,4	14,8	1,1
П-2	1,19	0,97	0,88	0,38	0,58	0,15	1,25	2,46	0,02
П-3	21,8	11,3	12,7	11,0	11,4	5,2	20,8	14,5	1,1
П-4	22,4	2,8	13,1	12,2	4,5	4,1	н/д	15,8	1,2
П-5	10,27	7,31	7,24	3,49	5,63	1,11	6,87	3,69	0,18
П-6	105,4	53,5	52,48	12,19	31,72	1,23	47,22	13,59	0,03
П-7	-0,9	-1,27	-0,67	0,16	-1,34	-0,59	0,02	0,17	0,71
П-8	0,1	0,26	0,51	0,09	0,1	0,06	-0,74	0,07	-0,32
П-9	37,9	24,3	26,7	18,2	18,4	5,2	26,3	19,6	1,0
П-10	4,9	2,8	4,0	3,5	3,0	2,7	6,1	6,0	0,5
П-11	42,8	27,1	30,7	21,7	21,4	7,9	32,3	25,6	1,5
П-12	2,36	1,90	1,75	0,76	1,15	0,29	2,57	0,93	0,04
П-13	23,5	14,3	15	11,7	12,1	5,6	23,0	15,7	1,2
П-14	18,8	10,5	11,5	10,2	9,8	5	17,8	13,9	1,1
П-15	(3)м	(2)м	(2)м	(1)м	(1)м	(3)м	(1)м	(1)м	(1)м
	К-10	К-11	К-12	К-13	К-14	К-15	К-16	К-17	К-18
П-1	10,6	21,7	7,39	9,8	7,11	9,94	7,05	8,30	8,11
П-2	0,26	0,62	0,43	0,21	0,19	0,41	0,41	0,77	0,83
П-3	10,1	19,0	6,57	9,7	6,96	9,91	5,26	5,78	4,61
П-4	8,8	17,1	5,09	12,7	6,78	7,78	4,43	15,26	3,30
П-5	4,43	8,99	2,56	3,38	1,86	2,99	4,31	6,10	6,40
П-6	19,63	80,88	6,57	11,44	3,47	8,92	18,57	37,15	40,93
П-7	0,66	2,2	0,66	-0,49	-0,43	-0,08	0,93	1,18	0,74
П-8	0,54	1,4	1,04	0,37	0,08	0,18	1,36	1,44	1,32
П-9	28,4	52,3	10,96	15,5	8,35	14	18,74	24,22	23,78
П-10	2,8	7,7	3,96	3,6	3,30	4,26	1,74	2,52	2,43
П-11	31,2	60,0	14,91	19,2	11,65	18,26	20,48	26,74	26,22
П-12	0,50	1,22	0,87	0,42	0,38	0,82	0,81	1,55	1,67
П-13	11,1	22,9	8,25	10,2	7,50	10,76	7,87	9,85	9,77
П-14	10,1	20,5	6,52	9,3	6,73	9,11	6,24	6,75	6,44
П-15	(2)м	(2)м	(1)м	(1)м	(1)м	(1)м	(1)м	(2)м	(3)м

Примечание: нативные крахмалы разного ботанического происхождения (бессортные): К-1 – ржаной, К-2 – пшеничный, К-3 – тритикалевый, К-4 – сорговый, К-5 – ячменный, К-6 – рисовый, К-7 – гороховый, К-8 – нутовый, К-9 – амарантовый, К-10 – тапиоковый, К-11 – картофельный, К-12 – овсяный, К-13 – кукурузный, К-14 – амилозный кукурузный, К-15 – амилопектиновый кукурузный, К-16 – пшеничный сорта «Шортландинская 95», К-17 – пшеничный сорта «Акмола-2», К-18 – пшеничный сорта «Астана»; параметры: П-1 – среднее (мкм), П-2 – стандартная ошибка, П-3 – медиана, П-4 – мода, П-5 – стандартное отклонение, П-6 – дисперсия выборки, П-7 – эксцесс, П-8 – асимметричность, П-9 – интервал, П-10 – минимум (мкм), П-11 – максимум (мкм), П-12 – уровень надежности (95,0%), П-13 – верхняя граница, П-14 – нижняя граница, П-15 – распределение гранул по размерам: (1)м – мономодальное, (2)м – бимодальное, (3)м – тримодальное.

Вариант №1. Графическое или геометрическое выражение правила «креста». Требуемый средний размер крахмальных гранул в % (С) пишут в месте пересечения двух линий (в центре), а имеющиеся у нативных крахмалов средние размеры крахмальных гранул в % (А и В) – у концов обеих линий слева (нативный крахмал с большим средним размером крахмальных гранул в % (А) – сверху, а нативный крахмал с меньшим средним размером крахмальных гранул в % (В) – снизу). На каждой линии вычитают одно стоящее на ней из другого (меньшее вычитают из большего) и разность записывают у свободного конца той же линии (X_A и X_B). Полученные числа, расположенные справа – сверху и внизу, указывают, сколько весовых частей каждого из нативных крахмалов с известным средним размером крахмальных гранул в % следует взять, чтобы получить нативный крахмал с требуемым средним размером крахмальных гранул в %. Графическое или геометрическое выражение правила «креста» можно выразить следующим образом (1):

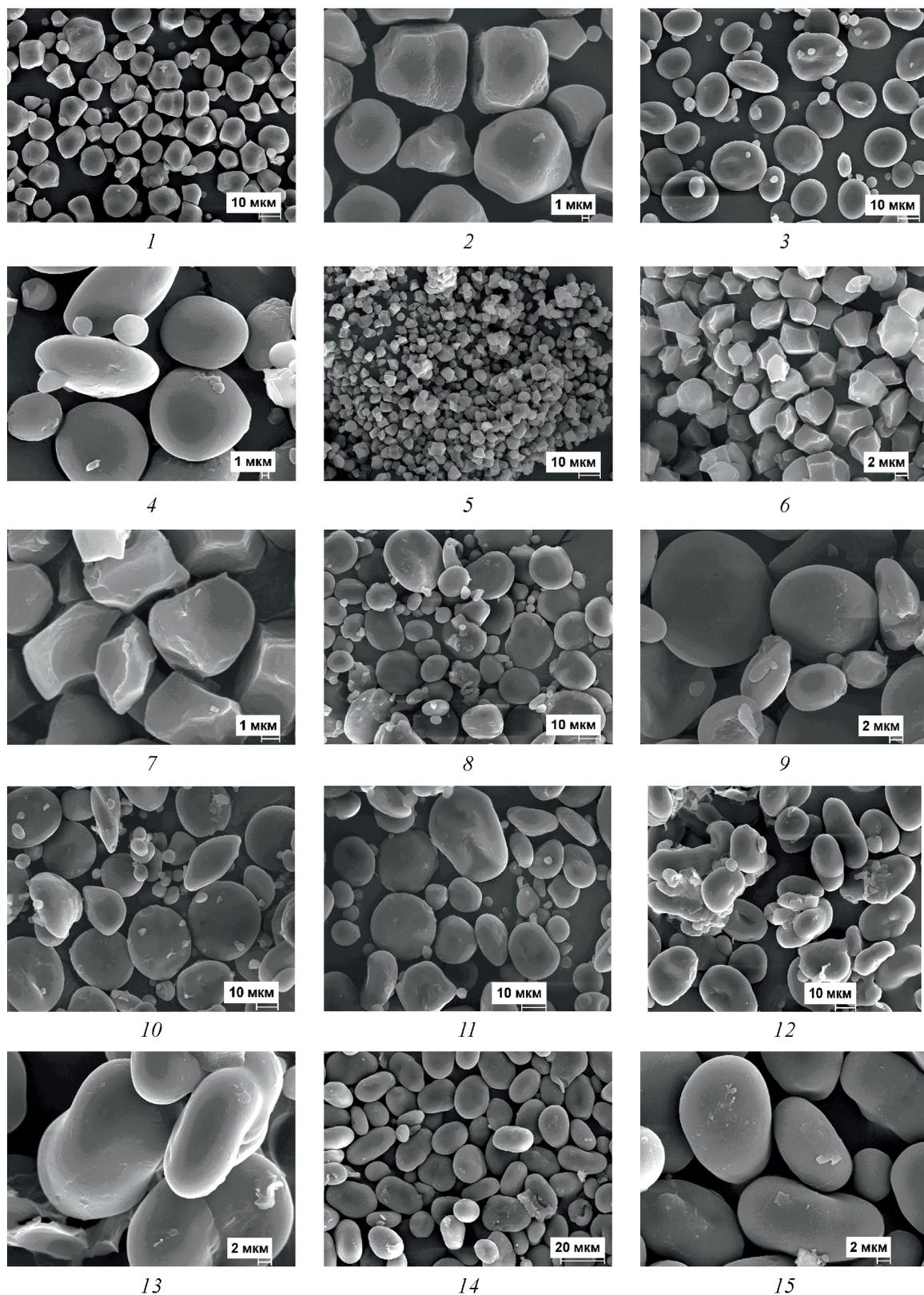


Рис. 2. Сканирующие электронные микрофотографии гранул нативного крахмала различного ботанического происхождения: 1, 2 — соргвый; 3, 4 — пшеничный; 5–7 — рисовый; 8, 9 — тритикалевый; 10, 11 — ржаной, 12, 13 — гороховый; 14, 15 — нутовый

Fig.2. Scanning electron micrographs of native starch granules of various botanical origin: 1,2 — sorghum, 3,4 — wheat, 5–7 — rice, 8,9 — critically, 10,11 — rye, 12,13 — peas, 14,15 — chickpeas

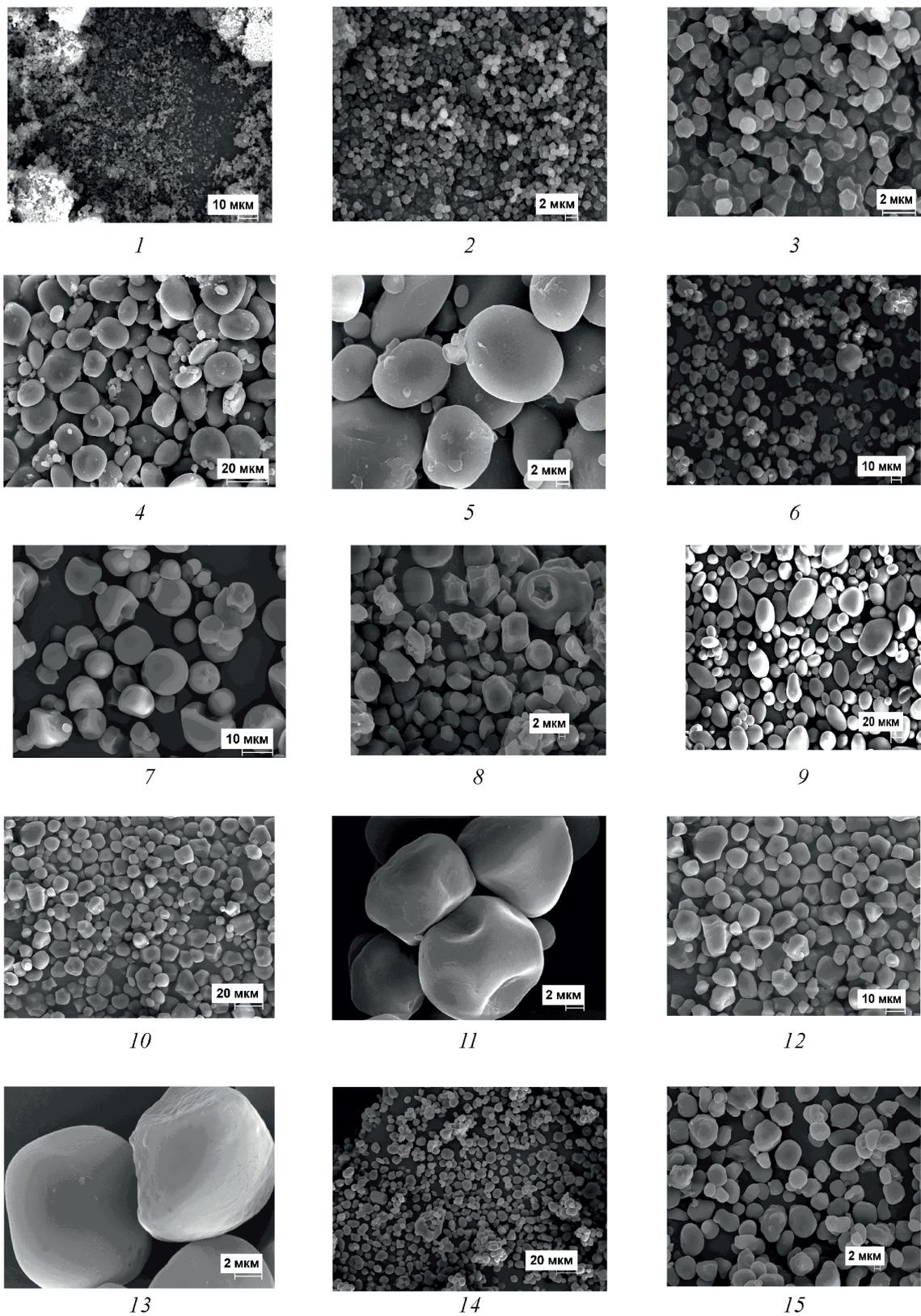


Рис. 3. Сканирующие электронные микрофотографии гранул нативного крахмала различного ботанического происхождения: 1–3 — амарантовый; 4, 5 — ячменный; 6, 7 — тапиоковый; 8 — овсянный; 9 — картофельный; 10–13 — кукурузный; 14, 15 — высокоамилозный кукурузный
Fig.3. Scanning electron micrographs of native starch granules of various botanical origin: 1–3 — amaranth; 4,5 — barley; 6,7 — tapioca; 8 — oats; 9 — potato; 10–13 — corn; 14, 15 — high-amylose corn

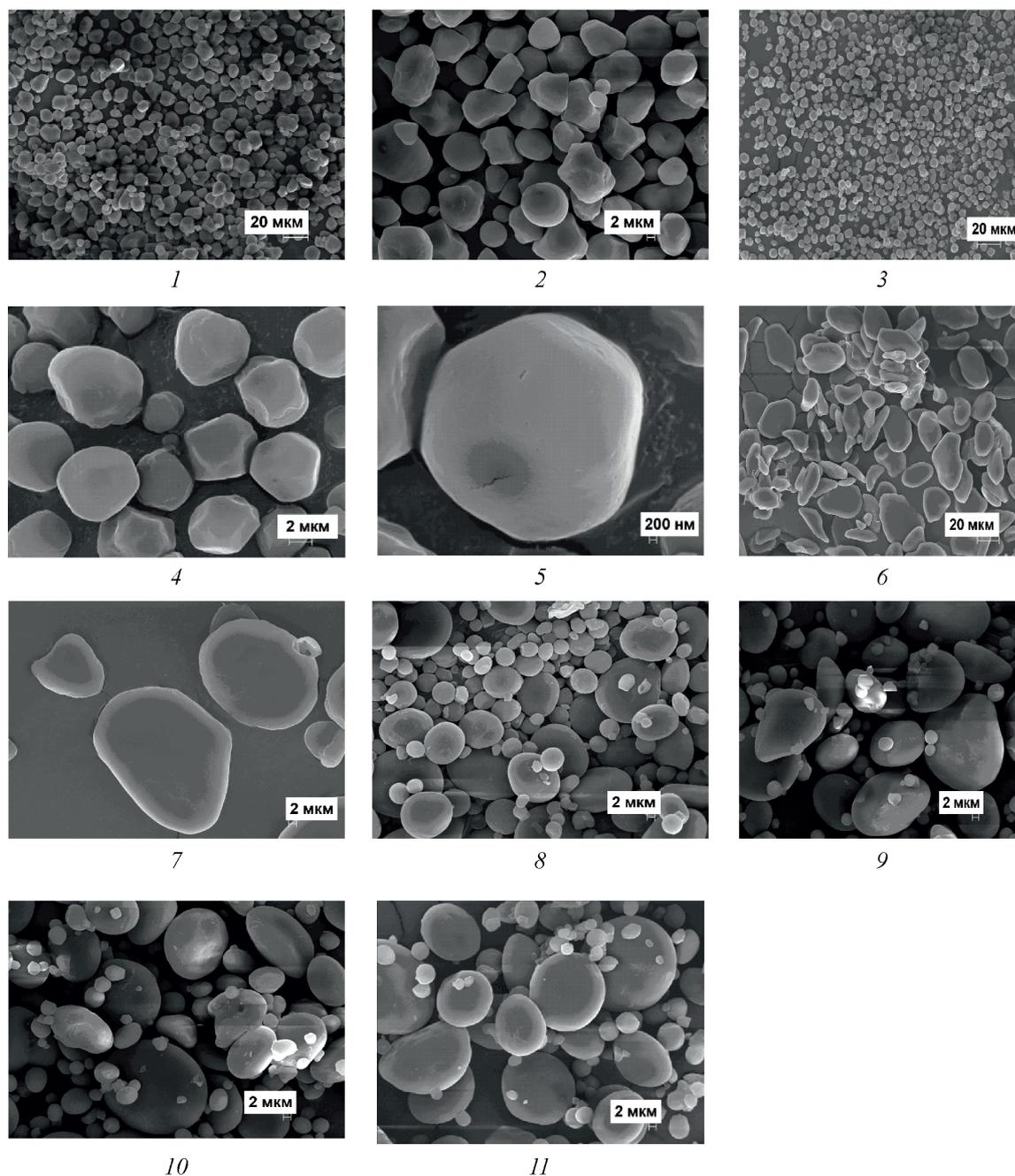
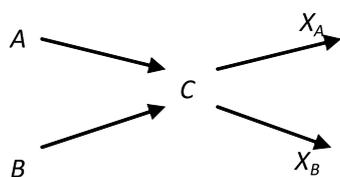


Рис. 4. Сканирующие электронные микрофотографии гранул нативного крахмала различного ботанического происхождения: 1, 2 — высокоамило-пектиновый кукурузный; 3–5 — гречишный; 6, 7 — банановый; 8 — сорт «Щортандинская 95»; 9, 10 — сорт «Астана»; 11 — сорт «Акмола-2»
 Fig.4. Scanning electron micrographs of native starch granules of various botanical origin: 1,2 — high-amylose corn; 3-5 — buckwheat; 6,7 — banana; 8 — grade «Shortandinsky 95»; 9,10 — grade «Astana»; 11 — grade «Asmola-2»



(1)

где $C - B = X_A$; $A - C = X_B$; при: $A > C$ и $B < C$.

Вариант №2. Математическое или алгебраическое выражение правила «креста». Правило «креста» можно выразить не только графически (геометрически) в виде креста, но и математически (алгебраически) в виде простой системы уравнений (2):

$$\begin{cases} C - B = X_A; \\ A - C = X_B; \\ C < A, \\ C > B \end{cases} \quad (2)$$

где C — необходимый (конечный) средний размер крахмальных гранул в %; A — средний размер крахмальных гранул первого нативного крахмала ($A > C$), %; B — средний размер крахмальных гранул второго нативного крахмала ($B < C$), %; X_A — количество первого нативного крахмала, г или вес. ч.; X_B — количество второго нативного крахмала, г или вес. ч.

Вариант №3. Выражение правила «креста» в виде квадрата К. Пирсона.
Чертим квадрат и разбиваем его на 9 частей:

Заполняем квадрат исходя из имеющихся данных следующим образом:

A	$m_k/X_C = k$	X_A
$m_k = m_A + m_B$	C	$X_A + X_B = X_C$
B	$X_A \cdot k = m_A$ $X_B \cdot k = m_B$	X_B

где X_C — сумма X_A и X_B ; m_k — необходимая масса крахмальной смеси с искомым средним размером крахмальных гранул, г или кг или т; k — коэффициент; m_A — необходимая масса нативного крахмала с большим средним размером крахмальных гранул, г или кг или т; m_B — необходимая масса нативного крахмала с меньшим средним размером крахмальных гранул, г или кг или т.

Следует отдельно отметить, что правило «креста» основывается на пропорции (лат. *proportio* «со-размерность, выравненность частей; определённое соотношение частей между собой») — равенство отношений двух и более пар чисел [39].

Далее осуществляют количественный отбор (дозирование) нативных крахмалов, их загрузку в реактор-смеситель.

В реакторе-смесителе проводят механическое смешивание нативных крахмалов в течение 3 минут при скорости вращения мешалки $2,0 \text{ с}^{-1}$.

После этого полученный комбинаторный нативный крахмал с улучшенными органолептическими и физико-химическими свойствами подают на конвейер для удаления металломагнитных примесей, затем осуществляют последовательно фасовку, упаковку, маркировку и транспортирование готового продукта [40].

Далее нами приведены примеры конкретной реализации предложенного способа при приготовлении комбинаторного крахмала:

Пример 1.: «Комбинаторный картофельно-амарантовый крахмал со средним размером гранул 1,69 мкм» (за точку отсчёта принимается максимальный известный размер нативного крахмала — 200 мкм гранулы картофельного крахмала).

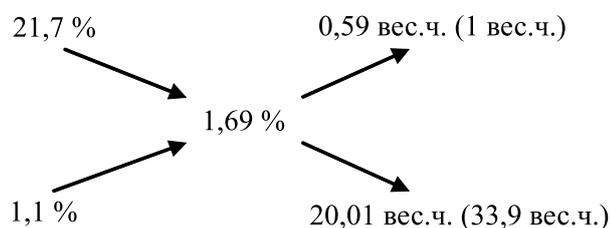
Выделяют нативный картофельный крахмал (бессортовой) со средним размером крахмальных гранул 21,7 мкм и нативный амарантовый крахмал со средним размером крахмальных гранул 1,1 мкм, используя традиционную технологию получения нативного крахмала.

Переводят средний размер крахмальных гранул в проценты: за 100% принимают наибольший размер крахмального зерна, существующий в природе — крахмальное зерно картофельного крахмала размером 200 мкм:

1. Составляют 1-ю пропорцию: $200 \text{ мкм} - 100\% = 1,69 \text{ мкм} - x_1\%$, отсюда $x_1 = 1,69 \cdot 100 / 200 = 3,37\%$. Таким образом, процентное содержание необходимого среднего размера крахмальных гранул комбинаторного крахмала составит 3,37%.

2. Составляют 2-ю пропорцию: $200 \text{ мкм} - 100\% = 21,7 \text{ мкм} - x_1\%$, отсюда $x_1 = 21,7 \cdot 100 / 200 = 5,07\%$. Таким образом, процентное содержание среднего размера крахмальных гранул картофельного крахмала составит 5,07%.

Затем осуществляют теоретическое моделирование комбинаторного нативного крахмала с использованием правила «креста»:



Требуемый средний размер гранул нативного комбинаторного крахмала в процентах 1,69% указывают в месте пересечения двух линий (в центре), а имеющиеся средние размеры гранул смешиваемых сортов нативного крахмала в процентах — у концов обеих линий слева (картофельного со средним размером крахмальных гранул в процентах 21,7% — сверху, амарантового со средним размером гранул в процентах 1,1% — снизу). На каждой линии вычитают одно стоящее на ней из другого ($1,69 - 1,1 = 0,59$; $21,7 - 1,69 = 20,01$) и разность записывают у свободного конца той же линии.

Проведем математическое сокращение приняв за 1 вес.ч. наименьший полученный результат — 0,59 вес.ч. Тогда наибольший полученный результат составит — $20,01/0,59 = 33,09$ вес.ч.

Полученные числа (1 и 33,9) — расположенные справа — сверху и внизу соответственно, указывают сколько весовых частей каждого крахмалов с известным средним размером гранул следует взять, чтобы получить комбинаторный нативный крахмал с требуемым средним размером крахмальных гранул — 1,69 мкм.

Таким образом, для получения нативного комбинаторного крахмала с органолептическими и физико-химическими свойствами, соответствующими нативному крахмалу со средним размером гранул 1,69 мкм, необходимо взять 33,9 вес.ч. нативного амарантового крахмала со средним размером крахмальных гранул 1,1 мкм и 1 вес.ч. нативного картофельного крахмала со средним размером крахмальных гранул 21,7 мкм.

Далее осуществляют количественный отбор (дозирование) картофельного и амарантового крахмалов, их загрузка в реактор-смеситель. В реактор-смеситель подают нативный картофельный крахмал и нативный амарантовый в соотношении 1 : 33,9 и проводят механическое смешивание в течение 3 минут при скорости вращения мешалки их $2,0 \text{ с}^{-1}$.

После этого полученный комбинаторный нативный крахмал с улучшенными органолептическими и физико-химическими свойствами подают на конвейер для удаления металломагнитных примесей, затем осуществляют последовательно фасовку, упаковку, маркировку и транспортирование готового продукта.

При создании алгоритма расчёта комбинаторных крахмалов, основываясь на научных публикациях, за точку отсчёта приняты:

- ♦ вариант №1: максимально возможный природный размер крахмальной гранулы — 200 мкг (размер гранулы картофельного крахмала),
- ♦ вариант №2: минимально возможный природный размер крахмальной гранулы — 1 мкм (размер гранулы амарантового крахмала).

Каждый из вариантов является отдельным алгоритмом расчёта, т.к. взяты различные точки отсчёта. Они адекватны в своих пределах. Примером подобных алгоритмов расчёта могут служить различные шкалы измерения температур в градусах Цельсия или в градусах Кельвина. Обе шкалы измерения температур показывают адекватные значения изменения температуры — линейной величины в своих пределах (в рамках своей шкалы).

Закключение. Проведен подробный гранулометрический анализ нативных крахмалов разного ботанического происхождения: сорговый с размером гранул 3,5–21,7 мкм и средним размером 11,0 мкм, пшеничный с размер гранул 2,8–30,7 мкм и средним размером 12,4 мкм, рисовый с размером гранул 2,7–7,9 мкм и средним размером 5,3 мкм, тритикалевый с размером гранул 4,0–30,7 мкм и средним размером 13,2 мкм, ржаной с размером гранул 4,9–42,8 мкм и средним размером 21,2 мкм, гороховый с размером гранул 6,1–32,3 мкм и средним размером 20,4 мкм, нутовый с размером гранул 6,0–25,6 мкм и средним размером 14,8 мкм, амарантовый с размером гранул 0,5–1,5 мкм и средним размером 1,1 мкм, ячменный с размером гранул 3,0–21,4 мкм и средним размером 10,9 мкм, тапиоковый с размером гранул 2,8–31,2 мкм и средним размером 10,6 мкм, овсяный с размером гранул 3,96–14,91 мкм и средним размером 7,39 мкм, картофельный с размером гранул 7,7–60,0 мкм и средним размером 21,7 мкм, кукурузный с размером гранул 3,6–19,2 мкм и средним размером 9,8 мкм,

кукурузный высокоамилозный с размером гранул 3,3–11,65 мкм и средним размером 7,11 мкм, кукурузный высокоамилопектиновый с размером гранул 4,26–18,26 мкм и средним размером 9,94 мкм, пшеничный из сорта «Шортландинская 95» с размером гранул 1,74–20,48 мкм и средним размером 7,05 мкм, пшеничный из сорта «Астана» с размером гранул 2,52–26,74 мкм и средним размером 8,30 мкм, пшеничный из сорта «Акмолла-2» с размером гранул 2,43–26,22 мкм и средним размером 8,11 мкм.

Нами предложен инновационный, высокоэффективный, экономный и экологически безопасный способ получения комбинаторных нативных картофельных крахмалов, обладающих универсальными (легко изменяемыми в зависимости от требований потребителей) органолептическими и физико-химическими свойствами.

Основными преимуществами предлагаемой технологии является, прежде всего, простота, доступность применяемого технологического оборудования (дополнительно требуется только реактор-смеситель для механического смешивания), исключения использования в технологическом процессе модифицирующих факторов, а также экологическая безопасность производства.

Список использованных источников

1. Kang, I.-J. Production of Modified Starches by Gamma Irradiation / I.-J. Kang, M.-W. Byun, H.-S. Yook, C.-H. Bae, H.-S. Lee, J.-H. Kwon, C.-K. Chung // *Radiation Physics and Chemistry*. — 1999. — Vol. 54, No. 4. — P. 425–430.
2. SA Sofi. Resistant starch as functional ingredient: A review / SA Sofi, Anjum Ayoub, Awsi Jan // *International Journal of Food Science and Nutrition*. — 2017. — Vol. 2, No. 6. — P. 195–199.
3. Бдина Л. Santana. New Starches are the Trend for Industry Applications: A Review / Бдина Л. Santana, М. Angela A. Meireles // *Food and Public Health*. — 2014. — Vol. 4, No. 5. — P. 229–241.
4. James N. BeMiller. Starch. Chemistry and Technology / James N. BeMiller, Roy L. Whistler. — Publisher: Academic Press; 3rd edition (April 6, 2009). — 894 pp.
5. Schoenlechner, Regine. Physically modified starches: A review / Regine Schoenlechner // *Journal of Food Agriculture and Environment*. — 2011. — Vol. 9, No. 1. — P. 27–29.
6. Sameh A. Korma. Chemically Modified Starch and Utilization in Food Stuffs / Sameh A. Korma, Kamal-Alahmad, Sobia Niazi, Al-Farga Ammar, Farah Zaaboul, Tao Zhang // *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. — 2016. — Vol. 5, No. 4. — P. 264–272.
7. Cai, J. Crystalline and structural properties of acid-modified lotus rhizome C-type starch / J. Cai, C. Cai, J. Man, Y. Yang, F. Zhang, C. Wei // *Carbohydr Polym*. — 2014. — Vol. 102. — P. 799–807.
8. Bulhon, A. Starch granules: structure and biosynthesis / A. Bulhon, P. Colonna, V. Planchot, S. Ball // *International Journal of Biological Macromolecules*. — 1998. — Vol. 23, No. 2. — P. 85–112.
9. Namazi, H. Hydrophobically modified starch using long-chain fatty acids for preparation of nanosized starch particles / H. Namazi, F. Fathi, A. Dadkhah // *Scientia Iranica*. — 2011. — Vol. 18, No. 3. — P. 439–445.
10. He, J. Slowly Digestible Waxy Maize Starch Prepared by Octenyl Succinic Anhydride Esterification and Heat–Moisture Treatment: glycemic Response and Mechanism / J. He, J. Liu, G. Zhang // *Biomacromolecules*. — 2007. — Vol. 9, No. 1. — P. 175–184.
11. Lars Passauer. Synthesis and characterisation of starch phosphates / Lars Passauer, Hans Bender, Steffen Fischer // *Carbohydrate Polymers*. — 2010. — Vol. 82, No. 3. — P. 809–814.
12. D. Le Corre. Starch nanoparticles: a review / D. Le Corre, J. Bras, A. Dufresne // *Biomacromolecules*. — 2010. — Vol. 11, No. 5. — P. 1139–1153.
13. Kaur, B. Progress in starch modification in the last decade / B. Kaur, F. Ariffin, R. Bhat, A. Karim // *Food Hydrocolloids*. — 2012. — Vol. 26, No. 2. — P. 398–404.
14. Соломина, Л.С. Исследования процесса получения амилопектинового фосфатного крахмала / Л.С. Соломина, Д.А. Соломин // *ХИПС*. — 2018. — №3. — С. 27–35.
15. Руськина, А.А. Модификация крахмала с помощью ультразвукового воздействия как инструмент изменения его технологических характеристик / А.А. Руськина, Н.В. Попова, Н.В. Науменко, Д.В. Руськин // *Вестник ЮУрГУ. Сер. Пищевые и биотехнологии*. — 2017. — Т. 5, №3. — С. 12–20.
16. Руськина, А.А. Модификация крахмала с помощью ультразвукового воздействия как инструмент изменения его технологических характеристик / А.А. Руськина, Н.В. Попова, Д.В. Руськин // *Вестник ЮУрГУ. Сер. Пищевые и биотехнологии*. — 2018. — Т. 6, №1. — С. 69–76.
17. Хлесткин, В.К. Гены-мишени для получения сортов картофеля (*Solanum tuberosum* L.) с заданными свойствами крахмала / В.К. Хлесткин, С.Е. Пельтек, Н.А. Колчанов // *Картофелеводство: наука и технологии*. — 2017. — Т. 52. — №1. — С. 25–36.

18. Кряжев, В.Н. Последние достижения химии и технологии производных крахмала / В.Н. Кряжев, В.В. Романов, В.А. Широков // *Химия растительного сырья*. — 2010. — № 1. — С. 5–12.
19. Суворова, А.И. Биоразлагаемые полимерные материалы на основе крахмала / А.И. Суворова, И.С. Тюкова, Е.И. Труфанова // *Успехи химии*. — 2000. — Т. 69, № 5. — С. 494–504.
20. Литвяк, Владимир. Формирование крахмальной гранулы и механизм химической модификации крахмала / Владимир Литвяк, Маргарита Алексеенко, Альберт Канарский // *Наука и инновация*. — 2016. — № 3. — С. 63–67.
21. Коптелова, Е.К. Влияние технологических параметров на реологические свойства поперечно-связанных крахмалов / Е.К. Коптелова, Н.Д. Лукин, Э.И. Ткаченко // *Достижение науки и техники АПК*. — 2014. — Т. 28, № 10. — С. 69–71.
22. Коптелова, Е.К. Совершенствование сухого способа катионирования крахмала / Е.К. Коптелова, Н.Д. Лукин, С.М. Ахаева // *ХИПС*. — 2018. — № 2. — С. 48–52.
23. Коптелова, Е.К. Изменение физико-химических и реологических свойств кукурузного крахмала в процессе катионирования с применением метода нелинейного волнового диспергирования / Е.К. Коптелова, М.Ф. Никитина, Л.Б. Кузина, В.П. Касилов, О.Н. Кислогубова // *Достижения науки и техники АПК*. — 2019. — Т. 33, № 8. — С. 79–82.
24. Choudhary, O.P. Scanning Electron Microscope: Advantages and Disadvantages in Imaging Components / O.P. Choudhary, Priyanka Choudhary // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. — 2017. — Vol. 6, No. 5. P. 1877–1882.
25. McMullan, D. Von Ardenne and the scanning electron microscope / D. McMullan // *Proc. Roy. Microsc. Soc.* — 1988. — Vol. 23. P. 283–288.
26. McMullan, D. Scanning electron microscopy 1928–1965 / D. McMullan // *Scanning*. — 2006. — Vol. 17, No. 3. — P. 175.
27. Reimer, L. Scanning Electron Microscopy: Physics of Image Formation and Microanalysis / Ludwig Reimer (Author), P.W. Hawkes (Editor). — Publisher: Springer (December 1, 2010). — 543 pp.
28. Андреев, Н.Р. Основы производства нативных крахмалов / Н.Р. Андреев. — М.: Пищепромиздат, 2001. — 289 с.
29. Керр, Р.В. Химия и технология крахмала / Р.В. Керр, Ж.В. Цезар, Л.М. Кристенсен и др.; под ред. Р.В. Керра; пер. с англ. — М.: Пищепромиздат, 1956. — 579 с.
30. Гудвин, Т. Введение в биохимию растений / Т. Гудвин, Э. Мерсер. — М.: Мир, 1986. — Т. 1–2.
31. Кретович, В.Л. Биохимия растений: учеб. / В.Л. Кретович. — М.: Высш. шк., 1986. — 503 с.
32. Ландау, Л.Д. Квантовая механика (нерелятивистская теория). — Издание 6-е, исправленное / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — М.: Физматлит, 2004. — 800 с.
33. Информационный ресурс Интернет: Квант: Материал из Википедии — свободной энциклопедии: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Квант> — Дата последнего входа 03.11.2020 г.
34. Даффус, К. Углеводный обмен растений / К. Даффус, Дж. Даффус. — М.: Агропромиздат, 1987. — 176 с.
35. Вольпер, А.П. Квадрат Пирсона / А.П. Азия, И.М. Вольпер // *Квант*. — 1973. — № 3 — С. 61.
36. Информационный ресурс Интернет: Материал из Википедии — свободной энциклопедии: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Разбавление> — Дата последнего входа 22.06.2020 г.
37. Писаренко, В.В. Справочник химика-лаборанта. Справ. Пособие для проф.-техн. учеб. заведений / В.В. Писаренко. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: «Высшая школа», 1974. — 238 с.
38. Грошева, Л.П. Растворы. Расчет составов. Разбавление, смешение, концентрирование растворов. Расчет состава и характеристик твердых материалов: Методическое пособие / Л.П. Грошева. — Великий Новгород: Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого, 2006. — 13 с.
39. Информационный ресурс Интернет: Пропорция (математика): Материал из Википедии — свободной энциклопедии: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Пропорция_\(математика\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Пропорция_(математика)) — Дата последнего входа 03.11.2020 г.
40. Петюшев, Н.Н. ТУ ВУ 190239501.955-2020 «Крахмал нативный комбинаторный» / Н.Н. Петюшев, А.А. Заболотец, В.В. Литвяк // РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию». Минск, 2020. — 19 с. — Государственная регистрация №059802 от 27.09.2020 г.

References

1. Kang, I.-J. Production of Modified Starches by Gamma Irradiation / I.-J. Kang, M.-W. Byun, H.-S. Yook, C.-H. Bae, H.-S. Lee, J.-H. Kwon, C.-K. Chung // *Radiation Physics and Chemistry*. 1999. Vol. 54, no. 4. P. 425–430.
2. SA Sofi. Resistant starch as functional ingredient: A review / SA Sofi, Anjum Ayoub, Awsi Jan // *International Journal of Food Science and Nutrition*. 2017. Vol. 2, no. 6. P. 195–199.

3. Bđina L. Santana. New Starches are the Trend for Industry Applications: A Review / Bđina L. Santana, M. Angela A. Meireles // *Food and Public Health*. 2014. Vol. 4, no. 5. P. 229–241.
4. James N. BeMiller. Starch. *Chemistry and Technology* / James N. BeMiller, Roy L. Whistler. — Publisher: Academic Press; 3rd edition (April 6, 2009). 894 pp.
5. Schoenlechner, Regine. Physically modified starches: A review / *Regine Schoenlechner* // *Journal of Food Agriculture and Environment*. 2011. Vol. 9, no. 1. P. 27–29.
6. Sameh A. Korma. Chemically Modified Starch and Utilization in Food Stuffs / Sameh A. Korma, Kamal-Alahmad, Sobia Niazi, Al-Farga Ammar, Farah Zaaboul, Tao Zhang // *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2016. Vol. 5, no. 4. P. 264–272.
7. Cai, J. Crystalline and structural properties of acid-modified lotus rhizome C-type starch / J. Cai, C. Cai, J. Man, Y. Yang, F. Zhang, C. Wei // *Carbohydr Polym*. 2014. Vol. 102. P. 799–807.
8. Bulñon, A. Starch granules: structure and biosynthesis / A. Bulñon, P. Colonna, V. Planchot, S. Ball // *International Journal of Biological Macromolecules*. 1998. Vol. 23, no. 2. P. 85–112.
9. Namazi, H. Hydrophobically modified starch using long-chain fatty acids for preparation of nanosized starch particles / H. Namazi, F. Fathi, A. Dadkhah // *Scientia Iranica*. 2011. Vol. 18, No. 3. P. 439–445.
10. He, J. Slowly Digestible Waxy Maize Starch Prepared by Octenyl Succinic Anhydride Esterification and Heat—Moisture Treatment: *glycemic Response and Mechanism* / J. He, J. Liu, G. Zhang // *Biomacromolecules*. 2007. Vol. 9, no. 1. P. 175–184.
11. Lars Passauer. Synthesis and characterisation of starch phosphates / Lars Passauer, Hans Bender, Steffen Fischer // *Carbohydrate Polymers*. 2010. Vol. 82, no. 3. P. 809–814.
12. D. Le Corre. Starch nanoparticles: a review / D. Le Corre, J. Bras, A. Dufresne // *Biomacromolecules*. 2010. Vol. 11, no. 5. P. 1139–1153.
13. Kaur, B. Progress in starch modification in the last decade / B. Kaur, F. Ariffin, R. Bhat, A. Karim // *Food Hydrocolloids*. 2012. Vol. 26, no. 2. P. 398–404.
14. Solomina L.S., Solomin D.A. *Issledovaniya protsessa polucheniya amilopektinovogo fosfatnogo krakhmala*. [Research of the process of obtaining amylopectin phosphate starch] HIPS. 2018. no 3. P. 27–35 (in Russian).
15. Ruskina A.A., Popova N.V., Naumenko N.V., Ruskin D.V. *Modifikatsiya krakhmala s pomoshch'yu ul'trazvukovogo vozdeystviya kak instrument izmeneniya yego tekhnologicheskikh kharakteristik*. [Modification of starch using ultrasonic action as a tool for changing its technological characteristics] Vestnik YUUrGU. Food and biotechnology. 2017. T. 5, no 3. P. 12–20 (in Russian).
16. Ruskina A.A., Popova N.V., Ruskin D.V. *Modifikatsiya krakhmala s pomoshch'yu ul'trazvukovogo vozdeystviya kak instrument izmeneniya yego tekhnologicheskikh kharakteristik*. [Modification of starch using ultrasonic action as a tool for changing its technological characteristics] Vestnik YUUrGU. Food and biotechnology. 2018. T. 6, no 1. P. 69–76 (in Russian).
17. Hlestin V.K., Paltek S.E., Kolchanov N.A. *Geny-misheni dlya polucheniya sortov kartovelya (Solanum tuberosum L.) s zadannymi svoystvami krakhmala* [Target genes for obtaining potato varieties (*Solanum tuberosum* L.) with specified starch properties]. Potato growing: science and technology. 2017. T. 52, no 1. P. 25–36 (in Russian).
18. Kryazhev V.N., Romanov V.V., Shirokov V.A. *Posledniye dostizheniya khimii i tekhnologii proizvodnykh krakhmala* [Recent advances in chemistry and technology of starch derivatives]. Chemistry of plant raw materials. 2015, no 1. P. 5–12 (in Russian).
19. Suvorova A.I., Tyukova I.S., Trufanova E.I. *Biorazlagayemyye polimernyye materialy na osnove krakhmala* [Biodegradable starch-based polymeric materials]. Advances in chemistry. 2000. T. 69, no 5. P. 494–504 (in Russian).
20. Litvyak V., Alekseenko M., Kanarskiy A. *Formirovaniye krakhmal'noy granuly i mekhanizm khimicheskoy modifikatsii krakhmala* [Formation of starch granules and the mechanism of chemical modification of starch]. Science and innovation. 2016, no 3. P. 63–67 (in Russian).
21. Kaptelova E.K., Lukin N.D., Tkachenko Ye.I. *Vliyaniye tekhnologicheskikh parametrov na reologicheskiye svoystva poperechno-svyazannykh krakhmalov* [Influence of technological parameters on the rheological properties of the cross-linked starches]. Achievement of science and technology of the AIC. 2014. T. 28, no 10. P. 69–71 (in Russian).
22. Kaptelova E.K., Lukin N.D., Ahaeva S.M. *Sovershenstvovaniye sukhogo sposoba kationirovaniya krakhmala* [Improvement of the dry method of starch cationization]. HIPS. 2018, no 2. P. 48–52 (in Russian).
23. Kaptelova E.K., Nikitina M.F., Kuzina L.B., Kasilov V.P., Kislogubova O.N. *Izmeneniye fiziko-khimicheskikh i reologicheskikh svoystv kukuruznogo krakhmala v protsesse kationirovaniya s primeneniym metoda nelineynogo volnovogo dispergirovaniya* [Changes in the physicochemical and rheological properties of corn starch in the process of cationization using the method of nonlinear wave dispersion]. Achievement of science and technology of the AIC. 2019. T. 33, no 8. P. 79–82 (in Russian).

24. Choudhary, O.P. Scanning Electron Microscope: Advantages and Disadvantages in Imaging Components / O.P. Choudhary, Priyanka Choudhary // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2017. Vol. 6, no. 5. P. 1877–1882.
25. McMullan, D. Von Ardenne and the scanning electron microscope / D. McMullan // *Proc. Roy. Microsc. Soc.* 1988. Vol. 23. P. 283–288.
26. McMullan, D. Scanning electron microscopy 1928–1965 / D. McMullan // *Scanning*. 2006. Vol. 17, No. 3. P. 175.
27. Reimer, L. Scanning Electron Microscopy: Physics of Image Formation and Microanalysis / Ludwig Reimer (Author), P.W. Hawkes (Editor). Publisher: Springer (December 1, 2010). 543 pp.
28. Fndreev N.R. *Osnovy proizvodstva nativnykh krakmalov* [Basic production of native starches]. Moscow. 2001. 289 pp. (in Russian).
29. Kerr R.V., Cezar Zh.V., Kristensen L.M. *Khimiya i tekhnologiya krakhmala* [Chemistry and technology of starch]. Moscow. 1956. 579 pp. (in Russian).
30. Gudvin T., Merser Ye. *VVedeniye v biokhimiyu rasteniy* [Introduction to plant biochemistry] Moscow. 1986. Т. 1–2 (in Russian).
31. Kretoich V.L. *Biokhimiya rasteniy: ucheb.* [Plant biochemistry: textbook]. Moscow. 1986. 503 pp. (in Russian).
32. Landau L.D., Lifshic E.M. *Kvantovaya mekhanika (nereiyativistskaya teoriya)* [Quantum mechanics (non-relativistic theory)]. Moscow. 2004. 800 pp. (in Russian).
33. Information Internet: Quant: From Wikipedia <https://ru.wikipedia.org/wiki/Квант>. — Entry date: 03.11.2020 г. (in Russian)
34. Daffus K., Daffus Dzh. *Uglevodnyy obmen rasteniy* [Carbohydrate metabolism of plants]. Moscow. 1987. 176 pp. (in Russian).
35. Volper A.P., Aziya A.P. *Kvadrat Pirsona* [Pearson square] *Quant*. 1973, no 3. P. 61 (in Russian).
36. Information Internet: From Wikipedia <https://ru.wikipedia.org/wiki/Разбавление>. — Entry date: 22.06.2020 г. (in Russian)/
37. Pisarenko V.V. *Spravochnik khimika-laboranta* [Laboratory Chemists Handbook] Moscow. 1974. 238 pp. (in Russian).
38. Grosheva L.P. *Rastvory. Raschet sostavov. Razbavleniye, smesheniye, kontsentrirvaniye rastvorov. Raschet sostava i kharakteristik tverdykh materialov: Metodicheskoye posobiye* [Solution. Calculation of compositions. Dilution, mixing, concentration of solutions. Calculation of the composition and characteristics of solid materials: Methodological guide]. Velikiy Novgorod. 2006. 13 pp. (in Russian).
39. Information Internet: From Wikipedia: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Пропорция_\(математика\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Пропорция_(математика)) — Entry date: 03.11.2020 г. (in Russian).
40. Peryushev N.N., Zabolotets A.A., Litvyak V.V. ТУ BY 190239501.955-2020 «*Krakhmal nativnyy kombinatorny*» [«Combinatorial native starch»]. Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus. Minsk. 2020. 19 pp. — State registration №059802 of 27.09.2020. (in Russian).

Информация об авторах

Заболотец Анастасия Александровна — магистр технических наук, аспирант Научно-практического центра НАН Беларуси по продовольствию, (ул. Козлова, 29, 220037, Минск, Республика Беларусь). E-mail: stasi-sha@mail.ru

Литвяк Владимир Владимирович — доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института крахмалопроductов — филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, (ул. Некрасова, 11, пос. Красково, Люберецкий р-н, Московская обл., 140051, Российская Федерация). E-mail: vniik@arrisp.ru

Ермаков Алексей Игоревич — кандидат технических наук, доцент, Белорусский национальный технический университет (пр. Независимости, 65, 220013, Минск, Республика Беларусь). E-mail: tiro@bntu.by

Information about the authors

Zabolotets Anastasiya A. — M.S., Graduate Student, Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus (29, Kozlova st., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: stasi-sha@mail.ru.

Litvyak Vladimir V. — D.Sc. (engineerin), Associate Professor, All-Russian Research Institute of Starch Products — Branch of the Federal Food Systems Center named after V.M.Gorbatov RAS, (Nekrasov Str., 11, Kraskovo, Luberetskiy District, Moscow Region, 140051, Russian Federation). E-mail: vniik@arrisp.ru

Ermakov Alexey I. — Ph.D. (engineerin), Associate Professor, Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosty avenue, 220013, Minsk, Republic of Belarus) E-mail: tiro@bntu.by.