

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.358

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-2-10-14



## Моделирование взаимодействия улавливающего устройства малиноуборочного комбайна со стеблями

**Виктор Николаевич Ожерельев**<sup>✉</sup>, д-р с.-х. наук, профессор<sup>1</sup>

vicoz@bk.ru<sup>✉</sup>; <https://orcid.org/0000-0002-2121-3481>

**Марина Викторовна Ожерельева**, д-р экон. наук, профессор<sup>2</sup>

marinavo@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1470-504X>

<sup>1</sup>Брянский государственный аграрный университет; 243365, Российская Федерация, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, ул. Советская, 2а

<sup>2</sup>Брянский государственный технический университет; 241035, Российская Федерация, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7

**Аннотация.** Малиноуборочный комбайн вновь востребован производством. Приведен отечественный и зарубежный опыт разработки и совершенствования улавливающих устройств малиноуборочного комбайна. Отмечено доминирование бесприводных улавливателей лепесткового и дискового типов. Отмечены преимущества улавливателя с размещением дисков каждой из секций на продольной балке, шарнирно подвешенной к раме комбайна в верхней части его рамы. Возникающий вследствие такого конструктивного решения момент силы тяжести секций улавливающего устройства принудительно сжимает плодовую стенку малины до приемлемой ширины. С целью уточнения механизма взаимодействия улавливающего устройства со стеблями плодовой стенки малины и дальнейшего совершенствования конструкции улавливающего устройства изучен стеблестой малины сорта Бальзам. Получена регрессионная модель зависимости необходимого для формирования плодовой стенки поперечного усилия на стебель от его диаметра и требуемой величины поперечного отгиба. Коэффициент парной корреляции (0,617) свидетельствует о доминирующем влиянии диаметра стебля малины на поперечное усилие. Рассчитана величина момента силы тяжести секций улавливающего устройства, адаптированная к оптимальной густоте ряда малины, равная 1085 Н·м. Предусмотрена возможность регулирования параметров.

**Ключевые слова:** малиноуборочный комбайн, улавливающее устройство, плодовая стенка малины, поперечное усилие

**Формат цитирования:** Ожерельев В.Н., Ожерельева М.В. Моделирование взаимодействия улавливающего устройства малиноуборочного комбайна со стеблями // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 2. С. 10-14. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-2-10-14>.

© Ожерельев В.Н., Ожерельева М.В., 2023

## ORIGINAL ARTICLE

## Simulating the interaction of the catcher of a raspberry harvester with stems

**Viktor N. Ozherelev**<sup>✉</sup>, DSc (Ag), Professor<sup>1</sup>

vicoz@bk.ru<sup>✉</sup>; <https://orcid.org/0000-0002-2121-3481>

**Marina V. Ozhereleva**, DSc (Econ), Professor

marinavo@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1470-504X>

<sup>1</sup>Bryansk State Agrarian University; 2a, Sovetskaya Str., Kokino, Vygonichi district, Bryansk region, 243365, Russian Federation

<sup>2</sup>Bryansk State Technical University; 7, 50 Let Oktyabrya Boul., Bryansk, 241035, Russia, Russian Federation

**Abstract.** The industrial demand for raspberry harvesters is high again. The article presents domestic and foreign experience in the development and improvement of raspberry harvester catchers. The authors note the pre-dominance of non-driven plate- and disk-type catchers. They list some advantages of the catcher with the arrangement of each section disks on the longitudinal beam hinged to the harvester frame in its upper part. The gravitation moment of the catcher sections arising as a result of this design solution forcibly compresses the raspberry row to an acceptable width. To obtain the information necessary for further improvement of the design, the authors studied the raspberry stem stand of the Balsam variety. As a result, they obtained a regression model of the relationship between the transverse force acting on the stem necessary for the raspberry row formation, its diameter and the required transverse limb. The pairwise correlation coefficient (0.617) indicates a dominant influence of raspberry stem diameter on the transverse force. They also determined the value of the moment of gravity of the catcher sections that is adapted to the optimal row density and equals 1085 N·m. The determined parameters are readily adjustable.

**Keywords:** raspberry harvester, catcher, raspberry row, transverse force

**For citation:** Ozherelev V.N., Ozhereleva M.V. Simulating the interaction of the catcher of a raspberry harvester with stems. Agricultural Engineering (Moscow), 2023;25(2):10-14. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-2-10-14>.

**Введение.** Система отечественного ягодоводства оказалась неконкурентоспособной в результате институциональных преобразований, произошедших в АПК России в 1990-е гг. В наибольшей степени это коснулось товарного производства ягод малины. Политика импортозамещения и естественная способность экономической системы к адаптации привели к формированию товарных плантаций малины во многих регионах страны и к необходимости решения вопроса механизации сбора ягод малины. К 2020 г. в России успешно работал (как минимум) один малиноуборочный комбайн американской фирмы *ОХВО*<sup>1</sup>.

После успешного испытания макетного образца отечественного комбайна в 1991 г. были приостановлены работы в этом направлении [1]. Практические результаты отечественных ученых по механизации уборки ягод малины, достигнутые за последние 20 лет, в печати отсутствуют [2-5]. Наряду с американскими на отечественном рынке представлены польские варианты уборочных машин и прототип из Сербии.

Возврат к завершению разработки конкурентоспособного отечественного малиноуборочного комбайна становится актуальным по целому ряду причин. Во-первых, резко возросла (до 200 тыс. долл. США) цена американской машины, в связи с чем ее окупаемость в условиях России становится проблематичной. Во-вторых, конструктивные решения отечественных ученых способны существенно улучшить показатели качества работы малиноуборочного комбайна. Это касается, в частности, улавливающего устройства, являющегося важнейшим рабочим органом с точки зрения минимизации потерь ягод.

**Цель исследований:** уточнение механизма взаимодействия улавливающего устройства со стеблями плодовой стенки малины.

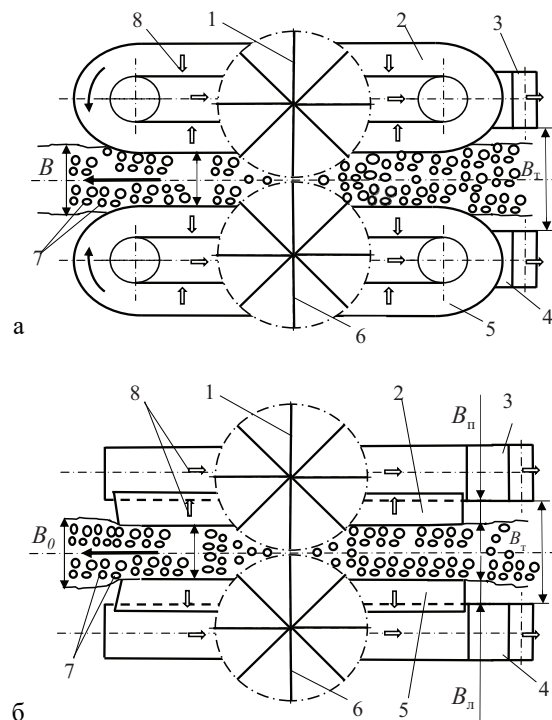
**Материалы и методы.** Малиноуборочный комбайн осуществляет выборочный сьем созревших ягод путем вибрационного воздействия активатора 1 на сборные костянки непосредственно или через стебли и латералы (плодовые веточки) плодовой стенки 7 (рис. 1). Как правило, малиноуборочный комбайн снабжают двумя продольными транспортерами 3 и 4, размещенными с двух сторон от плодовой стенки 7, которые подают ягоды 8 на очистку и затаривание.

Поскольку при вождении комбайна неизбежным является некоторое отклонение его продольно-вертикальной плоскости от осевой линии ряда малины, расстояние  $B_t$  между продольными транспортерами 3 и 4 должно быть больше исходной ширины  $B_0$  плодовой стенки 7. Во избежание потерь ягод пространства  $B_n$  и  $B_d$  (рис. 1б)

целесообразно перекрыть улавливающими устройствами 2 и 5, частично обжимающими плодовую стенку 7 с двух сторон, сформировав в рабочей зоне комбайна ее приемлемую ширину  $B$ . Внутри плодовой стенки 7 сводятся к минимуму площади свободных зон между стеблями, и уменьшается вероятность потери ягод вследствие их падения через межстеблевые пространства.

На начальном этапе разработки ягодоуборочных комбайнов доминировала концепция выполнения улавливающего устройства в виде двух синхронно движущихся эластичных поверхностей 2 и 5 (рис. 1а)<sup>2</sup>. Этому направлению придерживались, в частности, шотландские ученые [6].

Итогом реализации указанной концепции британских ученых стала разработка транспортера ламельного типа, синхронно перемещающаяся (с нулевой скоростью относительно плодовой стенки) поверхность которого состоит из поперечных лотков (ламелей) шириной 80 мм, индивидуально копирующих стеблестой и перекрывающих



**Рис. 1.** Улавливающее устройство малиноуборочного комбайна с синхронным приводом (а) и бесприводное (б):

- 1, 6 – активатор; 2, 5 – улавливающее устройство;  
3, 4 – транспортер продольный;  
7 – плодовая стенка малины (стебли);  
8 – направления движения ягод

**Fig. 1.** Types of catchers used in raspberry harvesters – that with a synchronous drive (a) and driveless (b):  
1, 6 – activator; 2, 5 – catcher; 3, 4 – longitudinal conveyor;  
7 – rows (stems) of raspberries; 8 – travel directions of berries

<sup>1</sup> Ожерельев В.Н., Ожерельева М.В. Ягодные культуры: Учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Издательство Юрайт, 2020. 183 с.

<sup>2</sup> Протасов В.Т., Утков Ю.А. Механизация уборки плодов и ягод: монография. М.: Россельхозиздат, 1977. 88 с.

все пустоты между стеблями [7]. Данное улавливающее устройство успешно использовалось на комбайнах «Йоонас» финской фирмы Ракеннустемпо, предназначенных для уборки смородины, и качество его работы отмечено отечественными специалистами [8].

Отечественные конструкции с синхронно движущимися поверхностями позволили уменьшить потери ягод малины до 8%, однако излишняя сложность и повреждение молодых побегов обратили к американскому опыту. Так, фирма *ОХВО* оборудует свой комбайн предельно упрощенным улавливающим устройством лепесткового типа [1]. Суть конструкции заключается в размещении вдоль плодовой стенки набора подпружиненных пластин (лепестков), перекрывающих все свободные пространства [9]. Лепестки монтируются на соответствующем продольном транспортере, на который с них скатываются уловленные ягоды.

При уборке ягод малины существует проблема повреждения молодой поросли, по поверхности побегов которой подпружиненные лепестки протаскиваются со значительным давлением. Избежать указанных повреждений позволяет замена лепестков на диски, перекатывающиеся по поверхности плодовой стенки. Идея реализована в одном из вариантов финского комбайна «Йоонас». Испытания на малине показали ее принципиальную работоспособность, но при этом выявилась необходимость конструктивной доработки. В частности, необходимо существенно увеличить возможность поперечного перемещения улавливающих дисков. Об этом же свидетельствует и опыт сибирских ученых, работающих над уборкой облепихи [8].

В рамках традиционного размещения каждого диска на индивидуальном поворотном кронштейне [10] решить проблему не представляется возможным. В то же время для плодовой стенки малины ее индивидуальное копирование каждым диском улавливающего устройства не является актуальной задачей. Это обусловлено тем, что при поперечном сжатии стебли малины (в отличие от смородины или облепихи) перераспределяются в продольном направлении и заполняют имеющиеся пустоты в плодовой стенке. В связи с этим все диски 1, 2 (6, 8), размещенные по одну сторону ряда малины 4, могут быть смонтированы в двух ярусах с перекрытием на общей несущей продольной балке 15 (9), имеющей посредством коленчатых подвесок 14 (10) точки подвеса 13 (11) в верхней части рамы 12 комбайна (рис. 2) [13]. Вследствие того, что центр тяжести Ц.т.1 (Ц.т.2) каждой из секций улавливателя расположен дальше от плоскости симметрии комбайна, чем точки подвеса 13 (11), на величину  $Y$ , возникает момент силы веса  $G$ , стремящийся сблизить между собой обе секции улавливающего устройства. В результате формируется необходимая ширина  $B$  плодовой стенки 4, приемлемая с точки зрения как минимизации потерь ягод, так и повреждения молодых побегов.

Степень сжатия плодовой стенки зависит как от размерно-весовых параметров секций улавливающего

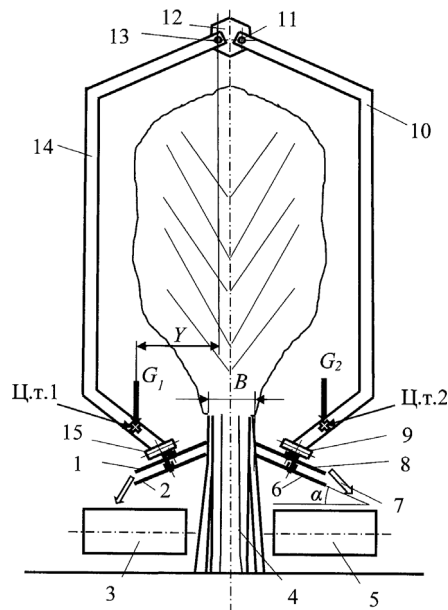
устройства, так и от густоты и жесткости стеблестоя. Момент силы тяжести секций относительно точек их подвеса должен быть уравновешен суммарным моментом сил сопротивления стеблей их поперечному изгибу относительно тех же точек:

$$2G \cdot Y = \sum_{i=1}^n P_i \cdot h = \sum_{i=1}^n (C_i \cdot l_i \cdot h), \quad (1)$$

где  $P_i$  – сила сопротивления стебля малины поперечному изгибу, Н;  $h$  – расстояние по вертикали от точки подвеса секции улавливающего устройства к раме комбайна до верхней кромки улавливающего диска, контактирующей со стеблями, м;  $C_i$  – жесткость стебля малины в поперечном направлении, Н/м;  $l_i$  – величина поперечной деформации стебля, м.

Для выполнения расчетов и оптимизации конструкции улавливающего устройства необходимо изучить основные параметры стеблестоя.

Исследования были выполнены в июле 2022 г. на плодовой стенке малины сорта Бальзам 5-летнего возраста, стебли которой закреплены на вертикальной шпалере. Густота стеблестоя варьировалась в пределах 10...12 стеблей на погонном метре ряда, то есть соответствовала требованиям комбайновой уборки ягод. Ширина ряда у основания  $B_0$  (рис. 1) достигала 0,4 м.



**Рис. 2. Улавливающее устройство дискового типа (Пат. РФ № 2490859):**

- $G_1$  и  $G_2$  – вес секций улавливателя;
- Ц.т.1 и Ц.т.2 – их центры тяжести; 1, 2, 6, 8 – диски;
- 3, 5 – транспортер продольный; 4 – плодовая стенка малины;
- 7 – направление движения ягод; 9, 15 – балка продольная;
- 10, 14 – подвеска; 11, 13 – точка подвеса; 12 – рама

**Fig. 2. Disk-type catcher (Pat. RF No. 2490859):**

- $G_1$  and  $G_2$  – weight of the catcher sections;
- Ц.т.1 and Ц.т.2 – their centers of gravity; 1, 2, 6, 8 – disks;
- 3, 5 – longitudinal conveyor; 4 – raspberry row;
- 7 – travel direction of berries; 9, 15 – longitudinal beam;
- 10, 14 – suspension; 11, 13 – axis; 12 – frame

Замеры осуществлялись в такой последовательности. Случайным образом выбранный стебель подвергали поперечному отгибу посредством электронного динамометра, контактирующего с ним на высоте 0,4 м. Выбор точки контакта динамометра со стеблем обусловлен высотой размещения относительно поверхности почвы улавливающих дисков. В связи с тем, что все стебли были закреплены на шпалере, отгиб продолжали до достижения точкой контакта продольно-вертикальной плоскости

симметрии ряда малины. При этом на высоте установки шпалерной проволоки стебель удерживали от избыточного поперечного перемещения. Таким образом, его подвергали изгибу, как балку с одним зашпалеренным концом, при контакте второй точки с подвижной опорой.

**Результаты и их обсуждение.** В результате эксперимента было выполнено 25 измерений максимальной величины поперечного усилия отгиба стебля малины  $P$ , диаметра стебля  $d$  и величины поперечного отгиба  $l$  (табл.)

Таблица

### Поперечное усилие отгиба стебля малины, Н

### Transverse limb force of a raspberry stem, N

Table

№ опыта <i>Experiment No.</i>	Диаметр $d$ , мм <i>Diameter <math>d</math>, mm</i>	Отгиб $l$ , мм <i>Limb <math>l</math>, mm</i>	Поперечное усилие $P$ , Н <i>Transverse force <math>P</math>, N</i>	№ опыта <i>Experiment No.</i>	Диаметр $d$ , мм <i>Diameter <math>d</math>, mm</i>	Отгиб $l$ , мм <i>Limb <math>l</math>, mm</i>	Поперечное усилие $P$ , Н <i>Transverse force <math>P</math>, N</i>
1	6,5	200	14	14	8,9	125	18
2	10,1	100	17	15	10,0	75	19
3	9,6	200	17	16	13,9	50	27
4	14,7	75	20	17	8,6	45	18
5	9,0	75	22	18	11,1	150	34
6	15,2	70	62	19	11,2	100	38
7	11,0	200	32	20	7,8	175	26
8	14,0	250	75	21	11,7	75	39
9	13,1	175	40	22	10,7	50	27
10	14,1	125	45	23	11,6	80	60
11	12,8	50	22	24	13,6	85	41
12	7,8	100	10	25	10,9	30	14
13	9,4	225	38				

Обработка результатов исследования в программах STATISTICA 10 и Excel позволила получить уравнение регрессии, связывающее между собой основные параметры процесса:

$$Y = 14,708 + 0,132X_1^2 - 1,049X_1 - 0,16X_2 + 0,024X_1 \cdot X_2, \quad (2)$$

где  $X_1$  – диаметр стебля малины  $d$ , мм;  $X_2$  – поперечный отгиб стебля  $l$ , мм;  $Y$  – поперечное усилие отгиба стебля  $P$ , Н.

Структура модели и величина коэффициентов парной корреляции (0,617 для пары  $X_1$ - $Y$  и 0,265 для пары  $X_2$ - $Y$ ) свидетельствуют о том, что варьирование диаметра  $d$  стебля малины доминирует по влиянию на степень изменения поперечного усилия  $P$ .

Параметры плодовой стенки малины могут изменяться в зависимости от сортового состава, технологии содержания, возраста плантации и других факторов. При этом, воспользовавшись формулой (2), можно спрогнозировать, какое поперечное усилие на совокупность стеблей, одновременно находящихся в рабочей зоне комбайна, целесообразно обеспечить при конструировании улавливающего устройства или при его настройке, то есть желательно, чтобы конструкция предусматривала либо возможность изменения положения центра тяжести секции улавливающего

устройства, либо координаты точки ее подвески (рис. 2). В крайнем случае для адаптации улавливающего устройства к фактическому состоянию стеблестоя может быть предусмотрено использование балласта либо дополнительных пружин, стягивающих подвески 10 и 14.

При оптимальном состоянии стеблестоя в рабочей зоне комбайна находится порядка 25 плодоносящих стеблей малины. Воспользовавшись данными таблицы и имея в виду то, что расстояние  $h$  от верхней кромки диска до точки подвески секций к раме должно составлять порядка 1,4 м, из формулы (1) можно определить, что момент силы тяжести каждой из них не должен быть менее 1085 Н·м. Указанную цифру следует увеличить на 20...25%, учитывая наличие внутри плодовой стенки вместе с плодоносящими стеблями молодой поросли. Варьируя величину плеча  $Y$  (рис. 2), можно получить приемлемое значение веса  $G$  секции улавливающего устройства на стадии его проектирования.

При разработке отечественного малиноуборочного комбайна достаточно глубокие исследования состояния стеблестоя проведены не были, поэтому конструктивные параметры улавливающего устройства получены методом экспертной оценки. Тем не менее по полноте



улавливания ягод отечественный комбайн более чем на 6% превзошел финский прототип, оборудованный улавливающим устройством с индивидуальной подвеской каждого диска [1]. Более полный учет особенностей взаимодействия улавливающего устройства с плодовой стенкой малины позволяет оптимизировать конструкцию и улучшить качественные показатели работы комбайна.

### Выводы

1. Дисковое улавливающее устройство с размещением дисков каждой секции на общей продольной балке, подвешенной шарнирно к верхней части рамы

### Список использованных источников

1. Ожерельев В.Н. Технологические процессы и средства механизации производства ягод малины: Дис. ... д-ра с.-х. наук. Брянск, 2001. 312 с.
2. Утков Ю.А., Филиппов Р.А., Хорт Д.О., Кутырёв А.И. Механизированный сбор ягод малины на промышленных плантациях России // История науки и техники. 2020. № 9. С. 67-82. <https://doi.org/10.25791/intstg.09.2020.1213>
3. Бычков В.В., Кадыкало Г.И., Утков Ю.А., Шевкун В.А. Отечественные ягодоборочные комбайны // Плодоводство и ягодоводство России. 2014. Т. 38, № 1. С. 57-66. EDN: RQRCLV.
4. Утков Ю.А. Опыт создания отечественных ягодоборочных машин // Садоводство и виноградарство. 2000. № 5-6. С. 13-14. EDN: UWIXPV.
5. Подольская Е.Е., Бондаренко Е.В., Белименко И.С. Механизация процесса уборки плодов и ягод // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: Материалы XIII Международной научно-практической интернет-конференции, п. Правдинский Московской обл. Росинформагротех, 2021. С. 76-81. EDN: JQPALD.
6. Ramsey A.M. Mechanical harvesting of raspberries – A review with particular reference to engineering development in Scotland. *Journal of agricultural engineering research*. 1983;28(3):183-206. [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(83\)90069-0](https://doi.org/10.1016/0021-8634(83)90069-0)
7. Scudder R., Bowes A. Improvements in harvesters for harvesting berries. 1980. № 1578926, МПК А01D46/26.
8. Баргнев В.Д., Канарский А.А. Основные сравнительные особенности конструкций и краткие характеристики и оценка испытаний технических средств на уборке облепихи // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 2 (124). С. 100-105. EDN: THKSHX.
9. Улавливающее устройство ягодоборочной машины: SU1729323 A1, № 4773492 / В.В. Ильин, Ю.А. Утков, В.В. Бычков. Заяв. 25.12.1989; опубл. 30.04.1992, Бюл. 16. 5 с. EDN: IKSEJK.
10. Pertics E.E. Catching and guide means in a berry harvester: Patent US3449895A. 1969.
11. Улавливающее устройство ягодоборочной машины: Патент RU2490859 C1 / В.Н. Ожерельев, № 2012114510/13. Заяв. 12.04.2012; опубл. 27.08.2013, Бюл. № 24. 7 с. EDN: ZLTZKA.

Ожерельев В.Н., Ожерельева М.В. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 24.10.2022; поступила после рецензирования и доработки 14.02.2023; принята к публикации 15.02.2023

малиноуборочного комбайна, является работоспособным, надежным в эксплуатации и дешевым в изготовлении.

2. Поперечное усилие, необходимое для формирования приемлемой ширины плодовой стенки в рабочей зоне малиноуборочного комбайна, зависит от числа одновременно находящихся в ней стеблей, квадрата диаметра каждого из них и расстояния от него до продольно-вертикальной плоскости симметрии ряда.

3. Для обеспечения стабильного сжатия ряда малины до приемлемой ширины момент силы тяжести секции улавливателя относительно точки ее подвески должен превышать 1085 Н·м.

### References

1. Ozherelev V.N. Technological processes and means of mechanized raspberry harvesting: DSc (Ag) thesis: 05.20.01. Bryansk, 2001. 312 p. (In Rus.)
2. Utkov Yu.A., Filippov R.A., Khort D.O., Kutyrev A.I. Mechanized harvesting of raspberries on commercial plantations in Russia. *History of Science and Engineering*. 2020;9:67-82. <https://doi.org/10.25791/intstg.09.2020.1213>
3. Bychkov V.V., Kadykalo G.I., Utkov Yu.A., Shevkun V.A. Domestic berry harvesters. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2014;38(1):57-66. (In Rus.)
4. Utkov Yu.A. Experience in designing domestic berry harvesters. *Horticulture and viticulture*. 2000;5-6:13-14. (In Rus.)
5. Podolskaya E.E., Bondarenko E.V., Belimenko I.S. Mechanization of the fruit and berry harvesting. *Nauchno-informatsionnoe obespechenie innovatsionnogo razvitiya APK. Materialy XIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii*. Pravdinskiy, Moscow region, 2021:76-81. (In Rus.)
6. Ramsey A.M. Mechanical harvesting of raspberries – A review with particular reference to engineering development in Scotland. *Journal of agricultural engineering research*. 1983;28(3):183-206. [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(83\)90069-0](https://doi.org/10.1016/0021-8634(83)90069-0)
7. Scudder R., Bowes A. Improvements in harvesters for harvesting berries. 1980. No. 1578926, МПК А01D46/26.
8. Bartenev V.D., Kanarskiy A.A. Basic comparative design features, brief description and evaluation of equipment used for sea-buckthorn harvesting. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2015;2(124):100-105. (In Rus.)
9. Ilin V.V., Utkov Yu.A., Bychkov V.V. Catcher of a berry harvester: a.s. SU1729323 A1, No. 4773492;1992. (In Rus.)
10. Pertics E.E. Catching and guide means in a berry harvester. Patent US3449895A, 1969.
11. Ozherelev V.N. Catcher of a berry harvester: patent RU2490859 C1, 2013. (In Rus.)

V.N. Ozherelev, M.V. Ozhereleva have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

Received 24.10.2022; revised 14.02.2023; accepted 15.02.2023