

**Сергей Васильевич Зверев**

Всероссийский НИИ зерна и продуктов его переработки – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, главный научный сотрудник, доктор технических наук, профессор, Россия, Москва

E-mail: vniizdocum@rambler.ru

**Валерий Александрович Зубцов**

Федеральный научный центр лубяных культур, главный научный сотрудник, доктор медицинских наук, Россия, Тверь

E-mail: zubcov\_2015@mail.ru

**Юрий Федорович Росляков**

Кубанский государственный технологический университет, профессор кафедры техники и технологии хлебопродуктов, доктор технических наук, профессор, Россия, Краснодар

E-mail: lizaveta\_ros@mail.ru

**Дмитрий Павлович Ефремов**

ООО «АгроЛён», директор, Алтайский край, Первомайский р-н, с. Журавлиха

E-mail: smkaltai@mail.ru

**Марина Анатольевна Янова**

Красноярский государственный аграрный университет, доцент кафедры товароведения и управления качеством продукции АПК, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Россия, Красноярск

E-mail: yanova.m@mail.ru

**ФИЗИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕМЯН КОНОПЛИ**

*Цель исследования – изучение физико-технологических показателей семян конопли. Дано общее описание анатомического строения семян конопли. Обобщены данные по ряду физико-технологических показателей семян: размерам, насыпной плотности, натуре, массе 1000 зерен, коэффициентам внешнего и внутреннего трения, углу естественного откоса, скорости витания, скважистости. Рассмотрено влияние влажности на эти характеристики и даны соответствующие математические зависимости. Рассмотрена изотерма сорбции при температуре 20 °С в сравнении аналогичной зависимостью для семян льна и зерна пшеницы. В качестве модели для равновесного влагосодержания семян конопли предложена модель Освина. Установлено, что коэффициент теплопроводности семенной массы конопли колеблется в среднем от 0,14 до 0,22 Вт/(м · К). С повышением влажности коэффициент теплопроводности семян повышается. Коэффициент температуропроводности семенной массы примерно в 100 раз меньше коэффициента температуропроводности воздуха. Равновесное влагосодержание у семян конопли ниже, чем у семян льна и пшеницы, что позволяет при более низких температурах достигать и более низкой влажности, сохраняя при этом ценные нутриенты ядра. Адсорбционный потенциал семян конопли существенно меньше, чем у зерна пшеницы, и, следовательно, энергозатраты при их обезвоживании, например сушке, будут меньше. Представленные данные о строении и физико-технологических характеристиках семян технической конопли представляют интерес при организации их хранения и разработке технологических схем переработки, в частности при их обрушении с получением белковой фракции. Коэффициенты трения и углы естественного откоса используются при расчете бункеров и формировании буртов в складских помещениях. Скорость витания служит ориентиром верхнего предела скорости воздуха при пневмосепарировании рушанки, а геометрические размеры – при ситовом отсеиве.*

**Ключевые слова:** семена конопли, физико-технологические свойства, влагосодержание, изотерма сорбции.

**Sergey V. Zverev**

All-Russia Research Institute of Grain and Products of its Processing – Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems for RAS., chief staff scientist, doctor of technical sciences, professor, Russia, Moscow

E-mail: vniizdocum@rambler.ru

**Valery A. Zubtsov**

Federal Scientific Center of Bast Cultures, chief staff scientist, doctor of medical sciences, Russia, Tver

E-mail: zubcov\_2015@mail.ru

**Yury F. Roslyakov**

Kuban State Technological University, professor of the chair of the equipment and technology of bakeries, doctor of technical sciences, professor, Russia, Krasnodar

E-mail: lizaveta\_ros@mail.ru

**Dmitry P. Efremov**

JSC “Agrolyon”, director, Altai Region, Pervomaisky district, V. Zhuravlikha

E-mail: smkaltai@mail.ru

**Marina A. Yanova**

Krasnoyarsk State Agrarian University, associate professor of the chair of merchandizing and product quality control of agrarian and industrial complex, candidate of agricultural sciences, associate professor, Russia, Krasnoyarsk

E-mail: yanova.m@mail.ru

## PHYSICAL AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF HEMP SEEDS

*The research objective was studying physical and technological indicators of hemp seeds. General description of anatomic structure of hemp seeds was given. The data on the number of physical and technological indicators of seeds were summarized: the size, the bulk density, the nature, the mass of 1000 grains, the coefficients of external and internal friction, the angle of natural slope, the speed of soaring, borehole capacity. The influence of humidity on these characteristics was considered and corresponding mathematical dependences were given. The sorption isotherm at the temperature of 20 °C was considered in comparison with the similar dependence for flax seeds and wheat grain. The Oswin model was proposed as the model for the equilibrium moisture content of hemp seeds. It was found that the coefficient of thermal conductivity of hemp seed mass varied on average from 0.14 to 0.22 W/(m · K). With increasing humidity, the coefficient of thermal conductivity of seeds increased. The coefficient of thermal conductivity of the seed mass was about 100 times less than the coefficient of thermal conductivity of the air. The equilibrium moisture content of hemp seeds was lower than that of flax and wheat seeds, which made it possible to achieve lower humidity at lower temperatures, while preserving valuable core nutrients. The adsorption potential of hemp seeds was significantly less than that of wheat grain, and, consequently, the energy consumption during their dehydration, such as drying, would be less. The presented data on the structure and physical and technological characteristics of seeds of technical hemp are of interest at the organization of their storage and development of technological schemes of processing, in particular at their collapse with receiving proteinaceous fraction. The coefficients of friction and corners of natural slope were used at calculation of bunkers and the burt formation in the warehouse. The speed of soaring served as the reference point of the top limit of the speed of the air at pneumoseparation of the mixture of whole kernels, shells, chaff (kernel particles), whole and incompletely hulled seeds and geometrical sizes – at sieve sowing.*

**Keywords:** *hemp seeds, physical and technological properties, moisture content, sorption isotherm.*

**Введение.** В предыдущие годы вопросы, связанные с переработкой конопляного семени, мало изучались и редко рассматривались в отечественной литературе. В настоящее время появился интерес к технической конопле как источнику сырья для текстильной и пищевой промышленности. Семена конопли содержат до 48 % ценного масла и до 31 % белка. Разработка технологий эффективного извлечения этих ценных компонентов требует знания физико-технологических свойств семян. В доступной

литературе мы не обнаружили данных о физико-технических свойствах семени конопли.

**Цель исследования:** изучение физико-технологических показателей семян копли.

**Объекты и методы исследования.** Объектом исследования являлись семена конопли как сырье для перерабатывающей промышленности.

Общий вид семян конопли представлен на рисунке 1.



Рис.1. Фотография семян конопли [1].

Плод конопли – шаровидный орешек, не содержит эндосперма и состоит из твердой плодовой и мягкой семенной оболочек, внутри кото-

рых находится зародыш, имеющий две семядоли, корешок и почечку. Строение семени конопли представлено на рисунке 2.

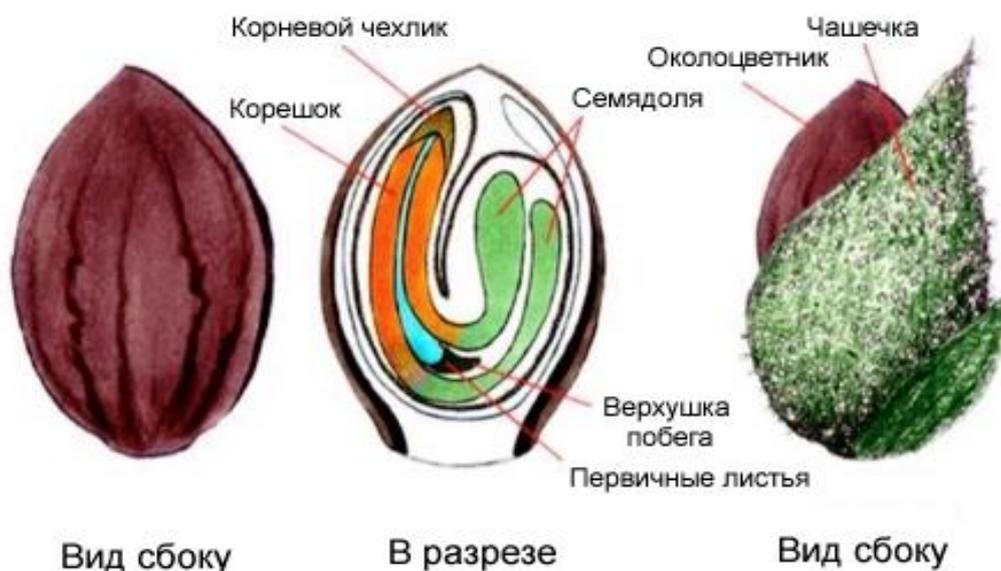


Рис.2. Общий вид конопли [2]

Плод имеет различную окраску: серую, коричневую, пятнистую. Семенная оболочка темно-серого цвета, ядро – белое. Недозрелые плоды окрашены в зеленый цвет. Длина семян 4–5 мм, диаметр – 2–5 мм. Масса 1000 семян –

9–25 г. На долю оболочки приходится до 35 % массы плода.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Некоторые усредненные характеристики семян конопли даны в таблице 1.

## Некоторые ориентировочные физические и физико-технологические характеристики семян конопли [3, 4]

Показатель		Значение
Размер частиц, мм	Длина	3,0–5,5
	Ширина	2,7–4,8
	Толщина	2,0–3,8
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>		580–750
Плотность, кг/м <sup>3</sup>		870–1100
Натура, г/л		550
Масса 1000 зерен, г		17–22
Коэффициент трения	о сталь	0,25–0,45
	о дерево	0,31–0,48
Коэффициент внутреннего трения, град.		0,58–0,78
Угол естественного откоса, град.		33–38
Средняя скорость витания, м/с		5,0–11,0
Скважистость, %		31–40
Обеспеченность зерновой массой воздухом, м <sup>3</sup> /кг		0,58–0,61

При использовании значений показателей таблицы 1 следует учитывать, что приведенные значения физических характеристик являются ориентировочными и при влиянии различных факторов могут существенно меняться.

Требования к семенам конопли при поставке регулируются соответствующим ГОСТом [5].

В таблице 2 приведены данные о ряде физико-технологических свойств семян конопли и их зависимость от влагосодержания [6].

Таблица 2

## Физико-технологические свойства семян конопли

Показатель	Диапазон варьирования		Зависимость	Квадрат коэффициента корреляции R <sup>2</sup>	
	минимум	максимум			
1	2	3	4	5	
Линейные размеры, мм	Длина	4,60	4,95	$Y = -0,0007U^2 + 0,0397U + 4,410$	1,00
	Ширина	3,56	3,93	$Y = -0,001U^2 + 0,049U + 3,327$	1,00
	Толщина	2,93	3,23	$Y = -0,0006U^2 + 0,0334U + 2,78$	0,997
	Среднее арифметическое	3,70	4,04	$Y = -0,0008U^2 + 0,0407U + 3,506$	0,999
	Среднее геометрическое	3,63	3,98	$Y = -0,0008U^2 + 0,0409U + 3,442$	0,999
Масса 1000 зерен, г	19,26	23,96	$Y = 0,2202U^2 + 17,925$	0,995	
Сферичность, %	79,10	80,37	$Y = -0,0001U^2 + 0,002U + 0,7821$	0,995	
Площадь поверхности, мм <sup>2</sup>	41,64	49,81	$Y = -0,0181U^2 + 0,962U + 37,012$	0,999	

Окончание табл. 2.

1		2	3	4	5
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>		563,67	556,23	$Y = -0,004 \ln(U) + 0,57$	0,875
Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>		1034,63	90,2,35	$Y = -0,074 \ln(U) + 1,1531$	0,934
Порозность, %		45,51	38,35	$Y = -3,993 \ln(U) + 51,996$	0,938
Угол естественного откоса, град.	покоя	34,30	37,53	$Y = 1,8517 \ln(U) + 31,176$	0,967
	движения	21,75	23,61	$Y = -0,0011 U^2 + 0,1197 U + 21,182$	0,994
Коэффициент трения	по оцинкованному железу	0,286	0,438	$Y = -0,0004 U^2 + 0,0189 U + 0,1951$	0,999
	по фанере	0,267	0,410	$Y = 0,0064 U + 0,2331$	0,991
	по стеклу	0,347	0,459	$Y = 0,0054 U + 0,3164$	0,985
Усилие разрушение, Н		-	-	$Y = 0,0628 U^2 - 2,7838 U + 50,244$	0,991
Энергия разрушение, мДж		-	-	$Y = -0,2238 U + 11,504$	1,000

Примечание:  $U$  – влагосодержание (влажность на абсолютно сухое вещество).

Теплоемкость семян зависит от химического состава и соотношения их анатомических частей. Средняя теплоемкость составляет, кДж/(кг · К): абсолютно сухих азотистых веществ и углеводов – 1,41, жиров – 2,05, клетчатки – 1,33. В связи с более высокой теплоемкостью воды (4,19 кДж/(кг · К)), чем выше влажность семян, тем больше их теплоемкость. При повышении температуры на 1 °С теплоемкость семян увеличивается на 0,0017 кДж/(кг · К).

Теплопроводность отдельного семени обычно принимают близкой по величине к теплопроводности дерева [0,419 Вт/(м · К)]. Коэффициент тепло-

проводности семенной массы колеблется в среднем от 0,14 до 0,22 Вт/(м · К). С повышением влажности коэффициент теплопроводности семян повышается. Коэффициент температуропроводности семенной массы примерно в 100 раз меньше коэффициента температуропроводности воздуха [7].

Равновесное влагосодержание. Изотерма равновесного влагосодержания конопли близка к аналогичной для льна, но существенно отличается от изотермы пшеницы, как это видно из рисунка 3 [8].

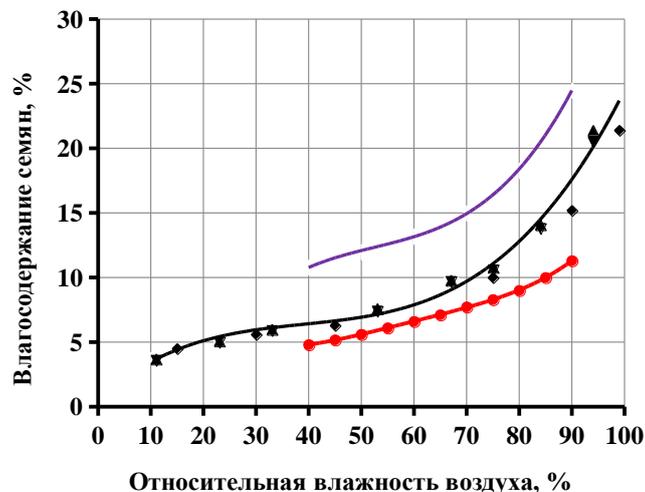


Рис. 3. Зависимость влагосодержания семян от относительной влажности воздуха при температуре 20 °С: 1 – конопля; 2 – лен; 3 – пшеница

Как видно из рисунка 3, равновесное влагосодержание семян конопли при комнатной температуре существенно ниже, чем у пшеницы. С ростом масличности величина равновесной влажности понижается. Оболочки семян по сравнению с ядром отличаются повышенной гигроскопичностью.

В качестве модели для равновесного влагосодержания семян конопли можно предложить, например, модель Освина в виде

$$U(x) = U_x X / [100(1 - X/100)K], \quad (1)$$

где  $x$  – относительная влажность воздуха, % [9].

В результате идентификации коэффициентов модели получено  $U_x = 10,9$ ;  $K = 0,032$  при значении квадрата коэффициента парной корреляции  $R^2 = 0,985$ . Экспериментальные данные и результаты расчета равновесного влагосодержания по формуле (1) приведены на рисунке 4.

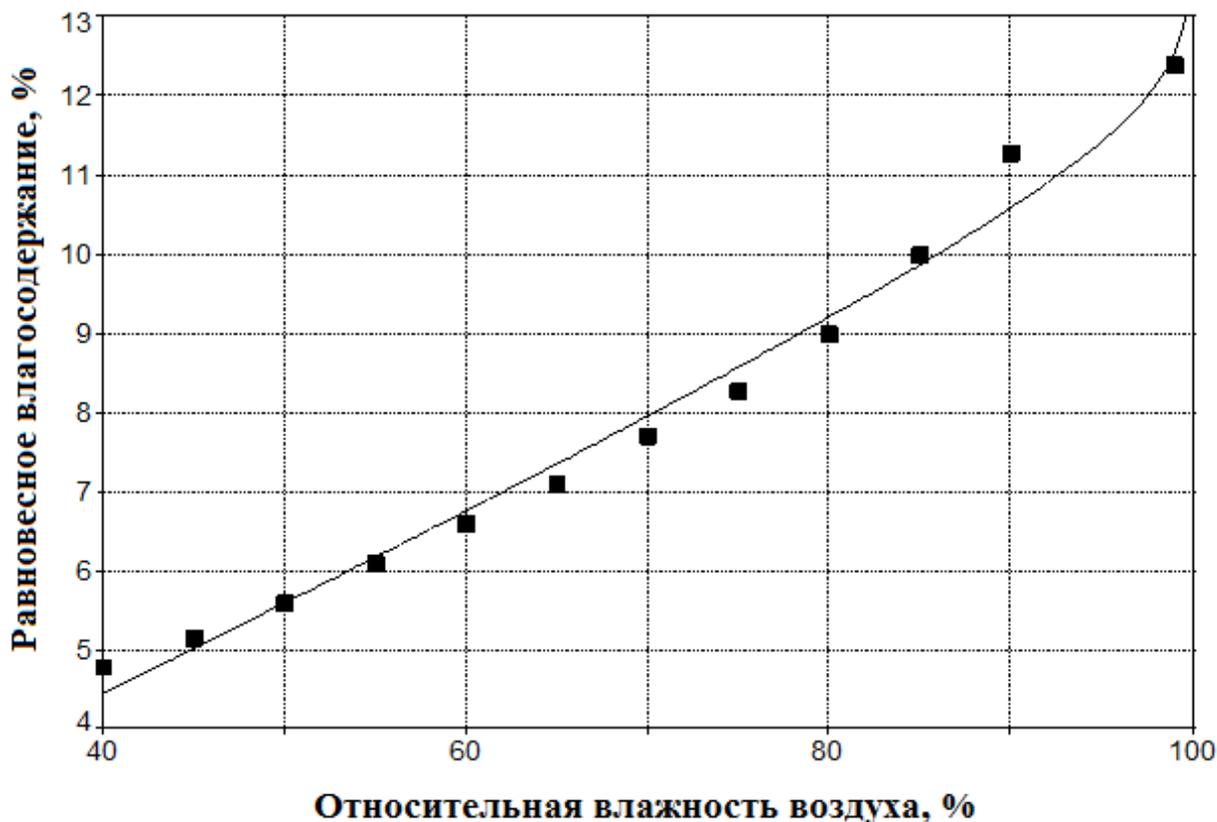


Рис. 4. Экспериментальная и расчетная зависимости равновесного влагосодержания семян конопли от относительной влажности воздуха при температуре 20 °С

Энергия связи влаги в продукте характеризуется адсорбционным потенциалом

$$\varepsilon = -RT \ln(x),$$

где  $\varepsilon$  – адсорбционный потенциал, Дж/моль;  $\varphi$  – относительной влажности воздуха над поверхно-

стью сорбента;  $R = 8,314$  универсальная газовая постоянная, Дж/(моль К);  $T$  – абсолютная температура, К.

На рисунке 5 представлены зависимости адсорбционного потенциала от влажности для зерна пшеницы и семян конопли

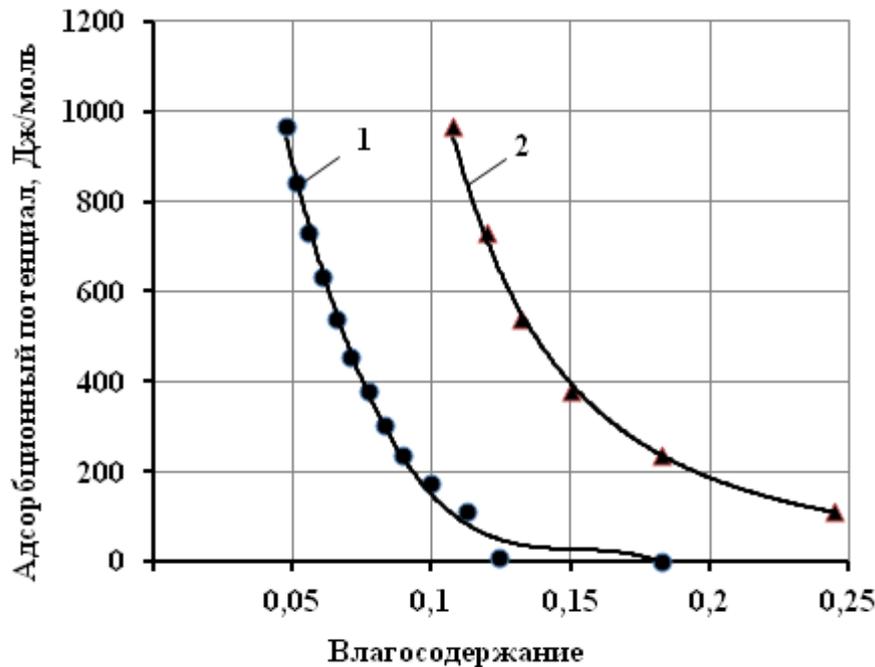


Рис.5. Зависимость адсорбционного потенциала семян конопли (при температуре 20 °С) от влагосодержания: 1 – семена конопли; 2 – зерно пшеницы

**Выводы.** Представленные данные о строении и физико-технологических характеристиках семян технической конопли представляют интерес при организации их хранения и разработке технологических схем переработки, в частности при их обрушении с получением белковой фракции. Коэффициенты трения и углы естественного откоса используются при расчете бункеров и формировании буртов в складских помещениях. Скорость витания служит ориентиром верхнего предела скорости воздуха при пневмо-сепарировании ружанки, а геометрические размеры – при ситовом отсеиве.

Равновесное влагосодержание у семян конопли ниже, чем у семян льна и пшеницы, что позволяет при более низких температурах достигать и более низкой влажности, сохраняя при этом ценные нутриенты ядра. Адсорбционный потенциал семян конопли существенно меньше, чем у зерна пшеницы, и, следовательно, энергозатраты при их обезвоживании, например сушке, будут меньше.

### Литература

1. Как прорастить семена конопли. URL: <http://level-seeds.com.ua/blogs/blog/kak-prorastit-konoplyu>.

2. Семена конопли в оболочке Vegetus. URL: <http://vegetus.by/katalog-tovarov/cat/biezglutienovaya-produkciya/product/semena-konoplipishchevoy-obraz-gizni>.
3. Кршеминский В.С., Попов Н.Я. Сушка семян трав. М.: Колос, 1984. 103 с.
4. Степанова И.В. Исследование факторов, влияющих на сохранность семян конопли: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.03. М., 1974. 24 с.
5. ГОСТ 9158-76. Семена конопли. Промышленное сырье. Технические условия (с Изменением № 1). М., 1976.
6. Taheri-Garavand A., Nassiri A., Gharibzahedi S.M.T. Physical and mechanical properties of hemp seed. / Int. Agrophys. 2012. № 26. С. 211–215. DOI: 10.2478/v10247-012-0031-9.
7. Хранение и первичная переработка масличных семян. URL: <http://chemanalytica.com/book/novyy-spravochnik-khimika-i-tehnologa/06-syre-i-produkty-promyshlennosti-organicheskikh-i-neorganicheskikh-veshchestv-chast-II/5317> (дата обращения: 12.02.2019).
8. Равновесное влагосодержание семян льна / С.В. Зверев [и др.] // Изв. высших учебных заведений. Пищевая технология. 2019. № 4 (308), С. 75–78.

9. ASAE, Moisture Relationships of Plant-based Agricultural Products ASAE D245.5 Oct95/ASAE Standards 1998. American Society of Agricultural Engineers. 1998.
6. Taheri-Garavand A., Nassiri A., Gharibzahedi S.M.T. Physical and mechanical properties of hemp seed./ *Int. Agrophys.* 2012. № 26. S. 211–215. DOI: 10.2478/v10247-012-0031-9.

### Literature

1. Kak prorasit' semena konopli. URL: <http://level-seeds.com.ua/blogs/blog/kak-prorasit-konoplyu>.
2. Semena konopli v obolochke Vegetus. URL: <http://vegetus.by/katalog-tovarov/cat/biezglutienovaya-produkciya/product/semena-konopli-pishchevoy-obraz-gizni>.
3. Krsheminskij V.S., Popov N.Ya. Sushka semyan trav. M.: Kolos, 1984. 103 s.
4. Stepanova I.V. Issledovanie faktorov, vliyayushchih na sohrannost' semyan konopli: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.18.03. M., 1974. 24 s.
5. GOST 9158-76. Semena konopli. Promyshlennoe syr'e. Tekhnicheskie usloviya (s izmeneniyem № 1). M., 1976.
7. Hranenie i pervichnaya pererabotka maslichnyh semyan. URL: [http://chemanalytica.com/book/novyy\\_spravochnik\\_khimika\\_i\\_tekhnologa/06\\_syre\\_i\\_produkty\\_promyshlennosti\\_organicheskikh\\_i\\_ne\\_organicheskikh\\_veshchestv\\_chast\\_II/5317](http://chemanalytica.com/book/novyy_spravochnik_khimika_i_tekhnologa/06_syre_i_produkty_promyshlennosti_organicheskikh_i_ne_organicheskikh_veshchestv_chast_II/5317) (data obrashcheniya: 12.02.2019).
8. Ravnovesnoe vlagosoderzhanie semyan l'na / S.V. Zverev [i dr.] // *Izv. vysshih uchebnyh zavedenij. Pishchevaya tekhnologiya.* 2019. № 4 (308), S. 75–78.
9. ASAE, Moisture Relationships of Plant-based Agricultural Products ASAE D245.5 Oct95/ASAE Standards 1998. American Society of Agricultural Engineers. 1998.

