

ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕМЯН КОНОПЛИ НА ИХ СКОРОСТЬ ВИТАНИЯ

Резюме. При переработке семян конопли в высокопротеиновый жмых и шрот требуется максимальное удаление свободной плодовой оболочки, что обычно достигается аэросепарированием фракционированной рушанки. Для расчета соответствующего технологического оборудования необходимы достоверные данные об аэродинамических свойствах семян конопли и их компонентов — плодовой оболочки и ядра. С этой целью в лабораторной установке, состоящей из вертикальной цилиндрической трубы, соединенной с вентилятором марки ТУРНООН 125 с помощью термоанемометра марки DT-8880, экспериментально установлены скорости витания: семян конопли — 7,62–9,37 м/с, частиц ядра — 5,15–6,35 м/с, недоруша — 6,75–8,75 м/с, плодовой оболочки — 2,85–4,1 м/с. Рассчитаны коэффициенты парусности: для семян конопли — 0,109–0,205, частиц ядра — 0,153–0,447, недоруша — 0,122–0,227, плодовой оболочки — 0,53–1,26. Результаты представлены вариационными кривыми, подчиняющимися закону нормального распределения на уровне значимости 0,05. Показана возможность выделения воздушным потоком частичек плодовой оболочки из фракционированной рушанки. Полученные данные рекомендуется использовать при проектировании соответствующего оборудования для обработки воздушным потоком семян конопли и их рушанки.

Ключевые слова: семена конопли, плодовая оболочка, скорость витания, коэффициент парусности, вариационные кривые.

THE INFLUENCE OF THE MAIN PHYSICAL PROPERTIES OF HEMP SEEDS ON THEIR HOVERING SPEED

Abstract. During the processing of hemp seeds into high-protein oil cake and meal, it is necessary to remove as much of the loose seed shell as possible, which is typically achieved by air separation of fractionated crushed seeds. To calculate the appropriate process equipment, reliable data on the aerodynamic properties of hemp seeds and their components — the seed coat and kernel — are required. To this end, in a laboratory setup consisting of a vertical cylindrical tube connected to a TYPHOON 125 fan, the following terminal velocity were experimentally determined using a DT-8880 thermal anemometer: hemp seeds — 7.62–9.37 m/s; kernel particles — 5.15–6.35 m/s; unhulled seeds — 6.75–8.75 m/s; and seed shells — 2.85–4.1 m/s. The sail coefficients were calculated as follows: for hemp seeds — 0.109–0.205; for kernels — 0.153–0.447; for unhulled seeds — 0.122–0.227; and for the seed shell — 0.53–1.26. The results are presented as variation curves that follow a normal distribution at a significance level of 0.05. The study demonstrates the possibility of separating seed shells from dehulled hemp mixture using an air stream. The obtained results are recommended for use in the design of appropriate equipment for the air-stream processing of hemp seeds and their dehulled hemp mixture.

Key words: hemp seeds, seed coat, terminal velocity, sail coefficient, variation curves.

УДК 665.334

Научная статья

DOI 10.69539/2413-287X-2026-06-2-272

ВАЛЕНТИН ВИТАЛЬЕВИЧ ДЕРЕВЕНКО¹,

доктор технических наук, профессор

ORCID: 0009-0002-9546-6198

E-mail: ekotp@ekotp.ru

ВЛАДИМИР ВЛАДИСЛАВОВИЧ ОВСЯНИКОВ¹,

аспирант

ORCID: 0009-0003-5187-5712

E-mail: vovasuper0911@mail.ru

МАКСИМ АЛЕКСЕЕВИЧ МАЙМЕСКУЛОВ¹,

магистрант

ORCID: 0009-0005-6438-4108

E-mail: m.a.maymeskulov@mail.ru

¹ФГБОУ ВПО Кубанский государственный технологический университет (КубГТУ)

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

Поступила в редакцию:

19.05.2026

Одобрена после рецензирования:

15.06.2026

Принята в публикацию:

23.06.2026

UDC 665.334

Research article

DOI 10.69539/2413-287X-2026-06-2-272

VALENTIN V. DEREVENKO¹,

Doctor of Technical Sciences, Professor

ORCID: 0009-0002-9546-6198

E-mail: ekotp@ekotp.ru

VLADIMIR V. OVSYANNIKOV¹,

Graduate Student

ORCID: 0009-0003-5187-5712

E-mail: vovasuper0911@mail.ru

MAXIM A. MAYMESKULOV¹,

Master's Student

ORCID: 0009-0005-6438-4108

E-mail: m.a.maymeskulov@mail.ru

¹Kuban State Technological University

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

Received by editor office: 05.19.2026

Approved in revised: 06.15.2026

Accepted for publication: 06.23.2026

ВВЕДЕНИЕ

Конопля относится к сельскохозяйственным лубяным культурам. В истории человечества это одно из первых культивируемых растений, используемых для получения лубяного волокна и пищевого растительного масла [1–4]. В России коноплю выращивали с глубокой древности [5], из ее семян домашними средствами извлекали масло, которое шло исключительно в пищу [2, 5], а жмыхи использовались в кормлении животных. Необходимо отметить, что конопляное масло обладает лечебными свойствами — нормализует уровень липидов в крови и кровяное давление [6–8]. В настоящее время из семян конопли получают в основном масло, а жмыхи и шроты как ценные компоненты вводят в комбикорма [9–12].

Перед тем как извлечь масло и, соответственно, произвести высокопротеиновый жмых и шрот, семена конопли обрушивают, а затем из рушанки отделяют частицы свободной плодовой оболочки, что обычно достигается сепарированием на ситах и в воздушном потоке. При этом важным технологическим этапом является очистка семян от сорной примеси, которая влияет на содержание сырого протеина в жмыхе и шроте. При разработке пневмосепараторов для отделения от семян аэроносимых примесей требуются надежные данные об их аэродинамических свойствах, таких как скорость витания, коэффициенты парусности и аэродинамического сопротивления [13, 14]. Оценить реальность разделения воздушным потоком возможно при сопоставлении скоростей витания, которые зависят от физических свойств частиц объекта исследования — линейных размеров и массы [13, 14].

Изучению аэродинамических свойств семян масличных (подсолнечника, тыква, рапса, льна, конопли) посвящен ряд работ [15–20]. Исследовано влияние толщины, ширины и индивидуальной массы семян подсолнечника сорта Лакомка на их скорость витания и установлено, что она колебалась от 4,5 до 9,8 м/с [15]. Статистическая обработка данных показала высокую корреляционную связь (0,91) скорости витания с индивидуальной массой семян и заметную (0,77) корреляционную связь с их толщиной. Слабая (0,326) корреляционная связь отмечена между скоростью витания семян подсолнечника изученного сорта с их шириной. На основании данных авторы рекомендовали режимы работы сепараторов, предназначенных для извлечения сорных примесей из семян подсолнечника [15].

Известно также исследование влияния линейных размеров современных сортов семян подсолнечника и частиц рушанки на основные аэродинамические свойства: скорость витания ($V_{\text{вит.}}$) зафиксирована в пределах от 6,4 до 8,4 м/с, коэффициент парусности ($K_{\text{п}}$) составил от 0,14 до 0,24 м⁻¹, соответственно [16, 17].

Для расчета $V_{\text{вит.}}$ частиц ядра семян подсолнечника предложено следующее уравнение [17]:

$$V_{\text{вит.}} = -0,145d_{\text{cp}}^2 + 2,09d_{\text{cp}} + 0,561 \quad (1),$$

где d_{cp} — средний размер частиц ядра, выделенных из сходовых фракций после просеивания на ситах с отверстиями диаметром 3,5 мм, 4,5 и 5,5 мм, для которых $V_{\text{вит.}}$ составила от 5,0 до 9,8 м/с.

Эти результаты успешно использовались в разработке аэросепараторов [18, 19], хорошо зарекомендовавших себя на ряде маслодобывающих производств.

В работе [20] представлены результаты изучения аэродинамических свойств семян тыквы штирийская масляная (влажность 5,9%), выращенной в РФ. Установлено, что их скорость витания изменяется от 8,4 до 11,9 м/с. Определены коэффициенты парусности и аэродинамического сопротивления: от 0,07 до 0,14 м⁻¹ и от 0,15 до 0,38, соответственно. Между $V_{\text{вит.}}$ семян тыквы и их линейными размерами и массой показана очень слабая корреляционная связь [20].

Для семян рапса сорта Юбилейный [21], который выращен в Кемеровской области, была экспериментально выявлена $V_{\text{вит.}}$ — от 9,51 до 16,48 м/с. Полученные данные были использованы при разработке многоканального пневмосепаратора для разделения рушанки рапсовых семян [21].

Для семян льна установлено важное аэродинамическое свойство — $V_{\text{вит.}}$ от 2,46 до 3,56 м/с, при влажности от 8,6 до 23,0%, с высокой корреляционной связью между ними [22]. Получено следующее уравнение для расчета:

$$V_{\text{вит.}} = 2,088 + 0,368 W \quad (2),$$

где W — влажность, %.

Подобные исследования проведены при изучении влияния параметров аспирационной колонки марки Paul Polikeit на эффективность разделения рушанки семян конопли [23]. Выявлено заметное влияние угла открытия воздушной заслонки, регулирующей расход воздуха, на состав фракций. К сожалению, авторами не проводились замеры ни скорости воздушного потока, ни его расхода в аспирационной колонке, что не позволяет установить скорости витания разделяемых компонентов рушанки семян конопли.

Таким образом, информационные источники, находящиеся в открытом доступе и посвященные изучению аэродинамических свойств семян конопли, малочисленны.

Цель исследования — изучение аэродинамических свойств семян конопли и их компонентов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования использовались семена конопли сортов Омегадар-1 и Вера РСт, выращенные в Краснодарском крае и Воронежской области. Последовательность экспериментальных исследований была следу-

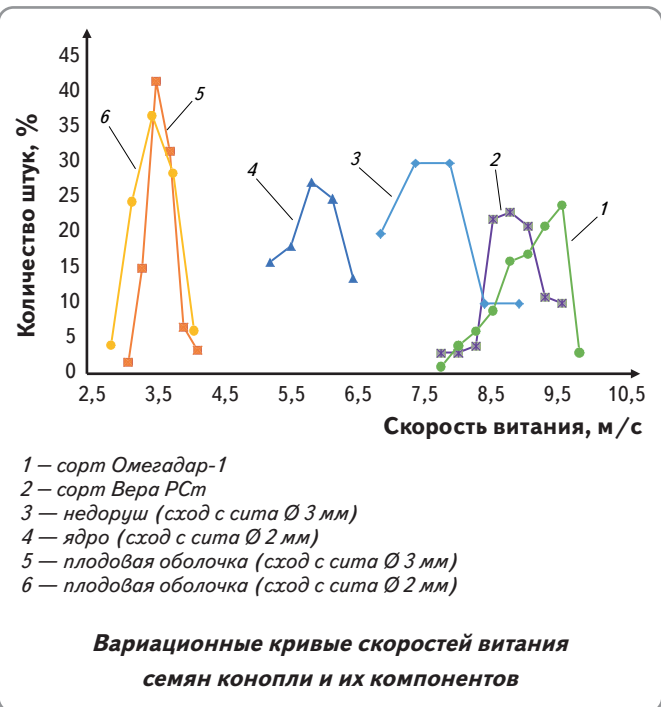
ющей: в соответствии с отраслевыми правилами [24] из выборки отсчитывали подряд 100–105 штук семян, затем их взвешивали на весах марки Adventurer с точностью 0,001 г. Электронным штангенциркулем с точностью до 0,01 мм фиксировали их размеры.

Лабораторная установка для определения скорости витания семян включала вертикальную цилиндрическую трубу из акрилового стекла с внутренним диаметром 50 мм и высотой 1 м, нижняя часть которой смонтирована через воздухопровод с вентилятором марки Turphoon 125. Семянку размещали на пластиковой сеточке в нижней части цилиндрической трубы, после чего включали вентилятор и регулятором изменяли расход воздуха в вертикальной цилиндрической трубе, добиваясь приблизительно взвешенного положения семянки в ее центральной части. Для определения скорости воздуха внутри трубы использовали термоанемометр марки DT-8880 при погрешности измерения не более $\pm 0,16$ м/с. Измерительный щуп термоанемометра располагали в специально высверленном отверстии в стенке трубы на равноудаленном расстоянии от ее внутренней поверхности. Замеры скорости витания проводили в трехкратной повторности.

Семена конопли обрушивали на центробежной рушке марки МРЦ-5 в стендовых условиях. Рушанку рассеивали на лабораторных ситах с отверстиями диаметром 2 и 3 мм. Из сходовых фракций отбирали в случайном порядке объекты исследования — частицы плодовой оболочки, ядра и недоруша.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При расчетах оборудования для сепарирования в воздушном потоке и обосновании оптимальной его скорости необходима достоверная информация об основных аэродинамических характеристиках объекта обработки — скорости витания ($V_{\text{вит.}}$) и коэффициента парусности (K_p).



Литература/Literature

- Серков, В. А. История коноплеводства в России / В. А. Серков, А. А. Смирнов // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. — 2018. — Вып. 3 (175). — С. 132–141.
- Серков, В. А. Конопля посевная — перспективный сырьевой ресурс для масложировой промышленности России / В. А. Серков, И. В. Кабунина // Международный сельскохозяйственный журнал. — 2023. — том 66, № 2 (392). — С. 188–191.
- Лукомец, В. М. Возрождение производства конопли — стратегическая задача. Материалы Международной научно-практической конференции ФГБНУ ФНЦ ЛК, Тверь, 20–21 ноября 2024 г. / В. М. Лукомец, Т. И. Сухорада, Д. М. Халицкий [и др.] — Тверь: Идея, 2024. — С. 15–22.
- Попов, Р. А. Состояние, проблемы и возможности для развития отечественного коноплеводства / Р. А. Попов // Агротехника и энергообеспечение. — 2019. — 4 (25). — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-problemy-i-vozmozhnosti-dlya-razvitiya-otechestvennogo-konoplevodstva> (дата обращения: 13.10.2025).
- Вебер, К. К. Маслобойное производство. Руководство к добытию конопляного, льняного, подсолнечного, сурепного и прочих масел из масличных растений, возделываемых в России / К. К. Вебер // Санкт-Петербург: Издание 2, А. Ф. Девриена. — 1895. — 249 с.
- Farinon, B. The seed of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.): nutritional quality and potential functionality for human health and nutrition / B. Farinon, R. Molinari, L. Costantini, N. Merendino // Nutrients. — 2020. — Vol. 12, Iss. 7. — Art. no. 1935.
- Girgih, A. T. Preventive and treatment effects of a hemp seed (*Cannabis sativa* L.) meal protein hydrolysate against high blood pressure in spontaneously hypertensive rats / A. T. Girgih, A. Alashi, R. He [et al.] // European Journal of Nutrition. — 2014. — Vol. 53. — P. 1237–1246.
- Du, S. Preparation of natural antibacterial regenerated cellulose fiber from seed-type hemp / S. Du, Z. Zhao, B. Li [et al.] // Industrial Crops and Products. — 2024. — Vol. 208, art. no. 117873.
- Spano, M. Commercial Hemp Seed Oils: A Multimethodological Characterization / M. Spano, G. Di Matteo, M. Rapa [et al.] // Applied Sciences. — 2020. — Vol. 10, Iss. 19. — Art. no. 6933.
- Gunstone, F. D. Rapeseed and Canola Oil: Production, Processing, Properties and Uses / F. D. Gunstone. — Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2004. — 240 p.
- Jakab, M. Physicochemical Characteristics of Cold-Pressed Hemp, Flax, Hazelnut, and Pumpkin Seed Oils and Press Cakes / M. Jakab, J. Mardani, J. Tormási [et al.] // European Journal of Lipid Science and Technology. — 2025. — Vol. 127, Iss. 1. — Art. no. e70017.
- Leizer, C. The Composition of Hemp (*Cannabis sativa*) Seed Oil and Its Potential as an Important Source of Nutrition / C. Leizer, D. Ribnický, A. Poulev [et al.] // Journal of Nutraceuticals, Functional & Medical Foods. — 2000. — Vol. 2. — P. 35–53.
- Малис, А. Я. Машины для очистки зерна воздушным потоком / А. Я. Малис, А. П. Демидов. — Москва: Машгиз, 1962. — 175 с.

На рисунке показаны вариационные кривые скоростей витания семян конопли сортов Вера РСт и Омегадар-1, а также недоруша, ядра и плодовой оболочки.

На основании критерия «хи квадрат» [25] проведена оценка степени отличия фактического распределения частот средней скорости витания семян конопли от теоретического. Для доверительного интервала 0,95 установлено значение критерия «хи квадрат», которое оказалось меньше критического значения при числе степеней свободы $K = 3$ ($K = m - s - 1$, где m — число интервалов, s — число оцениваемых параметров распределения, для нормального распределения $s = 2$). Поэтому можно считать, что вариационные кривые скоростей витания семян конопли, недоруша, ядра и плодовой оболочки подчиняются закону нормального распределения для уровня значимости 0,05, рекомендованного для лабораторных исследований [25].

В таблицах 1 и 2 представлены статистически значимые коэффициенты корреляции [26] между скоростью витания и массой, а также геометрическими размерами семян конопли изученных сортов. Как видно, между скоростью витания семян конопли сорта Омегадар-1 и Вера РСт и их массой существует средняя корреляционная связь, равная соответственно 0,627 и 0,680. Между скоростью витания семян конопли сорта Вера РСт и их толщиной отмечена умеренная корреляционная связь, а между шириной и длиной — соответственно слабая и очень слабая корреляционные связи.

Таблица 1. Коэффициенты корреляции для семян конопли сорта Омегадар-1

Параметр	Длина	Ширина	Толщина	Масса	$V_{\text{вит.}}$
Длина	—	0,652	0,566	0,64	0,105
Ширина	0,652	—	0,863	0,761	0,284
Толщина	0,566	0,863	—	0,706	0,352
Масса	0,64	0,761	0,706	—	0,627
$V_{\text{вит.}}$	0,105	0,284	0,352	0,627	—

Таблица 2. Коэффициенты корреляции для семян конопли сорта Вера РСт

Параметр	Длина	Ширина	Толщина	Масса	$V_{\text{вит.}}$
Длина	—	0,776	0,673	0,757	0,210
Ширина	0,776	—	0,874	0,851	0,399
Толщина	0,673	0,874	—	0,837	0,553
Масса	0,757	0,851	0,837	—	0,680
$V_{\text{вит.}}$	0,210	0,399	0,553	0,680	—

Следует отметить, что $V_{\text{вит.}}$ семян конопли сорта Вера РСт варьировалась в диапазоне от 7,6 до 9,4 м/с, сорта Омегадар-1 — от 7,62 до 9,62 м/с. Для компонентов рушанки $V_{\text{вит.}}$ составила: для частиц плодовой оболочки — сход с сита с отверстиями $\varnothing 2$ мм — от 2,85 до 4,05 м/с, $\varnothing 3$ мм — от 3,1 до 4,1 м/с; для частиц ядра — сход с сита с отверстиями $\varnothing 2$ мм — от 5,15 до 6,35 м/с (на сите с отверстиями $\varnothing 3$ мм частицы ядра отсутствовали); для недоруша — сход с

14. Ведышев, В. Ф. Процесс сепарирования зерна от примесей, отличающихся аэродинамическими свойствами. Теоретические основы пищевых технологий / В. Ф. Ведышев. — Кн. 1. — М.: КолоС. — 2009. — С. 366–395.
15. Шафоростов, В. Д. Влияние толщины, ширины и индивидуальной массы семян подсолнечника на скорость витания / В. Д. Шафоростов, И. Е. Припоров // Масличные культуры. — 2010. — Вып. 1. — С. 142–147.
16. Деревенко, В. В. Аэродинамические характеристики семян современных сортов подсолнечника и их плодовой оболочки / В. В. Деревенко, Г. А. Глущенко, Ю. Ю. Ткаченко // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. — 2010. — № 2–3. — С. 116–117.
17. Глущенко, Г. А. Совершенствование и моделирование процесса пневмосепарирования рушанки подсолнечных семян: специальность 05.18.12 «Процессы и аппараты пищевых производств»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Г. А. Глущенко. — Краснодар. — 2012. — 21 с.
18. Патент на полезную модель 78794 РФ, МПК С11В 1/10. Пневмосепаратор / В. В. Деревенко, Г. А. Глущенко // БИПМ. — 10.12.2008.
19. Патент № 2397027 РФ, МПК С11В 1/10. Пневмосепаратор для отделения аэроносимых частиц / В. В. Деревенко, Г. А. Глущенко // БИПМ. — 20.08.2010.
20. Деревенко, В. В. Физико-механические и аэродинамические характеристики семян тыквы / В. В. Деревенко, А. С. Коробченко, И. Н. Аленкина // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». — 2010. — № 1.
21. Рензьяев, А. О. Пневмосепаратор для разделения зерновых материалов / А. О. Рензьяев, О. П. Рензьяев, А. Ф. Сорокопуд // Техника и технология пищевых производств. — 2013. — № 1. — С. 1–5.
22. Eissa, A. Aerodynamic and solid flow properties for flaxseeds for pneumatic separation by using air stream / A. Eissa, A. Hafiz // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. — 2009. — Vol. 2. — No 4. — P. 31–45.
23. Шейченко, В. Определение закономерностей в отделении шелухи семян конопли / В. Шейченко, Д. Петраченко, И. Роговский [и др.] // Восточно-европейский журнал технологий предприятия. — 2024. — № 4 — (1(130)). — С. 54–68.
24. Руководство по методам исследования, техникохимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности. — Том 2. — Под ред. В. П. Ржежина, А. Г. Сергеева — Л.: 1965. — 419 с.
25. Плохинский, Н. А. Биометрия / Н. А. Плохинский. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. — 367 с.
26. Корреляционный анализ. — https://portal.tpu.ru/SHARED/u/USOLCEVA/academic/Tab2/Лекция%203_Корреляционный%20анализ.pdf.
27. Масликов, В. А. Технологическое оборудование производства растительных масел / В. А. Масликов. — Москва. Пищевая промышленность. — 1974. — 440 с.

Таблица 3. Скорости витания (м/с) и коэффициенты парусности семян конопли и их компонентов

Объект исследования	Параметр	Сорт		
		Омегадар-1	Вера РСт	[27]
Семена конопли	$V_{\text{вит.}}$	7,62–9,62	7,62–9,37	7,9–11,1
	K_p	0,106–0,168	0,109–0,205	0,07–0,015
Оболочка — сход с сита с отверстиями \varnothing 3 мм	$V_{\text{вит.}}$	—	3,1–4,1	—
	K_p	—	0,603–1,007	—
Недоруш — сход с сита с отверстиями \varnothing 3 мм	$V_{\text{вит.}}$	—	6,75–8,75	—
	K_p	—	0,122–0,227	—
Оболочка — сход с сита с отверстиями \varnothing 2 мм	$V_{\text{вит.}}$	—	2,85–4,05	—
	K_p	—	0,53–1,26	—
Ядро — сход с сита с отверстиями \varnothing 2 мм	$V_{\text{вит.}}$	—	5,15–6,35	—
	K_p	—	0,153–0,447	—

сита с отверстиями \varnothing 3 мм — от 6,75 до 8,75 м/с. Сравнение вариационных кривых скоростей витания объектов исследования показывает, что разница между максимальной $V_{\text{вит.}}$ частиц плодовой оболочки и минимальной $V_{\text{вит.}}$ частиц ядра достаточно заметная. Поэтому разделение этих фракций возможно при сепарировании вертикальным потоком воздуха с минимальным уносом ядра с аэроносимыми частицами. Из сходовой фракции недоруша — остаток на сите с отверстиями \varnothing 3 мм — можно выделить в вертикальном воздушном потоке частицы плодовой оболочки, скорость витания которых составляет от 3,1 до 4,1 м/с.

В таблице 3 представлены экспериментальные данные о скорости витания $V_{\text{вит.}}$ объектов исследования и известные значения [27], а также рассчитанные коэффициенты парусности K_p (м^{-1}) для семян конопли, частиц недоруша, плодовой оболочки и ядра, которые получили из сходовых фракций рушанки.

ВЫВОДЫ

Исследовано влияние линейных размеров и массы семян конопли на их скорость витания, которая составила 7,62–9,37 м/с. Построенные на основании экспериментальных данных вариационные кривые скоростей витания объектов исследования подчиняются закону нормального распределения на уровне значимости 0,05. Установлены средняя и слабая корреляционные связи между скоростью витания и соответственно массой семян и их шириной. Выявлена возможность разделения плодовой оболочки из фракций рушанки семян конопли в вертикальном воздушном потоке за счет их различных скоростей витания.

Полученные данные по основным аэродинамическим свойствам объектов исследования рекомендуется использовать при разработке оборудования для сепарирования воздушным потоком, а также при очистке их от сорных примесей. ■