Тип статьи: научная
УДК 634.75: 631.358
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-3-24-31

СОПРОТИВЛЕНИЕ ПЕРЕКАТЫВАНИЮ КОЛЕС УБОРОЧНОЙ ТЕЛЕЖКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ТИПОРАЗМЕРА И АГРОФОНА

Виктор Николаевич Ожерельев [1]***, Валерий Владимирович Сомин*** [2]
[1, 2] *Брянский государственный аграрный университет, г. Брянск, Россия*
[1]vicoz@bk.ru, https://orcid.org/0000-0002-2121-3481
[2]somin.valery@yandex.ru

Автор, ответственный за переписку: Виктор Николаевич Ожерельев, vicoz@bk.ru
Corresponding author: Viktor Ozherelev, vicoz@bk.ru

Реферат. *Использование для перемещения сборщика при ручной уборке ягод земляники садовой специальной тележки существенно увеличивает производительность труда. При этом выбор размера ее колес, как правило, не связан с несущей способностью почвы междурядий и сопротивлением перекатыванию. Цель исследования заключалась в выявлении связи между параметрами агрофона, размерами колес и сопротивлением перекатыванию тележки. Испытаны колеса с пневматическими шинами диаметром 300, 400, 500 и 700 мм. В качестве комплексной характеристики колеса была принята площадь пятна контакта на твердой поверхности при давлении в шине 160 кПа. Испытания проведены на четырех типах агрофона, характерных для плантаций земляники. Тележку прокатывали по залуженным междурядьям, междурядьям, замульчированным соломой, по черному пару через три недели после обработки и уплотненному ногами сборщиков в конце сезона уборки. Критерием оценки несущей способности почвы в междурядьях была принята ее твердость на глубине 20 мм. При испытаниях тележку нагружали балластом, массой 72 кг, имитировавшим вес сборщика. Усилие фиксировали электронным динамометром DEXP BM-10 (Китай), с пределом измерения 500Н и ошибкой измерения, равной 0,5Н. Результаты испытаний были обработаны в программах Excel и STATISTICA 10. Получены уравнения регрессии, связывающие основные параметры процесса. Установлено, что влияние твердости почвы на конечный результат в 2,7 раза превышает влияние параметров колеса. При этом мульчирование междурядий соломой увеличивает сопротивление перекатыванию колес на 4,3 – 11,8%, в зависимости от их диаметра. Причем разница увеличивается по мере роста указанного параметра.*

Ключевые слова*: ягоды, земляника, ручной сбор, тележка, колесо, междурядья, сопротивление перекатыванию.*

RESISTANCE TO ROLLING OF WHEELS OF A HARVEST TROLLEY DEPENDING ON THEIR SIZE AND AGROPHONE

Viktor Ozherelev[1]***, Valery Somin***[2]
[1, 2] *Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russian Federation*
[1]vicoz@bk.ru, https://orcid.org/0000-0002-2121-3481
[2]somin.valery@yandex.ru

Abstract. *The use of a special garden cart to move the picker during manual harvesting of strawberries significantly increases labor productivity. At the same time, the choice of the size of its wheels, as a rule, is not associated with the bearing capacity of the soil between rows and rolling resistance. The aim of the study was to identify the relationship between the parameters of the agrophone, the size of the wheels and the resistance to rolling of the trolley. Wheels with a diameter of 300, 400, 500 and 700 mm have been tested. The area of the contact patch on a hard surface at a tire pressure of 160 kPa was taken as a complex characteristic of the wheel. The tests were carried out on four types of*

agrophone typical for strawberry plantations. The cart was rolled over tinned aisles, aisles covered with straw, over black steam three weeks after processing and compacted with the collectors' feet at the end of the harvesting season. The criterion for assessing the bearing capacity of the soil in the aisles was its hardness at a depth of 20 mm. During the tests, the cart was loaded with ballast weighing 72 kg, simulating the weight of the collector. The force was recorded with an electronic dynamometer DEXP BM-10 (China), with a measurement limit of 500N and a measurement error of 0.5N. The test results were processed in Excel and STATISTICA 10. The regression equations connecting the main process parameters were obtained. It was found that the effect of soil hardness on the final result is 2.7 times higher than the effect of the wheel parameters. At the same time, mulching the row spacing with straw increases the rolling resistance of the wheels by 4.3 - 11.8%, depending on their diameter. Moreover, the difference increases with the growth of the specified parameter.

Keywords: *berries, strawberries, hand picking, cart, wheel, row spacing, rolling resistance*.

Для цитирования: Ожерельев В.Н., Сомин В.В. Сопротивление перекатыванию колес уборочной тележки в зависимости от их типоразмера и агрофона // Наука в Центральной России. 2023. Т. 63, № 3. С. 24-31. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-24-31.

For citation: Ozherelev V., Somin V. Resistance to rolling of wheels of a harvest trolley depending on their size and agrophone. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 63(3): 24-31. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-24-31.

Введение. Земляника садовая является главной ягодной культурой как в России, так и в мире. В связи с этим ягоды отечественного производства неизбежно встречаются на рынке с импортными и результат конкурентной борьбы не всегда оказывается позитивным для российской продукции [1]. Отчасти это обусловлено тем, что затраты на ручную уборку ягод могут варьироваться в пределах от 40 до 70% всех издержек производства (в зависимости от технологии и способа его организации) [2-4]. Так, в условиях небольшого фермерского хозяйства (Брянская область) трудоемкость ручного сбора ягод в 2018 году составила 58% от суммарных сезонных трудозатрат. В связи с этим, важнейшей задачей науки является увеличение конкурентоспособности отечественных ягод за счет уменьшения трудоемкости уборки путем рационализации последней.

Зарубежный опыт свидетельствует о том, что наиболее эффективным средством рационализации ручного труда сборщиков ягод на плантациях земляники садовой является тележка индивидуального использования [5-8]. При этом эффективность указанного оборудования зависит от целого ряда конструктивных и компоновочных решений. В частности, большое значение имеет выбор количества, размещения, типоразмера колес, а также наличие или отсутствие их привода.

В самом простом варианте исполнения тележки размещенный на ней сборщик может перемещаться, отталкиваясь ногами от поверхности междурядий [9]. Встречаются варианты исполнения оборудования, в которых тележка приводится в движение посредством цепного привода [10]. Наиболее сложные тележки могут быть снабжены приводом от аккумуляторной батареи или микролитражного двигателя внутреннего сгорания [11]. В результате такой дифференциации конструкций существенным образом варьируются как условия труда, так и цена оборудования. Так, в странах Евросоюза цена может изменяться в пределах от 200 до 900 Евро.

При любом исполнении тележки с точки зрения рационализации процесса ее рабочего перемещения по плантации целесообразно обеспечить минимальное сопротивление перекатыванию опорных колес по междурядьям. При отсутствии привода излишние усилия утомительны для сборщика, что может негативно отразиться на производительности его труда, а при использовании аккумуляторной батареи не исключено, что она будет слишком быстро разряжаться.

Цель исследований: выявление связи между параметрами колес, состоянием агрофона и усилием, необходимым для перекатывания тележки индивидуального использования по плантации земляники садовой в период уборки ягод.

Материалы и методы. Объектом исследования являлась разработанная нами трехколесная тележка индивидуального использования, снабженная сменными комплектами колес четырех типоразмеров (рисунок 1) [5, 12]. Сборщик ягод размещается на сиденье 4 спиной по направлению движения 5. Собрав имеющиеся на ряду 8 ягоды, находящиеся в пределах доступности и обзора, он отталкивается ногами от поверхности междурядий 6 и 7 и перемещается вместе с тележкой по направлению стрелки 5. При этом развиваемые им мускульные усилия $P_п$ и $P_л$ должны быть в сумме не меньше суммы сил сопротивления перекатыванию колес R_1, R_2 и R_3.

Чтобы минимизировать физическую нагрузку на сборщика и его утомляемость целесообразно свести сопротивления перекатыванию колес тележки индивидуального использования к приемлемому минимуму. Поэтому предметом исследования являлся процесс взаимодействия колес указанной тележки с поверхностью междурядий при различных вариантах их содержания и его влияние на сопротивление перекатыванию. Испытания проводились на четырех вариантах агрофона: залужение, с высотой травы до 50 мм, мульчирование соломой, черный пар через три недели после его обработки и черный пар в конце уборки, уплотненный за этот период естественным образом ногами сборщиков. Таким образом были охвачены все варианты содержания плантации, характерные для условий небольшого фермерского хозяйства, расположенного в средней полосе России.

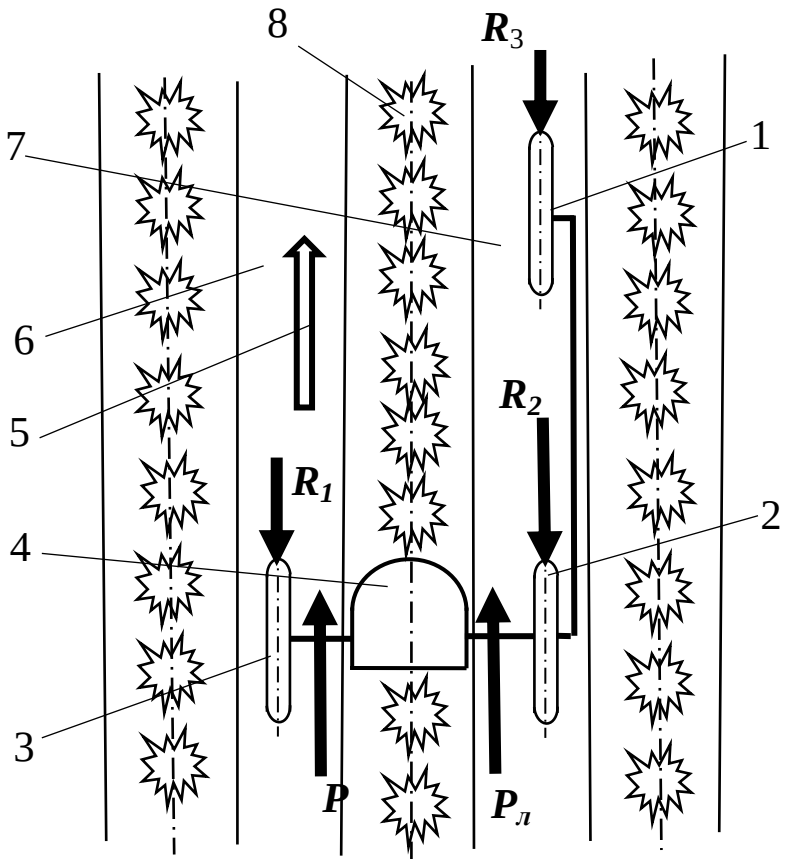


Рисунок 1 – Схема сил, действующих на тележку при ее перемещении:
1 – 3 – колеса опорные; 4 – сиденье; 5 – направление движения;
6, 7 – междурядья; 8 – убираемый ряд земляники садовой

В связи со стремлением к минимизации цены оборудования выбор был остановлен на использовании колес от дорожных велосипедов и иного широко распространенного хозяйственного инвентаря. Поскольку ширина шин у колес разных типоразмеров варьируется в широких пределах (таблица 1) в качестве показателя их несущей способности было принято суммарное пятно контакта. Оно было получено для каждого типоразмера колес путем суммирования площади отпечатков на координатной бумаге всех трех шин ненагруженной весом сборщика тележки при давлении в них равном 160 кПа.

В качестве критерия оценки несущей способности почвы была принята ее твердость на глубине 20 мм (таблица 2). Выбор контрольной глубины обусловлен тем, что в поверхностном слое залуженного междурядья заметно искажающее влияние на показатель твердости растительных остатков, а на большей глубине деформирующее влияние колеса с пневматической шиной не ощутимо.

Таблица 1 - Характеристики сменных колес тележки

Параметр колеса	Наружный диаметр, мм	Ширина шины, мм	Давление в шине, кПа	Суммарная площадь пятна контакта (X_2), мм^2
Вариант 1	300	55	160	1790
Вариант 2	400	45	160	2210
Вариант 3	500	40	160	2270
Вариант 4	700	38	160	2430

В результате был спланирован и проведен полнофакторный эксперимент с двумя независимыми переменными X_1 (твердостью почвы на глубине 20 мм) и X_2 (суммарной площадью пятна контакта шин) при четырех уровнях варьирования каждой из них. При этом усилие перекатывания тележки фиксировали электронным динамометром *DEXP BM*-10 (Китай), с пределом измерения 500Н и ошибкой измерения, равной 0,5Н (рисунок 2а). Каждый вариант опыта был выполнен в четырехкратной повторности.

Таблица 2 - Твердость почвы (X_1) на глубине 20 мм в междурядьях земляники садовой при различных вариантах их содержания, МПа

Тип Агрофона	Черный пар через три недели после обработки	Междурядья, мульчированные соломой	Черный пар, уплотненный сборщиками	Залужение
Твердость почвы	0,533	0,581	0,679	1,211

Во время проведения опыта на сиденье тележки размещали балласт массой 72 кг, имитировавший действие части веса типичного сборщика, приходящейся на сиденье (рисунок 2а). Характер распределения веса сборщика между его давлением на сиденье и на поверхность почвы был заранее получен экспериментальным путем. Для этого электронные весы SCI-30P (Китай) устанавливали на сиденье тележки и осуществляли замеры при варьировании его высоты над уровнем почвы.

Эксперимент был проведен летом 2022 года на товарной плантации земляники садовой в крестьянском (фермерском) хозяйстве П. Ю. Стекачева (Почепский район Брянской области). Плантация заложена по схеме 1х0,3 м и включала участки разного возраста, что обеспечивало представительство всех указанных выше типов агрофона. Соответствующим образом была адаптирована к схеме посадки и ширина колеи задних колес тележки.

Результаты и их обсуждение. На основании результатов испытаний тележки индивидуального использования, оборудованной сменными колесами различных типоразмеров (таблица 3), можно сделать следующие предварительные выводы. Во-первых, сопротивление перекатыванию увеличивается, начиная от варианта залужения междурядий к их содержанию под черном паром (через три недели после механической обработки). При этом мульчирование уплотненных естественным образом междурядий соломой увеличивает сопротивление

перекатыванию колес на 4,3 – 11,8%, в зависимости от их диаметра. Причем по мере роста диаметра разница увеличивается.

Таблица 3 - Среднее усилие перекатывания тележки по вариантам опыта, Н

Вариант типоразмера колес	Тип агрофона			
	Залужение междурядий	Черный пар, уплотненный сборщиками	Междурядья, мульчированные соломой	Черный пар через три недели после обработки
1	93,6	159	165,9	203,3
2	71,8	149,6	156,9	199,3
3	67,4	133,2	144	179,5
4	55	111,2	123,6	159,3

Во-вторых, сопротивление перекатыванию уменьшается по мере роста диаметра колес. При этом в наибольшей степени (в 1,7 раза) уменьшается усилие перекатывания на залуженном междурядье по мере роста диаметра колеса от 300 до 700 мм. Наименьшее влияние на усилие перекатывания роста диаметра колес отмечено на черном паре через три недели после обработки междурядий (в 1,28 раза).

Существенное влияние на результат оказывает и величина вертикальной нагрузки, приходящейся на колесо. В результате изменения величины нагрузки меняется как площадь пятна контакта колес, так и глубина колеи (если рассматривать вариант движения по черному пару через три недели после его обработки). Так, для наиболее нагруженного бокового колеса (поз. 2 на рисунке 1) характерным является увеличение глубины колеи с 37 до 41 мм по мере уменьшения его диаметра с 700 до 300 мм (на 10,8%). При этом менее нагруженное заднее колесо (поз. 3 на рисунке 1) при аналогичном уменьшении диаметра показало большую степень увеличения глубины колеи (с 23 до 30 мм или на 30,4%) при меньшем абсолютном значении указанного параметра.

Для получения зависимости, наиболее адекватно отражающей связь между результатом и независимыми переменными X_1 (твердость почвы) и X_2 (суммарная площадь пятна контакта колес) был выполнен регрессионный анализ исходных данных, приведенных в таблице 4.

Таблица 4 - Исходная матрица регрессионного анализа

№	X_1 (МПа)	X_2 (мм^2)	Y (Н)	№	X_1 (МПа)	X_2 (мм^2)	Y (Н)
1	0,533	1790	203,3	9	0,679	1790	159
2	0,533	2210	199,3	10	0,679	2210	149,6
3	0,533	2270	179,5	11	0,679	2270	133,2
4	0,533	2430	159,3	12	0,679	2430	111,2
5	0,581	1790	165,9	13	1,211	1790	93,6
6	0,581	2210	156,9	14	1,211	2210	71,8
7	0,581	2270	144	15	1,211	2270	67,4
8	0,581	2430	123,6	16	1,211	2430	55

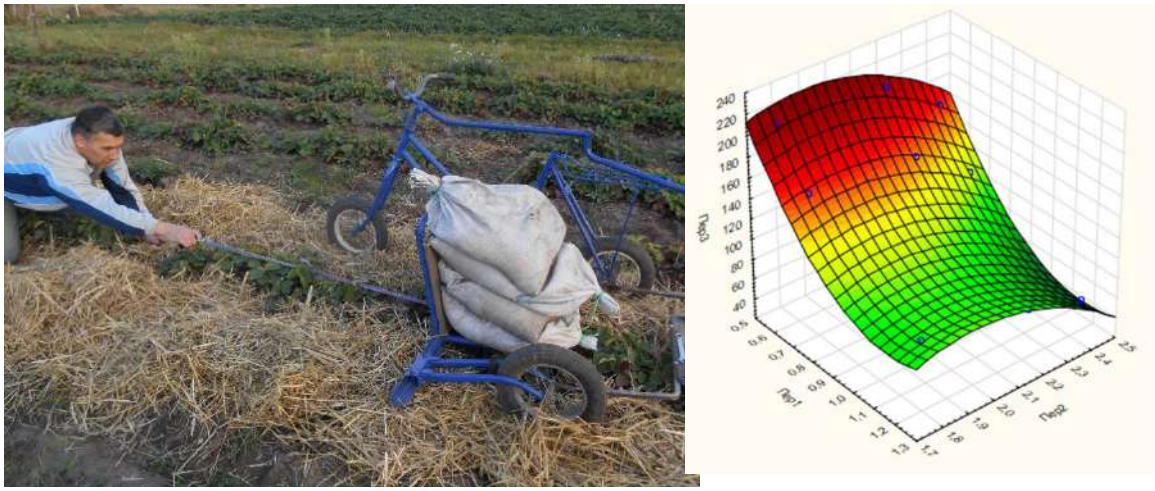
Анализ был выполнен в программе *Excel*, в результате чего получено уравнение регрессии, коэффициент детерминации которого (R^2 = 0,954) свидетельствует о приемлемой степени его адекватности анализируемому массиву экспериментальных данных:

$$Y = -642{,}94X_1 + 275{,}02X_1^2 + 597{,}75X_2 - 158{,}68X_2^2 + 4{,}03X_1X_2 - 103{,}82,$$

где X_1 – твердость почвы на глубине 20 мм, МПа;

X_2 – суммарная площадь пятна контакта трех колес при давлении в шинах 160 кПа, тыс. мм^2.

Характер взаимосвязи между параметрами уравнения регрессии иллюстрирует поверхность отклика, построенная в программе *STATISTICA* 10 (рисунок 2б).



а) б)

а) – протягивание тележки; б) – поверхность отклика;
(Пер. 1 - твердости почвы, МПа, Пер. 2 - суммарная площадь пятна контакта, в тысячах мм^2,
Пер. 3 – сопротивление протягиванию, Н)
Рисунок 2 - Организация и результат эксперимента

Поскольку характер поверхности отклика свидетельствует о разной степени влияния на результат факторных признаков, был выполнен корреляционный анализ, позволяющий достоверно установить численное значение выявленных различий (таблица 5).

Таблица 5 - Результаты корреляционного анализа

$X_i \rightarrow Y$	$X_1 \rightarrow Y$	$X_2 \rightarrow Y$
Значения коэффициента корреляции	-0,8879	-0,3294

Результаты корреляционного анализа свидетельствуют о том, что степень влияния на результат первого факторного признака, отражающего объективную характеристику агрофона, в 2,7 раза превышает степень влияния второго факторного признака, характеризующего параметры колес.

Выводы.

1. Результаты исследования свидетельствуют о том, что больший диаметр колеса способствует уменьшению сопротивления перекатыванию тележки по междурядьям земляники садовой. Однако, слишком большие колеса могут создавать определенные неудобства для сборщика, в связи с чем при выборе их диаметра необходимо изыскивать компромиссное решение, учитывающее оба соображения. При этом следует иметь ввиду, что несколько меньший диаметр колеса можно, в значительной степени, компенсировать увеличением ширины шины, вследствие чего при неизменном диаметре площадь пятна контакта, являющегося косвенным показателем несущей способности опорного устройства, увеличивается.

2. В период уборки, как правило выпадают дожди. Кроме того, может быть проведен искусственный полив плантации методом дождевания. В результате свойства поверхностного слоя междурядий могут существенным образом измениться. Ориентация на выявленную регрессионную зависимость позволяет подобрать колеса, в наибольшей степени соответствующие несущей способности почвы в конкретный момент времени и физическим возможностям сборщиков.

Список источников

1. Ожерельева, М.В. Экономические основы эффективного ягодоводства: Монография. Брянск: Изд-во Брянской ГСХА, 2007. 217с.

2. Филиппов Р.А. Хорт Д.О. Развитие технических средств для сбора ягод земляники // Труды ГОСНИТИ. 2013. Т. 111. №1. С. 58-61.

3. Khort D.O., Kutyrev A.I., Filippov R.A., Vershinin R.V. Device for robotic picking of strawberries. В сборнике: E3S Web of Conferences. Сер. «International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2020» 2020. С. 01045.

4. Филиппов Р.А., Цымбал А.А., Утков Ю.А., Чухляев И.И., Мехедов М.А. Эффективность применения технических средств для уборки урожая низкорастущих ягодников // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2018. №3(39). С. 131-135.

5. Ожерельев В.Н. Сомин В.В., Андронова Н.В., Ожерельева М.В. Тележка для рационализации ручного сбора ягод земляники садовой // Наука в центральной России. 2019. № 6 (42). С. 42-50.

6. Ожерельев В.Н., Ожерельева М.В. Ягоды: практические рекомендации по выращиванию для себя и на продажу: монография. М.: Колос, 2006. 160с.

7. Филиппов Р.А., Хорт Д.О. Технические средства в технологии ручной уборки ягод земляники // Технология колесных и гусеничных машин. 2014. № 5. С. 42-47.

8. Филиппов Р.А. Технические средства в технологии ручной уборки ягод земляники: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2012. 22 с.

9. Платформа для ручной уборки урожая, посадки и ухода за низкорастущими культурами: пат. 2415550 Российская Федерация №2009130246/21 / Чухляев И.И., Утков Ю.А., Цымбал А.А., Бычков В.В., Филиппов Р.А.; заявл. 07.08.2009; опубл. 10.04.2011. Бюл. № 10. 4с.

10. Платформа для ручной уборки ягод земляники и других низкорастущих культур: пат. 2523500 Российская Федерация №2013119102/13 / Филиппов Р.А., Утков Ю.А., Хорт Д.О., Смирнов И.Г.; заявл. 25.04.2013; опубл. 20.07.2014. Бюл. № 20. 4с.

11. Higginson W. Rolling Platform to Plant, Weed or Pick Strawberries // FARM SHOW Magazine. 1994. Vol. 18. Issue 3. P. 35.

12. Тележка для сбора ягод земляники садовой индивидуального использования: пат. 2712688 Российская Федерация №2018139067 / Ожерельев В.Н., Ожерельева М.В., Гринь А.М., Сомин В.В.; заявл. 06.11.2018; опубл. 30.01.2020. Бюл. №4. 4с.

References

1. Ozhereleva, M.V. Economic bases of effective berry growing: Monograph. Bryansk: Publishing House of the Bryansk State Agricultural Academy, 2007. p. 217.

2. Filippov R.A. Hort D.O. Development of technical means for collecting strawberries // Proceedings of GOSNITI. 2013. Vol. 111. No. 1. pp. 58-61.

3. Khort D.O., Kutyrev A.I., Filippov R.A., Vershinin R.V. Device for robotic picking of strawberries. V sbornike: E3S Web of Conferences. Cep. «International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2020» 2020. C. 01045.

4. Filippov R.A., Tsymbal A.A., Utkov Yu.A., Chukhlyaev I.I., Mekhedov M.A. The effectiveness of the use of technical means for harvesting low-growing berries // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University. P.A. Kostychev. 2018. No. 3(39). pp. 131-135.

5. Ozherelyev V.N. Somin V.V., Andronova N.V., Ozhereleva M.V. Trolley for rationalization of manual picking of garden strawberries // Science in Central Russia. 2019. No. 6 (42). pp. 42-50.

6. Ozherel'ev V.N., Ozherel'eva M.V. Berries: practical recommendations for growing for yourself and for sale: a monograph. M.: Kolos, 2006. p. 160.

7. Filippov R.A., Hort D.O. Technical means in the technology of manual harvesting of strawberries // Technology of wheeled and tracked vehicles. 2014. No. 5. pp. 42-47.

8. Filippov R.A. Technical means in the technology of manual harvesting of strawberries: Abstract of the thesis. dis. ... cand. s.-x. Sciences. M., 2012. p. 22.

9. Platform for manual harvesting, planting and care of low-growing crops: Pat. 2415550 Russian Federation No. 2009130246/21 / Chukhlyaev I.I., Utkov Yu.A., Tsymbal A.A., Bychkov V.V., Filippov R.A.; dec. 08/07/2009; publ. 04/10/2011. Bull. No. 10. p. 4.

10. Platform for manual harvesting of strawberries and other low-growing crops: Pat. 2523500 Russian Federation No. 2013119102/13 / Filippov R.A., Utkov Yu.A., Khort D.O., Smirnov I.G.; dec. 04/25/2013; publ. 07/20/2014. Bull. No. 20. p. 4.

11. Higginson W. Rolling Platform to Plant, Weed or Pick Strawberries // FARM SHOW Magazine. 1994. Vol. 18. Issue 3. P. 35.

12. Trolley for picking strawberries for garden individual use: Pat. 2712688 Russian Federation No. 2018139067 / Ozherelyev V.N., Ozherel'eva M.V., Grin A.M., Somin V.V.; dec. 11/06/2018; publ. 01/30/2020. Bull. No. 4. p. 4.

Информация об авторах

В.Н. Ожерельев – доктор с.-х. наук, профессор; В.В. Сомин – инженер.

Information about the authors

V. Ozherelyev - Doctor of Agricultural Sciences, professor; V. Somin - engineer.

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: *all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication*.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 05.06.2023 Принята к публикации (Accepted): 26.06.2023