

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ОБРУШИВАНИЯ СЕМЯН РАПСА НА ФРАКЦИОННЫЙ И КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВЫ РУШАНКИ

Резюме. На промышленной центробежной рушке (ЦБР) марки МРЦ-5 в стендовых условиях изучен процесс обрушивания семян рапса, выращенного в Калужской, Орловской и Тамбовской областях. Для минимального замасливания плодовой оболочки обрушивание осуществлялось однократным ударом, при частоте вращения роторного устройства от 1999 до 2514 об/мин и производительности от 20,52 до 63,33 т семян рапса в сутки. Установлено, что с увеличением производительности ЦБР фракционный состав рушанки изменяется по линейной зависимости: содержание сходовой фракции (сход) с верхнего сита с отверстиями диаметром 2 мм и проходовой фракции (проход) через нижнее сито с отверстиями 1 мм уменьшается, а содержание сходовой фракции с нижнего сита увеличивается. Определен характер изменения компонентного состава рушанки, состоящей из целыка с недорущем, сечки ядра и свободной плодовой оболочки, при различной производительности и частоте вращения роторного устройства. Выявлены количественные и качественные изменения фракционного и компонентного состава, которые, очевидно, связаны со стесненным движением семян и с возможным «экранированием» ими поверхности деки в момент удара с увеличением производительности ЦБР.

Ключевые слова: семена рапса, рушанка, обрушивание, центробежная рушка, фракционный и компонентный составы.

IMPACT OF RAPESEED CENTRIFUGAL DEHULLING PARAMETERS ON THE FRACTIONAL AND COMPONENT COMPOSITION OF DEHULLED RAPESEED

Abstract. The hulling process of rapeseed grown in the Kaluga, Oryol, and Tambov regions was studied under bench conditions using an MRC-5 industrial centrifugal huller (ICH). To minimize oiling of the seed coat, hulling was performed using a single blow, with a rotor speed of 1999 to 2514 rpm and a throughput of 20.52 to 63.33 tons of rapeseed per day. It was found that, as the CHH throughput increased, the fractional composition of the hulled rapeseed changed linearly: the content of the overflow fraction (overflow) from the upper sieve with 2 mm diameter holes and the passing fraction (passage) through the lower sieve with 1 mm holes decreased, while the content of the overflow fraction from the lower sieve increased. The nature of changes in the component composition of a seed hull consisting of whole and under-hulled seed, chopped kernels, and loose seed coats was determined at varying throughput rates and rotor speeds. Quantitative and qualitative changes in the fractional and component composition were identified, which are apparently related to the restricted movement of the achenes and their possible "shielding" of the deck surface at the moment of impact with increased throughput.

Key words: rapeseed, seed hulling, hulling, centrifugal hull, fractional and component composition.

УДК 665.334.9

Научная статья

DOI 10.69539/2413-287X-2025-11-2-251

**АНТОН ВИКТОРОВИЧ
ДИДЕНКО¹,**

ведущий инженер кафедры технологии жиров, косметики, товароведения, процессов и аппаратов

ORCID: 0009-0007-2922-0583

E-mail: didenko@outlook.com

**ВАЛЕНТИН ВИТАЛЬЕВИЧ
ДЕРЕВЕНКО¹,**

доктор технических наук, профессор

ORCID: 0009-0002-9546-6198

E-mail: ekotp@ekotp.ru

¹ФГБОУ ВПО Кубанский государственный технологический университет (КубГТУ)

350072, Россия, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Московская, д. 2

Поступила в редакцию:

07.10.2025

Одобрена после рецензирования:

14.10.2025

Принята в публикацию:

05.11.2025

UDC 665.334.9

Research article

DOI 10.69539/2413-287X-2025-11-2-251

**ANTON VIKTOROVICH
DIDENKO¹,**

Leading Engineer, Department of Fat and Cosmetic Technology, Commodity Science, Processes and Apparatus (FCTCPA)

ORCID: 0009-0007-2922-0583

E-mail: didenko@outlook.com

**VALENTIN VITALIEVICH
DEREVENKO¹,**

Doctor of Technical Sciences, Professor

ORCID: 0009-0002-9546-6198

E-mail: ekotp@ekotp.ru

¹Kuban State Technological University

350072, Russia, Krasnodar region, Krasnodar, st. Moskovskaya, 2

Received by editor office:

10.07.2025

Approved in revised:

10.14.2025

Accepted for publication:

11.05.2025

ВВЕДЕНИЕ

Рапс — это одна из важных масличных культур. При переработке семян рапса современных безэруковых сортов получают масло, жмых и шрот, которые являются ценными компонентами рационов сельскохозяйственных животных и птицы. Нерафинированное прессовое рапсовое масло вводится в состав комбикормов для повышения уровня обменной энергии, жмых и шрот — для улучшения питательности.

Рапс приспособлен к выращиванию в умеренном климате, обладает высокой продуктивностью, является хорошим предшественником для пшеницы и отличным медоносом. В настоящее время почти 90% мирового производства семян рапса сосредоточено в Канаде, Китае, Индии и странах ЕС. В РФ к основным зонам его товарного производства относятся северные области Центрального Черноземья и нечерноземные области Урала и Сибири.

В нашей стране семена рапса в большинстве случаев перерабатывают без предварительного отделения плодовой оболочки. Обычно на отечественных маслопрессовых заводах суточной мощностью до 200 т семян переработка ведется по схеме двукратного отжима масла, на предприятиях мощностью до 100 т в сутки — по схеме однократного отжима с применением как российского [1–5], так и импортного оборудования [6–7]. Согласно схеме маслопрессового завода, оснащенного оборудованием фирмы «Фармет» [7], проводится обрушивание семян рапса, но плодовая оболочка не выводится из производства. Рушанку разделяют на сите на две фракции. Сход с сита — высокопротеиновую фракцию перерабатывают по схеме: форпрессование → экструзия → окончательный отжим масла. Получаемый при этом жмых богат белком и предназначен для кормления свиней и птицы. Проход через сито — низкопротеиновую фракцию перерабатывают по схеме: однократный отжим → экструзия. В этом случае жмых рекомендуют для кормления КРС.

За рубежом на некоторых маслоэкстракционных заводах семена рапса перерабатывают по схеме: форпрессование → экстракция, с отделением плодовой оболочки [8]. В РФ работают без обрушивания семян с получением шрота рапсового тостированного по ГОСТ 30257-95 с содержанием массовой доли сырого протеина на абсолютно сухое вещество не менее 37%.

В последние годы много работ посвящено поиску технологических решений по переработке семян рапса различными способами с последующим отделением плодовой оболочки [9–12] с целью увеличения содержания сырого протеина во фракционном составе, а также в жмыхах и шротах. Известна технология производства растительного масла и концентратов рапсового белка [13], которая включает предварительное отделение в семенах рапса плодовой оболочки от ядра. Однако при обрушивании путем сдавливания усиливается контакт ядра с оболоч-

кой, что увеличивает ее замасливание. И напротив, обрушивание однократным ударом семян о неподвижную деку приводит к минимальному замасливанию плодовой оболочки [5, 9].

Большую актуальность приобретает поиск технологических решений эффективного обрушивания семян рапса с минимальными потерями масла. Цель исследования — изучение влияния параметров процесса однократного обрушивания семян на промышленной центробежной рушке марки МРЦ-5 в стендовых условиях на фракционный и компонентный составы рушанки и обоснование режимов, обеспечивающих максимальный выход свободной плодовой оболочки, которую можно отделить на последующем технологическом этапе при производстве высокопротеинового жмыха и шрота.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект изучения — семена озимого рапса урожая 2024 г., выращенного в Калужской, Орловской и Тамбовской областях. Средний диаметр семян фиксировали электронным штангенциркулем с точностью до 0,01 мм. В стендовых условиях обрушивание проводили на промышленной ЦБР марки МРЦ-5, модернизированной по техническому решению, которое защищено патентом на изобретение [14]. Для фиксации основных параметров работы электродвигателя ЦБР его подключили к частотному преобразователю марки ACS-480 фирмы АВВ (КНР), с помощью которого регулировали частоту вращения роторного устройства (от 0 до 3000 об/мин), а также регистрировали фактическую нагрузку (от 0 до 10 А) и потребляемую мощность (от 0 до 3,0 кВт).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Как видно из данных таблицы 1, семена озимого рапса, выращенного в разных областях, имеют достаточно близкие значения по масличности и содержанию сырого протеина на абсолютно сухое вещество, а также другие показатели.

Таблица 1. Основные показатели качества семян озимого рапса в разных областях

Показатель	Область		
	Калужская	Орловская	Тамбовская
Влажность, %	6,0	6,2	6,9
Масличность, %, на а.с.в.	43,41	47,82	45,52
Сырой протеин, %, на а.с.в.	22,66	19,92	20,40
Сорная примесь, %	0,25	1,2	3,2
Масличная примесь, %	0,18	0,6	2,4
КЧМС, мг КОН/г жира	0,94	1,0	1,3

Ранее нами было установлено, что не только изменение влажности семян рапса влияет на среднюю удельную работу разрушения ($A_{уд}$), но и их средний диаметр [15]. Чем он меньше, тем больше появляется в их объеме предельных напряжений, возникающих при ударном воздействии о деку, что и определяет эффективность разрушения плодовой оболочки [16].

Статистическим методом [17], применяемым при изучении физических свойств масличных семян [18], определили средние диаметры семян рапса в выборках по 200 штук от партии. Соответствующие вариационные кривые показаны на рисунке 1.

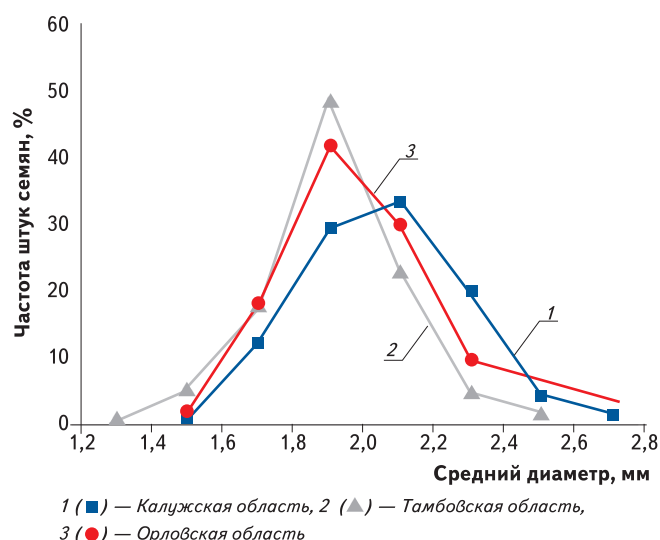


Рис. 1. Вариационные кривые диаметров семян рапса, выращенного в трех областях

Наибольший интервал изменений средних диаметров наблюдается у семян рапса, выращенного в Калужской, затем в Тамбовской и Орловской областях и составляет соответственно от 1,2 до 2,8 мм, от 1,2 до 2,6 мм и от 1,4 до 2,4 мм. При сравнении вариационных кривых можно выделить три фракции семян: мелкую со средним диаметром до 1,8 мм ($A_{уд} = 850–1100$ Дж/кг); среднюю с диаметром в интервале 1,8–2,2 мм ($A_{уд} = 750–850$ Дж/кг); крупную с диаметром более 2,2 мм ($A_{уд} = 550–750$ Дж/кг). Отметим важную особенность: на мелкую фракцию в партии семян рапса из Калужской области приходится 13%, из Орловской и Тамбовской областей — соответственно 19,5% и 22,5%. То есть партии по содержанию мелкой фракции отличаются в 1,5–1,7 раза, что, как будет показано далее, сказывается на компонентном составе рушанки.

На рисунке 2 представлены результаты обрушивания семян рапса из Калужской, Орловской и Тамбовской областей — фракционный состав рушанки при просеивании ее на ситах с отверстиями диаметром 1 мм и 2 мм. Экспериментальные данные для каждой фракции хорошо описываются линейными уравнениями с заметной и высокой корреляционными связями: соответственно 0,61 (3), 0,83 (2) и 0,84 (1).

Как показано на рисунках 3 и 4, содержание свободной плодовой оболочки и частиц ядра в сходовых фракциях с сита с отверстиями диаметром 2 мм и 1 мм уменьшается по мере увеличения производительности ЦБР при обрушивании семян рапса из Калужской, Тамбовской и Орловской областей. Причем в рушанке семян из Калужской области свободной плодовой оболочки содержится в 1,4–5,3 больше по сравнению с рушанкой семян из

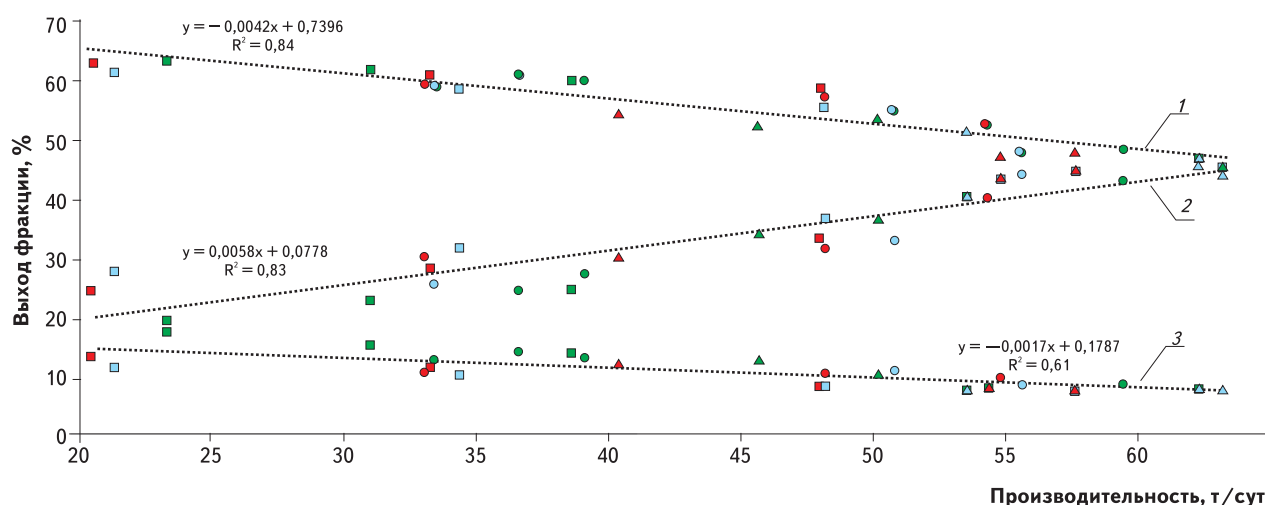
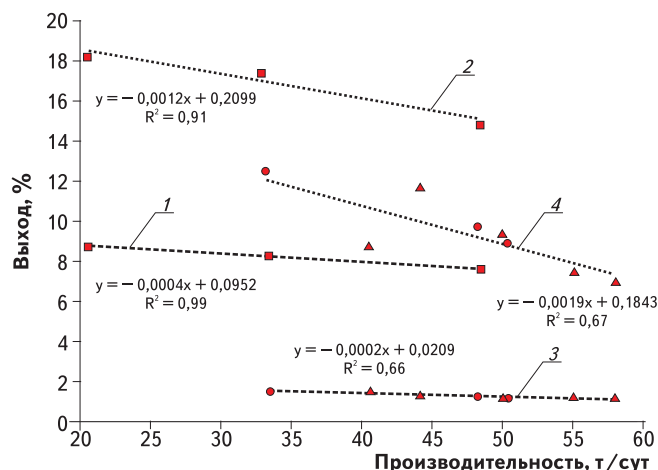


Рис. 2. Изменение фракционного состава рушанки, полученной при различной производительности (от 20,52 до 63,33 т/сут) и частоте вращения (n) роторного устройства ЦБР



1 и 2 — Калужская область (средняя $n = 2302$ об./мин);

3 и 4 — Орловская и Тамбовская области (средняя $n = 2223$ об./мин)

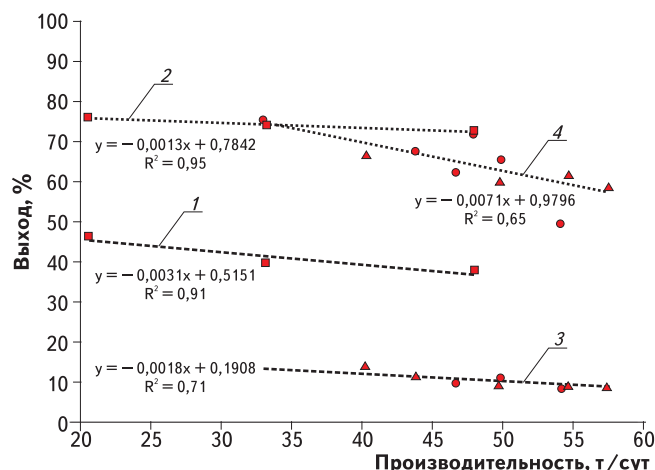
Рис. 3. Изменение содержания свободной плодовой оболочки в сходовых фракциях с сит с отверстиями диаметром 2 мм и 1 мм, соответственно при различной производительности ЦБР

Орловской и Тамбовской областей, обработанных при производительности ЦБР 33 т семян в сутки.

Аналогичная картина наблюдается в отношении содержания частиц ядра в рушанке сходовых фракций с сита с отверстиями диаметром 2 мм и 1 мм (рис. 4) — оно выше в 1,7–5,8 раза (при производительности 33 т в сутки по семенам). Такие заметные отклонения обусловлены различной средней удельной работой разрушения семян, связанной с их диаметром (рис. 1), и количественным соотношением мелкой и крупной фракций в выборках рапса, выращенного в разных областях. Чем меньше мелких семян (Калужская область), тем больше свободной плодовой оболочки и частиц ядра в соответствующих сходовых фракциях рушанки. При прочих равных условиях обрушивания в образцах рушанки, полученной из калужских семян, содержание свободной плодовой оболочки превышало таковое в партиях семян из Орловской и Тамбовской областей, что, очевидно, связано с их большей лужистостью.

Следует отметить, что с повышением производительности установки количество сходовой фракции с сита 2 мм шло более быстрыми темпами, чем с сита 1 мм. Можно предположить, что с увеличением производительности ЦБР повышается степень стесненности семян в движущемся потоке и «экранирования» ими поверхности деки в зоне удара. В целом это приводит к снижению скорости движения отдельных семян и сокращению их кинетической энергии, что уменьшает среднюю удельную работу разрушения.

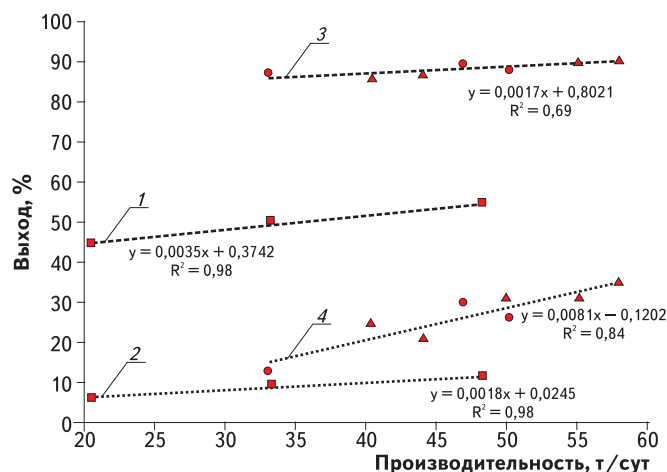
Несколько иначе при разной производительности ЦБР изменяется компонентный состав — соотношение целика и недоруша. Например, с увеличением производительности увеличивается их содержание в сходовых фракциях с сита с отверстиями диаметром 2 мм и 1 мм (рис. 5).



1 и 2 — Калужская область (средняя $n = 2302$ об./мин);

3 и 4 — Орловская и Тамбовская области (средняя $n = 2223$ об./мин)

Рис. 4. Изменение содержания частиц ядра в рушанке сходовых фракций с сит диаметром 2 мм и 1 мм при различной производительности ЦБР



1 и 2 — Калужская область (средняя $n = 2302$ об./мин);

3 и 4 — Орловская и Тамбовская области (средняя $n = 2223$ об./мин)

Рис. 5. Изменение содержания целика и недоруша в рушанке сходовых фракций с сит диаметром 2 мм и 1 мм при различной производительности ЦБР

Как было отмечено ранее, такие изменения можно объяснить уменьшением кинетической энергии семян при движении их в потоке за счет повышения степени стесненности с увеличением производительности ЦБР. Обрушивание маслосемян на ЦБР марки МРЦ-5 позволило установить рациональную производительность — 50 т подсолнечника в сутки при частоте вращения роторного устройства 2060 об./мин, для бобов сои — 1610 об./мин [19].

На основании результатов экспериментальных исследований предложено уравнение для расчета потребляемой мощности (N) электродвигателя ЦБР в зависимости от частоты вращения роторного устройства (n), при различной производительности (G) по семенам рапса (т в сутки):

$$N = 0,0006G + 0,001n - 1,54 \quad (1).$$



Данную зависимость можно использовать для оперативного контроля процесса обрушивания семян рапса в производственных условиях. При правильной фиксации показаний частоты вращения роторного устройства и потребляемой мощности привода можно рассчитать фактическую производительность ЦБР. По уравнениям, представленным на рисунках 3, 4 и 5 для данной производительности, легко рассчитать компонентный состав рушанки семян рапса и принять соответствующее решение по изменению частоты вращения роторного устройства и нагрузке по семенам для ЦБР.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, что для центробежной рушки марки МРЦ-5 рекомендуется поддержи-

вать производительность 25–30 т семян рапса в сутки при частоте вращения роторного вала 2200–2300 об/мин. Это позволяет получить рушанку с высоким содержанием свободной плодовой оболочки при минимальном содержании целяка и недоруша. Для разделения рушанки целесообразно использовать рассев, внутри которого установлены два яруса сит с отверстиями диаметром 2 мм и 1 мм, соединенных соответственно с двумя аэросепараторами для отделения в воздушном потоке частиц плодовой оболочки из сходовых фракций.

Предложенное уравнение для расчета потребляемой мощности привода ЦБР целесообразно применять для оперативного управления процессом обрушивания семян рапса и в энергетическом расчете при проектировании оборудования.

Литература/Literature

1. Ключкин, В. В. Эффективная переработка семян рапса и льна на пищевые растительные масла / В. В. Ключкин // Масложировая промышленность. — 1995. — № 5–6. — С. 1–5.
2. Диденко, А. В. Технологическая линия переработки семян рапса с отделением плодовой оболочки и получения высокопротеинового жмыха / А. В. Диденко, В. В. Деревенко // Наука и Образование. — 2021. — Т. 4, № 2.
3. Патент № 2397027 РФ, МПК C11B 1/10. Пневмосепаратор для отделения аэроносимых частиц / В. В. Деревенко, Г. А. Глушенко // БИПМ. 20.08.2010.
4. Патент на полезную модель 18711 РФ, МПК C11B 1/10. Двухчервячный пресс-экструдер для отжима масла из масличного материала / В. В. Деревенко // БИПМ. 10.07.2001.
5. Деревенко, В. В. Научное обоснование разработки ресурсосберегающих процессов производства растительных масел и создания конкурентоспособной промышленной аппаратуры: специальность 05.18.12 «Процессы и аппараты пищевых производств»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Краснодар, 2006. — 399 с.
6. Линденбек, М. Оптимизация обработки семян рапса / М. Линденбек // Комбикорма. — 2015. — № 9. — С. 47–50.
7. Farmet [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.farmet.cz/ru>.
8. Gunstone, F. D. Rapeseed and Canola Oil: Production, Processing, Properties and Uses / F. D. Gunstone. — Chichester ; Hoboken : Wiley-Blackwell, 2004. — 240 с.
9. Рензьяев, А. О. Исследование процесса обрушивания семян рапса методом удара / А. О. Рензьяев, О. П. Рензьяев, С. Н. Кравченко, Р. В. Крюк // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. — 2019. — № 2–3 (368–369). — С. 72–75.
10. Зверев, С. В. Продукты обрушения семян рапса: разделение и оценка качества / С. В. Зверев, И. Э. Миневич, А. С. Васильев, Е. Н. Чумакова // Аграрная наука. — 2025; 396(7): 164–171.
11. Carré, P. Hull content and chemical composition of whole seeds, hulls and germs in cultivars of rapeseed (Brassica napus) / P. Carré, M. Citeau, G. Robin, M. Estorgues // OCL. — 2016. — Т. 23. — D303. — DOI: 10.1051/ocl/2016013.
12. Евразийский патент № 24445 РФ. Способ переработки семян рапса: / Деревенко В. В. // 2016.09.30 Бюл. № 09.
13. Патент № 2788094 РФ МПК C11B 1/10. Способ и устройство для промышленного производства рапсового масла и концентрата рапсового белка из рапсового семени / В. Ноймюллер // БИМП.16.01.2023. Бюл. No 2.
14. Патент № 2765827 РФ МПК C11B 1/10. Центробежная рушка для масличных семян / В. В. Деревенко, А. В. Диденко // БИМП. 03.02.2022.
15. Деревенко, В. В. Изучение основных физико-механических свойств семян рапса как объекта обрушивания / В. В. Деревенко, А. В. Диденко // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. — 2024. — № 2–3. — С. 82–85.
16. Гурьянов, Г. А. Прикладная модель измельчения шарообразной твердой частицы прямым ударом о недеформируемую плоскую поверхность / Г. А. Гурьянов, Б. М. Абдеев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. — 2020. — № 1. — С. 32–42.
17. Машины для послеуборочной поточной обработки семян. Теория и расчет машин, технология и автоматизация процессов / Под ред. З. Л. Тица. — М.: Машиностроение, 1967. — 448 с.
18. Деревенко, В. В. Основные физико-механические свойства семян дыни, выращенной в Таджикистане / В. В. Деревенко, Г. Х. Мирзоев, А. А. Лобанов, Е. А. Калиенко, С. Е. Назарько // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. — 2013. — № 1. — С. 120–121.
19. Запороженко, С. Д. Совершенствование и моделирование процесса центробежного обрушивания масличных семян: специальность 05.18.12 «Процессы и аппараты пищевых производств»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Краснодар, 2005. — 115 с. ■