
ЭМПИРИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МАССЫ КОРНЕПЛОДА ОТ ОБОИХ ИНТЕРВАЛОВ В РЯДКЕ РАСТЕНИЙ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Владимир Васильевич Василенко
Сергей Владимирович Василенко
Ким Рубенович Казаров
Виктор Васильевич Труфанов
Юрий Игоревич Солдатов

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Формирование корнеплода сахарной свеклы и, в частности, накопление его массы интересует очень многих исследователей. Рациональная масса корня обосновывается с разных точек зрения. Она влияет на урожайность, на содержание сахара, на потери и повреждения при уборке урожая, на соответствие технологическим требованиям при промышленной переработке. Масса корнеплода и число растений на гектаре определяют урожайность. Но поскольку эти два параметра обратно пропорциональны, то зависимость от них функция урожайности должна иметь максимум при определенных значениях. Число растений на гектаре зависит от интервалов между ними, а масса корнеплода зависит не только от размера площади питания, но и от места расположения растения на этой площади. В статье приводятся результаты измерения массы корнеплода при различных сочетаниях двух интервалов между ними в условиях двух различных по погоде сезонов вегетации. Предложена эмпирическая зависимость исследуемых показателей. Полученные эмпирические выражения для расчета относительной массы корнеплода в зависимости от обоих интервалов, отделяющих его от других растений в пунктирном рядке, адекватно отражают статистические данные массовых измерений в уборочный период двух неравнозначных по погодным условиям сроков вегетации и могут применяться для аргументированного выбора рациональной густоты насаждения сахарной свеклы с учетом долгосрочных прогнозов погодных условий. В благоприятных погодных условиях растения сахарной свеклы используют более обширную площадь питания, поэтому расчетная рациональная по урожайности густота насаждения должна быть занижена до значения 80 тыс. шт./га. В неблагоприятных условиях полная масса корнеплода накапливается на меньшей площади питания, и расчетная густота насаждения увеличивается до 110 тыс. шт./га.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: относительная масса корнеплода, густота насаждения, площадь питания, интервал между растениями, урожайность корнеплодов.

EMPIRICAL DEPENDENCE OF THE ROOT CROP WEIGHT ON BOTH INTERVALS OF THE DRILL ROW OF SUGAR BEET PLANTINGS

Vladimir V. Vasilenko
Sergey V. Vasilenko
Kim R. Kazarov
Viktor V. Trufanov
Yuriy I. Soldatov

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

The formation of the sugar beet root crop, and in particular, the accumulation of its mass, is of interest to many researchers. The rational mass of the root is justified from different points of view. It affects the yield, sugar content, losses and damages during harvesting, compliance with technological requirements during industrial processing. The mass of the root crop and the number of plants per hectare determine the yield. But since these two parameters are inversely proportional, the yield function dependent on them should have a maximum at certain values. The number of plants per hectare depends on the intervals between plantings, and the mass of the root crop depends not only on the size of the feeding area, but also on the location of the plant on this area. The article presents the results of measuring the mass of the root crop at different combinations of two intervals between them in two different weather growing seasons. The empirical dependence of the studied indicators is proposed. The obtained empirical expressions for calculating the relative weight of the root crop depending on

both intervals separating it from other plants in the single seed planting adequately reflect the statistical data of mass measurements during the harvesting period of two unequal weather conditions of the growing season and can be used for a well-founded choice of rational density of sugar beet plantings, taking into account long-term weather forecasts. In favorable weather conditions of the year, sugar beet plants use a more extensive area of nutrition, therefore, the estimated rational density of plantings in terms of yield should be diminished to the value of 80 thousand pcs/ha. Under unfavorable conditions, the total mass of the root crop accumulates on a smaller feeding area, and the estimated density of plantings increases to 110 thousand pcs/ha.

KEYWORDS: relative mass of the root crop, planting density, feeding area, interval between plantings, yield of root crop.

В ведение

Технологии возделывания сахарной свеклы постоянно обновляются практически во всех полевых операциях [4, 5, 6]. Проверяются и уточняются сведения об оптимальной густоте насаждения, накапливается статистический материал достигнутой точности раскладки семян и влияния этого показателя на урожайность [1, 3]. Большую роль в разработке теории распределения семян при пунктирном высеве сыграл С.В. Кардашевский. Он ввел понятие инверсии семян и, как следствие, появление отрицательных интервалов между ними, предложил вероятностную методику расчета качественных показателей посева, классифицировал аппараты точного посева [7, 8, 9]. Наиболее точное размещение семян в борозде реализуют вертикально-дисковые аппараты с формированием упорядоченных очередей семян при заполнении ячеек [2]. Теоретически предсказаны условия падения семян в борозду, при которых не появляется инверсия с отрицательными интервалами [16], но для этого необходимо выровнять скорость выброса семян со скоростью движения сеялки, чтобы разница скоростей не превышала 0,5 м/с [15].

Что касается оптимальной густоты насаждения, то большинство исследователей, в том числе зарубежных, рекомендуют диапазон от 80 до 100 тысяч растений на гектар. Критерием оценки является урожайность и содержание сахара. Ширина диапазона объясняется приспособляемостью растений к различной плотности посадки, и редко конкретизируются условия, при которых рекомендация была бы более определенной. Известно, что урожайность – это произведение массы среднестатистического корнеплода на их количество, но эти параметры взаимно противоположны, поэтому где-то существует максимум. Рациональная масса корнеплода должна быть обоснована урожайностью, содержанием сахара, минимумом разброса размеров, потерями и повреждаемостью при уборке, соответствием требованиям технологии переработки [11, 12, 13, 14]. В процессе возделывания сахарной свеклы управлять размером и массой корнеплода можно не только увлажнением и подкормкой, но также размером и формой площади питания. Площадь питания определяется шириной междурядий и интервалом между растениями в рядке [10].

Материалы и методы

Исследование массы корнеплода проводилось по результатам сбора обширного статистического материала, проведенного в полевых условиях в течение двух уборочных сезонов. Один из вегетационных периодов был благоприятным по погодным условиям, а другой оказался менее благоприятным, свойственным зоне рискованного увлажнения. Чтобы данные были сопоставимы, массу корнеплода оценивали не в натуральных, а в относительных единицах измерения. В благоприятный год максимальная масса корнеплода, выросшего на свободе, без влияния соседних растений, была равна в среднем 820 г, что в условных единицах равнялось 1,0. В неблагоприятном году максимальная масса составила 570 г, она тоже была принята за 100%, или за 1,0. В стесненных условиях рядка относительная масса была, естественно, меньше. Таким образом, нам удалось ослабить влияние питательных веществ и увлажнения на искомую зависимость массы корнеплода от сочетания размеров обоих интервалов, отделяющих его от соседних растений.

В процессе измерений было замечено, что масса корнеплода увеличивается по мере увеличения интервалов между растениями до 50 см, а потом она остается постоянной. Метод составления статистических рядов измерений состоял в том, что в таблицах журнала наблюдений ячейки являлись классами статистических рядов измеряемых интервалов. В каждый класс записывались результаты взвешивания в граммах 40–50 корнеплодов. Линейка для измерения интервалов была размечена на классы размером 4 см, и классы пронумерованы. При обработке данных вычисляли среднюю массу корнеплода в каждом классе интервалов и пересчитывали ее в относительные единицы. По этим опытным данным строили двух- и трехмерные графики массы корнеплода, на которых были видны случайные отклонения, связанные с ошибками измерений, поэтому графики подвергались корректировке по принципу общей гармонии всего семейства кривых.

Расчеты и построение графиков выполнялись в операционных средах Mathcad 15 и КОМПАС-3D V 16. К скорректированным графикам подбирались эмпирические зависимости с такой точностью, чтобы в пределах интервалов между растениями от 8 до 50 см отклонение расчетных значений массы корнеплода от опытных данных не превышало 2%.

Результаты и их обсуждение

Статистические ряды интервалов между растениями и соответствующей массой корнеплода, полученные в результате обработки собранного материала, представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Зависимость массы корнеплода (г) от интервалов с обеих сторон растения (благоприятный для урожая год)

Интервалы x_1 , см	Интервалы x_2 , см									
	4–8	8–12	12–16	16–20	20–24	24–28	28–32	32–36	40–44	48–52
4–8	105									
8–12	136	181								
12–16	180	225	270							
16–20	222	265	304	349						
20–24	255	308	348	390	423					
24–28	291	335	380	420	460	502				
28–32	313	365	410	452	497	531	569			
32–36	345	395	438	481	522	560	600	633		
40–44	366	420	467	512	555	598	631	565	720	
48–52	410	468	513	556	600	640	680	714	775	820

Таблица 2. Зависимость массы корнеплода (г) от интервалов с обеих сторон растения (неблагоприятный для урожая год)

Интервалы x_1 , см	Интервалы x_2 , см									
	2–6	6–10	10–14	14–18	18–22	22–26	30–34	38–42	48–52	
2–6	70									
6–10	105	136								
10–14	133	166	192							
14–18	160	190	221	252						
18–22	180	216	250	288	318					
22–26	211	250	288	322	358	389				
30–34	250	288	323	358	390	419	461			
38–42	270	310	350	388	418	446	492	528		
48–52	288	329	369	409	436	468	517	550	568	

При неравенстве двух интервалов не имеет значения, какой из них обозначен x_1 , а какой x_2 , по какую бы сторону от растения они не находились, масса корнеплода остается одинаковой. Поэтому обе таблицы симметричны относительно диагонали, и цифры поставлены только в одной половине. По диагонали таблицы классы равных интервалов, поэтому в этих классах максимальные массы корнеплода по тем площадям питания, у которых размеры одинаковые, а форма асимметричная. Сопоставляя данные обеих таблиц, можно заметить существенную разницу из-за различия погодных условий в течение двух вегетационных периодов, поэтому единого математического выражения искомой зависимости быть не может. Если выразить массу корнеплода в относительных единицах, то разница по годам заметно уменьшается, но расчетные выражения все равно должны быть различными. Числовым методом подбора эмпирического выражения в операционной среде Mathcad получено выражение для благоприятного года, которое с погрешностью не более 2% отображает данные таблицы 1:

$$F(x_1, x_2) = 0,5(0,984 + 0,05x_1^{-0,2} - e^{-9x_1^{1,8}}) + 0,5(0,984 + 0,05x_2^{-0,2} - e^{-9x_2^{1,8}}), \quad (1)$$

где $F(x_1, x_2)$ – относительная масса корнеплода;
 x_1, x_2 – интервалы с обеих сторон растения, м.

Выражение (1) является двухфакторной зависимостью, график которой представляет собой поверхность, возрастающую по мере увеличения обоих аргументов (рис. 1).

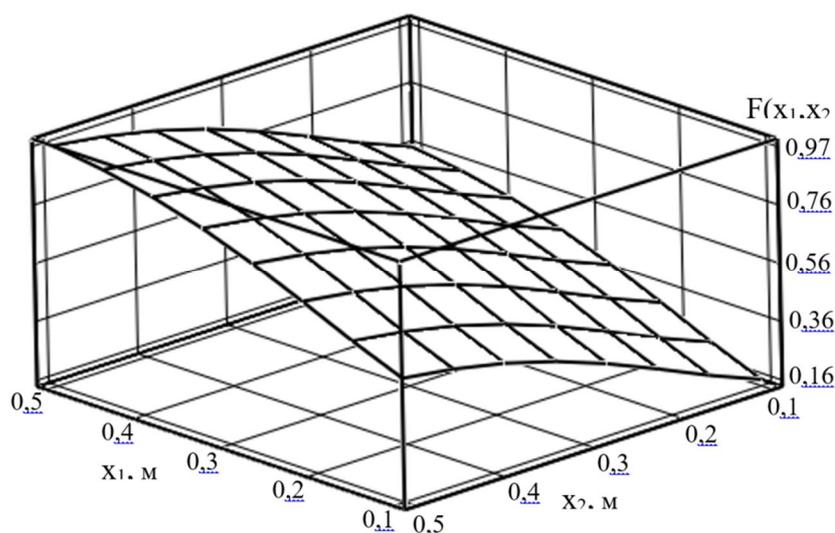


Рис. 1. График зависимости относительной массы корнеплода от обоих прилегающих интервалов в рядке растений (год благоприятный)

График симметричен относительно вертикальной секущей плоскости, проходящей по линии $x_1 = x_2$. След пересечения этой плоскости с поверхностью отклика является наиболее возвышающейся кривой, которая может быть построена тоже по уравнению (1), которое в данном случае упрощается, так как $x_1 = x_2 = x$:

$$F(x) = 0,984 + 0,05x^{-0,2} - e^{-9x^{1,8}}. \quad (2)$$

Для условий неблагоприятного года получены другие эмпирические уравнения:

$$F(x_1, x_2) = 0,5(0,935 + 0,04x_1^{-0,2} - e^{-12x_1^{1,6}}) + 0,5(0,935 + 0,04x_2^{-0,2} - e^{-12x_2^{1,6}}), \quad (3)$$

$$F(x) = 0,935 + 0,04x^{-0,2} - e^{-12x^{1,6}}. \quad (4)$$

Для более наглядного анализа полученных эмпирических выражений представим графически сечения двух поверхностей отклика вертикальными плоскостями, у которых один из интервалов (x_1) изменчив, а другой (x_2) остается постоянным. Такие графики называются графиками с мечеными кривыми (рис. 2).

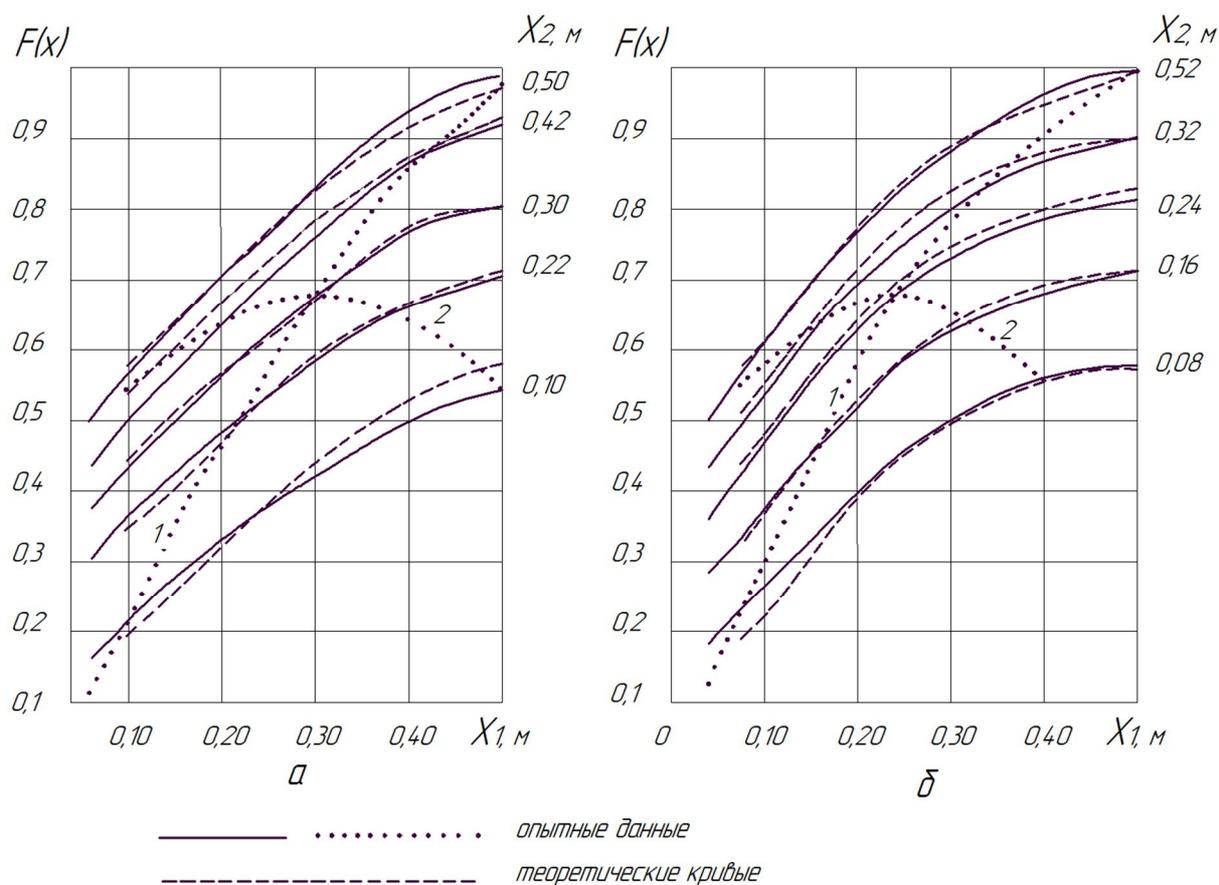


Рис. 2. Влияние прилегающих к растению интервалов x_1 и x_2 на относительную массу корнеплода в благоприятном (а) и неблагоприятном (б) годах

На этих графиках масса корнеплода выражена в относительных единицах по отношению к максимально возможной, выросшей без влияния соседних растений. Различие этих двух графиков гораздо меньше, чем различие таблиц 1 и 2, в которых масса корнеплода выражена в натуральных единицах. По характеру кривых можно заметить, что в неблагоприятных условиях они быстрее приближаются к своему асимптотическому пределу, равному единице. Например, при интервалах $x_1 = 0,24$ м и $x_2 = 0,30$ м ослабленные растения уже показывают относительную массу 0,75, тогда как более сильные растения пока набрали 0,62 от своего максимума и больше нуждаются в увеличенных интервалах. На этих графиках точечные кривые 1 относятся к корнеплодам с равными интервалами – выражения (2) и (4). Насколько это лучше, чем при той же сумме обоих интервалов (они будут разными), показывают кривые 2. Чем больше разница интервалов, тем мельче корнеплод.

Полученные выражения дают возможность аргументированно предложить рациональную густоту насаждения в предполагаемых прогнозами погодных условиях периода вегетации сахарной свеклы. Оказывается, рациональная густота неодинакова. Докажем это, исследуя вспомогательную функцию

$$g(x) = \frac{F(x)}{x}, \quad (5)$$

где $g(x)$ – вспомогательная функция, m^{-1} ;

$F(x)$ – относительная масса корнеплода;

x – интервал между растениями в рядке при регулярном распределении, м.

При том условии, что междурядье всегда одинаковое, выражение (5) показывает отношение массы корнеплода (пусть даже в относительных единицах) к занимаемой площади питания. Очевидно, что оптимальное значение интервала x будет то, при котором вспомогательная функция покажет свой максимум. На рисунке 3 показаны графики функции (5) для благоприятных и неблагоприятных условий вегетационного периода.

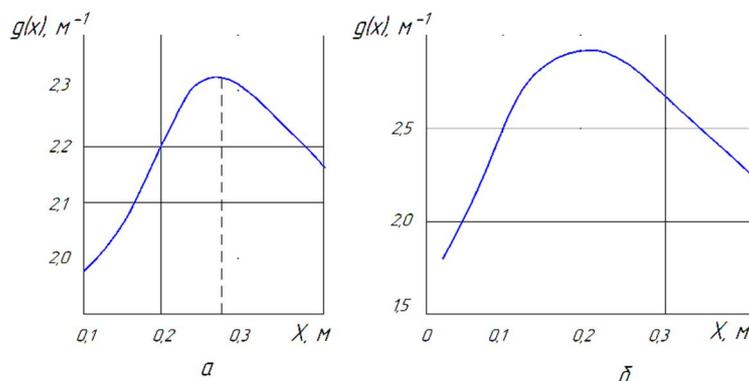


Рис. 3. Вспомогательная функция для определения оптимального интервала в благоприятном (а) и неблагоприятном (б) годах

В условиях благоприятного года максимум функции наблюдается при $x=0,28$ м. Это означает, что если все интервалы на поле окажутся равными 0,28 м, то урожайность будет максимальной, при этом оптимальная густота насаждения вычисляется по выражению

$$N = \frac{10^4}{xb}, \quad (6)$$

где N – густота насаждения, шт./га;

x – интервал между растениями к моменту уборки, м;

b – ширина междурядий, м.

Оказалось, что в благоприятном году следует формировать густоту 79–80 тыс. шт./га, а в неблагоприятном при оптимальном интервале 0,20 м густота должна быть увеличена до 111–112 тыс. шт./га.

Выводы

1. Полученные эмпирические выражения для расчета относительной массы корнеплода в зависимости от обоих интервалов, отделяющих его от других растений в пунктирном рядке, адекватно отражают статистические данные массовых измерений в уборочный период двух неравнозначных по погодным условиям сроков вегетации и могут применяться для аргументированного выбора рациональной густоты насаждения сахарной свеклы с учетом долгосрочных прогнозов погодных условий.

2. В условиях благоприятного по погодным условиям года растения сахарной свеклы используют более обширную площадь питания, поэтому расчетная рациональная по урожайности густота насаждения должна быть занижена до значения 80 тыс. шт./га. В неблагоприятных условиях полная масса корнеплода накапливается на меньшей площади питания, и расчетная густота насаждения увеличивается до 110 тыс. шт./га.

Библиографический список

1. Василенко В.В. Оценка точности пунктирного высева / В.В. Василенко // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1974. – № 9. – С. 38–39.
2. Василенко С.В. Совершенствуем высевающий диск / С.В. Василенко // Сахарная свекла. – 1999. – № 2. – С. 19.
3. Василенко С.В. Влияние размещения растений в рядке на урожайность сахарной свеклы / С.В. Василенко // Совершенствование технологий и технических средств производства продукции растениеводства и животноводства : сборник научных трудов. – Воронеж : ВСХИ, 1998. – С. 24–29.

4. Гуреев И.И. Обновленная технология возделывания сахарной свеклы / И.И. Гуреев, А.В. Агибалов // Земледелие. – 1997. – № 3. – С. 26.
5. Гуреев И.И. Производство сахарной свеклы без затрат ручного труда / И.И. Гуреев, А.В. Агибалов // Сахарная свекла. – 2002. – № 5. – С. 6.
6. Зазуля А.Н. Энергосберегающая технология возделывания сахарной свеклы / А.Н. Зазуля, А.В. Балашов, В.П. Белогорский // Наука в центральной России. – 2015. – № 3 (15). – С. 117–126.
7. Кардашевский С.В. О точном высеве семян кукурузы / С.В. Кардашевский // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1961. – № 2. – С. 16–19.
8. Кардашевский С.В. Высевающие устройства посевных машин / С.В. Кардашевский. – Москва : Машиностроение, 1973. – 173 с.
9. Кардашевский С.В. Методика оценки качества распределения семян при однозерновом посеве с учетом отрицательных интервалов / С.В. Кардашевский. – Москва : ВИСХОМ, 1963. – 32 с.
10. Никитин А.Ф. Ширина междурядий и продуктивность корнеплодов / А.Ф. Никитин, А.М. Парфенов // Сахарная свекла. – 2008. – № 10. – С. 30–32.
11. Никитин А.Ф. Размеры и масса корнеплода сахарной свеклы / А.Ф. Никитин // Сахарная свекла. – 2004. – № 8. – С. 11.
12. Никитин А.Ф. Размеры корнеплодов и содержание в них сахара в зависимости от разных способов основной обработки почвы и условий вегетации / А.Ф. Никитин // Сахар. – 2019. – № 2. – С. 34–37.
13. Никитин А.Ф. Размеры корнеплодов и содержание сахара / А.Ф. Никитин // Сахарная свекла. – 2008. – № 5. – С. 46–48.
14. Определение и расчет математической модели формы корнеплодов у различных селекционных номеров / А.В. Корниенко, А.Ф. Никитин, О.И. Стогниенко, А.М. Парфенов, В.А. Сухоруких, Р.В. Бердников, Е.В. Гончаров, Ю.Н. Мельников // Сахарная свекла. – 2008. – № 8. – С. 26–28.
15. Павлов В.К. Исследование движения семян в сошнике и борозде применительно к скоростным сеялкам точного посева : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / В.К. Павлов. – Воронеж, 1971. – 29 с.
16. Хангильдин Э.В. Вероятностные модели расположения семян и растений в рядке / Э.В. Хангильдин // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1978. – № 5. – С. 32–33.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Владимир Васильевич Василенко – доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: vladva.vasilenko@yandex.ru.

Сергей Владимирович Василенко – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: tuli-fruli@mail.ru.

Ким Рубенович Казаров – доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: smachin@agroeng.vsau.ru.

Виктор Васильевич Труфанов – доктор технических наук, профессор кафедры технологического оборудования, процессов перерабатывающих производств, механизации сельского хозяйства и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: bgd@agroeng.vsau.ru.

Юрий Игоревич Солдатов – аспирант кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: general-soldatov@mail.ru.

Дата поступления в редакцию 22.08.2021

Дата принятия к печати 28.09.2021

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Vladimir V. Vasilenko, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: vladva.vasilenko@yandex.ru.

Sergey V. Vasilenko, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Applied Mechanics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: tuli-fruli@mail.ru.

Kim R. Kazarov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: smachin@agroeng.vsau.ru.

Viktor V. Trufanov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Technological Equipment, Processing Plants' Processes, Agricultural Engineering, Health and Safety, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: bgd@agroeng.vsau.ru.

Yuriy I. Soldatov, Postgraduate Student, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: general-soldatov@mail.ru.

Received August 22, 2021

Accepted after revision September 28, 2021