



Научная статья

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства (технические науки)
УДК 664.74:004.93:004

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.006

 EDN: OXQWDE

КОМПЬЮТЕРНАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ И ИХ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ В АНАЛИЗЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА МАСЛИЧНОЙ МУКИ

Евгений Анатольевич Кладов ¹, Станислав Борисович Есин ²,
Елена Юрьевна Егорова ³

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

¹ e-kladov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3504-3153>

² esin.s.b@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9844-4395>

³ egorovaeyu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4990-943X>

Аннотация. Компьютерная обработка изображений находит применение в различных отраслях и видах деятельности, что обусловлено универсальностью и экспрессностью таких методик. В зерноперерабатывающей отрасли компьютерный анализ изображений реализован в определении стекловидности зерна пшеницы и гранулометрического состава пшеничной муки. Масличная мука отличается сложностью просеивания, в связи с чем целью работы являлась оценка применимости компьютерной обработки изображений для анализа гранулометрического состава масличной муки. Анализ гранулометрического состава 8 видов масличной муки выполнен стандартным методом ситового анализа по ГОСТ 27560-87 и в программе «Гранулометрия», разработанной на кафедре «Технология хранения и переработки зерна» АлтГТУ. Методом ситового анализа установлено, что из изученного перечня видов масличной муки наиболее крупными частицами отличается ореховая мука. До 40 %, а для кунжутной и льняной муки – более 60 % пробы представлено частицами с размерами в пределах 400...550 мкм. Несмотря на наличие различий во фракционном составе у разных видов масличной муки, средний размер частиц муки варьирует в достаточно узких границах: от 316 до 422 мкм, при наибольшей величине среднего размера частиц у кунжутной и льняной муки. Средний диаметр частиц, рассчитанный по данным анализа в программе «Гранулометрия», также является наибольшим для муки из семян кунжута. В целом наиболее крупными размерами частиц по результатам анализа в программе «Гранулометрия» обладают пробы масличной муки, полученной без отделения семенных оболочек. Результаты исследования позволяют рассматривать программу «Гранулометрия» в качестве перспективного экспресс-метода производственного контроля размера и однородности частиц в партиях масличной муки, в том числе для принятия решения о выборе размеров сит с целью придания готовой продукции большей однородности по гранулометрическому составу.

Ключевые слова: зернопродукты, контроль качества, масличная мука, технологические свойства, гранулометрический состав, ситовый анализ, анализ изображений, программа «Гранулометрия».

Благодарности: Работа выполнена при поддержке гранта Минобрнауки России на создание и развитие инжинирингового центра в рамках реализации федерального проекта «Развитие инфраструктуры для научных исследований и подготовки кадров» национального проекта «Наука и университеты».

Для цитирования: Кладов Е. А., Есин С. Б., Егорова Е. Ю. Компьютерная обработка изображений и их интерпретация в анализе гранулометрического состава масличной муки // Ползуновский вестник. 2022. № 4. т. 1. С. 48 - 56. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.006. EDN: <https://elibrary.ru/OXQWDE>.

Original article

COMPUTER IMAGE PROCESSING AND THEIR INTERPRETATION IN THE ANALYSIS OF THE GRANULOMETRIC COMPOSITION OF OILSEED FLOUR

Evgeniy A. Kladov ¹, Stanislav B. Yesin ², Elena Yu. Egorova ³

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

¹ e-kladov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3504-3153>

² esin.s.b@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9844-4395>

³ egorovaeyu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4990-943X>

Abstract. Computer image processing is used in various industries and activities, which is due to the versatility and expressiveness of such techniques. In the grain processing industry, computer image analysis is implemented in determining the vitreousness of wheat grain and the granulometric composition of wheat flour. Oilseed flour is characterized by the complexity of sieving, and therefore the purpose of the work was to assess the applicability of co-computer image processing for the analysis of the granulometric composition of oilseed flour. The analysis of the granulometric composition of 8 types of oilseed flour was carried out by the standard method of sieve analysis and in the program "Granulometry" developed at the Department Grain Storage and Processing Technology AltSTU. By the method of sieve analysis, it was found that from the studied list of names of oilseed flour, nut flour differs in the largest particles. Up to 40%, and for sesame and flax flour – more than 60% of the sample is represented by particles with linear dimensions in the range of 400...550 microns. Despite the presence of differences in the fractional composition of different types of oilseed flour, the average size of flour particles varies within fairly narrow limits: from 316 to 422 microns, with the largest average particle size in sesame and flax flour. The average particle diameter calculated according to the analysis data in the "Granulometry" program is also the largest for sesame seed flour. In general, the largest particle sizes according to the results of the analysis in the "Granulometry" program are samples of oilseed flour obtained without separating the seed shells. The results of the study allow us to consider the "Granulometry" program as a promising express method of production control of the size and uniformity of particles in batches of oilseed flour, including for deciding on the choice of sieve sizes in order to give the finished product greater uniformity in granulometric composition.

Keywords: grain processing products, quality control, oilseed flour, technological properties, granulometric composition, sieve analysis, image analysis, program «Granulometry».

Acknowledgements: The research was carried out with the support of a grant from the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for the creation and development of an engineering center within the framework of the federal project "Development of infrastructure for Research and Training" of the national project "Science and Universities".

For citation: Kladov, E. A., Yesin, S. B. & Egorova, E. Yu. (2022). Computer image processing and their interpretation in the analysis of the granulometric composition of oilseed flour. *Polzunovskiy vestnik*, 4 (1). 48-56. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.006. EDN: <https://elibrary.ru/OXQWDE>.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ изображений объектов с помощью компьютерных программ, основанный на оценивании и сопоставлении их линейных размеров, площадей, плотности и яркости цветового тона, относительных значений этих величин, находит в настоящее время применение в самых разных отраслях и видах деятельности: в горнодобывающей отрасли [1] и металлургии – для анализа измельченных объектов, анализа микроструктур и внутрен-

них полостей деталей, количественного анализа распределения графита, выявления скрытых дефектов [2, 3], в электронике – для неразрушающего контроля качества сверхпроводников [4], в медицине и криминалистике (для идентификации отпечатков пальцев, распознавания лиц), в сельском хозяйстве – для исследования матрицальной разнокачественности семян и идентификации сортовой принадлежности плодов посредством компьютерного анализа их сканированных изображений [5, 6], в почвоведении [7], геодезии и

картографии, и в других сферах деятельности. Для анализа распределения частиц жидких дисперсных сред, имеющих размеры 0,1–100 мкм, также активно используются оптические системы, сущность которых сводится в фотографировании исследуемых образцов и последующей обработке полученных снимков [8].

Универсальность, экспрессность и относительно низкие затраты на внедрение подобных методик, отсутствие потребности в дополнительном и/или специализированном лабораторном оборудовании и инструментарию стимулируют разработку новых методик и программ, основанных на компьютерном анализе изображений и ориентированных на новые прикладные задачи. Вместе с тем, ориентация преобладающего большинства подобных новых разработок направлена на решение задач, не связанных с пищевой и перерабатывающей промышленностью.

Использование специализированных аппаратно-программных комплексов анализа изображений, применимых в области контроля качества зерна и зернопродуктов, сложно назвать развитым. В частности, к настоящему времени разработана методика анализа стекловидности зерна пшеницы, основанная на компьютерном распознавании мучнистых и стекловидных областей среза, осуществляемая в автоматическом режиме [9]. Многие годы продолжаются разработки в направлении повышения качества результатов исследования гранулометрического состава зернопродуктов [10, 11], к настоящему времени так и не получившие реализации в условиях промышленного производства.

В отличие от муки из злаковых культур, мука из семян масличных имеет еще более непостоянный гранулометрический состав. Для разных видов масличной муки, вырабатываемой даже в условиях одного производства, разбег значений по дисперсности частиц может существенно различаться. Стандартные методы определения крупности помола муки методом ситового анализа позволяют определить только проход через сито или набор сит с фиксированным размером отверстий [11], что не дает представления о возможных различиях в структурных особенностях и, соответственно, технологических свойствах муки. Ситовой анализ дисперсности частиц осложняется тем, что масличная мука сохраняет до 15–21 % жира, забивая металлические и капроновые сита. С этим связано то, что средний размер и пределы размеров частиц масличной муки предприятиями-производителями не стандартизируют-

ся. Вместе с тем, в большинстве случаев размер частиц является одной из важнейших технологических характеристик муки и одним из факторов, определяющих характер коллоидных и биохимических процессов созревания теста, потребительские качества готовой продукции [12–15].

Анализ научных публикаций и патентной информации показал отсутствие данных о гранулометрическом составе как масличной муки в целом, так и отдельных её видов. Нет и информации о применении компьютерных методов анализа гранулометрического состава масличной муки. Это определило цель работы – оценить применимость компьютерной обработки изображений для анализа гранулометрического состава масличной муки.

Материалы и методы

Объектами исследований в работе выступали восемь видов полуобезжиренной масличной муки, произведенной в условиях промышленных предприятий Алтайского края: ореховая мука (мука из ядра грецких орехов, мука из ядра кедровых орехов), мука из семян расторопши, тыквы, кунжута, амаранта, льна и черного тмина.

Подготовка образцов масличной муки к гранулометрическому анализу заключалась в предварительном просеивании образцов массой 200 ± 5 г через сито с диаметром отверстий 2 мм и доведении их до одинаковой остаточной влажности $6 \pm 0,2$ % в условиях конвективной сушки при температуре 30 ± 2 °С.

Анализ гранулометрического состава масличной муки выполнен двумя методами:

- стандартным методом ситового анализа по ГОСТ 27560-87 «Мука и отруби. Метод определения крупности», в 4-кратной повторности, с обработкой результатов в программном приложении Microsoft Office Excel;

- в программе «Гранулометрия», разработанной на кафедре «Технология хранения и переработки зерна» АлтГТУ и являющейся Windows-совместимым приложением, предназначенным для контроля размеров твердых частиц зернопродуктов.

Для анализа взаимосвязи качества просеивания с особенностями химического состава масличной муки в пробах определяли влажность и массовую долю жира. Влажность определяли по ГОСТ Р 54705-2011, высушиванием проб до постоянной массы при температуре 103 ± 2 °С, с последующим расчётом значения показателя в %. Массовую долю сырого жира устанавливали по ГОСТ 13979.2-94, методом исчерпывающей экстракции липид-

**КОМПЬЮТЕРНАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ И ИХ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ
В АНАЛИЗЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА МАСЛИЧНОЙ МУКИ**

ной фракции гексаном, с пересчётом доли экстрагированного жира в % от сухого вещества муки.

Результаты и их обсуждение

Согласно данным ситового анализа, наиболее жирная мука – из ядра кедровых орехов (таблица 1) – содержит более крупные частицы или включения их агломератов, доля частиц такого размера приближается к 12 %. В муке из семян черного тмина, муке из семян расторопши и муке из ядра грецких орехов, несмотря на достаточно высокое содержание жира, слипанию и образованию агломератов препятствует наличие частиц семен-

ных оболочек или околоядровой пленки, поскольку такие наименования масла получают без их отделения. И именно наличие семенных оболочек обуславливает наличие 2,2–3,5 % наиболее крупных частиц в составе проб муки из семян кунжута, расторопши и черного тмина (таблица 2).

В отношении муки хлебопекарного, кондитерского и макаронного назначения существуют четкие рекомендации по крупности формирующих её частиц. Вне зависимости от назначения наиболее высокими технологическими качествами обладает мука, однородная по гранулометрическому составу.

Таблица 1 – Результаты лабораторного анализа образцов масличной муки

Table 1 - Results of laboratory analysis of oilseed flour samples

Наименование показателя	Значение показателя / Образец*							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Внешний вид	однородный в массе сыпучий порошок							
М.д. влаги, % (до подготовки)	6,7±0,1	6,5±0,1	6,3±0,1	6,8±0,1	6,3±0,1	6,7±0,1	7,1±0,1	7,3±0,1
М.д. сырого жира на СВ, %	18,3±0,2	16,8±0,2	15,2±0,2	11,5±0,2	14,5±0,2	9,8±0,2	14,2±0,2	16,5±0,2

Примечание. Номер образца*: 1 – из кедровых орехов; 2 – из грецких орехов; 3 – из семян расторопши; 4 – из семян тыквы; 5 – из семян кунжута; 6 – из семян амаранта; 7 – из семян льна; 8 – из семян черного тмина.

Таблица 2 – Результаты ситового анализа гранулометрического состава масличной муки

Table 2 - The results of the sieve analysis of the granulometric composition of oilseed flour

№ сита:	Размер частиц фракции, $L_{ср,i}$, мкм	Образец*							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		Доля фракции (сход сита), m_i % / Размер частиц фракции, $L_{ср,i}$, мкм							
0,75	–	0	0	0	0	0	0	0	0
0,63	697	11,840	2,341	2,751	1,400	2,200	0,600	0,350	3,503
0,56	595	9,325	4,262	2,651	12,450	4,500	2,232	3,101	4,805
0,43	495	23,490	20,160	20,910	23,552	31,100	15,810	38,619	30,530
0,4	415	24,400	13,457	22,461	15,752	35,200	29,970	25,463	23,123
0,3	350	4,486	19,460	12,906	29,903	12,150	16,960	20,560	13,313
0,25	275	11,040	28,464	14,357	15,752	10,450	21,260	11,906	20,520
0,195	222	10,280	8,954	23,962	1,190	1,400	7,055	0	4,204
0,163	195	5,141	1,701	0	0	2,990	4,203	0	0
0,157	160	0	1,201	0	0	0	1,301	0	0
Проход сита 0,157	78,5	0	0	0	0	0	0,6	0	0
Сумма масс фракций, %	–	100	100	100	100	100	100	100	100
Средний размер частиц $L_{ср,i}$, мкм	–	413	350	316	414	420	350	422	403

Примечание. Номер образца*: 1 – из кедровых орехов; 2 – из грецких орехов; 3 – из семян расторопши; 4 – из семян тыквы; 5 – из семян кунжута; 6 – из семян амаранта; 7 – из семян льна; 8 – из семян черного тмина.

Оценка данных ситового анализа позволяет сделать вывод, что фракционный состав исследованных образцов по сходам и проходам использованного набора сит в целом сопоставим при явной неоднородности гранулометрического состава. Максимальное расхождение между средними размерами частиц разных образцов составило 98 мкм. Исключение – образец льняной муки, при анализе которого выявлена наибольшая доля частиц более крупных фракций и практически отсутствовали частицы, соответствующие проходам более мелких сит. Близки к ней образцы муки из семян расторопши, тыквы и черного тмина. До 40 %, а для кунжутной и льняной муки – более 60 % пробы представлено частицами с линейными размерами в пределах $550 > r > 400$ мкм.

Математическая обработка результатов ситового анализа показывает, что, несмотря на существенные различия в соотношении фракций разных видов масличной муки, средний расчетный размер частиц всех исследуемых проб варьирует от 316 до 422 мкм, при наибольшей величине среднего размера частиц у льняной и кунжутной муки (420–422 мкм). Вместе с тем, информация о среднем размере частиц или эквивалентном диаметре [15], получаемом при обработке результатов ситового анализа, не дает полного представления об их реальных размерах и форме, в том числе о площади частиц, контактирующей с водой при замесе теста, и о скорости набухания этих частиц. Однако та-

кую информацию позволяет получить компьютерный анализ изображений. Отмечается также, что гранулометрический анализ с применением оптико-электронных измерительных систем позволяет избежать известной погрешности ситового анализа – занижения среднего размера частиц [16].

Метод, заложенный в основу программы «Гранулометрия», заключается в построении и математической обработке столбчатых диаграмм распределения частиц по размерным характеристикам (площади или наибольшему линейному размеру). Одной из основных частей программы является графический модуль, позволяющий настроить изображение с частицами: подобрать яркость, контрастность, освещенность, что необходимо для идентификации частиц и правильного определения их размера при последующей реализации расчетов в программе [17]. Одним из вариантов настройки изображения вручную для расчета размерных характеристик частиц муки является бинаризация – перевод цветного изображения в черно-белое (рисунок 1). При бинаризации задается верхний и нижний уровень цвета, который будет преобразован в белый цвет. При этом полностью становятся видны все частицы, и их контур определяется правильно. Для сохранения черно-белых изображений не рекомендуется использовать формат JPG, так как при сжатии ухудшается качество изображения (меняется цветовая палитра и размывается контур частиц).



Рисунок 1 – Скан муки из ядра грецких орехов. Масштаб 2:1

Figure 1 - Scan of walnut kernel flour. Scale 2:1

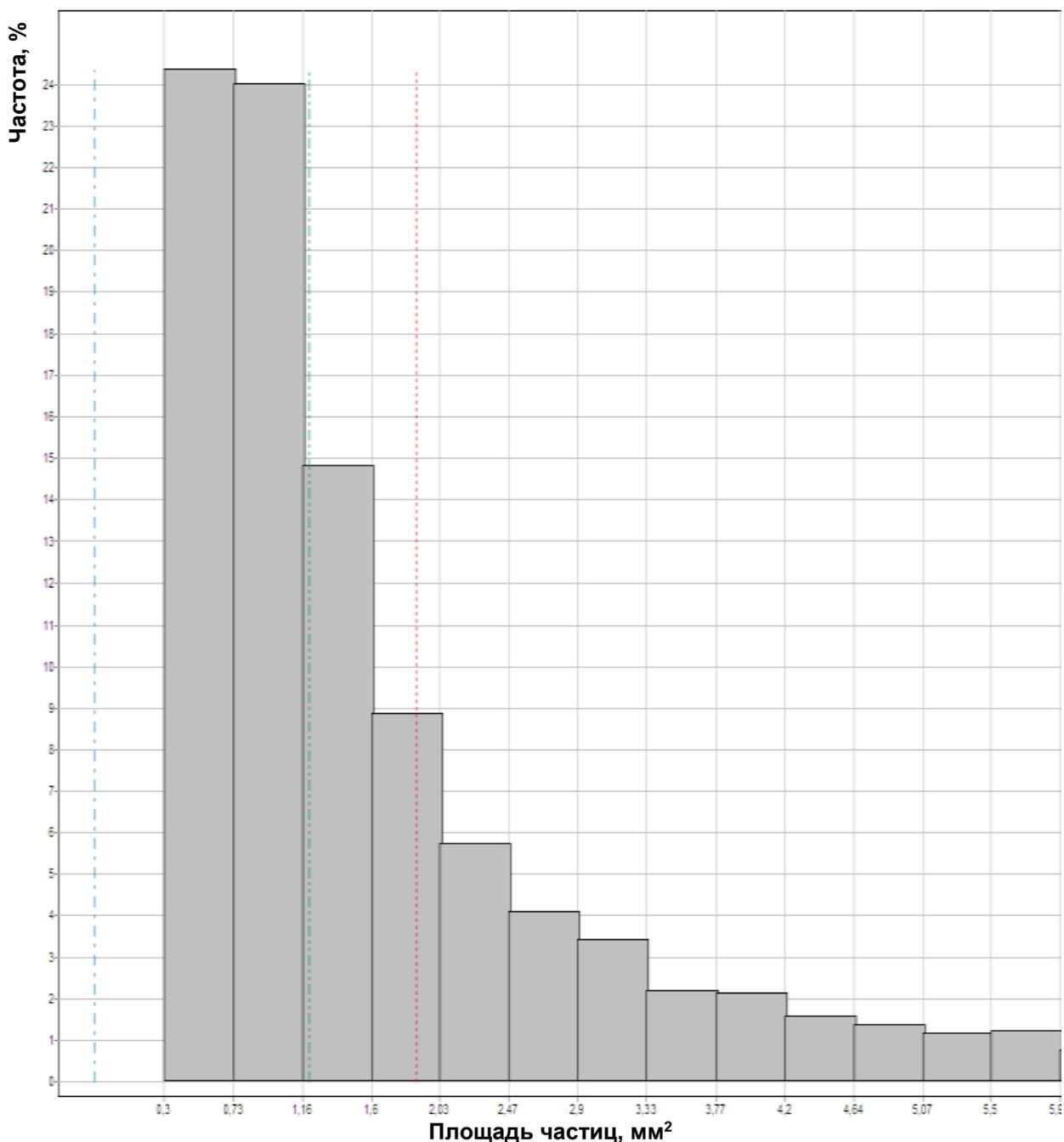


Рисунок 2 – Пример обработки пробы в программе «Гранулометрия». Распределение частиц муки из ядра грецких орехов по площади

Figure 2 - An example of sample processing in the "Granulometry" program. Distribution of walnut kernel flour particles by area

Алгоритм исследования образцов в программе можно представить как ряд последовательных этапов, включающих получение изображений путём сканирования образцов, перевод этих изображений в цветовую модель RGB или BMP, подготовку изобра-

жений к анализу (фильтрация, удаление помех), улучшение контрастности изображений путем преобразования уровней яркости исходного изображения, сегментацию изображения и, собственно, определение контуров объектов методом «жука».

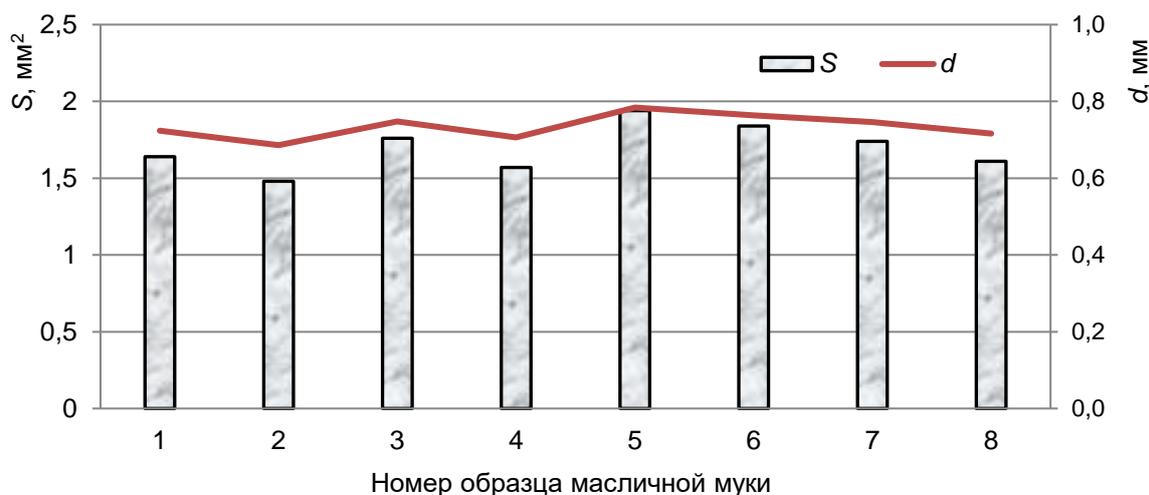


Рисунок 3 – Средний диаметр (d) и площадь (S) частиц масличной муки по данным анализа в программе «Гранулометрия»:

1 – из кедровых орехов; 2 – из грецких орехов; 3 – из семян расторопши; 4 – из семян тыквы; 5 – из семян кунжута; 6 – из семян амаранта; 7 – из семян льна; 8 – из семян черного тмина

Figure 3 - Average diameter (d) and area (S) of oilseed flour particles according to the analysis in the program "Granulometry":

1 - from pine nuts, 2 - from walnuts, 3 - from milk thistle seeds, 4 - from pumpkin seeds, 5 - from sesame seeds, 6 - from amaranth seeds, 7 - from flax seeds, 8 - from seeds black cumin

На рисунке 2 приведен пример распределения одного из образцов масличной муки по площади частиц. Данные о средних размерах частиц, полученные в программе «Гранулометрия» по результатам изучения всех проб масличной муки, приведены на рисунке 3. С учетом того, что частицы масличной муки имеют форму, которую с определенной долей условности можно считать сферической (рисунок 1), рассчитан средний диаметр частиц.

Обработка результатов анализа, полученных в программе «Гранулометрия», дает представление о более крупных размерах частиц по сравнению с результатами ситового анализа. В целом наиболее крупными размерами частиц по результатам компьютерного анализа также обладают пробы масличной муки, полученной без отделения семенных оболочек. И важно отметить, что средний диаметр частиц, рассчитанный по данным анализа в программе «Гранулометрия», также является наибольшим для муки из семян кунжута, что свидетельствует о сопоставимости полученных результатов и применимости данного метода для экспресс-контроля гранулометрического состава масличной муки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований позволяют рассматривать применение про-

граммы «Гранулометрия» в качестве перспективного экспресс-метода производственного контроля крупности и однородности частиц в партиях масличной муки, результаты которого можно использовать, в том числе для принятия решения о выборе размеров сит для придания готовой продукции большей однородности по гранулометрическому составу. Возможности программы, дающие информацию о линейных размерах, форме и площади частиц муки, легко реализуемы в условиях лабораторий теххимического контроля предприятий и позволяют осуществлять текущий экспресс-контроль гранулометрического состава неотрывно от производственного процесса, обеспечивая достаточно точное прогнозирование технологических качеств масличной муки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хурэлчулуун, И. Повышение эффективности рудоподготовки на основе применения непрерывного визиометрического анализа гранулометрического состава продуктов дробления и грохочения : дисс. ... канд. техн. наук. – М., 2019. – 125 с.
2. Чичко, А.Н., Лихоузов, С.Г., Сачек, О.А., Соболев, В.Ф., Чичко, О.И. Программное обеспечение для обработки изображений микроструктур железуглеродистых сплавов // Наука и техника. – 2011. – № 3. – С. 13–18.

КОМПЬЮТЕРНАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ И ИХ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ В АНАЛИЗЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА МАСЛИЧНОЙ МУКИ

3. Чичко, А.Н., Сачек, О.А., Лихоузов, С.Г., Чичко, О.И. Компьютерная обработка изображений микроструктур серых чугунов как инструмент количественного анализа распределения графита // *Литье и металлургия*. – 2013. – № 2 (70). – С. 62–67.

4. Nikitin, A.V., Khanzhin, V.G. Prospects of Computer Measuring Systems of Image Analysis in Investigation of Composite Superconductors // *Metal Science and Heat Treatment*. – 2015. – V. 57. – Iss. 3–4. – P. 236–240, <https://doi.org/10.1007/s11041-015-9867-5>.

5. Мусаев, Ф.Б., Солдатенко, А.В., Балеев, Д.Н., Прияткин, Н.С., Щукина, П.А. Исследование разнокачественности семян овощных культур с использованием компьютерного анализа изображений // *Агрофизика*. – 2019. – № 1. – С. 38–44. DOI: 10.25695/AGRP.2019.01.05.

6. Прияткин, Н.С., Архипов, М.В., Гусакова, Л.П. [и др.]. Автоматический анализ и классификация цифровых рентгеновских и газоразрядных изображений семян пшеницы, поврежденных клопом вредная черепашка, для прогноза их посевных качеств // *Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ*. – 2018. – № 6. – С. 60–67.

7. de Oliveira Morais, P.A., Madari, B.E., de Oliveira, A.E., de Souza, D.M. A computer-assisted soil texture analysis using digitally scanned images // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2020. – V. 174. – P. 105435.

8. Харисова, З.И. Информационно-измерительная система для гранулометрического анализа жидких дисперсных сред на основе видеотехнических средств и нейросетевых технологий : дисс. ... канд. техн. наук. – Уфа, 2018. – 136 с.

9. Лузев, В.С., Кладов, Е.А. Применение методов компьютерного анализа изображений для контроля технологического процесса переработки зерна // *Сборник материалов III Специализированного конгресса зернопереработчиков «Нивы России»*. – Барнаул : ООО «Азбука», 2005. – С. 77–79.

10. Лузев, В.С., Кладов, Е.А. Гранулометрический состав промежуточных продуктов размола зерна // *Хлебопродукты*. – 2006. – № 11. – С. 48–49.

11. Федотов, В.А., Курносова, А.Г., Воякина, К.В., Овчинникова, М.С. Современные методы проведения гранулометрического анализа зернопродуктов // *Евразийский Союз Ученых*. – 2014. – № 7. – С. 38–40.

12. Черных, В.Я., Бердышева, О.Н., Жирнова, Е.В., Митин, В.Ю. Влияние дисперсности пшеничной муки на её технологические свойства и параметры замеса теста // *Хлебопродукты*. – 2015. – № 7. – С. 56–58.

13. Невская, Е.В., Тюрина, И.А., Тюрина, О.Е., Шулбаева, М.Т., Потапова, М.Н., Головачева, Я.С. Разработка хлебопекарных композитных смесей для здорового питания // *Техника и технология пищевых производств*. – 2019. – Т. 49. – № 4. – С. 531–544. DOI: 10.21603/2074-9414-2019-4-531-544.

14. Егорова, Е.Ю., Кузьмина, С.С. Потребительские свойства хлебобулочных изделий с добавлением муки из семян тыквы // *Ползуновский вестник*. – 2017. – № 3. – С. 32–36.

15. Крикунова, Л.Н., Ульянова, Е.В., Ободеева, О.Н., Черных, В.Я., Капизова, Д.А. Методы оценки гранулометрического состава зерновых отрубей // *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. – 2020. – № 3 (62). – С. 55–61. DOI:10.33979/2219-8466-2020-62-3-55-61.

16. Kaminski, S., Kaminski, P., Kaminska, D., Trzcinski, J. Granulometric composition study of mineral resources using opto-electronic devices and El-sieve software system // *Web of Conferences MEC 2016*. – 2016. – 8, 01057. DOI: 10.1051/e3sconf/20160801057.

17. Кладов, Е.А., Лузев, В.С. Определение гранулометрического состава пшеничной муки на анализаторе зернопродуктов «Гран» // *Современные проблемы техники и технологии пищевых производств : Сборник докладов 9 науч.-практ. конф.* – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2006. – С. 281–287.

Информация об авторах

Е. А. Кладов – учебный мастер кафедры технологии, хранения и переработки зерна Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

С. Б. Есин – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии хранения и переработки зерна Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Е. Ю. Егорова – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии хранения и переработки зерна Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

REFERENCES

1. Khurelchuluun, I. (2019). Improving the efficiency of ore preparation based on the use of continuous visiometric analysis of the granulometric composition of crushing and screening products: diss. candidate of technical sciences. Moscow. (In Russ.).

2. Chichko, A.N. [et al]. (2011). Software for image processing of iron-carbonaceous alloy microstructures. *Science & Technique*. No. 3. P. 13-18. (In Russ.).

3. Chichko, A.N. [et al]. (2013). Computer image processing of microstructures of gray cast iron as a tool for quantitative analysis of graphite distribution // *Foundry Production & Metallurgy*. No. 2 (70). P. 62-67. (In Russ.).

4. Nikitin, A.V. & Khanzhin, V.G. (2015). Prospects of Computer Measuring Systems of Image Analysis in Investigation of Composite Superconductors. *Metal Science and Heat Treatment*. V. 57. Iss. 3-4. P. 236-240, <https://doi.org/10.1007/s11041-015-9867-5>.

5. Musaev, F.B. [et al]. (2019). Investigation of the heterogeneity of vegetable seeds using computer image analysis. *Agrophysics*. No. 1. P. 38-44. DOI: 10.25695/AGRP.2019.01.05. (In Russ.).

6. Pyatkin, N.S. [et al]. (2018). The automatic analysis and classification of digital x-ray and gas discharge images of wheat seeds damaged by corn bug for the forecast of their sowing qualities. *Izvestiya SPb GETU LETI*. No. 6. P. 60-67. (In Russ.).

7. de Oliveira Morais P.A. [et al]. (2020). A computer-assisted soil texture analysis using digitally scanned images. *Computers and Electronics in Agriculture*. V. 174. P. 105435.

8. Kharisova, Z.I. (2018). Information and measurement system for granulometric analysis of liquid dispersed media based on video equipment and neural network technologies: diss. candidate of technical sciences. Ufa. (In Russ.).

9. Luzev, V.S. & Kladov, E.A. (2005). Application of computer image analysis methods for controlling the technological process of grain processing. Collection of materials of the III Specialized Congress of grain processors «Fields of Russia». Barnaul: Azbuka LLC. P. 77-79. (In Russ.).

10. Luzev, V.S. & Kladov, E.A. (2006). Granulometric composition of intermediate products of grain grinding. *Hleboprodukty*. No. 11. P. 48-49. (In Russ.).

11. Fedotov, V.A. [et al]. (2014). Modern methods of granulometric analysis of grain products. *Eurasian Union of Scientists*. No. 7. pp. 38-40. (In Russ.).

12. Chernyh, V.Ya. [et al]. (2015). The influence of the dispersion of wheat flour on its technological properties and parameters of dough kneading. *Hleboprodukty*. 2015. No. 7. P. 56-58. (In Russ.).

13. Nevskaya, E.V. [et al]. (2019). Healthy bakery composite mixes. *Food Processing: Techniques and Technology*. V. 49. No. 4. P. 531-544. DOI: 10.21603/2074-9414-2019-4-531-544. (In Russ.).

14. Egorova, E.Yu & Kuzmina, S.S. (2017). Consumer properties of bakery products with the addi-

tion of pumpkin seed flour. *Polzunovskiy vestnik*. No. 3. P. 32-36.

15. Krikunova, L.N. [et al]. (2020). Valuation methods of the grain bran granulometric composition. *Technology and Merchandising of the Innovative Foodstuff*. No. 3 (62). P. 55-61. DOI:10.33979/2219-8466-2020-62-3-55-61. (In Russ.).

16. Kaminski, S. [et al]. (2016). Granulometric composition study of mineral resources using optoelectronic devices and Elsieve software system. *Web of Conferences MEC 2016*. 8, 01057. DOI: 10.1051/e3sconf/20160801057.

17. Kladov, E.A. & Luzev, V.S. (2006). Determination of the granulometric composition of wheat flour on the grain products analyzer "Gran". Modern problems of technology and technology of food production: Collection of reports 9 scientific-practical conf. Barnaul. P. 281-287. (In Russ.).

Information about the authors

E. A. Kladov - teaching assistant, Department of Grain Storage and Processing Technology, Polzunov Altai State Technical University.

S. B. Yesin - candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Grain Storage and Processing Technology, Polzunov Altai State Technical University.

E. Yu. Egorova - Doctor of Technical Sciences, associate professor, Head of the Department of Grain Storage and Processing Technology, Polzunov Altai State Technical University.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.*

Статья поступила в редакцию 10.08.2022; одобрена после рецензирования 24.09.2022; принята к публикации 03.10.2022.

The article was received by the editorial board on 10 Aug 2022; approved after editing on 24 Sep 2022; accepted for publication on 03 Oct 2022.