

# ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ / TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT



УДК 631.313:634.7

doi: 10.15507/2658-4123.033.202302.219-236

Оригинальная статья



## Совершенствование конструкции дисковой бороны для ягодников

**В. Н. Ожерельев** , **В. В. Никитин**  
*Брянский государственный аграрный университет*  
(г. Брянск, Российская Федерация)  
 [vicoz@bk.ru](mailto:vicoz@bk.ru)

### Аннотация

*Введение.* Снижение дальности отброса почвы в кустовую и прикустовую зоны, а также поддержание выровненной поверхности междурядий ягодных культур являются актуальными научными проблемами.

*Цель статьи.* Определение основных параметров процесса взаимодействия сферического диска с переувлажненной почвой и разработка на этой основе технического решения, позволяющего уменьшить дальность отброса почвенной ленты в условиях междурядий ягодных культур.

*Материалы и методы.* Объект исследования – садовая дисковая борона, снабженная защитным щитом, смонтированным перед крайним диском передней батареи орудия. Предмет исследования – процесс взаимодействия крайнего диска передней батареи бороны с переувлажненной почвой в ягодниках. Оптимизационными параметрами при проведении полевых экспериментов были выбраны длина щитка и его пространственная ориентация. Оценку качества обработки междурядий ягодников производили профилированием их поверхностей.

*Результаты исследования.* По результатам теоретических исследований установлено, что угол наклона защитного щитка в горизонтальной плоскости должен находиться в пределах 53–54°, а по направлению к движению бороны – 50–58°. Результаты полевых экспериментов подтвердили теоретические предположения. Установлено, что полностью исключить боковой отброс почвы за пределы ширины захвата орудия позволяет только защитный щиток, длина которого составляет 450 мм, а угол установки – 50°. Кроме того, при этих параметрах обеспечивается устойчивая работа дискового орудия практически при любой влажности и засоренности междурядий ягодных кустарников.

*Обсуждение и заключение.* Использование модернизированного почвообрабатывающего орудия позволило исключить отброс почвы в кустовую зону, увеличить скорость движения агрегата на 25 %.

© Ожерельев В. Н., Никитин В. В., 2023



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.  
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

**Ключевые слова:** междурядья ягодных культур, отброс почвы, дисковая борона, сферический диск, защитный щиток

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Благодарности:** авторы выражают признательность анонимным рецензентам, объективные замечания которых способствовали повышению качества статьи.

**Для цитирования:** Ожерельев В. Н., Никитин В. В. Совершенствование конструкции дисковой бороны для ягодников // Инженерные технологии и системы. 2023. Т. 33, № 2. С. 219–236. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202302.219-236>

Original article

## Improving the Design of the Disc Harrow for Berry Plantations

V. N. Ozherelev ✉, V. V. Nikitin

*Bryansk State Agrarian University (Bryansk, Russian Federation)*

✉ [vicoz@bk.ru](mailto:vicoz@bk.ru)

### Abstract

**Introduction.** Reducing the distance of throwing soil into the zone around bushes and maintaining a leveled surface between rows of berry crops are urgent scientific problems. **Aim of the Article.** To identify the basic parameters for the interaction of a spherical disk with waterlogged soil and on this basis to develop the technical solution for reducing the distance of soil throwing away in space between rows of berry crops.

**Materials and Methods.** The object of research is an orchard disc harrow equipped with a protective shield mounted in front of the outermost disc of the tool front panel. The subject of the research is the process of interaction of the end disc of the front harrow plate with the waterlogged soil in berry plantations. The length of the protective shield and its spatial orientation were chosen as optimization parameters for field experiments. The quality evaluation of intertillage of the berry plantations was carried out by profiling their surfaces.

**Results.** Based on the results of theoretical studies, it was found that the angle of inclination of the protective shield in the horizontal plane should be within 53–54°, and with respect to the movement of the harrow – 50–58°. The results of field experiments have confirmed the theoretical conclusions. It has been established that only a protective shield, the length of which is 450 mm and the installation angle of 50°, allows completely eliminating the side throw of the soil beyond the width of the tool. In addition, these parameters ensure the stable operation of the disc tool in almost any soil moisture and weed infestation of space between berry bushes.

**Discussion and Conclusion.** The use of a modernized tillage tool made it possible to exclude the soil throwing into the bush zone to increase the speed of the unit by 25%.

**Keywords:** space between rows of berry crops, soil throwing, disc harrow, spherical disc, protective shield

**Conflict of interest:** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgements:** The author expresses his gratitude to the anonymous reviewers whose objective comments contributed to the quality of the article.

**For citation:** Ozherelev V.N., Nikitin V.V. Improving the Design of the Disc Harrow for Berry Plantations. *Engineering Technologies and Systems*. 2023;33(2):219–236. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202302.219-236>

## Введение

Содержание почвы в междурядьях многолетних насаждений решает целый комплекс задач технологического плана. Во-первых, корневая система культурных растений должна беспрепятственно развиваться в корнеобитаемом слое, в связи с чем почва в нем должна иметь оптимальную плотность [1; 2]. Указанное требование обусловлено также и необходимостью обеспечения приемлемой скорости фильтрации воды. В противном случае во время интенсивного дождя усиливается ее поверхностный сток, что способствует развитию процесса водной эрозии. Так, по данным ученых, в зоне многократного прохода ходовой части тракторов фильтрующая способность поверхности междурядий сада оказалась в 5–7 раз меньше, чем в приштамбовой (или межкустовой) зоне плантации, для которой характерно естественное сложение почвы [3; 4].

От состояния и способа содержания междурядий зависит и водный режим культурных растений, являющийся одним из лимитирующих факторов урожайности<sup>1</sup>. Так, даже в условиях Брестской области Белоруссии, традиционно относившейся к зоне достаточного увлажнения, стабильное поддержание влажности почвы на уровне 80 % от ее предельной полевой влагоемкости гарантирует по сравнению с естественным увлажнением прибавку урожая ягод малины в 1,8 раза [5; 6].

Проблему стабильного обеспечения ягодных культур влагой с точки зрения содержания междурядий можно разбить на два самостоятельных направления: борьбу с сорняками как конкурентами культурных растений за воду и технологические мероприятия по уменьшению интенсивности ее испарения. Одним из таких мероприятий является

мульчирование междурядий соломой. Такой практический опыт есть на виноградниках в Германии [7–9] и на чайных плантациях в Японии [10; 11]. Аналогичный опыт, заложенный на плантации малины в с. Кокино (Выгоничский район Брянской области), показал, что с точки зрения угнетения роста сорняков прием оказался эффективным [12; 13]. Однако в течение летнего сезона из-под слоя соломы в междурядьях прорастает малина, которую необходимо регулярно удалять. Кроме того, ряды малины требуют регулярного механического ограничения для формирования оптимальной густоты ее стеблестоя [14]. Таким образом, полностью исключить механическую обработку междурядий при их мульчировании соломой не представляется возможным<sup>2</sup>.

Что касается минимизации испарения влаги, то для этого необходимо поддерживать поверхностный слой междурядья в рыхлом состоянии, вследствие чего прекращается приток влаги из нижних горизонтов почвы в результате разрушения ее капиллярной системы. Вторым важным условием уменьшения испаряемости влаги на ягодной плантации является поддержание поперечного профиля поверхности междурядий в выровненном состоянии. В результате уменьшается площадь испаряющей поверхности, что также обеспечивает минимизацию интенсивности этого негативного процесса<sup>3</sup>.

Таким образом, механическая обработка почвы в междурядьях ягодных кустарников остается актуальной технологической операцией, обеспечивающей не только уменьшение интенсивности испарения влаги и борьбу с сорняками, но и поддержание плантации в приемлемом состоянии с точки зрения возможности эффективного использования

<sup>1</sup> Система биологизации земледелия Нечерноземной зоны России. Часть 1 / под ред. В. Ф. Мальцева, М. К. Каюмова. М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2002. 544 с.

<sup>2</sup> Ягодные культуры в Центральном регионе России / И. В. Казаков [и др.]. М. : Всерос. селекционно-технологический ин-т садоводства и питомниководства, 2016. 233 с.

<sup>3</sup> Ярославцев Е. И. Малина. М. : Агропромиздат, 1987. 208 с.

ягодоуборочной техники [15; 16]. Для этого ширина ряда у его основания не должна превышать 0,3–0,4 м, а вдоль основания рядов не должны формироваться почвенные валы, препятствующие максимальному снижению нижней границы зоны улавливания ягод комбайном и уменьшению вследствие этого их потерь [17; 18]. Следовательно, целесообразно оптимизировать как технологию механической обработки почвы в междурядьях ягодных кустарников, так и конструкцию наиболее подходящих для этого почвообрабатывающих орудий.

### Обзор литературы

Изначально для обработки почвы в междурядьях ягодных кустарников и плодового сада использовали те же рабочие органы и машины, что и для сплошной обработки, при их соответствующей адаптации к специфическим условиям. По сути, адаптация заключалась в приведении ширины захвата орудия к ширине междурядья.

Как правило, ягодные кустарники высаживают с расстоянием между рядами 3 м<sup>4</sup>. Однако они разрастаются в ширину, и если их не ограничивать принудительно, то обрабатываемая полоса на плантации малины со временем может сузиться до 1,5 м, особенно если не практикуется специальная операция по ограничению ширины ее рядов [14]. Аналогичный процесс происходит и на плантации смородины, поскольку габитус ее кустов также со временем увеличивается в ширину, заполняя пространство междурядья. Таким образом, одной из специфических особенностей ягодной плантации является изменение ширины обрабатываемой полосы в течение срока ее существования. Максимальную ширину обрабатываемая

полоса имеет в первый год после посадки (до 2,8 м), уменьшаясь затем до 2,3–2,5 м. Более того, ряды могут разрастаться несимметрично по отношению к исходной линии посадки, а почвообрабатывающий агрегат должен иметь запас на неточность вождения по условной осевой линии междурядья или защитную зону, шириной 0,1–0,2 м. Исходя из этих соображений и назначали ширину захвата для орудий, предназначенных для работы на ягодной плантации<sup>5</sup>.

Так, культиватор КМК-2,6, оборудованный стрельчатыми лапами и боковыми плоскорезными ножами, мог быть настроен на минимальную ширину захвата 1,5 м, которая при необходимости могла быть увеличена до 2,1–2,6 м. То есть при максимальном разрастании рядов в ширину боковые подрезающие ножи не использовали. Технологическим аналогом рассмотренного культиватора являлся плуг-рыхлитель виноградниковый ПРВМ-3, который достаточно широко применялся для глубокого рыхления почвы на ягодниках. Его можно было настроить на обработку полосы шириной не менее 2 м. Сведения об актуальности указанных орудий встречаются и в литературе последнего десятилетия<sup>6</sup> [19].

Для работы в тяжелых почвенных условиях и при сильной засоренности междурядий предназначена горизонтальная садовая фреза ФПШ-200, которую можно было настраивать на ширину захвата 1,45; 1,78; 1,87; 2,20 и 2,62 м [20; 21]. Однако горизонтальная фреза сильно распыляет и иссушает почву. Кроме того, она чрезмерно сложная и энергоемкая<sup>7</sup> [22–24].

Попытка исключить негативные аспекты использования горизонтальной фрезы привели к разработке вертикально

<sup>4</sup> Казаков И. В. Малина. Ежевика. М. : АСТ, 2001. 256 с.

<sup>5</sup> Аниферов Ф. Е., Ерошенко Ф. Е., Теплинский И. З. Машины для садоводства. Л. : Агропромиздат, 1990. 304 с.

<sup>6</sup> Лурье А. Б., Громбчевский А. А. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин. Л. : Машиностроение, 1977. 528 с.

<sup>7</sup> Халанский В. М., Горбачев И. В. Сельскохозяйственные машины. М. : КолосС, 2003. 624 с.

фрезерного культиватора КВФ-2М, который устойчиво работал при практически любой степени засоренности междурядий и при этом не перемешивал почвенные слои. Более того, он мог рыхлить почву под слоем соломенной мульчи, сохраняя ее при этом на 70–75 % на поверхности междурядья [12].

Тем не менее и эта машина достаточно сложная и энергоемкая для того, чтобы стать базовым средством механизации обработки почвы на ягодной плантации. Поэтому максимально широкое распространение в отечественном ягодоводстве получила простая и надежная дисковая борона БДН-1,3А [25–27]. В связи с асимметричностью компоновки ее батарей имеется возможность обеспечить устойчивость работы в горизонтальной плоскости при боковом выносе рабочих органов вправо по отношению к продольной оси трактора<sup>8</sup>.

Это особенно важно для обработки почвы под кроной разросшихся кустов смородины, чтобы трактор оставался в центре междурядья и не повреждал ветви и ягоды. С этой же целью предусмотрено и наличие дополнительной подрезающей секции, копирующей основания кустов и обрабатывающей прикустовую полосу с оставлением минимальной ширины защитной зоны. При этом предполагается, что междурядье обрабатывается минимум за два прохода (туда и обратно) при асимметрии расположения каждой обрабатываемой полосы по отношению к условной осевой линии междурядья.

Что касается плантации малины, то наш опыт свидетельствует о том, что дополнительная секция не обеспечивает надлежащего качества формирования густоты стеблестоя в рядах и их стабильной ширины. В связи с этим признано целесообразным использовать для обработки прикустовой полосы (с одновременным ограничением ширины ряда) специальный вертикально-фрезерный

ограничитель, а ширину захвата дисковой бороны увеличить по сравнению с серийной БДН-1,3А до 1,5 м [13; 14; 28]. Такое орудие удачно комплектуется дисковыми батареями от бороны БДН-3.

Анализ ситуации был бы не полным без упоминания нового класса дисковых орудий – дискаторов [29]. Их конструктивное отличие от дисковой бороны заключается в установке каждого диска на индивидуальной ступице, а не на общей оси батареи. Это приводит к существенному изменению характера движения почвы после ее схода с диска. У дисковой бороны отрезанная от почвенного монолита лента упирается в выпуклую поверхность соседнего диска и только после этого отбрасывается в сторону. При небольшом повышении влажности почвы происходит ее налипание на диск и постепенное заполнение междискового пространства. Для исключения такого сценария взаимодействия между дисками устанавливают специальные чистики, которые существенно увеличивают энергоемкость процесса.

При взаимодействии с почвенной лентой дискатора она минует выпуклую поверхность соседнего диска, в принципе, исключая возможность забивания междискового пространства. Это позволяет дискатору устойчиво работать на переувлажненной почве даже при ее сильной засоренности. Такие очевидные преимущества привели к тому, что дискаторы стали использовать и для обработки междурядий в многолетних насаждениях [30].

Следует отметить, что конструкция дискаторов пока не оптимизирована до конца. Более того, продолжают дискуссии о преимуществах двух- или четырехрядного размещения дисков [31]. При этом присутствует и неоднозначность в их классификации и технологической аналогии традиционным дисковым орудиям (луцильникам

<sup>8</sup> Кленин Н. И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. М. : Колос, 1994. 750 с.



и боронам)<sup>9</sup>. Это вызывает большие проблемы с идентификацией импортируемых почвообрабатывающих орудий таможенной при начислении ввозной пошлины, которые обусловлены тем, что начавшие действовать в 1969 г. ГОСТ 7245-69 (регламентирующий основные параметры луцильников) и ГОСТ 10267-69 (касающийся важнейших показателей, характерных для дисковых борон) не могли учитывать особенности конструкции современных дискаторов<sup>10</sup> [32].

Технологические преимущества дискаторов успешно реализуются в крупных сельхозпредприятиях, специализирующихся на производстве основных полевых культур. Что касается ягодоводства, то для этой подотрасли АПК характерны небольшие хозяйства, в связи с чем значимую роль при использовании дискаторов начинает играть их чрезмерно высокая цена. Она обусловлена необходимостью монтажа каждого диска на индивидуальной ступице, снабженной двумя подшипниками качения, тогда как на восемь дисков батареи дисковой бороны приходится всего два корпуса и два подшипника качения [32–34]. В связи с этим экономически оправдано дальнейшее совершенствование конструкции дисковой бороны с ее максимальной адаптацией к условиям многолетних насаждений, в частности плантации малины.

Важнейшей технологической проблемой для дисковых орудий является чрезмерный боковой отброс почвы крайним диском передней батареи. В конструкции традиционной дисковой бороны БДН-1,3А была предпринята попытка решения проблемы за счет дополнительного сдвига вправо на величину  $\Delta b$  задней батареи 2 (рис. 1).

Предполагалось, что крайний диск задней батареи 2 сможет захватить всю почву 3, отброшенную вправо крайним диском ее передней батареи 1 и вернуть этот объем на прежнее место. При этом величина  $\Delta b$  порядка 0,1 м, поскольку конструкторы рассчитывали на расстояние отброса, характерное для спелой почвы оптимальной влажности.

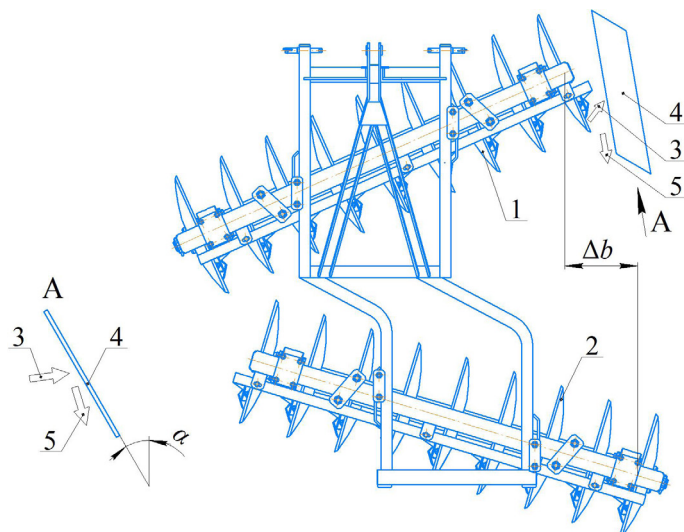
Однако, как правило, обработку приходится проводить при менее благоприятных условиях. Так, если влажность почвы повышена по сравнению с оптимумом, обеспечивающим ее хорошее крошение, то она отбрасывается на большее расстояние [35]. Положение усугубляется тем, что механизаторы традиционно превышают рекомендуемые рабочие скорости, существенно увеличивая поперечный отброс почвы. В результате в абсолютном большинстве сельхозпредприятий ягодоводческой специализации поперечный профиль междурядий имел в 1980–1990-е гг. корытообразную форму (рис. 2) уже на 4–5 год эксплуатации плантации<sup>11</sup> [36].

На первом этапе разработки была предпринята попытка решить проблему за счет увеличения поперечного сдвига  $\Delta b$  между передней и задней батареями до 0,4 м. Качество работы существенно улучшилось, но полностью исключить чрезмерный боковой отброс почвы не удалось. При этом не удалось решить проблему и путем использования фрезерного ограничителя ряда, ножи которого перемещают почву в сторону междурядья [14]. Дело в том, что отдельные фрагменты отбрасываемой крайним диском передней батареи почвенной ленты достигали оснований рядов малины и проникали между стеблями, в связи с чем возврат почвы в междурядье становился невозможным.

<sup>9</sup> Сохт К. А., Трубилин В. И., Коновалов Е. И. Дисковые бороны и луцильники. Проектирование технологических параметров : учеб. пособие. Краснодар : Изд-во Кубан. аграр. ун-та, 2014. 165 с.

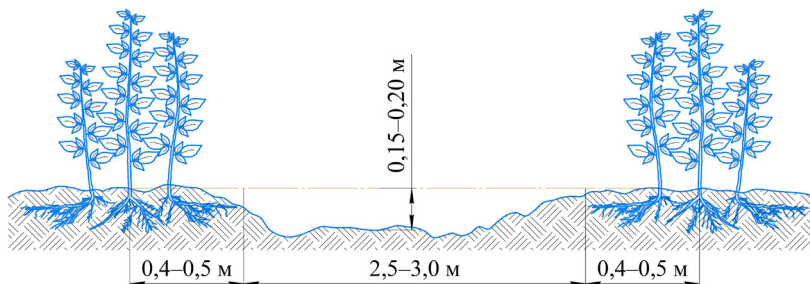
<sup>10</sup> Классификация дисковых борон (дискаторов) [Электронный ресурс]. URL: [https://agristo.ru/Article/ar\\_klassif\\_disk\\_boron.html](https://agristo.ru/Article/ar_klassif_disk_boron.html) (дата обращения: 22.02.2023).

<sup>11</sup> Никитин В. В. Улучшение качества обработки междурядий ягодных кустарников в условиях суглинистых почв повышенной влажности путем совершенствования конструктивно-режимных параметров дисковой бороны : дис... канд. техн. наук. Брянск, 2009. 165 с.



Р и с. 1. Схема модернизированной садовой дисковой бороны для ягодников:  
1 – батарея дисков передняя; 2 – батарея дисков задняя; 3 – лента отбрасываемой диском почвы;  
4 – щиток защитный; 5 – почва после контакта с защитным щитком

F i g. 1. Scheme of a modernized garden disc harrow for berry plantations:  
1 – front disc battery; 2 – rear disc plate; 3 – soil discarded by the disc; 4 – protective shield;  
5 – soil after contact with the protective shield



Р и с. 2. Корытообразная форма поверхности междурядий ягодников  
на 4–5 год эксплуатации плантации

F i g. 2. Trough shape of the space between rows of berry crops in 4–5 years of operating plantations

Вследствие этого необходимо было более подробно изучить механизм образования и движения отбрасываемой вбок почвенной ленты, на основании чего осуществить модернизацию дисковой бороны.

Цель исследования – определить основные параметры процесса взаимодействия сферического диска с переувлажненной почвой и на этой основе разработать техническое решение,

позволяющее уменьшить дальность отброса почвенной ленты в условиях междурядий ягодных культур.

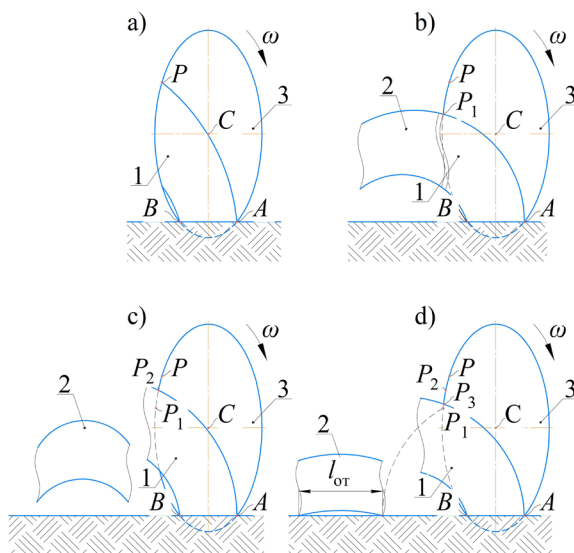
#### Материалы и методы

Движение почвенной ленты, отрезанной крайним диском передней батареи орудия по его рабочей поверхности, условно можно разделить на следующие фазы. Подъем переувлажненной, уплотненной и задернелой почвенной ленты по вогнутой поверхности сферического

диска из точки  $A$  в точку  $P$ , как правило, происходит без ее разрушения (рис. 3 а). Отрезанная почвенная лента  $1$  при выходе за пределы диска  $3$  продолжает свое движение по криволинейной траектории, соответствующей радиусу кривизны рабочего органа и углу атаки (рис. 3 б). При этом длина отделившейся почвенной ленты носит вероятностный характер и зависит от ее физико-механических свойств. Далее под действием собственного веса и сил инерции консольная часть пласта почвы  $2$  отделяется от монолита и совершает свободное падение под углом к горизонту (рис. 3 с). При этом дальний край отделившейся части почвенной ленты  $2$  оказывается отброшенным дальше на ее длину  $l_{от}$  в сравнении с отдельно взятой материальной точкой полностью

разрушенного пласта (рис. 3 д). Момент от сил трения увлекает за собой контактирующий пласт почвы  $1$  с рабочим органом и поднимает его в точку  $P_2$  (рис. 3 с). Дальнейшее перемещение борона приводит к удлинению выступающей части почвенного пласта  $1$  за пределы диска и его сползанию вниз в направлении точек  $P_3$  и  $P_1$  (рис. 3 д). Эта гипотеза была принята в качестве основной при проведении теоретических исследований.

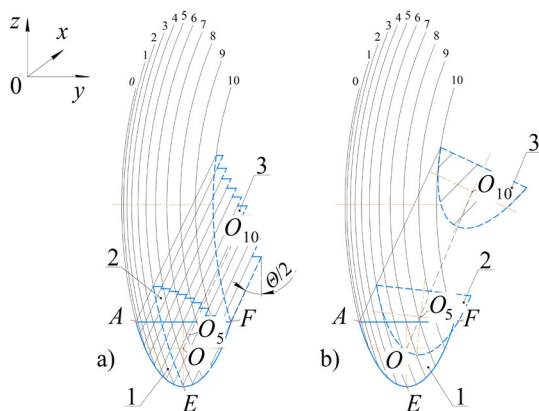
При описании характера поведения почвенной ленты с рабочей поверхностью сферического диска передней батареи орудия и определении траектории ее перемещения в пространстве, пласт почвы был смоделирован в виде двух реологических моделей простых идеальных тел (рис. 4) [37].



Р и с. 3. Фазы движения почвенной ленты при обработке междурядий ягодников: а) подъем почвенной ленты по диску; б) выход почвенной ленты за пределы диска и ее отделение от монолита; в) свободное падение отделившейся части почвенной ленты на поверхность междурядья; д) конечная фаза; 1 – контактирующая с диском часть почвенной ленты; 2 – часть почвенной ленты, вышедшей за пределы диска; 3 – сферический диск

F i g. 3. Phases of soil movement during intertillage of berry crops: a) the rise of the soil slice on the disk; b) the exit of the soil slice outside the disk and its separation from the monolith; c) the free fall of the separated part of the soil slice on the surface of the aisle; d) the final phase; 1 – the part of the soil slice in contact with the disk; 2 – part of the soil slice that has gone beyond the disk; 3 – spherical disk





Р и с. 4. Характер поведения почвенной ленты с рабочей поверхностью сферического диска передней батареи орудия: а) идеально пластичная модель; б) идеально упругая модель; 1 – начальное положение пласта почвы; 2 – почвенный пласт прошел половину рабочей поверхности сферического диска; 3 – почвенный пласт прошел всю рабочую поверхность сферического диска

Fig. 4. Character of interaction of soil slice with the working surface of the spherical disc of the front tool plate: a) an ideally plastic slice; b) an ideally elastic slice; 1 – the initial position of the soil slice; 2 – the soil slice has penetrated half of the working surface of the spherical disk; 3 – the soil slice passed the entire working surface of the spherical disk

В первом случае реологическая модель почвенного пласта была представлена в виде идеально пластичного тела, деформация поперечного сечения которого происходит посредством относительного перемещения его слоев под углом к вертикальной плоскости  $\Theta / 2 = 25^\circ$  (рис. 4 а). Во втором случае – идеально упругое тело, поперечное сечение, которого под действием внешних сил не деформируется (рис. 4 б). При этом для всех случаев почвенная лента не сжимается и не деформируется в продольном направлении.

Теоретические исследования проводили при следующих фиксированных параметрах: поступательная скорость дисковой бороны  $v = 7,3$  км/ч, угол атаки  $\alpha = 20^\circ$  и глубина обработки почвы  $a = 8$  см.

Положение центра тяжести почвенной ленты (точка  $O$ , рис. 4) определяли в программе «КОМПАС-3D» посредством сечения сферического диска десятью параллельными плоскостями,

сориентированными перпендикулярно по отношению к направлению движения дисковой бороны [38]. Полученные по результатам построения точки были аппроксимированы полиномом третьей степени, что позволило при его дифференцировании определить скорость и ускорение пласта почвы при разных положениях его на рабочей поверхности сферического диска.

На основании модели поведения почвенной ленты за пределами диска установлено, что ее отброс превышает величину поперечного сдвига  $\Delta b$  между батареями почвообрабатывающего орудия (рис. 1). В связи с этим было решено разместить на пути движения почвенной ленты защитный щиток, установленный к ее траектории под углом меньшим, чем угол трения почвы по стали, и сориентированный по нормали к его поверхности в направлении максимальных суммарных напряжений. Это должно существенным образом уменьшить энергозатраты на ее разрушение.

По результатам теоретических исследований был проведен полевой эксперимент с модернизированной дисковой бороной, снабженной защитным щитком (рис. 5). Его конструкция признана изобретением [39]. Исследования были разбиты на два этапа. При проведении первой серии полевых экспериментов в качестве оптимизационных параметров выбран угол установки щитка в горизонтальной плоскости (30, 50, 70 и 90°) и его длина (250, 350 и 450 мм). Эксперимент выполняли на плантации малины при скорости движения орудия 7,3 км/ч и угле атаки 21°. Механический состав почвы – средний суглинок.

Во второй серии полевых экспериментов оценивали характер перераспределения почвенной ленты при ее взаимодействии со щитком (рис. 6). Все исследования проводили на поворотных полосах, при демонтированной задней батарее дискового почвообрабатывающего орудия. Влажность почвы после затяжных дождей составляла 28 %. Дисковая борона в агрегате с трактором МТЗ-82 проходила опытную делянку на скорости 7,3 км/ч при фиксированном

угле атаки 21°. После прохода дискового орудия выполняли профилирование обработанной поверхности через каждые 5 см.

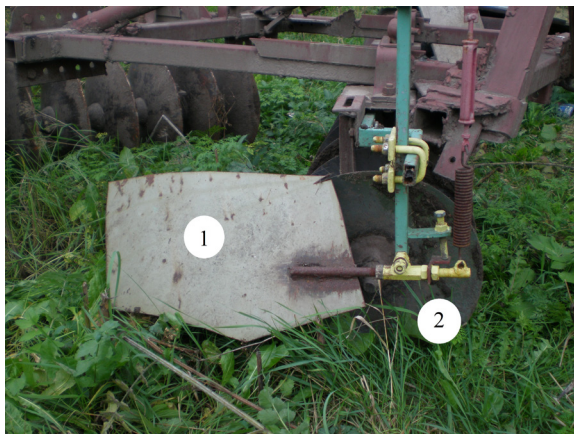
Выбор поворотных полос при проведении второй серии полевых экспериментов обусловлен тем, что дальность отброса почвенной ленты часто превышает ширину защитной зоны между крайним диском и основанием ряда ягодных кустарников. Вследствие этого фрагменты почвы неизбежно попадают внутрь кустов, исключая возможность корректного учета дальности ее отброса. Искажающее воздействие на результат может оказывать и корытообразность исходного поперечного профиля между рядов.

### Результаты исследования

Перемещение центра масс поперечного сечения почвенной ленты в абсолютном движении описывается следующим уравнением:

– для идеально пластичной модели почвенной ленты

$$\begin{cases} x = 8,12t^3 + 0,12t^2 - 0,042t + 0,0005 \\ y = -2,02t^3 + 2,70t^2 - 0,102t + 0,0009; (1) \\ z = -5,04t^3 + 6,19t^2 - 0,274t + 0,0022 \end{cases}$$



Р и с. 5. Модернизированная дисковая борона с защитным щитком: 1 – защитный щиток; 2 – передняя батарея почвообрабатывающего орудия

F i g. 5. Modernized disc harrow with a protective shield: 1 – protective shield; 2 – front tillage tool plate



Р и с. 6. Оценка гребнистости поворотных полос после их обработки модернизированной садовой дисковой бороной

Fig. 6. Evaluation of ridging of rotary strips after their treatment with a modernized garden disc harrow

– для идеально упругой модели почвенной ленты

$$\begin{cases} x = 5,34t^3 + 1,21t^2 - 0,059t + 0,0006 \\ y = -2,31t^3 + 2,39t^2 + 0,027t - 0,0006; (2) \\ z = -6,72t^3 + 6,13t^2 + 0,002t - 0,0002 \end{cases}$$

где  $t$  – время перемещения почвенной ленты, с.

Кроме получения на этой основе значений для всех составляющих скорости и ускорения в точке схода пласта с поверхности диска был сделан важный вывод о том, что существенную роль в разрушении пласта на сферическом диске играют силы инерции. Этим и объясняется тот факт, что с ростом скорости движения диска увеличивается и степень крошения пласта.

Методами аналитической геометрии определено пространственное положение защитного щитка:

– для идеально пластичной модели почвенной ленты

$$1,87x - 1,56y - 1,78z + 2,66 = 0; (3)$$

– для идеально упругой модели почвенной ленты

$$2,01x - 1,27y - 1,78z + 2,54 = 0, (4)$$

где  $x, y, z$  – положение текущих координат щитка, м.

Полученные уравнения свидетельствуют о том, что защитный щиток целесообразно ориентировать по отношению к горизонту под углом  $53-54^\circ$ , а по отношению к направлению движения –  $50-58^\circ$ .

По результатам первой серии полевых экспериментов установлено, что полностью исключить боковой отброс почвы за пределы ширины захвата орудия

позволяет только защитный щиток, длина которого составляет 450 мм, а угол установки – 50°. При этом устойчивая работа дискового орудия обеспечивалась практически при любой влажности и засоренности междурядий ягодных кустарников. При меньших значениях угла установки защитного щитка к горизонту (30°) наблюдался вынос почвенной ленты за пределы ширины захвата дискового орудия, а при больших (70 и 90°) – сгуживание и волочение почвенно-стебельчатой массы.

По результатам второй серии полевых экспериментов, полученных при исследовании гребнистости, построен поперечный профиль поверхности поворотной полосы при ее обработке модернизированной дисковой бороной (рис. 7). На нем сплошной линией показан поперечный профиль поверхности поворотной полосы перед проходом дискового орудия, пунктирной – после.

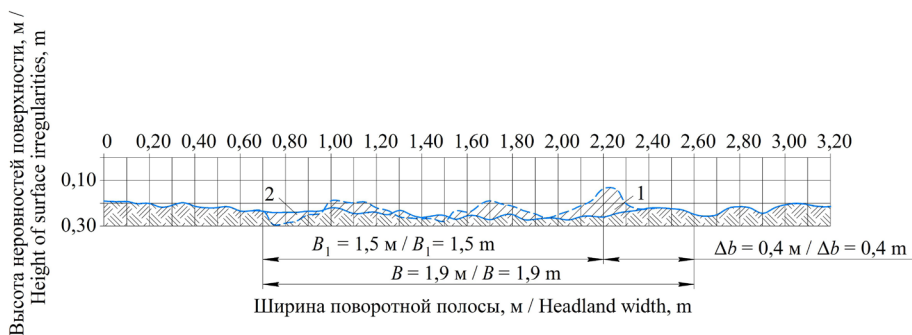
Построенный профиль свидетельствует о том, что боковой отброс почвенной ленты в условиях ягодников не превышает ширины захвата модернизированной дисковой бороны. Установка задней секции и дискование поверхности

междурядий плантации в два прохода (туда и обратно) обеспечивает практически полный возврат почвы в ее исходное положение.

### Обсуждение и заключение

1. Принятая теоретическая гипотеза взаимодействия почвы повышенной влажности с крайним сферическим диском передней батареи дисковой бороны адекватно описывает процесс формирования почвенной ленты и убедительно объясняет механизм ее отброса за пределы ширины захвата орудия. Поскольку при этом свойства почвы варьируются в широких пределах, то не исключается заброс отдельных ее фрагментов внутрь плодовой стенки малины, вследствие чего неизбежно формирование корытообразного профиля поверхности междурядья, который после этого в принципе невозможно исправить даже посредством применения дополнительных (или специальных) рабочих органов или орудий.

2. Размещение на пути движения почвенной ленты защитного щитка, установленного к ее траектории под углом меньшим, чем угол трения почвы по стали, и ориентация нормали к его поверхности по направлению максимальных



Р и с. 7. Поперечный профиль поворотной полосы ягодников при их обработке модернизированной дисковой бороной: 1 – почвенный вал; 2 – разъемная борозда;  $\Delta b$  – величина поперечного сдвига между передней и задней секциями;

$B$  – ширина захвата дискового орудия;  $B_1$  – ширина захвата передней секцией

F i g. 7. Cross-sectional profile of the turntable of berry bushes during their processing with a modernized disc harrow: 1 – soil shaft; 2 – detachable furrow;  $\Delta b$  – is the value of the transverse shift between the front and rear sections;  $B$  – the width of the disk tool;  $B_1$  – width of the front section



суммарных напряжений в отбрасываемом почвенном массиве обеспечивает устойчивую работу орудия практически при любой влажности и засоренности междурядий ягодных кустарников.

3. Защитный щиток целесообразно сориентировать по отношению к горизонту под углом 53–54°, а по отношению к направлению движения – 50–58°.

4. Многолетнее использование модернизированной дисковой бороны на плантациях малины и смородины

крестьянского фермерского хозяйства «Ягодное» (Выгоничский район Брянской области) подтверждает высокое качество и надежность ее работы. На протяжении всего срока возделывания насаждений сохранялся выровненный поперечный профиль поверхности междурядий.

5. Использование модернизированного почвообрабатывающего орудия для обработки поверхности междурядий ягодников позволило увеличить скорость движения агрегата на 25 %.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экспериментальные исследования по разработке автоматизированной системы регулирования плотности почвы посевной машины / А. С. Дорохов [и др.] // *Агроинженерия*. 2021. № 2 (102). С. 9–15. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-9-15>

2. Significance of Root Hairs for Plant Performance under Contrasting Field Conditions and Water Deficit / M. Marin [et al.] // *Annals of Botany*. 2021. Vol. 128, issue 14. P. 1–16. <https://doi.org/10.1093/aob/mcaa181>

3. Хабаров С. Н. Обработка почвы в садах Сибири // *Садоводство*. 1983. № 12. С. 14–15.

4. The Content of Vitamin C in the Grape Grown under the Conditions of Southwestern Siberia / I. D. Borodulina [et al.] // *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*. 2021. Vol. 47, issue 7. P. 1451–1456. <https://doi.org/10.1134/S1068162021070037>

5. Волчек А. А., Рой Ю. Ф., Санелина Е. А. Эффективность капельного орошения малины ремонтантной в условиях юго-западной части Беларуси // *Актуальные проблемы лесного комплекса*. 2015. № 41. С. 118–121.

6. Improving the Process of Hose-sprinkler for Irrigation of Small Areas / G.V. Olgarenko [et al.] // *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*. 2019. Vol. 11, issue S2. P. 431–438. EDN: LDHGUK

7. Uhl W. Neues Mechanisierungsverfahren zur Stroddungung // *Dtsch. Weinbau*. 1988. Vol. 43, issue 14. P. 691–694.

8. Panagos P., Katsoyiannis A. Soil Erosion Modelling: The New Challenges as the Result of Policy Developments in Europe // *Environmental Research*. 2019. Vol. 172. P. 470–474. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.02.043>

9. Skarbek C. J., Dormann C. F., Kobel-Lamparski A. Trends in Monthly Abundance and Species Richness of Carabids over 33 Years at the Kaiserstuhl, Southwest Germany // *Basic and Applied Ecology*. 2021. Vol. 50. P. 107–118. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2020.11.003>

10. Габуния Н. А., Кохвиашвили Д. С., Петросян С. В. Исследование энергозатрат роторного измельчителя чайных веток // *Тракторы и сельхозмашины*. 1982. № 7. С. 12–13.

11. Дидманидзе Р. Н. Технологии закладки и ухода за чайными плантациями // *Агроинженерия*. 2021. № 6 (106). С. 38–42. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-6-38-42>

12. Ожерельев В. Н. Машина для обработки почвы при мульчировании междурядий малины // *Садоводство и виноградарство*. 1991. № 7. С. 29–30.

13. Ожерельев В. Н. Механизация ухода за малиной в крестьянском хозяйстве «Ягодное» // *Садоводство и виноградарство*. 1993. № 3. С. 17–18.

14. Ожерельев В. Н., Ожерельева М. В. Механизированная нормировка стеблей малины на плантации // *Садоводство и виноградарство*. 2000. № 1. С. 16–17.



15. Механизированный сбор ягод малины на промышленных плантациях в России / Ю. А. Утков [и др.] // История науки и техники. 2020. № 9. С. 67–82. <https://doi.org/10.25791/intstg.09.2020.1213>
16. Евсеев С. П. Алгоритм системы выбора и оценки параметров уборки смородины черной с применением цифровых агротехнологий // АгроЭкоИнженерия. 2021. № 4 (109). С. 22–29. <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2021-4109-22-28>
17. Ramsey A. M. Mechanical Harvesting of Raspberries a Review with Particular Reference to Engineering Defelopment in Scotland // Journal of Agricultural Engineering Research. 1983. Vol. 28, issue 3. P. 183–204.
18. Primocane Raspberry Cultivars for Industrial Cultivation in Russia / S. N. Evdokimenko [et al.] // Acta Horticulturae. 2020. Vol. 1277. P. 301–306. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1277.44>
19. Бартенев В. Д., Хабаров С. Н. Комплексная механизация возделывания насаждений ягодников и облепихи // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2011. № 7 (81). С. 96–98.
20. Блохин В. Н., Случевский А. М., Орехова Г. В. Разработка конструкций рабочих органов и роторов фрез с вертикальной осью вращения для копирования корневой системы растений // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 4 (90). С. 118–121.
21. Садовая фреза для условий предгорной зоны / А. К. Апажев [и др.] // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2021. № 3 (33). С. 75–78.
22. Study on the Reduction of Soil Adhesion and Tillage Force of Bionic Cutter Teeth in Secondary Soil Crushing / G. Chunsong [et al.] // Biosystems Engineering. 2022. Vol. 213. P. 133–147. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.11.018>
23. Design and Test of Resistance-Reducing Excavation Device of Cyperus Edulis Based on Discrete Element Method / X. He [et al.] // Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery. 2021. Vol. 52, issue 12. P. 124–133. <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2021.12.013>
24. Design and Experiment of Driving Stubble Cutter for Corn Strip with Less Tillage Operation / J. Wang [et al.] // Nongye Jixie Xuebao. 2021. Vol. 52, issue 8. P. 51–61. <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2021.08.005>
25. Примаков Н. В., Николенко А. Ю. Энергосберегающая технология подготовки почвы для закладки плодового сада // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 183. С. 234–242. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-183-023>
26. Improving the Process of Harrowing and Sowing crops / G. G. Maslov [et al.] // Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences. 2019. Vol. 6, issue 4. P. 7060–7064. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2628871>
27. Kozachenko O., Aliiev E., Sedykh K. Results of Investigation of the Spring Shank Disc Harrow Performance // UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering. 2021. Vol. 83, issue 4. P. 123–140. URL: <https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/6289?mode=full> (дата обращения: 22.02.2023).
28. Ожерельев В. Н., Ожерельева М. В. Особенности применения вертикальной фрезы для обработки почвы в междурядьях малины // Агроинженерия. 2021. № 5 (105). С. 20–24. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-5-4-20-24>
29. Зимарин С. В., Четверикова И. В. Исследование процесса оборота почвенного пласта новым корпусом дискатора на нераскорчеванных вырубках // Resources and Technology. 2021. Т. 18, № 1. С. 53–65. <https://doi.org/10.15393/j2.art.2021.5542>
30. Припоров Е. В. Анализ полноты обработки почвы в междисковом пространстве двухследного дискового орудия // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 1 (75). С. 85–88. EDN: YXZMUH
31. Припоров Е. В., Юдт В. Ю. Анализ дисковых орудий с четырехрядным расположением сферических дисков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 118 (04). С. 1413–1427. EDN: VWPTRZ
32. Тарасенко Б. Ф., Руднев С. Г., Дробот В. А. Универсальный почвообрабатывающий агрегат для малоземельных фермерских хозяйств // Политематический сетевой электронный научный

журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2021. № 174. С. 113–129. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-174-012>

33. Reasoning of Modular-Type Tillage and Seeding Machines Construction Diagram and Parameters / S. G. Mudarisov [et al.] // Journal of the Balkan Tribological Association. 2019. Vol. 25, issue 3. P. 695–707. EDN: LAQIJG

34. Lachuga Yu. F., Akhalaya B. Kh., Shogenov Yu. Kh. New Designs for Universal Working Bodies of Tillage and Seeding Equipment // Russian Agricultural Sciences. 2019. Vol. 45, issue 5. P. 498–502. <https://doi.org/10.3103/S1068367419050100>

35. Ожерельев В. Н., Никитин В. В., Гринь А. М. Совершенствование конструкции дисковых почвообрабатывающих орудий // Наука в центральной России. 2020. № 5 (47). С. 5–11.

36. Ожерельев В. Н., Никитин В. В. Управление перераспределением почвы по ширине междурядья малины // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2011. № 4. С. 13–15.

37. Носов С. В., Перегудов Н. Е. Оценка уплотняющего воздействия и эксплуатационных характеристик гусеничного трактора на основе реологического подхода // Тракторы и сельхозмашины. 2022. Т. 89, № 1. С. 43–51. <https://doi.org/10.17816/0321-4443-100293>

38. Вяткина С. Г., Туркина Л. В. Решение задач по начертательной геометрии с применением трехмерного моделирования в системе Компас-3D V17 // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 4–2. С. 277–282. <https://doi.org/10.17513/snt.38010>

39. Приспособление к дисковому почвообрабатывающему орудью: патент 2344586 Российская Федерация / Ожерельев В. Н., Никитин В. В. № 2007135700/12 ; заявл. 26.09.2007 ; опубл. 27.01.2009, Бюл. № 3. 6 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37542926> (дата обращения: 25.02.2023).

*Поступила 27.02.2023; одобрена после рецензирования 11.04.2023; принята к публикации 21.04.2023*

*Об авторах:*

**Ожерельев Виктор Николаевич**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры технических систем в агробизнесе, природообустройстве и дорожном строительстве Брянского государственного аграрного университета (243365, Российская Федерация, Брянская область, Выгоничский район, с. Кокино, ул. Советская, д. 2а), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2121-3481>, Researcher ID: AAD-8298-2022, Scopus ID: 57195608281, vicoz@bk.ru

**Никитин Виктор Васильевич**, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой технического сервиса Брянского государственного аграрного университета (243365, Российская Федерация, Брянская область, Выгоничский район, с. Кокино, ул. Советская, д. 2а), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1393-2731>, ResearcherID:AAD-7368-2022, ScopusID:57201686117, viktor.nike@yandex.ru

*Заявленный вклад авторов:*

В. Н. Ожерельев – научное руководство; формулирование основной концепции исследования; общее руководство экспериментальными исследованиями; проведение критического анализа результатов и формулирование выводов.

В. В. Никитин – анализ литературных данных; подготовка первоначального варианта текста и доработка текста; проведение экспериментов и обработка их результатов.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

## REFERENCES

1. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Experimental Studies on the Development of an Automated System for Regulating the Soil Density Used in a Seeding Machine. *Agricultural Engineering*. 2021;(2):9–15. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-9-15>

2. Marin M., Naveed M., Hallett P.D., et al. Significance of Root Hairs for Plant Performance under Contrasting Field Conditions and Water Deficit. *Annals of Botany*. 2021;128(1):1–16. <https://doi.org/10.1093/aob/mcaa181>
3. Khabarov S.N. Soil Cultivation in the Gardens of Siberia. *Sadovodstvo*. 1983;(12):14–15. (In Russ.)
4. Borodulina I.D., Vorotyntseva M.V., Sokolova G.G., et al. The Content of Vitamin C in the Grape Grown under the Conditions of Southwestern Siberia. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*. 2021;47(7):1451–1456. <https://doi.org/10.1134/S1068162021070037>
5. Volchek A.A., Roy Yu.F., Sanelina E.A. [Efficiency of Drip Irrigation of Remontant Raspberry in the Conditions of the Southwestern Part of Belarus]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*. 2015;(41):118–121. (In Russ.)
6. Olgarenko G.V., Ryazantsev A.I., Terpigorev A.A., et al. Improving the Process of Hose-Sprinkler for Irrigation of Small Areas. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*. 2019;11(S2):431–438. EDN: LDHGUK
7. Uhl W. Neues Mechanisierungsverfahren zur Stroddungung. *Dtsch. Weinbau*. 1988;43(14):691–694. (In Germ.)
8. Panagos P., Katsoyiannis A. Soil Erosion Modelling: The New Challenges as the Result of Policy Developments in Europe. *Environmental Research*. 2019;172:470–474. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.02.043>
9. Skarbek C.J., Dormann C.F., Kobel-Lamparski A. Trends in Monthly Abundance and Species Richness of Carabids Over 33 Years at the Kaiserstuhl, Southwest Germany. *Basic and Applied Ecology*. 2021;50:107–118. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2020.11.003>
10. Gabunia N.A., Kokhviashvili D.S., Petrosyan S.V. Study of the Energy Consumption of a Rotary Grinder of Tea Branches. *Traktory i selkhoz mashiny*. 1982;(7):12–13. (In Russ.)
11. Didmanidze R.N. Tea Plantation Establishing and Care Technologies. *Agricultural Engineering*. 2021;(6):38–42. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-6-38-42>.
12. Ozherelev V.N. A Machine for Tillage during Mulching of Raspberry Rows. *Sadovodstvo i vinogradarstvo*. 1991;(7):29–30. (In Russ.)
13. Ozherelev V.N. Mechanization of Care for Raspberries in the Farm Yagodnoe. *Sadovodstvo i vinogradarstvo*. 1993;(3):17–18. (In Russ.)
14. Ozherelev V.N., Ozhereleva M.V. Mechanized Normalization of Raspberry Stems on Plantations. *Sadovodstvo i vinogradarstvo*. 2000;(1):16–17. (In Russ.)
15. Utkov Yu.A., Filippov R.A., Hort D.O., Kutuyev A.I. Mechanized Picking of Raspberries on Industrial Plantations in Russia. *Istoriya nauki i tekhniki*. 2020;(9):67–82. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.25791/intstg.09.2020.1213>
16. Evseev S.P. Algorithm of the System for Choosing and Estimating Parameters of Black Currant Harvesting with the Use Digital Agrotechnologies. *AgroEkoInzheneriya*. 2021;(4):22–29. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2021-4109-22-28>.
17. 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):183–204.
18. Evdokimenko S.N., Sazonov F.F., Podgaetsky M.A., Skovorodnikov D.N. Primocane Raspberry Cultivars for Industrial Cultivation in Russia. *Acta Horticulturae*. 2020;1277:301–306. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1277.44>
19. Bartenev V.D., Khabarov S.N. Complex Mechanization of Cultivation of Berry and Sea Buckthorn Plantations. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2011;(7):96–98. (In Russ.)
20. Blokhin V.N., Sluchevsky A.M., Orekhova G.V. Development of Designs of Working Bodies and Rotors of Cutters with a Vertical Axis of Rotation for Copying the Root System of Plants. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021;(4):118–121. (In Russ.)
21. Apazhev A.K., Egozhev A.M., Polishchuk E.A., Egozhev A.A. Garden Cutter for the Conditions of the Foothill Zone. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. V.M. Kokova*. 2021;(3):75–78. (In Russ.)

22. Chunsong G., Jingjing F., Lei X., et al. Study on the Reduction of Soil Adhesion and Tillage Force of Bionic Cutter Teeth in Secondary Soil Crushing. *Biosystems Engineering*. 2022;213:133–147. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.11.018>
23. He X., Zhang X., Zhao Z., et al. Design and Test of Resistance-Reducing Excavation Device of *Cyperus Edulis* Based on Discrete Element Method. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*. 2021;52(12):124–133. <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2021.12.013>
24. Wang J., Zhao S., Yang Z., et al. Design and Experiment of Driving Stubble Cutter for Corn Strip with Less Tillage Operation. *Nongye Jixie Xuebao*. 2021;52(8):51–61. <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2021.08.005>
25. Primakov N.V., Nikolenko A.Yu. Energy-Saving Technology of Soil Preparation for the Laying of an Orchard. *Politematicheskij setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022;(183):234–242. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.21515/1990-4665-183-023>
26. Maslov G.G., Lavrentev V.P., Yudina E.M., Taran A.D Improving the Process of Harrowing and Sowing Crops. *Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2019;6(4):7060–7064. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2628871>
27. Kozachenko O., Aliiev E., Sedykh K. Results of Investigation of the Spring Shank Disc Harrow Performance. *UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering*. 2021;83(4):123–140. Available at: <https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/6289?mode=full> (accessed 22.02.2023).
28. Ozherelev V.N., Ozhereleva M.V. Peculiarities of Using the Vertical Rotary Cultivator for Inter-Row Soil Tillage of Raspberry Plantings. *Agricultural Engineering*. 2021;(5):20–24. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-5-4-20-24>
29. Zimarin S.V., Chetverikova I.V. The Study of the Process of Soil Layer Body Turnover with a Disc Cutter on Ungrubbed Clearings. *Resources and Technology*. 2021;18(1):53–65. (In Russ.) <https://doi.org/10.15393/j2.art.2021.5542>
30. Priporov E.V. Analysis of the Completeness of Soil Cultivation in the Inter-Disk Space of a Two-Track Disk Tool. *Orenburg State Agrarian University Bulletin*. 2019;(1):85–88. (In Russ.) EDN: YXZMUH
31. Priporov E.V., Yudit V.Yu. Analysis of Disk Tools with a Four-Row Arrangement of Spherical Disks. *Politematicheskij setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016;(118):1413–1427. (In Russ.) EDN: VWPTRZ
32. Tarasenko B.F., Rudnev S.G., Drobot V.A. Universal Tillage Unit for Small Land Farming. *Politematicheskij setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021;(174):113–129. (In Russ.) <https://doi.org/10.21515/1990-4665-174-012>
33. Mudarisov S.G., Gabitov I.I., Rakhimov R.S., et al. Reasoning of Modular-Type Tillage and Seeding Machines Construction Diagram and Parameters. *Journal of the Balkan Tribological Association*. 2019;25(3):695–707. (In Russ.) EDN: LAQIJG
34. Lachuga Yu.F., Akhalaya B.Kh., Shogenov Yu.Kh. New Designs for Universal Working Bodies of Tillage and Seeding Equipment. *Russian Agricultural Sciences*. 2019;45(5):498–502. <https://doi.org/10.3103/S1068367419050100>
35. Ozherelev V.N., Nikitin V.V., Grin A.M. Improving the Design of Disc Harrows. *Nauka v tsentralnoy Rossii*. 2020;(5):5–11. (In Russ.)
36. Ozherelev V.N., Nikitin V.V. Management of Soil Redistribution along the Row Spacing of Raspberries. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva*. 2011;(4):13–15. (In Russ.)
37. Nosov S.V., Peregudov N.E. [Evaluation of the Compacting Effect and Operational Characteristics of a Caterpillar Tractor based on a Rheological Approach]. *Traktory i selkhoz mashiny*. 2022;89(1):43–51. (In Russ.) <https://doi.org/10.17816/0321-4443-100293>
38. Vyatkina S.G., Turkina L.V. [Solving Problems in Descriptive Geometry using Three-Dimensional Modeling in the Compass-3D V17 System]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2020;(4-2):277–282. (In Russ.) <https://doi.org/10.17513/snt.38010>

39. Ozherelev V.N., Nikitin V.V. [Additional Fixture to Polydisk Tillage Implement]. Patent 2,344,586 Russian Federation. 01 January 2009. (In Russ.) EDN: [ATCQON](#)

*Submitted 27.02.2023; revised 11.04.2023; accepted 21.04.2023*

*About the authors:*

**Viktor N. Ozherelev**, Dr.Sci. (Agric.), Professor of the Chair of Technical Systems in Agribusiness, Environmental Management and Road Construction, Bryansk State Agrarian University (2a Sovetskaya St., Kokino, Bryansk Oblast 243365, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2121-3481>, Researcher ID: [AAD-8298-2022](#), Scopus ID: [57195608281](#), [vicoz@bk.ru](mailto:vicoz@bk.ru)

**Viktor V. Nikitin**, Dr.Sci. (Engr.), Head of the Technical Service Chair, Bryansk State Agrarian University (2a Sovetskaya St., Kokino, Bryansk Oblast 243365, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1393-2731>, Researcher ID: [AAD-7368-2022](#), Scopus ID: [57201686117](#), [viktor.nike@yandex.ru](mailto:viktor.nike@yandex.ru)

*Authors contribution:*

V. N. Ozherelev – scientific guidance; formulating the basic concept of research; general management of experimental research; conducting a critical analysis of the results and formulating conclusions.

V. V. Nikitin – analyzing literary data; preparing the original version of the text and finalizing the text; conducting experiments and processing their results.

*All authors have read and approved the final manuscript.*