

Научная статья

УДК 631.52:633.854.78

DOI: 10.25230/2412-608X-2022-1-189-16-22

Моделирование объемных параметров семянков подсолнечника

¹Валерий Юрьевич Ревенко

²Сергей Сергеевич Фролов

²Иван Александрович Рахуба

³Яков Николаевич Демурин

¹ФГБНУ «Росинформагротех», Новокубанский филиал (КубНИИТиМ)
Россия, 352243, Краснодарский край, г. Новокубанск, ул. Красная, 15
skskniish@rambler.ru

²Армавирская опытная станция – филиал ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК
Россия, 352925, Краснодарский край, г. Армавир, пос. Центральной усадьбы опытной станции ВНИИМК
stanciya-vniimk@yandex.ru

³ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК
Россия, 350038, г. Краснодар ул. им. Филатова, д. 17
yakdemurin@yandex.ru

Ключевые слова: сорт, гибрид, размер семянков, форма семянков, объём семянков

Для цитирования: Ревенко В.Ю., Фролов С.С., Рахуба И.А., Демурин Я.Н. Моделирование объемных параметров семянков подсолнечника // Масличные культуры. 2022. Вып. 1 (189). С. 16–22.

Аннотация. С целью изучения исходного селекционного материала для создания гибридных комбинаций крупноплодного подсолнечника кондитерского направления были изучены размерные параметры семянков различных сортов и гибридов подсолнечника селекции ВНИИМК. В результате предложена математическая модель, позволяющая с относительно высокой точностью определять объемы семянков по известным габаритам: длине, ширине и толщине. В основе моделирования лежит допущение о представлении семянки в виде суммы двух геометрических тел: полуэллипсоида и конуса. Оценка адекватности модели по критерию эффективности моделирования Неша-Сатклиффа ($NSE = 0,959$) выявила её достаточную

для практического использования степень достоверности и возможность широкого применения для вычисления объемных параметров семянков подсолнечника самых разнообразных форм и размеров.

UDC 631.52:633.854.78

Modeling of volumetric parameters of sunflower seeds.

V.Yu. Revenko¹, PhD in engineering

S.S. Frolov², PhD in agriculture

I.A. Rakhuba², junior researcher

Ya.N. Demurin², doctor of biology, professor

¹Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Studies on Engineering and Technical Provision of Agro-Industrial Complex" (Rosginformagrotekh FSBSI)
15 Krasnaya str., Novokubansk, Krasnodar region, 352243, Russia
skskniish@rambler.ru

²Armavirskaya experimental station of VNIIMK
Central farmstead of VNIIMK experimental station, Armavir, Krasnodar region, 352925, Russia
stanciya-vniimk@yandex.ru

³V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops
17 Filatova str., Krasnodar, 350038 Russia
yakdemurin@yandex.ru

Keywords: variety, hybrid, seed size, seed shape, seed volume

Abstract. Seed size parameters of sunflower of different varieties and hybrids bred at V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops were studied to research the initial breeding material for the development of hybrid combinations of large-seeded confectionery sunflower. As a result, a mathematical model was proposed that allows a relatively high accuracy in determining the volume of seeds according to the known dimensions: length, width and thickness. The simulation is based on the assumption of a seed representation as a sum of two geometric bodies: a semi-ellipsoid and a cone. Evaluation of the model adequacy according to the Nesh-Sutcliffe criterion of modeling efficiency ($NSE = 0.959$) revealed its sufficient degree of reliability for practical use and the possibility of its wide application for calculation of volumetric parameters of sunflower seeds of different shapes and sizes.

Введение. Рост потребительского спроса на кондитерский подсолнечник вызвал соответствующее увеличение производства данной продукции для пи-

тания населения. В свою очередь данный фактор обусловил дальнейшее расширение селекционных программ по постепенной замене сортов-популяций на межлинейные гибриды с более высокой потенциальной продуктивностью, самофертильностью, устойчивых к основным патогенам, с улучшенным жирно-кислотным составом масла [1]. По мнению зарубежных исследователей, генетический потенциал урожайности кондитерских гибридов должен обеспечивать продуктивность не менее 5 т/га при содержании белка не менее 25 % [2]. Оптимальная высота растений должна составлять 160–180 см, масличность – не более 35 %, масса 1000 семян – не менее 110 г. Последний показатель является одним из основных отличительных признаков кондитерского подсолнечника. Кроме того, ядро семечки должно быть крупным, масса 1000 штук не менее 80 г, не так плотно прилегать к лузге, как у сортообразцов подсолнечника масличного направления. Содержание жира находится, как правило, на уровне 30 %, а лузжистость составляет 40 % и более [3].

Зачастую на рынке предъявляются различные требования по размеру семечек, цвету лузги и другим признакам. Большинство потребителей предпочитают удлиненные (не менее 2 см) по форме семечки с содержанием белка не менее 25 %, с массой 1000 семечек более 100 г, массой 1000 ядер семечек не менее 80 г, объемной массой 900 г/л, масличностью не более 40 %. Учитывается также однородность размера семечек, ядра, формы и цвета, легкость обрушивания и соотношение массы ядра к массе семечки как минимум 50 % [4].

Традиционно определяющим признаком крупноплодности является масса 1000 семечек. Но каков ее нижний лимит – 70 [5] или 200 г [6], является предметом для широких дискуссий.

Существуют альтернативы традиционной классификации крупности подсолнечника по массе 1000 семечек. Так, в

работе А.И. Мамонова [7] для дифференцирования генотипов по размеру семечек предлагается использовать показатель количества семечек в 1 литре, равный отношению объемной массы (кг/л) к массе 1000 семечек (г). При этом предлагаемая авторами градация без проведения дополнительных измерений позволяет классифицировать по данному признаку сорта подсолнечника: 3,0–5,5 тыс. семечек в 1 л – крупноплодные, 5,6–7,0 тыс. – средние по крупности, 7,1 тыс. семечек и более – мелкоплодные.

Данная классификация является весьма условной, так как на её показатели будут влиять: истинный и общий объем 1000 семечек, плотность их укладки, показатели скважистости и другие параметры. Тем не менее дифференциация генотипов по размеру является более объективным показателем в сравнении с массовыми характеристиками, т.к. существуют образцы подсолнечника, обладающие высокой массой 1000 семечек, но по другим признакам никак не относящиеся к кондитерским сортам и гибридам.

Цель исследования – разработка уточненной методики определения объема семечек подсолнечника для последующего селекционно-генетического изучения исходного селекционного материала, используемого при создании крупноплодных гибридов подсолнечника.

Материалы и методы. Исследовали партии семечек различных размеров и форм, начиная с мелких – типа линии ВА-337, и заканчивая крупноплодными сортами Крупняк и Калибр.

Каждая партия семян определенного генотипа состояла из 100 образцов. Размерные параметры (длину, ширину и толщину семечек) определяли с помощью цифрового штангенциркуля с жидкокристаллическим дисплеем. Параллельно, с целью уточнения полученных результатов, цифровые снимки партий семечек обрабатывали с помощью системы автоматизированного проектирования. При этом растровое изображение семечек при

помощи специализированного программного обеспечения преобразовывалось в векторный формат. Затем с использованием САД-программ определяли размеры семян подсолнечника. Полученный результат умножали на масштабный коэффициент, вычисляемый по размерам изображения эталонной фигуры (квадрата) с известной длиной стороны.

Объем каждой семечки определяли с помощью набора высокоточных мерных цилиндров с ценой деления от 0,02 до 0,05 мл. Для повышения точности определения уровня в качестве рабочей жидкости использовали этиловый спирт, подкрашенный метилоранжем, имеющий сниженный коэффициент поверхностного натяжения. Цилиндры были оснащены поршнями, позволяющими выставлять уровень жидкости на условную «нулевую отметку» перед началом измерений.

Существует большое множество математических моделей для вычисления объема семян различных сельскохозяйственных культур по известным размерным характеристикам: длине, ширине и толщине. Причем многие из них с приемлемой степенью точности позволяют получить искомый результат, не прибегая к сложным и громоздким расчетам. К примеру, для хлопчатника и кукурузы лаконичные расчетные формулы приведены в работах Ozarslan [8] и Coskun et al. [9]. Для подсолнечника большинство зарубежных исследователей предлагают использовать следующую зависимость [10]:

$$V = \frac{\pi}{6} D_e^3, \quad (1)$$

где D_e – эквивалентный диаметр, который находится по формуле:

$$D_e = (abc)^{1/3}, \quad (2)$$

где a – длина семени, мм,
 b – ширина семени, мм,
 c – толщина семени, мм.

В некоторых работах предлагается экстраполировать зависимость, первоначаль-

но разработанную для семян укропа, для определения объема семян подсолнечника [11]:

$$V = \frac{\pi a^2 bc}{6(2a - (bc)^{1/2})}, \quad (3)$$

где a, b, c – те же параметры, что и в формуле 2.

Результаты и обсуждение. Предварительные расчеты по вышеприведенным формулам показали неудовлетворительную сходимость расчетных и измеренных показателей оценки крупности семян. Поэтому нами была предпринята попытка вывода теоретической модели, основанной на вычислении объемов различных трёхмерных геометрических фигур.

Первоначально было предложено представлять семечки некоторых сортов и гибридов подсолнечника в виде эллипсоида (рис. 1). Но для плоских или уплощенных семян с заостренной формой носовой части данное допущение было неприемлемым, так как в этом случае расчетные показатели объемов являются несколько завышенными.



Рисунок 1 – Замена семечки подсолнечника эквивалентным эллипсоидом

При дальнейшем подборе наиболее близких по форме геометрических тел к конфигурации семян подсолнечника было выявлено, что удовлетворительные результаты могут быть получены в случае представления семечки в виде слияния

двух геометрических тел: половины эллипсоида и эллиптического конуса (рис. 2). Причем размеры их осей a , b и c должны соответствовать длине, ширине и толщине оцениваемых семян.

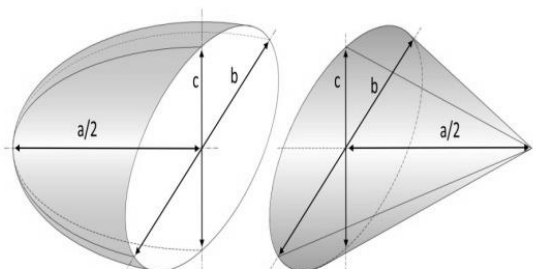


Рисунок 2 – Условное представление семянки в виде трехмерных геометрических фигур

Напомним, что эллипсоид – это поверхность в трёхмерном пространстве, полученная деформацией сферы вдоль трёх взаимно перпендикулярных осей, а эллиптический конус – поверхность в трёхмерном пространстве, полученная деформацией конуса вдоль двух взаимно перпендикулярных осей, лежащих в его основании.

Объём первой фигуры равен половине объёма эллипсоида с осями a , b и c :

$$V_1 = \frac{1}{2}V_e = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{6} abc = \frac{\pi}{12} abc \quad (4)$$

где a , b , c – те же параметры, что и в формуле 2.

Объём второй фигуры соответствует объёму эллиптического конуса с высотой, равной половине большой оси эллипсоида a и основанием в виде эллипса с осями b и c :

$$V_2 = \frac{1}{3}S \frac{a}{2} = \frac{1}{3} \frac{\pi}{4} cb \frac{a}{2} = \frac{\pi}{24} abc \quad (5)$$

Суммарный объём эквивалентной геометрической фигуры составит:

$$V_{\Sigma} = V_1 + V_2 = \frac{\pi}{8} abc \quad (6)$$

Полученная формула отличается простотой и лаконичностью. С целью оценки применимости данной модели для семян подсолнечника различных генотипов был проведен цикл лабораторных исследований, включающий определение реальных показателей размеров и объемов выборочных партий семян подсолнечника селекции Армавирской опытной станции. Результаты измеренных и расчетных по формулам (1), (3), (6) показателей сведены в таблицу.

Таблица

Усредненные показатели размеров семянок и объёмы исследуемых генотипов подсолнечника

Генотип	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм	Объем фактический, мм ³	Объем по (1), мм ³	Объем по (3), мм ³	Объем по (6), мм ³
ВА-337	9,36	4,12	2,76	41,9	55,8	34,0	42,0
ВА.760А	10,63	5,47	3,80	92,2	115,8	73,7	87,0
ВА-8308А	12,72	6,60	4,75	143,7	208,9	133,9	157,3
Калибр	15,59	8,07	5,12	248,7	337,1	212,2	253,2
Крупняк	15,69	8,8	5,23	270,2	355,4	224,8	267,8
Лакомка	14,20	7,74	4,21	165,2	242,3	151,6	181,70
Умник	11,44	6,51	4,00	121,1	156,0	100,4	116,98
Орешек	13,36	7,84	4,63	192,7	253,9	163,9	190,44
Крепыш	11,90	6,65	3,69	119,9	152,9	96,5	114,67
Р453	11,13	6,55	3,89	121,1	148,5	96,0	111,36
Ирэн	9,39	5,93	4,00	80,1	116,6	78,7	87,46
Окси	10,97	6,75	4,02	120,3	155,9	102,2	116,89
Имидж	9,80	5,49	3,98	79,0	112,1	73,6	84,09
Фотон	11,20	6,61	4,08	110,7	158,1	102,9	118,61
Барс	10,22	5,37	3,63	79,9	104,3	66,5	78,23
Джинн	14,77	7,60	4,41	198,8	259,2	161,2	194,39

Из приведенной таблицы видно, что наиболее приближены к измеренному объёму семян результаты вычислений, полученные по формуле (6).

Степень точности предлагаемой методики определения объёма семянок подсолнечника оценим с помощью критерия достоверности модели Нэша – Сатклиффа (Nash and Sutcliffe), основанного на сравнении расчетных параметров с экспериментально полученными данными [12]. Эффективность моделирования по критерию Нэша – Сатклиффа (NSE) сравнивает сумму абсолютных квадратов разностей между прогнозными и наблюдаемыми значениями с дисперсией наблюдаемых

значений. NSE определяется по следующей формуле:

$$NSE = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_{pi} - X_{mi})^2}{\sum_{i=1}^n (X_{pi} - X_{cp})^2} \right] \quad (7)$$

где X_{pi} – реальное (наблюдаемое) значение исследуемого параметра, т.е. величина объема семени, полученная в результате измерений;

X_{mi} – модельное (прогнозируемое) значение исследуемого параметра;

X_{cp} – среднее реальное значение исследуемого параметра;

n – число наблюдений.

Наглядное представление о сути методики оценки моделирования по критерию NSE даёт график, по оси абсцисс которого отложены наблюдаемые (измеренные) параметры объема семян, а по оси ординат – результаты расчета по формуле (6). Чем ближе наблюдаемые и смоделированные данные прилегают к линии $Y = x$, которая соответствует точному совпадению реальных значений с прогнозируемыми, тем лучше качество прогноза. На рисунке 3 приведена графическая интерпретация оценки качества прогностической модели (6) для вычисления объемов семян сортов и гибридов подсолнечника по критерию NSE.

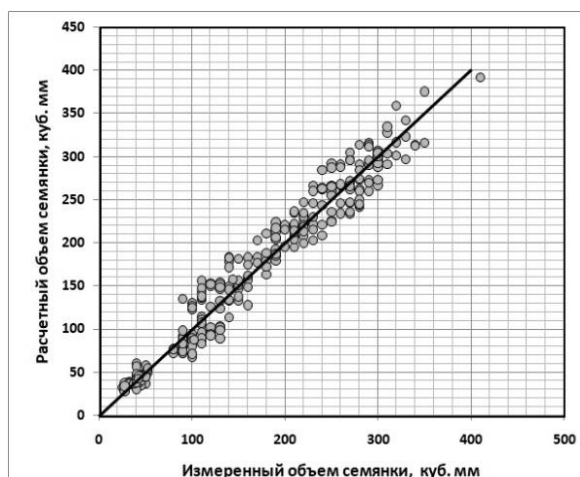


Рисунок 3 – Оценка точности моделирования (формула 6) по критерию NSE

Концентрация расчетных точек возле линии $Y = x$ наглядно доказывает пригодность предлагаемой расчетной методики для быстрого и относительно точного определения объема семян подсолнечника любых форм и размеров. Величина коэффициента эффективности моделирования по критерию Нэша – Сатклиффа составила $NSE = 0,959$. Следует отметить, что существует множество классификаций качества моделей по указанному критерию [13]. Например, в работе Борщ с соавторами [14] приведена следующая градация: модель считается хорошей при условии $NSE \geq 0,80$; удовлетворительной – при $0,36 \geq NSE \geq 0,80$; неудовлетворительной – при условии $NSE \leq 0,36$. Таким образом, предлагаемую авторами модель можно отнести к категории «хороших».

Для сравнения приведем значения коэффициента NSE в случае расчета искомым объемом семян по формулам (3) и (1). Критерий эффективности моделирования в первом случае составит $NSE = 0,873$, во втором – $NSE = 0,472$. Представление же семян в виде эквивалентного эллипсоида даёт ещё более низкий результат: $NSE = 0,462$.

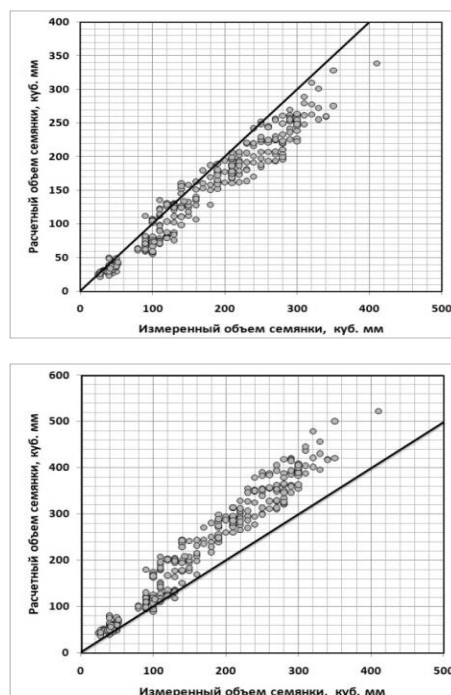


Рисунок 4 – Точность моделирования в соответствии с формулами (2) и (3)

Таким образом, относительно высокий показатель критерия эффективности моделирования NSE свидетельствует о приемлемой для практического использования степени достоверности данной модели и возможности её использования для расчета объема семян подсолнечника любых форм и конфигураций.

Заключение. В результате проведенных исследований предложена математическая модель, позволяющая с относительно высокой точностью и быстротой определять объемы семян подсолнечника. В её основе лежит формула для определения объема эллипсоида с осями, равными длине, ширине и толщине оцениваемой семанки, а также формула для определения объема конуса, с основанием в виде эллипса, имеющего те же размеры, что ширина и толщина семанки. Оценка адекватности модели по критерию эффективности моделирования Нэша – Сатклиффа ($NSE = 0,959$) выявила её достаточную для практического использования степень достоверности и возможность широкого применения для расчетов объемов семян сортов и гибридов подсолнечника как кондитерского, так и масличного направления.

Список литературы

1. Бочковой А.Д., Хатнянский В.И., Камардин В.А., Назаров Д.А. Кондитерский подсолнечник: происхождение, история введения в культуру, систематика, направления в селекции и особенности технологии возделывания (обзор) // Масличные культуры. – 2020. – Вып. 3 (183). – С. 129–146.
2. Hladni N. Present status and future prospects of global confectionery sunflower production // Proc. of 19th Intern. Sunfl. Conf., Turkey, Edirne, May 29 – June 2, 2016. – P. 47–60.
3. Lofgren J.R. Sunflower for confectionary food, bird food and pet food // Sunflower technology and production. – USA, 1997. – 834 p.
4. Fick C.N., Miller J.F. Sunflower breeding // Sunflower technology and production. – Madison, USA, 1997. – P. 395–439.
5. Uma D., Muralidharan V., Manivannan N. and Thayumanavan B. Screening of sunflower varieties for confectionery grade // Proc. of the 16th Intern. Conf., Fargo, North Dakota, USA, August 29 – September 2, 2004. – Vol. 2. – P. 585–589.
6. Saranga Y., Horcicka P., Wolf S. Effect of source-sink relationship on yield components and yield of confection sunflower // Helia. – 1996. – Vol. 19. – No 24. – P. 29–38.
7. Мамонов А.И. Использование нового способа определения крупноплодности при создании селекционного материала подсолнечника // Масличные культуры. Науч.-тех. бюл. ВНИИМК. – 2006. – Вып. 2 (135). – С. 15–19.
8. Ozarslan C. Physical properties of cotton seed // Biosystems Eng. – 2002. – 83 (2). – P. 169–174.
9. Coskun M., Yalcin I., Ozarslan C. Physical properties of sweet corn seed // J. Food Eng. – 2006. – 74 (4). – P. 523–528.
10. Mudasir A.M., Charanjiv S.S. Engineering properties of sunflower seed: Effect of dehulling and moisture content // Cogent Food & Agriculture. – 2016. – Vol. 2 (1), Art. No 1145783. DOI: 10.1080/23311932.2016.1145783.
11. Singh R.K., Vishwakarma M.K., Vishal R.S. Moisture dependent physical properties of dill // Journal of Agricultural Engineering. – January-March, 2016. – Vol. 53 (1). – P. 33–40.
12. Nash J.E., Sutcliffe J.V. River flow forecasting through conceptual models. Part 1 – A discussion of principles // J. Hydrology. – 1970. – Vol. 10. – P. 282–290.
13. Zhong, X., Dutta, U. Engaging Nash-Sutcliffe efficiency and model efficiency factor indicators in selecting and validating effective light rail system operation and maintenance cost models // Journal of Traffic and Transportation Engineering. – 2015. – Vol. 3. – P. 255–265. DOI: 10.17265/2328-2142/2015.-05.001.

14. Борщ С.В., Симонов Ю.А., Христофоров А.В. Эффективность моделирования и прогнозирования речного стока // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2020. – № 1 (375). – С. 176–189. DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2020-1-176-189>.

References

1. Bochkovoy A.D., Khatnyanskiy V.I., Kamardin V.A., Nazarov D.A. Konditerskiy podsolnechnik: proiskhozhdenie, istoriya vvedeniya v kul'turu, sistematika, napravleniya v selektsii i osobennosti tekhnologii vozdeystviya (obzor) // Maslichnye kul'tury. – 2020. – Вып. 3 (183). – С. 129–146.

2. Hladni N. Present status and future prospects of global confectionery sunflower production // Proc. of 19th Intern. Sunfl. Conf., Turkey, Edirne, May 29 – June 2, 2016. – P. 47–60.

3. Lofgren J.R. Sunflower for confectionary food, bird food and pet food // Sunflower technology and production. – USA, 1997. – 834 p.

4. Fick C.N., Miller J.F. Sunflower breeding // Sunflower technology and production. – Madison, USA, 1997. – P. 395–439.

5. Uma D., Muralidharan V., Manivannan N. and Thayumanavan B. Screening of sunflower varieties for confectionery grade // Proc. of the 16th Intern. Conf., Fargo, North Dakota, USA, August 29 – September 2, 2004. – Vol. 2. – P. 585–589.

6. Saranga Y., Horcicka P., Wolf S. Effect of source-sink relationship on yield components and yield of confection sunflower // Helia. – 1996. – Vol. 19. – No 24. – P. 29–38.

7. Mamonov A.I. Ispol'zovanie novogo sposoba opredeleniya krupnoplodnosti pri sozdanii selektsionnogo materiala podsolnechnika // Maslichnye kul'tury. Nauch.-tekhn. byul. VNIIMK. – 2006. – Вып. 2 (135). – С. 15–19.

8. Ozarslan C. Physical properties of cotton seed // Biosystems Eng. – 2002. – 83 (2). – P. 169–174.

9. Coskun M., Yalcin I., Ozarslan C. Physical properties of sweet corn seed // J. Food Eng. – 2006. – 74 (4). – R. 523–528.

10. Mudasir A.M., Charanjiv S.S. Engineering properties of sunflower seed: Effect of dehulling and moisture content // Cogent Food & Agriculture. – 2016. – Vol. 2 (1), Art. No 1145783. DOI: [10.1080/23311932.2016.1145783](https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1145783).

11. Singh R.K., Vishwakarma M.K., Vishal R.S. Moisture dependent physical properties of dill // Journal of Agricultural Engineering. – January-March, 2016. – Vol. 53 (1). – P. 33–40.

12. Nash J.E., Sutcliffe J.V. River flow forecasting through conceptual models. Part 1 – A discussion of principles // J. Hydrology. – 1970. – Vol. 10. – P. 282–290.

13. Zhong, X., Dutta, U. Engaging Nash-Sutcliffe efficiency and model efficiency factor indicators in selecting and validating effective light rail system operation and maintenance cost models // Journal of Traffic and Transportation Engineering. – 2015. – Vol. 3. – P. 255–265. DOI: [10.17265/2328-2142/2015.-05.001](https://doi.org/10.17265/2328-2142/2015.-05.001).

14. Borshch S.V., Simonov Yu.A., Khristoforov A.V. Effektivnost' modelirovaniya i prognozirovaniya rechnogo stoka // Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy. – 2020. – № 1 (375). – С. 176–189. DOI: [10.37162/2618-9631-2020-1-176-189](https://doi.org/10.37162/2618-9631-2020-1-176-189).

Сведения об авторах

В.Ю. Ревенко, канд. тех. наук

С.С. Фролов, канд. с.-х. наук

И.А. Рахуба, млад. науч. сотр.

Я.Н. Демурин, зав. отд., гл. науч. сотр., д-р биол. наук, профессор

Получено/Received

18.02.2022

Получено после рецензии/Manuscript peer-reviewed

22.02.2022

Получено после доработки/Manuscript revised

25.02.2022

Принято/Accepted

17.03.2022

Manuscript on-line

30.05.2022