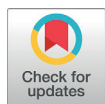


ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ / TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT


<https://doi.org/10.15507/2658-4123.035.202504.750-769>

EDN: <https://elibrary.ru/vyewmd>

УДК / UDK 631.315.2:633.854.78

Оригинальная статья / Original article

Разрушение стерни подсолнечника лопатками игольчатого диска инновационного турбодискового культиватора

И. Е. Припоров , **В. С. Курасов, В. И. Бацунов**
*Кубанский государственный аграрный университет
имени И. Т. Трубилина,
г. Краснодар, Российская Федерация*
 i.priporov@yandex.ru

Аннотация

Введение. Вертикальная обработка почвы является новой ресурсосберегающей технологией, позволяющей повысить урожайность сельскохозяйственных культур до 8,5 ц/га и минимизирующей структуру почвы с повышенной плотностью заделки семян для развития корневой системы. Для проведения вертикальной обработки почвы используют почвообрабатывающие машины, в качестве которых выступают турбодисковые культиваторы. Актуализация требований к экологически безопасным принципам действия на почву технических средств обуславливает поиск оригинальных решений по сохранению ее плодородия и снижению энергозатрат. Большие объемы остатков растительной массы на полях затрудняют обработку почвы, что приводит к забиванию рабочих органов машин (луцильники, культиваторы, плуги, дисковые бороны) и негативно сказывается на качестве обработки.

Цель исследования. Определить размещение рабочих органов по высоте с учетом разрушающего контактного напряжения растительных остатков в виде стерни подсолнечника для повышения эффективности ее заделки в почву.

Материалы и методы. Была разработана конструкция турбодискового культиватора, рассмотрены его устройство и технологический процесс. Для определения разрушающего контактного напряжения растительных остатков рабочими органами применялись методы теоретической механики. Рассматривали стерню подсолнечника в виде упругого вертикального стержня, закрепленного снизу. Был выполнен расчет силы удара по стеблю, а также определены модуль сдвига и плечо действия силы удара по стерне.

Результаты исследования. Получено выражение для определения разрушающего контактного напряжения стерни подсолнечника в процессе вертикальной обработки почвы разработанным турбодисковым культиватором. Предложен способ заделки стерни высокостебельных растений в почву.

Обсуждение и заключение. Для повышения эффективности заделки стерни высокостебельных растений в почву необходимо оптимальное размещение рабочих органов по высоте с учетом начального разрушающего контактного напряжения.

© Припоров И. Е., Курасов В. С., Бацунов В. И., 2025



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

Ключевые слова: турбодисковый культиватор, заделка стерни подсолнечника, разрушающее контактное напряжение, игольчатый диск, вертикальная обработка почвы

Финансирование: работа выполнена в рамках госбюджетной тематики Кубанского ГАУ (№ 121032300060-2), 2026–2030 гг.

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Припоров И.Е., Курасов В.С., Бацунов В.И. Разрушение стерни подсолнечника лопатками игольчатого диска инновационного турбодискового культиватора. *Инженерные технологии и системы*. 2025;35(4):750–769. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.035.202504.750-769>

Breaking Sunflower Stubble by Needle Disk Blades of an Innovative Turbodisc Cultivator

I. E. Priporov , V. S. Kurasov, V. I. Bacunov
I. T. Trubilin Kuban State Agricultural University,
Krasnodar, Russian Federation

 i.priporov@yandex.ru

Abstract

Introduction. Vertical tillage is a new resource-saving technology that allows increasing crop yields to 8.5 c/ha and improves soil structure with increased seeding depth for better root system development. For vertical tillage, there are used soil tillers such as turbodisc cultivators. The growing demand on environmental safety of technical means effect on the soil lead to the search for original solutions to reduce energy consumption and preserve soil fertility. Large volumes of crop residues in the fields are difficult to crush that leads to clogging the working bodies of machines (huskers, cultivators, plows, disc harrows) with crop residues and negatively affects the quality of crop residues crushing.

Aim of the Study. The study is aimed at determining the placement height of the working bodies for breaking sunflower stubble to increase the efficiency of its embedding in the soil.

Materials and Methods. A turbodisc cultivator design has been developed. The cultivator and the technological process of its operation have been examined. Theoretical mechanics was used to determine the degree of breaking plant residues by the working organs of the developed turbodisc cultivator. There was examined sunflower stubble in the form of an elastic vertical rod fixed from below. The force of impact on stubble was calculated. There were determined shear modulus and the impact force arm on the stubble.

Results. There has been found obtained the expression for breaking sunflower stubble during vertical tillage with a developed turbodisc cultivator. There has been proposed a method for embedding stubble of tall-stemmed plants in the soil.

Discussion and Conclusion. To increase the efficiency of embedding stubble of tall crops in the soil, it is necessary to use optimal placement height of the working organs, taking into account the initial breaking degree.

Keywords: turbo disc cultivator, embedding sunflower stubble, breaking, needle disc, vertical tillage

Funding: The work was carried out within the framework of the state budget theme of the Kuban State Agrarian University (№ 121032300060-2), 2026–2030.

Acknowledgments: The authors are grateful to the anonymous reviewers whose objective comments contributed to the quality of the article.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

For citation: Priporov I.E., Kurasov V.S., Bacunov V.I. Breaking Sunflower Stubble by Needle Disk Blades of an Innovative Turbodisc Cultivator. *Engineering Technologies and Systems*. 2025;35(4):750–769. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.035.202504.750-769>

ВВЕДЕНИЕ

Вертикальная (*Verti-till*) обработка почвы (ВОП) – это новая ресурсосберегающая технология, позволяющая увеличить урожайность до 8,5 ц/га. Ее особенностью является минимизация в структуре слоев почвы с повышенной плотностью заделки семян для развития корневой системы, что дает возможность ей быть засухоустойчивой путем забора влаги из низких горизонтов [1].

Несмотря на распространенность ВОП в США, Республике Беларусь, а также на территории Крыма, в пределах Южного и Северо-Кавказского федеральных округов Российской Федерации она не получила широкого применения. В данных округах используются дискаторы для измельчения.

При внесении растительных остатков (РО) сельскохозяйственных культур в почву появляется проблема по их измельчению. Длина измельченной фракции составляет 15 см. В настоящее время не все почвообрабатывающие машины (ПОМ) способны измельчить высокостебельные культуры (ВСК) [2]. Перспективными являются ПОМ с пассивными рабочими органами [3]. Повышение производительности ПОМ приводит к снижению плодородия почвы [4]. Применяемые ПОМ не измельчают РО высокостебельных культур, поэтому проблема не решена¹. Для мульчирующей обработки почвы в нашей стране и за рубежом применяются орудия, которые имеют дисковые органы². Основным требованием к дисковым орудиям является то, что большинство РО должно находиться в верхнем слое с последующим измельчением лопатками игольчатого диска³.

Игольчатые рабочие органы [5] ПОМ обеспечивают низкое распыление и истирание почвы, не забиваются РО и почвой при повышенной влажности, их тяговое сопротивление ниже по сравнению с другими рабочими органами [6–8].

Цель исследования – повышение эффективности заделки стерни за счет оптимального размещения рабочего органа по высоте с учетом начального разрушающего контактного напряжения стерни высокостебельных растений, например подсолнечника.

Задачи исследования:

1) разработать конструкцию турбодискового культиватора для эффективной заделки стерни подсолнечника;

¹ Лепешкин Н.Д., Точицкий А.А., Козлов Н.С. Измельчение и заделка пожнивных остатков высокостебельных культур. В: Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Минск: Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства»; 2015. Т. 2. С. 81–86. <https://elibrary.ru/yrryzh>

² Шварц А.А., Уварова А.Г., Лукин С.Г. Дисковые орудия для поверхностной обработки почвы. В: Современные проблемы и направления развития агроинженерии в России: сб. науч. статей Междунар. науч.-техн. конф. Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И. И. Иванова; 2021. С. 175–178. <https://elibrary.ru/ycwgun>

³ Лепешкин Н.Д., Мижурин В.В., Филиппов А.И. Требования к рабочим органам агрегата для основной обработки склоновых земель и выбор их типа. В: Современные технологии сельскохозяйственного производства: сб. науч. статей по материалам XXV Междунар. науч.-практ. конф. Гродно: ГТАУ; 2022. С. 89–91. URL: <https://elib.ggau.by/handle/123456789/2921> (дата обращения: 12.02.2025).

- 2) теоретически определить разрушающее контактное напряжение, которое характеризует технологические свойства стерни подсолнечника;
- 3) построить зависимости разрушающего контактного напряжения от массы стерни при разном угле ее отклонения;
- 4) разработать способ заделки стерни высокостебельных растений в почву, исходя из проведенных теоретических исследований разрушающего контактного напряжения.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Д. С. Скоробогатов, Л. А. Лягина разработали метод разрушения тканей сорных растений импульсами высокого напряжения для борьбы с сорной растительностью. Согласно их исследованиям исключается механическая обработка почвы по уничтожению сорняков и переросших культурных растений, а также применение гербицидов, что позволяет производить экологически чистую продукцию. Однако данный метод небезопасен в связи с применением высокого напряжения⁴.

Проведенные В. В. Деревенко, В. В. Овсянниковым, М. А. Артугановым исследования направлены на определение средней удельной работы разрушения семян конопли путем применения метода однократного удара в центробежной рушанке. По мнению исследователей, для максимального разрушения необходимо разрушающее усилие при расположении семянки направить «на ребро», а для минимального – вдоль длинной оси⁵. Разрушение стеблей конопли рабочими органами машины зависит от условий эксплуатации и их состояния [9].

Технические средства для разрушения конопли не пригодны для вертикальной обработки почвы турбодисковым культиватором по измельчению стерни подсолнечника. Измельчение высокостебельных пожнивных остатков (ПО) подсолнечника предложенным катковым измельчителем способствует снижению экономических и энергетических затрат. Для этого поле после уборки обрабатывается в один проход, а полученные остатки соответствуют агротребованиям [2].

Сотрудники Института сельского хозяйства Крыма провели испытания нового экспериментального культиватора ТДКП-2,9 с рабочей шириной захвата 2,9 м. Турбодиски работают по РО любого размера и любой плотности, не забиваются. При этом культиватор вертикально обрабатывает переувлажненную, подмерзшую или пересушенную почву⁶.

Конфигурация наборов орудий по обработке почвы и составляющих их дисков определяет количество и качество проходов для эффективной ее обработки. Если набор параллельных дисков при протягивании сквозь почву и их ось вращения

⁴ Скоробогатов Д.С., Лягина Л.А. Механизм разрушения тканей сорных растений импульсами высокого напряжения. В: Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы XIII Национальной науч.-практ. конф. с междунар. участием. Саратов: Амирит; 2022. С. 156–158. <https://elibrary.ru/iefpxx>

⁵ Деревенко В.В., Овсянников В.В., Артуганов М.А. Влияние влажности семян конопли на их среднюю удельную работу разрушения. В: Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции: сб. статей по материалам VII Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 20-летию кафедры технологии хранения и переработки животноводческой продукции Кубанского ГАУ. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина; 2023. С. 275–279. <https://elibrary.ru/xirsiv>

⁶ В НИИСХ Крыма испытали новый экспериментальный культиватор ТДКП-2,9. URL: <https://dzen.ru/a/YGttVX4fMSm7Pd5H> (дата обращения: 21.01.2025).

перпендикулярны направлению тяги, то они не эффективны. Для устранения этого недостатка ученые изменяют угол ориентации набора, что приводит к осложнениям. При увеличении угла остаются большие глыбы почвы, что приводит к множеству проходов по измельчению. Боковое давление глыбы почвы на диск с вогнутостью приводит к поломке. Для увеличения силы диск изготавливают более вогнутым, что способствует образованию уплотненного слоя [10]. Однако данные орудия обладают недостатками. Для обработки и резки ПО требуется множество проходов по площади, что приводит к затратам времени и топлива. Таким образом, фермер несет убытки. Известные ПОМ ограничены скоростью до 9,7 км/ч. При ее увеличении орудие поднимается вертикально и происходит вхождение режущей пластины в почву на 7,62–15,24 см. Диски неэффективно ее обрабатывают. Если пластины остаются в почве, то растёт повреждение пластины, вследствие давления диска на почву при больших скоростях.

Серийные культиваторы уплотняют почву. При уплотнении сила сдерживает прорастание растений, рост корней и урожайность культуры. В период недостаточного поглощения воды при наличии уплотненного слоя необходимо провести вспашку [10].

При обработке почвы дисковыми батареями в рабочих органах отсутствует проверка их работы в реальном времени и заделки ПО игольчатыми дисками [11; 12], а также подбора высоты лопаток на нем и изменения ширины междурядья для сельскохозяйственной культуры [13; 14].

Таким образом, возникает необходимость в ПОМ, которая за один проход перемещается с большими скоростями⁷ без повреждения дисков и уплотнения слоя⁸ [10], а также в возможности проверки работы в реальном времени и заделки ПО игольчатыми дисками [15; 16].

Для расширения технологических возможностей дискового почвообрабатывающего рабочего органа при подрезании ПО на легких и тяжелых почвах предложено отогнуть периферийную часть диска от ступицы с образованием усеченного конуса. Рифления выполнены тангенциально, заточка режущей кромки перпендикулярна к оси вращения рабочего органа, а износостойкий материал нанесен по всей ее длине [17]. В данном рабочем органе отсутствует проверка его действия в реальном времени.

Для снижения тягового сопротивления и повышения эффективности поверхностного рыхления стерни и уничтожения сорной растительности при дисковании необходимо установить на каждую пару вращающихся рифленых и игольчатых дисков иглы под углом 15–25° к зубчатым лопаткам. Стойки имеют С-образную форму [18].

В дисковой батарее отсутствует проверка заделки ПО игольчатыми дисками, подбора высоты лопаток на нем и изменения ширины междурядья для сельскохозяйственной культуры (например, подсолнечника).

⁷ Припоров И.Е., Курасов В.С., Бацунов В.И. Исследование технических характеристик турбодисковых культиваторов для вертикальной обработки почвы. В: Инженерное обеспечение сельского хозяйства: проблемы, достижения, перспективы: материалы I Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 70-летию освоения целинных и залежных земель в Алтайском крае. Барнаул: РИО Алтайского ГАУ; 2024. С. 70–72. <https://elibrary.ru/lfnajy>

⁸ Припоров И.Е., Курасов В.С., Бацунов В.И. Совершенствование турбодисковых культиваторов для вертикальной обработки почвы. В: Общество, образование, наука в современных парадигмах развития: материалы V Национальной науч.-практ. конф. Керчь: Керченский государственный морской технологический университет; 2024. С. 90–93. <https://elibrary.ru/jlqkmd>

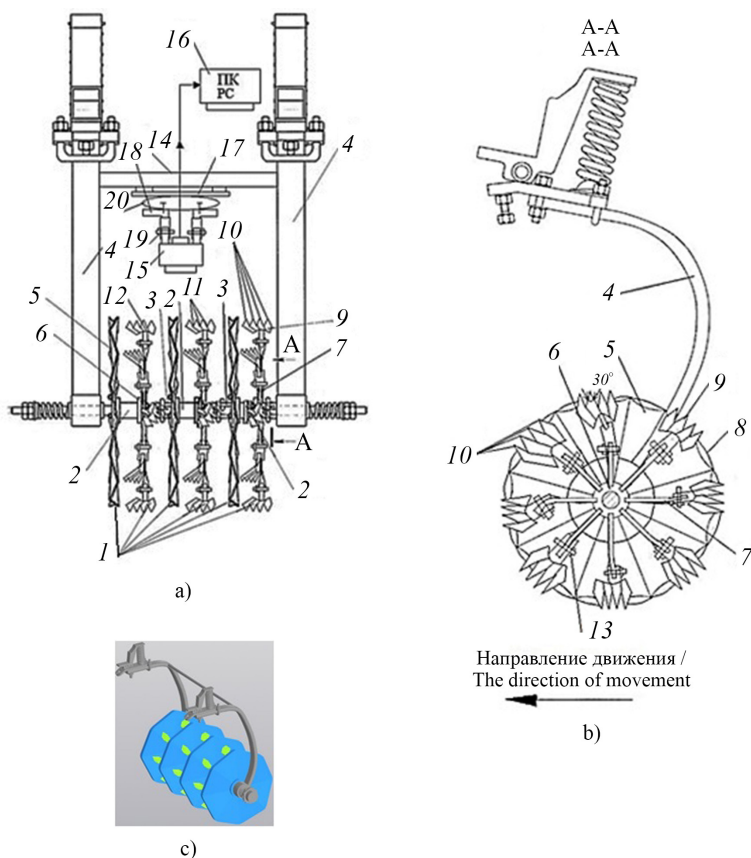
МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования

Технологический процесс ВОП разработанным турбодисковым культиватором (ТДК) для заделки пожнивных остатков длинностебельных культур [19].

Материалы

Разработанный ТДК представлен на рисунке 1.



Р и с. 1. Конструктивно-технологическая схема турбодискового культиватора:
а) общий вид; б) вид сбоку: 1 – диски; 2 – батарея; 3 – шарниры; 4 – стойка;
5 – рифленные диски; 6 – игольчатые диски; 7 – игла; 8 – окружность; 9 – лопатки зубчатые;
10 – вершина; 11 – впадина; 12 – скребок; 13, 19 – стопорные болты; 14 – рама;
15 – мультимедийное устройство; 16 – персональный компьютер; 17 – каретки;
18 – телескопические стойки; 20 – механизм поворотный; в) 3D-модель

Fig. 1. Design and technological scheme of the turbo-disc cultivator:
a) general view; b) side view: 1 – discs; 2 – battery; 3 – hinges; 4 – rack; 5 – grooved discs;
6 – needle discs; 7 – needle; 8 – circle; 9 – toothed blades; 10 – vertex; 11 – cavity;
12 – scraper; 13, 19 – locking bolts; 14 – frame; 15 – multimedia device;
16 – personal computer; 17 – carriages; 18 – telescopic racks; 20 – rotary mechanism; c) 3D-model

Примечание: ПК – персональный компьютер; А – вид; А-А – сечение.

Note: PC – personal computer; A – view; A-A – section.

Источник: рисунки 1, 3–7 составлены авторами статьи.

Source: the diagrams 1, 3–7 were compiled by the authors of the article.

ТДК содержит диски 1, которые собраны в батарею 2 с помощью крестообразных шарниров 3 и установлены на подпружиненных стойках 4. Каждая пара дисков 1 содержит рифленные 5 и игольчатые 6 диски с иглами 7 под углом 15–25°, расположенные по окружности 8, с зубчатыми лопатками 9. Стойки 4 С-образные, игла круглая. Лопатки 9 имеют четыре вершины 10 и три впадины 11, которые выполнены по синусоидальной кривой, потому что при разном диаметре стерни подсолнечника (5...7 см) или кукурузы (2...6 см) необходимо разное количество лопаток. Одна вершина лопатки приходится на 1 см диаметра стерни (в зависимости от сельхозкультуры). Синусоидальная кривая была выбрана, потому что при набегании впадины на камень происходит его проскальзывание, а вершина 10 лопатки 9 работает по стерне. Расстояние между игольчатыми дисками 6 равно ширине междурядья стерни, регулируемое по высоте и ширине междурядья в зависимости от сельхозкультуры. Конфигурация лопаток игольчатого диска выбрана на основе ранее проведенных нами исследований. Количество волнистых дисков на предложенном турбодисковом культиваторе составляет четыре, исходя из ширины его захвата (3 м).

Количество лопаток 9 на игольчатом диске 6 равно диаметру стерни сельхозкультуры после комбайновой уборки, например, подсолнечника, кукурузы. Угол раствора вершины 10 доходит до 30°. При угле меньше 30° лопатка проскальзывает и ударяет, а при большем угле происходит удар по стерне и выкорчевывание ее без заделывания в почву, что приводит к нарушению технологического процесса работы диска 6. Лопатки 9 в виде скребка 12 с режущей кромкой направлены по ходу движения дисковой батареи. При этом поверхность ее ребер имеет коэффициент трения, который превышает коэффициент по стерне сельхозкультуры. Для обеспечения крепления к игле 7 ее основание (вогнутая полусфера) состоит из частей и соединена стопорными болтами 13. На лопатки 9 приклеена абразивная крупнозернистая бумага из тканевой основы. На подпружиненных стойках 4 батареи по центру расположена установка для контроля технологического процесса заделки ПО. Она состоит из рамы 14, на которой имеется мультимедийное устройство (ММУ) 15, совершающее перемещение и вращение с помощью каретки 17 с поворотным механизмом 20. Механизм сообщен с ММУ 15 через Г-образные телескопические стойки 18.

Технологический процесс работы турбодискового культиватора

При обработке почвы диски 1, которые собраны в батарею 2 посредством крестообразных шарниров 3, установлены на С-образных стойках 4 с помощью пружины и винтового механизма (не показано). При обработке почвы действует переменная сила сопротивления, зависящая от рельефа и физико-механических свойств почвы, наличия ПО стерневого фона (рис. 1). Каждая пара дисков 1 содержит рифленный 5 и игольчатый 6 (с установленными под углом по окружности 8 иглами 7). Диски, перемещаясь в почве, совершают вращательное движение, приводящее к перетиранию ПО между дисками 1 (рис. 1).

Оператор проводит контроль заделки длинностебельных культур на всем пути обработки. Посредством ММУ 15 полученное изображение их заделки на поле подают на компьютерную обработку с программным обеспечением Mathcad для определения качества заделки, которое должно соответствовать агротехническим требованиям, иначе тракторист дополнительно проводит заделку.

В патенте приведена обработка изображения на компьютере с помощью программы Mathcad [20]. Для компьютерной обработки вместе с объектами в цветном изображении с расширением файла .jpg и разрешающей способностью не ниже 600 dpi на дюйм в программу Mathcad вводят площадь внутренней поверхности рамки в миллиметрах, средний размер пожнивных остатков, их длину и диаметр в миллиметрах, а также общее их количество внутри рамки до заделки. После оцифровки изображения выбирают матрицу плоской поверхности и одного объекта в синем цвете. Определяют масштабный коэффициент для корреляции размеров плоской поверхности пожнивных остатков почвы (мм), выраженных в миллиметрах, с матрицей плоской поверхности и одного объекта (пиксели). Эффективность заделки пожнивных остатков оценивается по коэффициенту, который рассчитывается как отношение их количества на плоской поверхности до и после заделки их в почву.

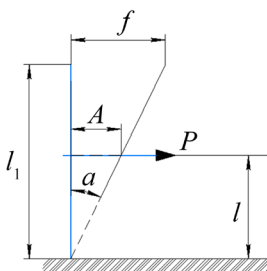
Техническое преимущество данного орудия заключается в снижении тягового сопротивления с одновременным повышением качества и контролируемости их заделки, а также в расширении его функциональных возможностей.

Методы

Разрушающее контактное напряжение, характеризующее технологические свойства стерни подсолнечника, определялось в соответствии с законами механики.

В работе Т. А. Погорова стебель рассматривается как упругий вертикальный стержень с закреплением снизу (рис. 2) [21]. Агротехнические практики, применяемые в США, демонстрируют, что оставление в поле ПО являются средством защиты почв от эрозии [2]. Вид поля с оставшимися стеблями подсолнечника после его уборки [2] при образовании стерни приведен на рисунке 3.

Определим разрушающее контактное напряжение стерни подсолнечника после уборки.



Р и с. 2. Схема отклонения стебля под действием силы

F i g. 2. The scheme of deflection of the stem under the impact force

Примечание: P – сила удара, Н; ℓ – плечо действия силы удара, мм; ℓ_1 – длина, мм; f – максимальный поперечный изгиб стебля, м; A – расстояние, на которое отклонился стебель после воздействия силы удара, мм; α – угол его отклонения, град.

Note: P – impact force, N; ℓ – impact force arm, mm; ℓ_1 – length, mm; f – maximum transverse bending of the stem, m; A – distance at which the stem deflected by the impact force, mm; α – deflection angle, degrees.

Источник: рисунок составлен авторами статьи по материалам исследования Т. А. Погорова [21].

Source: the diagram was compiled by the authors of the article based on the materials of the thesis abstract [21].



Р и с. 3. Вид оставшихся стеблей после уборки подсолнечника (адаптировано из [2])

F i g. 3. The view of the stems remaining after harvesting sunflowers (adapted from [2])

Формула для расчета силы удара по стеблю в виде стерни [21]:

$$P = \frac{3}{2} \frac{ED_2^3 \sigma_p A}{\ell^3}, \quad (1)$$

где E – модуль упругости, Па; D_2 – диаметр стерни подсолнечника, мм; σ_p – разрушающее контактное напряжение, характеризующие технологические свойства стерни, Па; A – расстояние, на которое отклонился стебель после воздействия силы удара, мм; ℓ – плечо действия силы удара, мм.

Также Т. А. Погоровым представлена формула, позволяющая вычислить силу P , которая ударяет по стеблю (рис. 4) [21]. Тогда

$$P = \frac{1}{4} m \omega^2 A, \quad (2)$$

где m – масса стебля, кг; ω – угловая скорость⁹ при колебательном движении частиц стебля, рад/с.

Приравнявая выражения (1) и (2), выразим разрушающее контактное напряжение (3):

$$\begin{aligned} \frac{3}{2} \frac{ED_2^3 \sigma_p A}{\ell^3} &= \frac{1}{4} m \omega^2 A; \\ \sigma_p &= \frac{0,17 m \omega^2 \ell^3}{ED_2^3}. \end{aligned} \quad (3)$$

Угловая скорость при колебаниях стебля определяется из следующего выражения¹⁰:

⁹ Федоров В.В. Снижение потерь семян подсолнечника при комбайновой уборке разработкой и применением стеблеподъемника с эластичными улавливателями. автореф. дисс... канд. техн. наук. Пенза; 2013. 19 с.

¹⁰ Там же.

$$\omega = \frac{1}{\ell} \sqrt{\frac{G}{\gamma}}, \quad (4)$$

где G – модуль сдвига, Па; γ – линейная плотность стебля, кг.

$$\gamma = \frac{\delta}{g}, \quad (5)$$

где δ – удельный его вес, Н; g – ускорение свободного падения, м/с².

Модуль сдвига стебля определяется из выражения:

$$p^* = G \frac{A}{\ell}, \quad (6)$$

где p^* – предельное его напряжение, Па ($p^* = 8 \text{ Па}$)¹¹.

Выразим из (6) модуль сдвига G :

$$G = \frac{\ell}{A} p^*. \quad (7)$$

Согласно рисунку 4

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{A}{\ell}, \quad (8)$$

тогда выражение (7) будет

$$G = \frac{p^*}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (9)$$

Согласно рисунку 2 угол, на который отклонен стебель, определяется следующим образом:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{f}{\ell_1}; \quad (10)$$

$$\ell_1 = \frac{f}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (11)$$

Так как $\ell = \frac{1}{4} \ell_1$, то

$$\ell = \frac{f}{4 \operatorname{tg} \alpha}. \quad (12)$$

Подставим выражения (9), (12) в (4) и получим

$$\omega = \frac{4 \operatorname{tg} \alpha}{f} \sqrt{\frac{g p^*}{\delta \operatorname{tg} \alpha}}; \quad (13)$$

¹¹ Федоров В.В. Снижение потерь семян подсолнечника при комбайновой уборке разработкой и применением стеблеподъемника с эластичными улавливателями.

$$\omega = \frac{4 \cdot 2,828}{f} \sqrt{\frac{gtg\alpha}{\delta}},$$

$$\omega = \frac{11,312}{f} \sqrt{\frac{gtg\alpha}{\delta}}. \quad (14)$$

Коэффициент 11,312 находится путем математического преобразования выражения (13). Тогда из выражения (3) с учетом (9), (12) выводится следующая зависимость

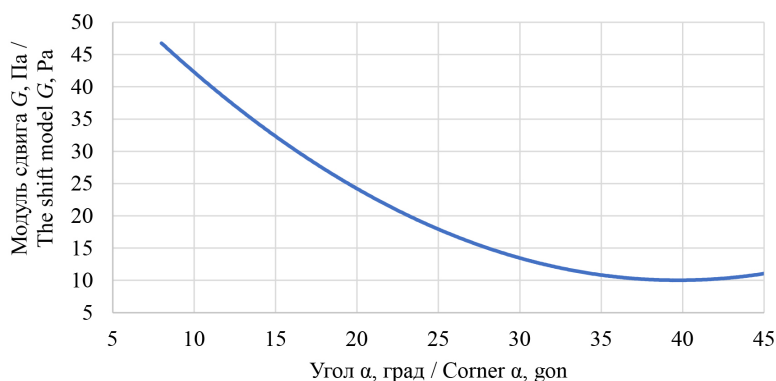
$$\sigma_p = \frac{0,34mg \frac{f}{tg^2\alpha}}{ED_2^3\delta}. \quad (15)$$

Анализ выражения (15) показывает, что разрушающее контактное напряжение зависит от физико-механических свойств стерни подсолнечника и угла ее наклона относительно почвы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты теоретических исследований

Зависимость модуля сдвига от угла наклона стерни приведена рисунке 4. График построен при начальном предельном напряжении стерни подсолнечника.

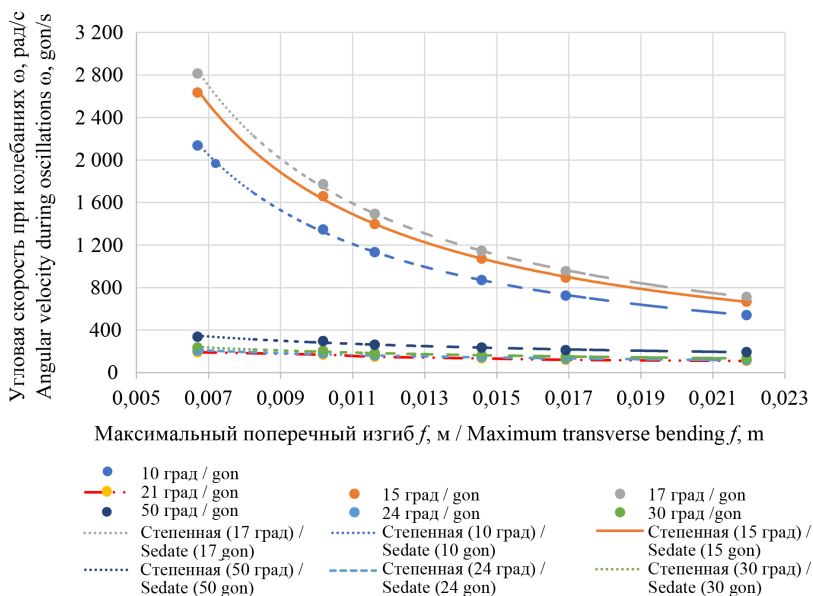


Р и с. 4. Зависимость модуля сдвига от угла отклонения стебля
F i g. 4. Dependence of the shear modulus on the angle of stem deflection

Увеличение угла отклонения стебля после уборки приводит к снижению модуля сдвига (рис. 4).

Зависимость угловой скорости при колебаниях стебля от максимального поперечного его изгиба приведена на рисунке 5. Увеличение максимального поперечного изгиба с 0,0067 до 0,0219 м приводит к снижению угловой скорости при его колебаниях. В свою очередь, повышение угла отклонения стебля приводит к снижению угловой скорости в среднем с 1125,8 до 256,7 рад/с.

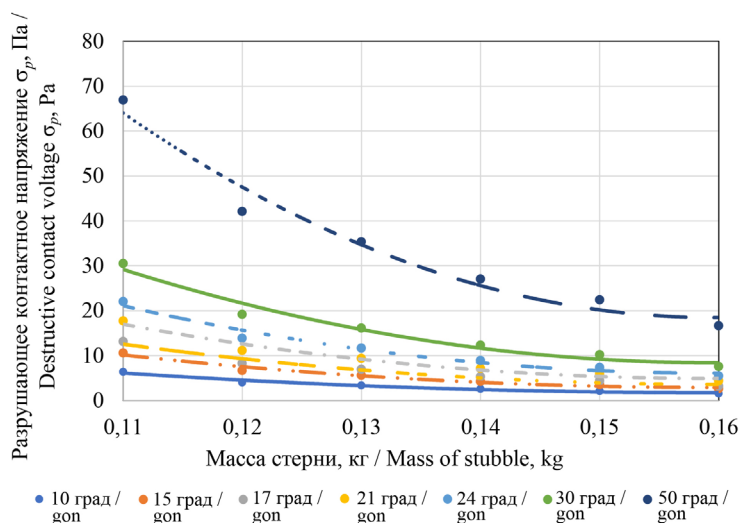
Зависимость на рисунке 5 построена при начальных значениях удельного веса стебля от 1,07 до 1,57 Н/м.



Р и с. 5. Зависимость угловой скорости при колебаниях стебля от максимального поперечного его изгиба с разным углом отклонения

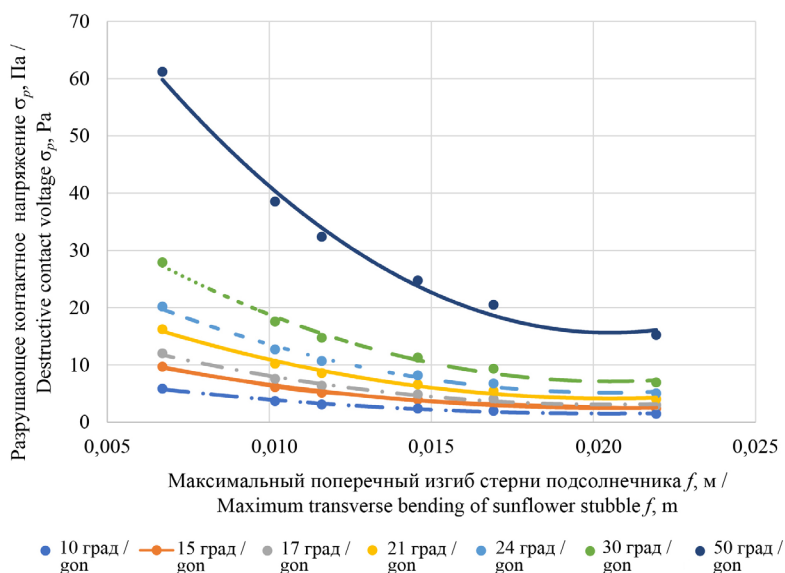
F i g. 5. Dependence of the angular velocity of the stem oscillations on its maximum transverse bending at different angles of deflection

Представим зависимость разрушающего контактного напряжения от физико-механических свойств стерни, а именно массы стерни (рис. 6) и максимального поперечного ее изгиба (рис. 7).



Р и с. 6. Зависимость разрушающего контактного напряжения от массы стерни подсолнечника

F i g. 6. Dependence of the breaking on the mass of sunflower stubble



Р и с. 7. Зависимость разрушающего контактного напряжения от максимального поперечного изгиба стерни подсолнечника при разном значении модуля упругости стерни и постоянном угле отклонения

Fig. 7. Dependence of the breaking on the maximum transverse bending of sunflower stubble at different values of the stubble modulus of elasticity and a constant angle of deflection

Анализ зависимостей на рисунке 7 показывает, что разрушающее контактное напряжение снижается при росте максимального поперечного изгиба стерни подсолнечника. Повышение угла наклона стерни подсолнечника приводит к увеличению разрушающего контактного напряжения с уменьшением максимального поперечного изгиба стерни подсолнечника.

Исходя из этого, предложен способ заделки стерни высокостебельных растений в почву [16].

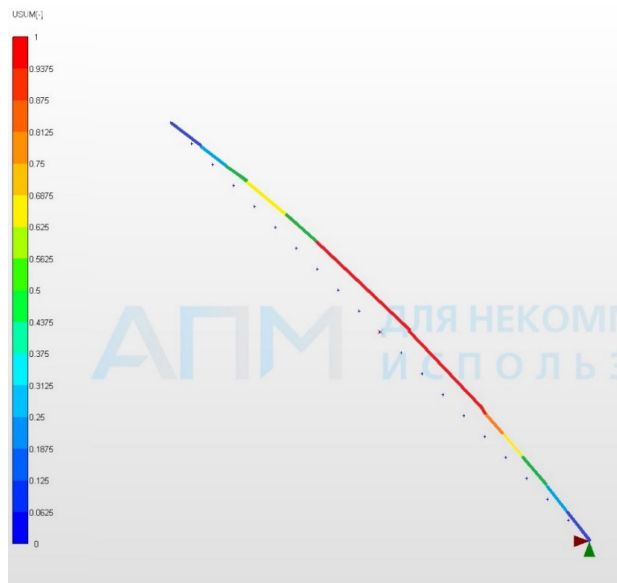
Проверка теоретических исследований

Сущность предложенного способа заделки стерни высокостебельных растений в почву поясняется с помощью чертежа. На рисунке 8 приведена карта распределения эквивалентных разрушающих контактных напряжений с процентным соотношением длины стержня, соответствующей длине стерни высокостебельных растений (СВСР). На рисунке 9 серийный почвообрабатывающий агрегат (ПОА), выпускаемый фирмой Salford.

Способ заделки СВСР в почву осуществляется следующим образом:

- пригиб стерни и удержание стеблей в горизонтальном положении;
- измельчение на фракции и обработка почвы без оборота после процесса измельчения рабочими органами;
- продольный разрез перед измельчением СВСР, отделение побегов и корневой системы от стерни;
- предварительное определение по формуле (15) начального разрушающегося контактного напряжения СВСР при ее изгибе;

- получение цветного изображения СВСР после уборки посредством мультимедийного устройства, его перевод на компьютер и обрисовка контура полученного цветного изображения в программе Компас 3D V18 с разрешением файла cdw;
- загрузка обработанного изображения в программу APM WinMachine с модулем APM SHAFT;
- получение модели стерни в виде стержня, жестко закрепленного в нижней точке;
- нагружение стержня по найденному значению начального разрушающего напряжения при изгибе;
- моделирование нагрузки на стержень, которая равномерно распределена по всей его длине;
- статический расчет стержня и получение результатов расчета стержня в виде карты распределения (рис. 9) эквивалентных разрушающих напряжений с процентным соотношением длины стержня, соответствующей длине стерни и цветными участками стержня;
- подбор высоты размещения рабочего органа (рис. 10), в качестве которого используют батарею дисков, состоящую из волнистых дисков, между которыми размещают игольчатый диск с лопатками для разрушения стерни согласно цвету по карте распределения эквивалентных разрушающих напряжений.



Р и с. 8. Карта распределения эквивалентных разрушающих контактных напряжений с процентным соотношением длины стержня, соответствующей длине стерни высокостебельных растений

F i g. 8. Map of the distribution of breaking with a percentage of the rod length corresponding to the length of the stubble of tall plants

Источник: снимок сделан в программе APM WinMachine.
Source: the picture was taken in the program APM WinMachine.



Р и с. 9. Серийный почвообрабатывающий агрегат фирмы Salford

F i g. 9. Series-produced tillage unit of the company Salford

Источник: изображение взято из сайта: <https://clck.ru/3Pj7CR>.

Source: the photo is taken from the website: <https://clck.ru/3Pj7CR>.

Выполнение технологических операций в способе заделки СВСР в почву позволяет повысить эффективность ее заделки за счет оптимального размещения рабочего органа по высоте с учетом начального разрушающего контактного напряжения.

Пример осуществления заделки стерни высокостебельных растений и определение эквивалентного разрушающего напряжения

При движении почвообрабатывающего агрегата (рис. 9) его рабочие органы пригибают СВСР после уборки комбайном и удерживают ее в горизонтальном положении [2]. На батаре с волнистыми дисками размещены игольчатые диски с лопатками для разрушения стерни. По карте распределения определяют эквивалентное разрушающее напряжение исходя из цвета.

Рассмотрим пример со следующими начальными данными (15): $m = 0,11$ кг; $g = 9,81$ м/с²; $f = 0,0067$ м; $\alpha = 50^\circ$; $\delta = 1,0791$ Н; $E = 0,015$ Па; $D = 0,022$ м;

$$\sigma_p = \frac{0,34 \cdot 0,11 \cdot 9,81 \cdot \frac{0,0067}{\operatorname{tg}^2 50}}{1,0791 \cdot 0,015 \cdot 0,022^3} = 66,9 \text{ Па.}$$

Исходя из процентного соотношения длины стержня (0,25...0,60 %), при средней длине стерни 38 мм игольчатый диск с лопатками ПОА (например, ТДК) должен размещаться на высоте 9,5...22,8 мм от поверхности почвы при данном разрушающем напряжении при изгибе 16,73...40,14 Па. Стерня на поверхности почвы измельчается игольчатым диском с лопатками, волнистый диск ТДК входит в почву вертикально и обрабатывает почву без перемешивания слоев.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный способ заделки СВСП в почву более перспективен указанного в патентах [22; 23].

Известный способ совмещения измельчения высокостебельных пожнивных остатков и обработки почвы включает несущую систему, плоскорежущую лапу, барабан-измельчитель и установленное перед измельчителем пригибающее устройство, осуществляющее пригиб растительных остатков вниз, удержание их для изменения, рыхление почвы без оборота после процесса измельчения.

К недостаткам такого метода относится то, что стебли растительных остатков измельчаются поперечным резанием на отдельные фракции, а агрегат, производя поперечную их разделку, не осуществляет продольный разрез, не производит равномерной заделки их в обработанный слой, что ведет к продолжительному процессу перехода измельченных остатков в питательные вещества для последующих культур [22].

Известен способ заделки в почву трудноизмельчаемых растительных остатков, характеризующийся тем, что растительные остатки с поверхности поля смещаются в открытую плугом борозду, уплотняются колесами трактора, движущимися по борозде, после чего плужные корпуса с углосниками засыпают их почвой [23].

Также существуют способы и орудия для глубокой заделки (запашки) стерни плугом, оборудованным предплужниками или плужными корпусами с углосниками. При этом стерня предварительно измельчается, как правило, одновременно с уборкой комбайнами, оборудованными измельчителями.

Существенным недостатком способа является снижение надежности почвообрабатывающей техники, вызванное наличием неизмельченных стеблей. Происходит забивание плуга растительными остатками. Стебли льна масличного по физико-механическим свойствам отличаются от стеблей зерновых культур. Значительная их часть заполнена волокнистой тканью, оказывающей большое сопротивление срезу. Поэтому попытки использования приспособлений к комбайну для измельчения и разбрасывания стерни льна равномерно по поверхности поля не привели к желаемому результату. Из-за наличия в таких приспособлениях вращающихся ножей волокнистые стебли льна наматываются на них, происходит их забивание, что часто приводит к возгоранию массы стеблей. Поэтому во время уборки стерни и растительные остатки укладываются в валок за комбайном, что создает препятствия для дальнейшей обработки почвы под следующую (по севообороту) культуру. При этом в случае сева озимых рекомендуется не заделывать волокнистую солому в почву, а немедленно удалять ее с поля и сразу же начинать готовить почву под посев. Удалять солому рекомендуется с помощью тракторных волокуш или рулонных прессов с последующей вывозкой рулонов на шпигатные фабрики для переработки в волокно. Однако из-за малочисленности таких фабрик в настоящее время рекомендуемый способ удаления с поля стеблей льна экономически нецелесообразен [23].

При средней длине стерни подсолнечника 38 мм разрушающее контактное напряжение составляет 66,9 Па; при длине 9,5...22,8 мм разрушающее напряжение – 16,73...40,14 Па. Качество заделки стерни подсолнечника согласно патенту [22] составляет 88,3 %, а по предложенному способу – 92,5 %.

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Получено выражение, определяющее разрушающее контактное напряжение в зависимости от физико-механических свойств стерни подсолнечника и угла его наклона относительно почвы.

2. Разрушающее контактное напряжение снижается при повышении максимального поперечного изгиба стерни подсолнечника. Увеличение угла ее наклона приводит к росту разрушающего контактного напряжения с уменьшением максимального поперечного изгиба стерни подсолнечника.

3. Предложен способ заделки стерни высокостебельных растений в почву [16], который позволяет повысить эффективность ее заделки с 88,3 до 92,5 % за счет оптимального размещения рабочего органа по высоте с учетом начального разрушающего контактного напряжения стерни.

4. Работу лопаток игольчатого диска на турбодисковом культиваторе и разработанного культиватора в целом необходимо проверить в производственных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соболевский И.В. Бионическое обоснование конструкции почвообрабатывающих рабочих органов дисковой бороны. *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*. 2019;(19):73–84. <https://elibrary.ru/aizmod>
2. Борисенко И.Б., Скрипкин Д.В., Мезникова М.В., Тимошенко В.В., Элбакян А.Ж. Катковый измельчитель пожнивных остатков высокостебельных сельскохозяйственных культур. *Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса*. 2022;(2):329–339. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-02-41>
3. Козлов Н.С. Обзор и анализ конструкций рабочих органов почвообрабатывающих агрегатов для измельчения растительных остатков. *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. 2017;(1):123–125. <https://elibrary.ru/zbatat>
4. Точицкий А.А., Лепешкин Н.Д., Костюков П.П., Козлов Н.С. Почвовлагосберегающие технологии и средства механизации обработки легких почв в Республике Беларусь. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2012;(46):3–10. URL: <https://mechel.belar.by/jour/article/view/219/221> (дата обращения: 10.02.2025).
5. Алиакберов И.И., Яхин С.М., Нуриев Л.М. Обоснование параметров эллипсовидного игольчатого диска почвообрабатывающего орудия. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2021;16(2):65–69. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-65-69>
6. Samadalashvili A. The Batch-Combined Minimum Tillage Farming Machine. *Mechanization in Agriculture*. 2015;61(3):6–10. URL: <https://stumejournals.com/journals/am/2015/3/6> (дата обращения: 10.08.2025).
7. Petrov A.M., Ivanayskiy S.A., Kanaev M.A., Parfyonov O.M., Ivanayskiy M.S. Justification of Optimal Design and Technological Parameters of Needle Discs of the Combined Working Body. *Bio Web of Conferences*. 2020;17:00016. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700016>
8. Рзалиев А.С., Бекмухаметов Ш.Б., Голобородько В.П., Абдикаиров А.А., Бегалы Д.К., Боранбаев Б.Е. Комбинированное орудие для основной полосовой обработки почвы по технологии Strip-Till в условиях юга Казахстана. *Успехи современного естествознания*. 2019;(7):26–32. URL: <https://s.natural-sciences.ru/pdf/2019/7/37155.pdf> (дата обращения: 12.02.2025).
9. Маринченко И.А. Исследование стеблей конопли как объекта разрушения. *Вестник Херсонского национального технического университета*. 2014;(4):87–91. <https://elibrary.ru/tilgap>
10. Ковач М.Д., Мейнерс Т.Д., Нобloch Д.А., Кромминга Г.Д., Смарт Г.С. Система и способ для вертикальной обработки почвы с неглубокими дисковыми ножами. Патент 2529910 Российская Федерация. 10 октября 2014. <https://elibrary.ru/uffcjj>

11. Курасов В.С., Припоров И.Е., Бацунов В.И. Энергетическая оценка турбодисковых культиваторов для вертикальной обработки почвы. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2024;(5):164–168. <https://elibrary.ru/faiyaq>
12. Припоров И.Е., Курасов В.С., Бацунов В.И. Энергетическая оценка турбодисковых культиваторов для вертикальной обработки почвы. *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2024;(4):65–71. <https://elibrary.ru/faiyaq>
13. Припоров И.Е., Курасов В.С., Бацунов В.И. Исследование технических характеристик турбодисковых культиваторов с волнистым диском. *АПК России*. 2024;31(5):701–705. <https://elibrary.ru/cuzmwh>
14. Припоров И.Е., Курасов В.С., Бацунов В.И. Анализ технических характеристик турбодисковых культиваторов для вертикальной обработки почвы. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2025;(2):100–105. <https://elibrary.ru/dxfych>
15. Припоров И.Е., Курасов В.С., Бацунов В.И. Способ измельчения высокостебельных пожнивных остатков и обработки почвы. Патент 2838202 С1 Российская Федерация. 14 апреля 2025. <https://elibrary.ru/qclxnr>
16. Припоров И.Е., Курасов В.С., Бацунов В.И., Богданов Р.П. Способ заделки стерни высокостебельных растений в почву. Патент 2838205 С1 Российская Федерация. 14 апреля 2025. <https://elibrary.ru/yksdmi>
17. Митин Е.Ф. Дисковый почвообрабатывающий рабочий орган. Патент 1542434 А1 СССР. 15 февраля 1990. <https://elibrary.ru/gsaqiq>
18. Бабицкий Л.Ф., Соболевский И.В. Почвообрабатывающая дисковая батарея. Патент 173238 Российская Федерация. 17 августа 2017. <https://elibrary.ru/ehvtoi>
19. Припоров И.Е., Бачу Т.Н., Курасов В.С., Цыбулевский В.В., Бацунов В.И., Курносова Н.С. Почвообрабатывающая дисковая батарея для заделки пожнивных остатков длинностебельных культур. Патент 2825223 Российская Федерация. 22 августа 2024. <https://elibrary.ru/yaumkg>
20. Цыбулевский В.В., Припоров И.Е., Самурганов Г.Е., Золотарев К.В. Способ определения качества заделки пожнивных остатков в почву в реальном времени. Патент 2693644 С1 Российская Федерация. 3 июня 2019. <https://www.elibrary.ru/usukpq>
21. Погорцов Т.А. Теоретическое обоснование бесподпорного резания стеблей растений шнековым режущим аппаратом с горизонтальной осью вращения. *Научный журнал НИИ проблем мелиорации*. 2016;(2):177–191. <https://elibrary.ru/vwzllt>
22. Рыков В.Б., Таранин В.И., Пантюхов И.В. Способ совмещения измельчения высокостебельных пожнивных остатков, сорняков и основной глубокой обработки почвы и агрегат для его осуществления. Патент 2195798 Российская Федерация. 10 января 2003. <https://elibrary.ru/hrchqf>
23. Волобуев В.А., Ревенко В.Ю., Белоусов М.М. Способ и устройство для заделки в почву трудноизмельчаемых растительных остатков. Патент 2546899 Российская Федерация. 10 апреля 2015. <https://elibrary.ru/zfgivn>

REFERENCES

1. Sobolevsky I.V. Bionic Substantiation of the Design of the Soil Processing Working Bodies of the Disk Harrow. *Transactions of Taurida Agricultural Science*. 2019;(19):73–84. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/aizmod>
2. Borisenko I.B., Skripkin D.V., Meznikova M.V., Timoshenko V.V., Elbakyan A.J. Roller Shredder for Stubble Residues of High-Stemmed Crops. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2022;(2):329–339. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-02-41>
3. Kozlov N.S. [Review and Analysis of Structures of Working Bodies of Tillage Units for Crushing Plant Residues]. *Vestnik Belorusskoi Gosudarstvennoi Sel'skokhozyaystvennoi Akademii*. 2017;(1):123–125. (In Russ.) <https://elibrary.ru/zbatat>
4. Tochitsky A.A., Lepeshkin N.D., Kostyukov P.P., Kozlov N.S. [Soil- and Moisture-Saving Technologies and Means of Mechanization of Light Soil Treatment in the Republic of Belarus]. *Mechanization and Electrification of Agriculture*. 2012;(46):3–10. (In Russ.) Available at: <https://mechel.belar.by/jour/article/view/219/221> (accessed 10.02.2025).

5. Aliakberov I.I., Yakhin S.M., Nuriev L.M. Description of the Parameters of the Ellipse Needle Disc of the Soil Processing Tool. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2021;16(2):65–69. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-65-69>
6. Samadalashvili A. The Batch-Combined Minimum Tillage Farming Machine. *Mechanization in Agriculture*. 2015;61(3):6–10. Available at: <https://stumejournals.com/journals/am/2015/3/6> (accessed 10.08.2025).
7. Petrov A.M., Ivanayskiy S.A., Kanaev M.A., Parfyonov O.M., Ivanayskiy M.S. Justification of Optimal Design and Technological Parameters of Needle Discs of the Combined Working Body. *Bio Web of Conferences*. 2020;17:00016. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700016>
8. Rzaliev A.S., Bektukhmetov Sh.B., Goloborodko V.P., Abdikairov A.A., Begaly D.K., Boranbaev B.E. Combined Tool for Main Strip Tillage by Strip-Till Technology in the Conditions of South Kazakhstan. *Advances in Current Natural Sciences*. 2019;(7):26–32. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <https://s.natural-sciences.ru/pdf/2019/7/37155.pdf> (accessed 12.02.2025).
9. Marinchenko I.A. Research of the Hemp Stems as Object Destruction. *Vestnik Khersonskogo Natsional'nogo Tekhnicheskogo Universiteta*. 2014;(4):87–91. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/tilgap>
10. Kovach M.D., Mejners T.D., Nobloch D.A., Kromminga G.D., Smart G.S. System and Method of Vertical Soil Treatment with Shallow Disc Blades. Patent 2529910 Russian Federation. 2014 October 10. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/uffcjj>
11. Kurasov V.S., Priporov I.E., Batsunov V.I. Energy Assessment of Turbodisc Cultivators for Vertical Tillage. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2024;(5):164–168. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/faiyaq>
12. Priporov I.E., Kurasov V.S., Batsunov V.I. Energy Assessment of Turbodisc Cultivators for Vertical Tillage. *Bulletin Samara State Agricultural Academy*. 2024;(4):65–71. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/faiyaq>
13. Priporov I.E., Kurasov V.S., Batsunov V.I. [Investigation of the Technical Characteristics of Turbodisc Cultivators with a Wavy Disk]. *Agro-Industrial Complex of Russia*. 2024;31(5):701–705. (In Russ.) <https://elibrary.ru/cuzmwh>
14. Priporov I.E., Kurasov V.S., Batsunov V.I. Analysis of Technical Characteristics of Turbo-Disc Cultivators for Vertical Tillage. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2025;(2):100–105. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/dxfych>
15. Priporov I.E., Kurasov V.S., Batsunov V.I. Method of Crushing Tall Crop Residues and Soil Treatment. Patent 2838202 C1 Russian Federation. 2025 April 14. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/qclxnr>
16. Priporov I.E., Kurasov V.S., Batsunov V.I., Bogdanov R.P. Method of Stubble Embedding of Tall Plants into Soil. Patent 2838205 C1 Russian Federation. 2025 April 14. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/yksdmi>
17. Mitin E.F. [Disk Tillage Working Body]. Patent 1542434 A1 USSR. 1990 February 15. (In Russ.) <https://elibrary.ru/gsaqiq>
18. Babitsky L.F., Sobolevsky I.V. [Tillage Disk Battery]. Patent 173238 Russian Federation. 2017 August 17. (In Russ.) <https://elibrary.ru/ehvtoi>
19. Priporov I.E., Bachu T.N., Kurasov V.S., Tsybulevskij V.V., Batsunov V.I., Kurnosova N.S. Soil-Cultivating Disc Battery for Embedding Crop Residues of Long-Stem Crops. Patent 2825223 Russian Federation. 2024 August 22. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/yaumkg>
20. Tsybulevskij V.V., Priporov I.E., Samurganov G.E., Zolotarev K.V. Method for Determination of Quality of Tillage in Soil in Real Time. Patent 2693644 C1 Russian Federation. 2019 June 3. (In Russ., abstract in Eng.) <https://www.elibrary.ru/usukpq>
21. Pogorov T.A. Theoretical Substantiation of Without-Prop Cutting of Plant Stems by Screw Cutting Apparatus with Horizontal Rotation Axis. 2016;(2):177–191. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/vwzllt>
22. Rykov V.B., Taranin V.I., Pantjukhov I.V. Method and Apparatus for Combined Grinding of Stubble Remains, Weeds and Deep Soil Tillage. Patent 2195798 Russian Federation. 2003 January 10. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/hrchqf>
23. Volobuev V.A., Revenko V.J., Belousov M.M. Method and Device for Embedding Into Soil of Hard-Crushed Plant Residues. Patent 2546899 Russian Federation. 2015 April 10. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/zfgivn>

Об авторах:

Припоров Игорь Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры тракторов, автомобилей и технической механики Кубанского государственного аграрного университета имени И. Т. Трубилина (350044, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8201-2819>, Researcher ID: N-4901-2016, Scopus ID: 57214999941, SPIN-код: 4330-0224, i.priporov@yandex.ru

Курасов Владимир Станиславович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой тракторов, автомобилей и технической механики Кубанского государственного аграрного университета имени И. Т. Трубилина (350044, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1733-9436>, SPIN-код: 7925-1853, kurasoff@gmail.com

Бацунов Владимир Игоревич, аспирант кафедры тракторов, автомобилей и технической механики Кубанского государственного аграрного университета имени И. Т. Трубилина (350044, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13), ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2865-3674>, vovasvovas70@bk.ru

Вклад авторов:

И. Е. Припоров – формулирование идеи исследования, целей и задач; создание и подготовка рукописи: критический анализ черновика рукописи, внесение замечаний и исправлений членами исследовательской группы, в том числе на этапах до и после публикации.

В. С. Курасов – осуществление научно-исследовательского процесса, включая выполнение сбора данных; создание и подготовка рукописи: визуализация результатов исследования.

В. И. Бацунов – осуществление научно-исследовательского процесса, включая сбор данных; создание и подготовка рукописи: визуализация результатов исследования и полученных данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

*Поступила в редакцию 22.04.2025; поступила после рецензирования 20.10.2025;
принята к публикации 14.11.2025*

About the authors:

Igor E. Priporov, Cand.Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Tractors, Automobiles and Technical Mechanics, I. T. Trubilin Kuban State Agricultural University (13 Kalinin St., Krasnodar 350044, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8201-2819>, Researcher ID: N-4901-2016, Scopus ID: 57214999941, SPIN-code: 4330-0224, i.priporov@yandex.ru

Vladimir S. Kurasov, Dr.Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department of Tractors, Automobiles and Technical Mechanics, I. T. Trubilin Kuban State Agricultural University (13 Kalinin St., Krasnodar 350044, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1733-9436>, SPIN-code: 7925-1853, kurasoff@gmail.com

Vladimir I. Batsunov, Post-Graduate Student of the Department of Tractors, Automobiles and Technical Mechanics, I. T. Trubilin Kuban State Agricultural University (13 Kalinin St., Krasnodar 350044, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2865-3674>, vovasvovas70@bk.ru

Authors contribution:

I. E. Priporov – formulating the study idea, goals and objectives; preparing the manuscript: critical analysis of the draft manuscript, making comments and corrections by members of the research group including at the stages before and after publication.

V. S. Kurasov – conducting the study, including data collection; preparing the manuscript: visualizing the study results.

V. I. Batsunov – conducting the study, including data collection; preparing a manuscript: visualizing the study results and data obtained.

All authors have read and approved the final manuscript.

Submitted 22.04.2025; revised 20.10.2025; accepted 14.11.2025