

**ОПТИМИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КАТУШЕЧНОГО  
ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА ДЛЯ ПОСЕВА СЕМЯН РАПСА**

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»

***Реферат.** В статье приведены результаты экспериментального исследования по определению основных оптимальных параметров высевающего аппарата катушечного типа. Исследования проводили в 2019 г. на полях публичного акционерного общества «Родина» Каневского района Краснодарского края. В качестве материала исследования использовали сорт ярового рапса Галант. На основании анализа научно-технической литературы была выдвинута следующая гипотеза – замена в катушечном высевающем аппарате желобков на конусные ячейки, позволит обеспечить равномерный высев семян рапса как в рядке, так и по поверхности поля. На основании этой гипотезы был модернизирован катушечный высевающий аппарат зернотравяной сеялки «СЗТ-3,6». Цель исследований – оптимизация основных параметров катушечного высевающего аппарата с конусными ячейками, обеспечивающего равномерный посев семян рапса. Для проведения эксперимента выбран симметричный композиционный двухфакторный план второго порядка типа  $V_k$ . Повторность опытов трехкратная. В качестве управляемых факторов анализировали частоту вращения катушки высевающего аппарата с конусовидными ячейками и диаметр основания конусовидной ячейки. В качестве отклика приняли равномерность высева семян рапса (%). В результате проведенных опытов установили, что на равномерность высева семян рапса обороты высевающей катушки влияют в два раза сильнее, чем диаметр основания конусной ячейки. Анализ полученного уравнения регрессии показал, что равномерность высева семян рапса более 90 % достигается при частоте вращения катушки высевающего аппарата  $48-55 \text{ мин}^{-1}$  и диаметре основания конусовидных ячеек  $2,0-2,8 \text{ мм}$ .*

***Ключевые слова:** рапс, сеялка, семена, высев, конусная ячейка, катушечный высевающий аппарат, почва, оптимизация параметров.*

**Введение**

Для высева мелкосеменных культур, включая рапс, как отечественные, так и зарубежные производители сельскохозяйственной техники выпускают целый ряд сеялок. Лучшие результаты, как правило, показывают пневматические сеялки, оснащенные рабочими органами для поштучного высева семян. К их числу можно отнести пневматические сеялки «Yield-Pro®» фирмы Great Plains. Некоторые модели пневматических сеялок «Yield-Pro®» 25-ой серии способны высевать семена с междурядьем 25,4 см, что подходит для рапса. Но следует учитывать, что посев этой культуры с узкими междурядьями 15 см, как у зерновых колосовых культур, положительно сказывается на урожайности.

Важным обстоятельством является то, что в регионах с засушливым климатом необходимо осуществлять посев повышенной нормой высева семян [1]. И только в таких регионах использование сеялок с поштучным высевом семян оправдано с экономической точки зрения. Кроме того, агрегаты такого типа дорогостоящие, и не все сельскохозяйственные предприятия, в первую очередь фермерские хозяйства, могут их приобрести.

Из-за отсутствия специализированных сеялок в хозяйствах иногда используют сеялки «СЗ-3,6» или зернотуковые прессовые «Астра 3,6 П». Но в этом

случае необходимо понизить передаточное отношение от ходового колеса к высевающему аппарату, а дисковые сошники отрегулировать на требуемую глубину заделки семян. Настраивается также вылет катушки высевающего аппарата на величину 2,5–3,5 мм. В этом случае обязательно необходимо провести проверку количества высеваемых семян.

При посеве рапса сеялками «СЗ-3,6» или «СЗП-3,6» для обеспечения требуемой нормы высева (3,0–3,5 кг семян на 1 га) можно смешивать семена с наполнителем, например, с просеянными через сито с диаметром ячеек 2,0–2,5 мм гранулами суперфосфата, аммофоса и диаммофоса в соотношении 1:3. Контакт между ними не должен превышать 4–5 ч. Для предотвращения распада смеси ее периодически перемешивают, а скорость движения сеялки при посеве не должна превышать 5 км/ч [1].

Для посева рапса можно также использовать универсальную пневматическую сеялку зернотуковую «С-6ПМ1»; сеялки такого типа выпускают в Пензе на ОАО «Радиозавод». Но она также не обеспечивает необходимую равномерность высева семян.

Многие хозяйства для посева мелкосеменных культур используют сеялки зернотравяные «СЗТ-3,6». Этот тип сеялок оснащен традиционным желобчатым катушечным высевающим аппаратом. Они не обеспечивают требуемого по агротехническим нормам равномерного размещения семян как в рядке, так и по поверхности поля. Происходит это потому, что желобчатая катушка неравномерно выбрасывает порции семян, и в результате семена распределяются неравномерно. Но эти сеялки имеются практически в каждом хозяйстве. Поэтому была поставлена задача: модернизировать желобчатый катушечный высевающий аппарат таким образом, чтобы им можно было высевать семена рапса в соответствии с агротехническими требованиями.

На основании анализа научно-технической литературы [2–5] была выдвинута следующая гипотеза – замена в катушечном высевающем аппарате желобков на конусные ячейки, позволит обеспечить равномерный высев семян рапса как в рядке, так и по поверхности поля.

**Цель исследований** – оптимизация основных параметров катушечного высевающего аппарата с конусными ячейками, обеспечивающего равномерный посев семян рапса.

#### **Материалы и методы исследований**

Исследования проводили в 2019 г. на полях публичного акционерного общества «Родина» Каневского района Краснодарского края.

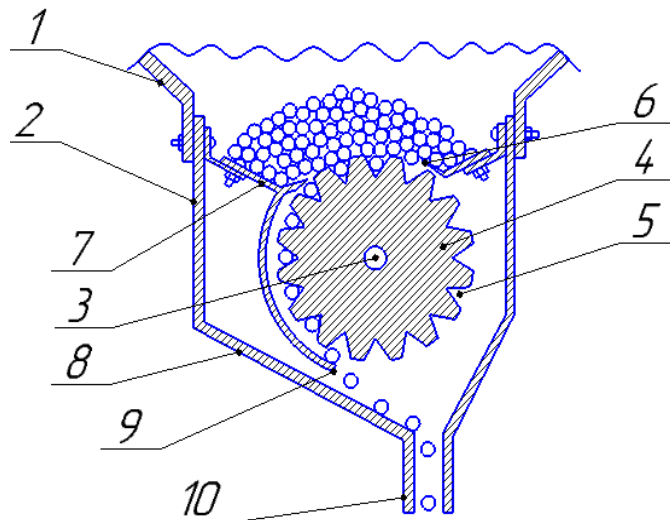
В качестве материала для исследования использовали сорт ярового рапса Галант. Он допущен к возделыванию в Северо-Кавказском регионе. Это высокопродуктивный среднеспелый сорт. Отличается высокой устойчивостью к полеганию, хорошо адаптирован к различным условиям произрастания. Отзывчив на высокий агрофон.

Для исследования использовали сеялку зернотуковую «СЗТ-3,6» с модернизированным высевающим аппаратом.

Принципиальная схема предлагаемого нами модернизированного высевающего аппарата представлена на рисунке 1.

Главной отличительной особенностью предлагаемого высевающего аппарата является замена желобков на конусные ячейки. Семена рапса из бункера 1 западают в конусные ячейки 5. Лишние семена счищаются отражателем 7. При вращении катушки 4 семена удерживаются от преждевременного выпадения клапаном 9. Такая конструкция должна обеспечить равномерный высев семян в соответствие с агротехническими требованиями. Цель предлагаемых конструктивных изменений – повысить равномерность высева семян рапса в

сравнении с существующими конструкциями механических высевальных аппаратов.



**Рисунок 1 – Принципиальная схема модернизированного высевального аппарата**

**Примечание.** 1 – семенной бункер, 2 – корпус, 3 – приводной вал-катушка, 5 – конусная ячейка, 6 – уплотнитель, 7 – отражатель, 8 – стенка днища, 9 – клапан, 10 – семяпровод.

Для проведения эксперимента выбран двухфакторный план второго порядка типа  $B_k$  [6]. Повторность опытов трехкратная.

План содержит четыре опыта на двух уровнях (-1; +1), для получения уравнения второго порядка провели еще четыре опыта (0; звездная точка). Для проверки адекватности полученной модели по критерию Фишера провели четыре эксперимента в центре плана (0; 0). План типа  $B_k$  предусматривает использование значения звездных точек (-1; +1), что позволяет сократить число варьирований.

Для обработки результатов эксперимента разработаны программы в приложении Mathcad [7–9].

### Результаты и их обсуждение

Исследования показывают, что зависимость качественных показателей процесса высева семян мелкосеменных культур от параметров высевального устройства, как правило, носит нелинейный характер [2–3]. Поэтому математическую модель процесса высева семян рапса необходимо искать в форме полинома второй степени.

На основании анализа научно-технической литературы [1–3] для изучения равномерности высева семян рапса были выбраны два фактора:  $n$  – частота вращения катушки высевального аппарата с конусовидными ячейками,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $d$  – диаметр основания конусовидной ячейки, мм.

Норма высева семян составила 40 тыс. шт./га.

В таблице 1 представлены интервалы и уровни варьирования исследуемых факторов.

При выборе области факторного пространства учитывали результаты исследований Е. И. Артамонова [4] и А. С. Фирсова [5], а также наши собственные.

Для проведения эксперимента на сеялку установили три группы катушек высевальных аппаратов с диаметром оснований конусных ячеек 2,0 мм, 2,4 и 2,8 мм (по восемь катушек в каждой группе).

**Таблица 1 – Интервалы и уровни варьирования исследуемых факторов**

Уровень фактора	Фактор в кодированном виде		Фактор в натуральном виде	
	$x_1$	$x_2$	$d$ , мм	$n$ , мин <sup>-1</sup>
Интервал варьирования	1	1	0,4	10
Верхний	1	1	2,8	55
Основной	0	0	2,4	45
Нижний	-1	-1	2,0	35

В качестве отклика была принята равномерность высева семян рапса, выраженная в процентах. В качестве ограничения учитывали глубину заделки семян в почву. Для суглинистых почв, на которых проводили исследование, эта величина составляет 1,5–2,0 см.

В соответствии с агротехническими требованиями, 80 % семян рапса в рядке должны находиться на заданном друг от друга расстоянии, которое определяется нормой высева [1]. В нашем случае это 6 см между семенами в рядке.

Определение качества работы сеялки проводили по следующей методике. Разрывали засеянные рядки, но идущие не по направлению сеялки, а перпендикулярно. Брали участок длиной в 3 м и под каждым сошником линейкой измеряли глубину залегания семян.

Для сеялки «СЗТ-3,6» использовали участок гона 3 м, площадь которого равна 10,8 м<sup>2</sup>. Исходя из этого, полученное число семян делили на 10,8 и умножали на 10<sup>4</sup>. Имеющуюся норму высева семян рапса сравнивали с заданной. Линейкой так же измеряли интервал между семенами рапса в рядке. Полученные интервалы, которые соответствовали заданной норме высева, их количество, необходимо разделить на общее количество полученных интервалов и умножить на 100. Данное действие позволяет подсчитать процент семян, находящихся в почве в рядках с интервалом, соответствующим требованию по норме высева семян рапса.

Матрица планирования и результаты опытов представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Матрица планирования и результаты опытов по равномерности высева семян рапса**

Номер опыта	Порядок проведения опытов			Матрица планирования		Равномерность высева, %
				$x_1$	$x_2$	
1	3	1	1	+1	+1	87
2	4	2	6	-1	+1	83
3	7	4	8	+1	-1	74
4	2	6	4	-1	-1	71
5	6	7	2	+1	0	89
6	1	5	5	-1	0	86
7	8	8	3	0	+1	88
8	5	3	7	0	-1	77

После проведения эксперимента рассчитали коэффициенты уравнения регрессии. Само уравнение регрессии имеет вид:

$$Y = 92,074 + 1,492x_1 + 6,132x_2 + 0,152x_1x_2 - 4,286x_1^2 - 8,956x_2^2. \quad (1)$$

Далее проверили гипотезу о статистической значимости коэффициентов. Коэффициент считается значимым при соблюдении следующего условия

$$|b_i| \geq t_{\alpha; f_1} S b_i. \quad (2)$$

где  $b_i$  –  $i$ -й коэффициент регрессии;

$t_{\alpha; f_1}$  – критерий Стьюдента, зависящий от уровня значимости  $\alpha$  и числа степеней свободы  $f_1$ ;

$Sb_i$  – дисперсия  $i$ -го коэффициента.

В нашем случае  $\alpha = 0,05$  и  $f_1=3$ . Отсюда  $t_{\alpha;f_1} = 3,182$  [10].

В нашем случае все коэффициенты значимы. Зная дисперсию опыта, проверяем полученную модель по критерию Фишера [6, 10]. Расчетное значение критерия Фишера меньше табличного  $F_p = 7,92 < F_T = 8,88$ . Следовательно, полученная модель равномерности высева семян рапса адекватна.

Для нахождения значений факторов, при которых уравнение (1) достигает максимума, необходимо взять частные производные по  $x_i$  и, приравняв их к нулю, решить полученную систему уравнений.

$$\left. \begin{aligned} \frac{dY}{dx_1} &= 1,492 + 0,152x_2 + ,572x_1, \\ \frac{dY}{dx_2} &= 0,132 + 0,152x_1 + 17,912x_2. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

В результате решения системы уравнений (3) получим

$$x_1^* = 0,18019; \quad x_2^* = 0,34387.$$

Подставив эти значения в уравнение (1), получим равномерность высева семян рапса  $Y = 93,3\%$ . Для определения натуральных значений факторов используем формулы перевода от кодированных значений факторов к натуральным:

$$x_1 = \frac{X_1 - 2,4}{0,4} \quad (4)$$

$$x_2 = \frac{X_2 - 45}{10} \quad (5)$$

В результате расчетов получим координаты максимума:

$$X_1 = 2,5 \text{ мм}; \quad X_2 = 48 \text{ мин}^{-1}.$$

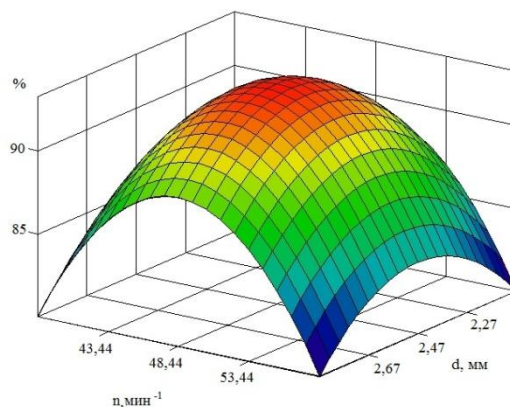
Для более детального анализа вблизи оптимума, то есть максимума равномерности высева семян рапса, проведем преобразование уравнения (1) к каноническому виду. Преобразование сводится к установлению центра поверхности второго порядка, переносу начала координат в новый центр (исчезают линейные члены  $\sum b_i x_i$ ) и к повороту координатных осей (исчезают члены  $\sum b_{ij} x_i x_j$ ).

В нашем случае уравнение в канонической форме примет вид

$$Y - 93,263 = -4,285X_1^2 - 8,957X_2^2. \quad (6)$$

Угол поворота осей  $\alpha = 0,932^\circ$ .

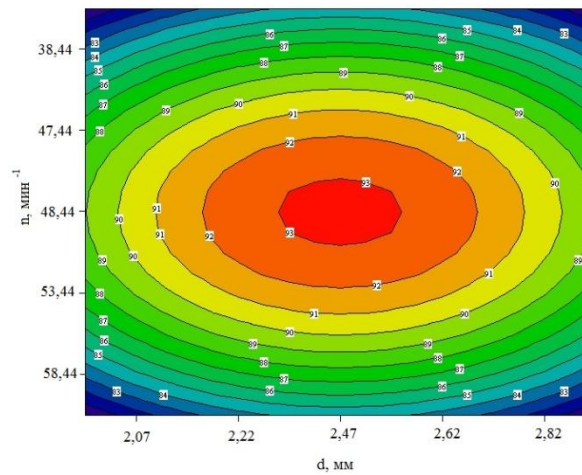
Поверхность отклика после канонического преобразования представлена на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Поверхность зависимости отклика от диаметра основания конусного отверстия и числа оборотов высевающего диска**



Для нахождения области допустимых интервалов изменения исследуемых факторов на основании уравнения (6) построим двумерные сечения поверхности отклика или линии равного выхода (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Линии равного выхода равномерности высева семян рапса**

Оба коэффициента  $B_{11} = -4,285$  и  $B_{22} = -8,957$  имеют одинаковые знаки. При этом коэффициент  $B_{22}$  по абсолютной величине больше  $B_{11}$ , так как эллипсы вытянуты по оси  $X_1$ . Это свидетельствует о том, что обороты высевающего диска на равномерность высева семян рапса имеют большее влияние, чем диаметр основания конусного отверстия почти в два раза. Равномерность высева семян рапса более 90 % достигается при частоте вращения катушки высевающего аппарата 48–55 мин<sup>-1</sup> и диаметре основания конусовидных ячеек 2,0–2,8 мм.

#### Выводы

Определены оптимальные значения исследуемых факторов: частота вращения катушки высевающего аппарата – 48 мин<sup>-1</sup> и диаметр основания конусовидных ячеек – 2,5 мм. Равномерность высева семян при этом составила 93,3 %.

Анализ двумерного сечения поверхности отклика после канонического преобразования показал, что на равномерность высева семян рапса обороты высевающей катушки имеют в два раза большее влияние, чем диаметр основания конусовидных ячеек.

Равномерность высева семян рапса более 90 % достигается при частоте вращения катушки высевающего аппарата 48–55 мин<sup>-1</sup> и диаметре основания конусовидных ячеек 2,0–2,8 мм.

#### Литература

1. Семенова Е. С. Влияние сроков посева и норм высева на урожайность сортов ярового рапса на светло-каштановых почвах Волгоградской области. Дисс. ... канд. с.-х. наук. Волгоград: ФГОУ ВПО «Государственная сельскохозяйственная академия», 2011. С. 15–38.
2. Кардашевский С. В. Высевающие устройства посевных машин. М.: Машиностроение, 1973. С. 48–63.
3. Джашаев А.-М. С. Основные параметры сеялки для мелкосеменных культур // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2003. № 8. С. 40–41.
4. Артамонов Е. И. Повышение качества посева семян амаранта метельчатого совершенствованием технических средств и технологического процесса. Дисс. ... канд. техн. наук. Пенза: ФГОУ ВПО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия», 2013. С. 40–44.
5. Фирсов А. С. Параметры и режимы работы пневматического высевающего аппарата под мелкосеменные культуры. Дисс. ... канд. техн. наук. Тверь: ФГОУ ВПО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», 2015. С. 45–47.

6. Голикова Т. И., Панченко Л. А., Фридман М. З. Каталог планов второго порядка. М.: МГУ, 1974. С. 22.
7. Свидетельство 2004612245 РФ «Каноническое преобразование Вк-2». 04.10.2004.
8. Свидетельство 2004612241 РФ «План Вк 2-х факторный». 04.10.2004.
9. Свидетельство 2004612240 РФ «Графики Вк 2-х факторного». 04.10.2004.
10. Бронштейн И. Н., Семедьяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВУЗОВ. М.: Наука, 1981. С. 80–81.

### References

1. Semenova E. S. Influence of sowing dates and seeding rates on the yield of spring rape varieties on light chestnut soils of the Volgograd region. Diss. ... Cand. Sc. (Tech.). Volgograd: FSEI HPE "State Agricultural Academy", 2011. P. 15–38.
2. Kardashevsky S. V. Sowing devices of sowing machines. Moscow: Mashynostroenie, 1973. P. 48–63.
3. Dzhashaev A. M. C. The main parameters of the seeder for small seed crops // Tractors and agricultural machines. 2003. No. 8. P. 40–41.
4. Artamonov E. I. Improving the quality of sowing seeds of panicked amaranth by improving technical means and technological process. Diss. ... Cand. Sc. (Tech.). Penza: FSEIHPE "Penza State Agricultural Academy" 2013. P. 40–44.
5. Firsov A. S. Parameters and operating modes of the pneumatic sowing device for small seed crops. Diss. ... Cand. Sc. (Tech.). Tver: HPE "Tver State Agricultural Academy", 2015. P. 45–47.
6. Golikova T. I., Panchenko L. A., Fridman M. Z. Catalog of plans of the second order. Moscow: MSU, 1974. P. 22.
7. Certificate 2004612245 of the Russian Federation "Canonical transformation Bk-2". 04.10.2004.
8. Certificate 2004612241 of the Russian Federation "Plan Bk 2-factor". 04.10.2004.
9. Certificate 2004612240 of the Russian Federation "Charts Bk 2-factor". 04.10.2004.
10. Bronstein I. N., Semendyaev K. A. Math reference for engineers and students of technical colleges. Moscow: Nauka, 1981. P. 80–81.

UDC 631.33.02

Matushenko A. E., Kurasov V. S., Tsybulevsky V. V.

### OPTIMIZATION OF THE MAIN PARAMETERS OF THE COIL METER FOR SOWING RAPESEED

**Summary.** *The article presents the results of an experimental study to determine the main optimal parameters of the fluted-roller feed unit. Based on the analysis of scientific and technical literature, the following hypothesis was put forward – replacing the grooves in the fluted-roller feed unit by conical cells, will ensure uniform sowing of rape seeds both in a row and on the field surface. Based on this hypothesis, the fluted-roller feed unit of the "SZT-3.6" combined grain-grass seeder was modernized. The research was carried out in 2019 on the fields of the public joint-stock company "Rodina" in the Kanevskoy district of the Krasnodarskiy krai. As a research material, a variety of spring rapeseed "Galant" was used. The purpose of the study is to optimize the main parameters of a fluted-roller feed unit with cone cells, ensuring rapeseeds uniform sowing. For the experiment, a symmetric composite two-factor plan of the second order of  $B_k$ -type was chosen. The repetition of the experiments was taken equal to three. As control variables, the rotational speed of the fluted-roller feed unit with cone-shaped cells and the diameter of the base of the cone-shaped cell were analyzed. As a response, the uniformity of sowing rapeseed, expressed as a percentage, was adopted. As a result of the experiments, it was found that the distributor wheel speed has twice as much influence on the uniformity of rapeseeds sowing than the diameter of the cone cell base. Analysis of the obtained regression equation showed that uniformity of rapeseeds sowing of more than 90 % was achieved with a rotation frequency of the fluted-roller feed unit of 48–55  $\text{min}^{-1}$  and with a base diameter of cone-shaped cells of 2.0–2.8 mm.*

**Keywords:** *rapeseed, seeder, seeds, sowing, cone cell, spool metering device, soil, optimization of parameters.*

Матущенко Алексей Евгеньевич, магистр, ассистент кафедры тракторов, автомобилей и технической механики, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»; 350044, Россия, г. Краснодар, ул. Калинина, 13; e-mail: archangel24@mail.ru.

Курасов Владимир Станиславович, доктор технических наук, профессор кафедры тракторов, автомобилей и технической механики, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»; 350044, Россия, г. Краснодар, ул. Калинина, 13; e-mail: kurasoff@gmail.com.

Цыбулевский Валерий Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры тракторов, автомобилей и технической механики ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»; 350044, Россия, г. Краснодар, ул. Калинина, 13; e-mail: avto-meh@kubsau.ru.

Matushenko Alexey Evgenievich, master, assistant of the Department of tractors, automobiles and technical mechanics, FSBEI HE “Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin”; 13 Kalinina str., Krasnodar, 350044, Russia; e-mail: archangel24@mail.ru.

Kurasov Vladimir Stanislavovich, Dr. Sc. (Tech.), professor, Department of tractors, automobiles and technical mechanics, FSBEI HE “Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin”; 13 Kalinina str., Krasnodar, 350044, Russia; e-mail: kurasoff@gmail.com.

Tsybulevsky Valery Viktorovich, Cand. Sc. (Tech.), associate professor at the Department of tractors, automobiles and technical mechanics, FSBEI HE “Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin”; 13 Kalinina str., Krasnodar, 350044, Russia; e-mail: avto-meh@kubsau.ru.

*Дата поступления в редакцию – 10.02.2020.*

*Дата принятия к печати – 03.03.2020.*