



Оригинальная статья


DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.2/13>


УДК 630* 631.3.06

Полевые исследования модульных рабочих органов комбинированного почвообрабатывающего орудия


Сергей В. Малюков¹ ✉, malyukovsergey@yandex.ru,  0000-0003-2098-154X


Михаил Н. Лысыч¹, vum1@yandex.ru,  0000-0002-3764-3873

Леонид Д. Бухтояров¹, vglt-a-mlx@yandex.ru,  0000-0002-7428-0821

Михаил В. Шавков², shavkovmv@mail.ru,  0000-0003-3700-7508

Александр Ф. Петков¹, alexanderpetkoff@mail.ru,  0000-0002-6348-8934

Максим А. Попов¹, porovmaxim98@mail.ru,  0009-0002-6356-5028

Дмитрий С. Черенков¹, chierienkov1999@mail.ru,  0009-0000-1257-6902

¹ «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация

² ООО «Русгидроком», ул. Мазлумова, д. 25, г. Воронеж, 394040, Российская Федерация

Аннотация

Работы по созданию новых и модернизации существующих агрегатов и комбинированных машин проводятся как в России, так и за рубежом. Ведущая роль в них отводится снижению энергозатрат и увеличению качества обработки почвы. Огромное разнообразие климатических и почвенных условий диктуют конструкторам свои правила по созданию современных агрегатов и машин. Существующие машины довольно хорошо справляются с поставленными задачами, но работы по их усовершенствованию должны продолжаться. Это требует от исследователей проявления новых конструкторских и научных решений. Научная новизна состоит в разработке новой конструкции рамы почвообрабатывающего орудия со сменными модульными рабочими органами, а также в определении качественных и энергетических показателей работы агрегата. Цель исследований – определение тягового сопротивления комбинированного почвообрабатывающего орудия в полевых условиях в зависимости от конструктивных и технологических параметров модульных рабочих органов. При проведении полевых исследований использовался метод тензометрирования. При обработке данных полевых экспериментов максимальное тяговое сопротивление для двух дисковых плужных рабочих органов достигло значения $F_{xyz} = 5013.20$ Н, для пары дисковых батарей – $F_{xyz} = 3135.82$ Н, для двух ножевых катков – $F_{xyz} = 5337.81$ Н. На основе полученных экспериментальных данных можно спроектировать комбинированные агрегаты, состоящие из нескольких видов рабочих органов. При этом подбор орудий будет осуществлен исходя из тягового класса трактора. Под определенный класс трактора можно будет подобрать определенное сочетание рабочих органов с требуемыми конструктивными и технологическими параметрами. Такие комбинации позволят в дальнейшем повысить качество и эффективность почвообработки, уменьшить расход топлива при выполнении работ.

Ключевые слова: тензометрическая станция ZET 058, дисковые рабочие органы, ножевые катки, почвообрабатывающие орудия, тяговое сопротивление рабочих органов, вырубки, комбинированные машины.

Финансирование: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-10010, <https://rscf.ru/project/22-79-10010/>

Благодарности: Авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Полевые исследования модульных рабочих органов комбинированного почвообрабатывающего орудия / С. В. Малуков, М. Н. Лысыч, Л. Д. Бухтояров, М. В. Шавков, А. Ф. Петков, М. А. Попов, Д. С. Черенков // Лесотехнический журнал. – 2025. – Т. 15. – № 2 (58). – С. 207-223. – Библиогр.: с. 219-222 (20 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.2/13>.


Поступила 14.11.2024. Пересмотрена 24.04.2025. Принята 26.05.2025. Опубликовано онлайн 26.06.2025.


Article


Field studies of modular working bodies of combined tillage tool


Sergey V. Malyukov¹✉, malyukovsergey@yandex.ru,  0000-0003-2098-154X


Mikhail N. Lysych¹, vum1@yandex.ru,  0000-0002-3764-3873

Leonid D. Bukhtoyarov¹, vgltax-mlx@yandex.ru,  0000-0002-7428-0821

Michael V. Shavkov², shavkovmv@mail.ru,  0000-0003-3700-7508

Alexander F. Petkov¹, alexanderpetkoff@mail.ru,  0000-0002-6348-8934

Maksim A. Popov¹, popovmaxim98@mail.ru,  0009-0002-6356-5028

Dmitry S. Cherenkov¹, chierienkov1999@mail.ru,  0009-0000-1257-6902

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev st., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation

² LLC Rushydrocom, Mazlumova street, 25, Voronezh, 394040, Russian Federation

Abstract

Works on creation of new and modernization of existing aggregates and combined machines are carried out both in Russia and abroad. The leading role in them is given to reducing energy consumption and increasing the quality of soil tillage. Huge variety of climatic and soil conditions dictate to designers their own rules for creation of modern aggregates and machines. Existing machines cope with the set tasks quite well, but works on their improvement should be continued. This requires from researchers the manifestation of new design and scientific solutions. The scientific novelty consists in the development of a new design of the frame of a tillage implement with interchangeable modular working bodies, as well as in the determination of qualitative and energy indicators of the unit operation. The purpose of research is to determine the traction resistance of combined tillage tool in field conditions depending on the design and technological parameters of modular working bodies. The strain gauge method was used in the field research. When processing the data of field experiments, the maximum traction resistance for two disk plow working bodies reached the value $F_{xyz} = 5013.20$ N, for a pair of disk batteries - $F_{xyz} = 3135.82$ N, for two knife rollers - $F_{xyz} = 5337.81$ N. On the basis of the obtained experimental data it is possible to design combined aggregates consisting of several types of working tools. In this case, the selection of implements will be carried out based on the tractor traction class. For a certain class of tractor it will be possible to select a certain combination of working tools with the required design and technological parameters. Such combinations will further improve the quality and efficiency of soil tillage and reduce fuel consumption during work.

Keywords: strain gauge station ZET 058, disk implements, knife rollers, tillage implements, traction resistance of implements, cuttings, combined machines.

Funding: The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation № 22-79-10010, <https://rscf.ru/project/22-79-10010/>

Acknowledgement: The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors declares no conflict of interest.

For citation: Malyukov S. V., Lysych M.N., Bukhtoyarov L. D., Shavkov M. V., Petkov A. F., Popov M. A., Cherenkov D. S. (2025) Field studies of modular working bodies of combined tillage tool. Forestry Engineering journal, Vol. 15, No. 2 (58), pp. 207-223 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.2/13>.

Received 14.11.2024. *Revised* 24.04.2025. *Accepted* 26.05.2025. *Published online* 26.06.2025.

Введение

Работы по разработке новых и модернизации существующих агрегатов и комбинированных машин проводятся как в России [1, 2], так и за рубежом [3, 4]. Ведущая роль, при этом, отводится снижению энергозатрат и увеличению качества обработки почвы [5, 6].

В лесном [7] и сельском [8] хозяйстве, в настоящее время, осуществляются обширные работы по оптимальному подбору рабочих органов для комбинированных машин, не взирая на их значительный технический уровень. Огромное разнообразие климатических и почвенных [9] условий диктуют конструкторам свои правила по созданию современных агрегатов и машин, способных эффективно проводить обработку почвы.

Расстановка рабочих органов оказывает значительное влияние на их взаимодействие в процессе работы. Особенно это отражается на энергозатратах и качестве выполнения работ. Поэтому при конструировании новых машин и агрегатов стараются определить не только оптимальные параметры рабочих органов по отдельности, но и при их совместной работе. Снижать экономические затраты при производстве комбинированных машин сейчас стараются путем установки стандартных рабочих органов, которые показали высокую эффективность своей работы [10].

Не решенной научной задачей остается изучение процесса взаимодействия рабочих органов с почвой и влияния схемы расстановки органов и их параметров на качество обработки. Это помогает разработать конструкции, которые обеспечивают требуемое сложение обрабатываемого слоя почвы, благоприятное для роста и развития растений.

Не решенными прикладными задачами остаются: 1) Снижение переуплотнения и деградации плодородных слоев почвы за счёт комбинированной обработки. 2) Изучение влияния на почву новых

приёмов механической обработки. В частности, актуально исследование дифференциации пахотного слоя по плодородию, так как действие современных почвообрабатывающих машин на этот процесс остаётся во многом неясным.

Поэтому работы, изучающие взаимодействия различных рабочих органов, являются актуальными и заслуживают внимания.

Бойков В.М. и др. (2020) [11] представили классификацию почвообрабатывающих машин по конструктивным и технологическим параметрам, которая позволяет обосновать оптимальный выбор того или иного агрегата или технологии обработки почвы.

Авторами [12, 13] проводились исследования по изучению влияния различных конструкций машин и агрегатов на процессы образования эрозии почвы. Определенные исследования в этой области проводились учеными Жук А.Ф. и др. (2020) [14]. В качестве экспериментального образца ими был выбран плоскорез-рыхлитель ПРК-2,5У. В публикации подробно описано устройство агрегата, технологический процесс обработки почвы, представлены преимущества применения данного агрегата при борьбе с эрозией почвы. Однако, в статье не достаточно полно представлены результаты сравнения агротехнических и экономических показателей работы исследуемого агрегата с однооперационными орудиями. Раднаев Д.Н. и Дамбаева Б.Е. (2021) [15] произвели анализ агрегатов АПД-7,2 и АПК-7,2. Авторы отмечают, что в процессе обработки почв в условиях недостаточного увлажнения плоскорезующих лапы агрегата АПД-7,2 не засоряются сорняками, агрегат не нужно переоборудовать при смене вида работ, и он меньше расходует топлива. При этом, в работе недостаточно четко раскрыты пути дальнейшего совершенствования конструкций комбинированных машин.

В настоящее время ведутся исследования по усовершенствованию параметров рабочих органов,

установленных на комбинированных агрегатах. В статье Яхина С.М. и др. (2020) [16] упоминается новая конструкция игольчатых дисков. К некоторым недостаткам кинематики можно отнести: неустойчивая работа орудия из-за неустойчивости движения дисков; проскальзывание дисков при повышенных скоростях, что снижает эффективность работы. Авторами [17] проводилась сравнительная оценка работы машин для обработки почвы. В результате проведенных исследований они рекомендуют использовать фрезерные машины с активным ротором в комбинации со стрелчатыми лапами или рыхлительными долотами. Фрезерные машины имеют экономические и технические недостатки. Экономические: 1) Повышенные энергозатраты. 2) Неполное уничтожение сорняков. Фрезеровка рубит корни сорняков на мелкие частицы, что способствует их размножению. Технические: 1) Невозможность точной регулировки глубины обработки. Для поддержания стабильной глубины грунта фрезы часто оснащаются прикатывающим катком, который увеличивает затраты. 2) Сложность работы на каменистых почвах. Взаимодействие ножей с крупными камнями вызывает много огрехов, снижающих качество обработки.

Научные исследования, проводимые Тарасенко Б.Ф. и др. (2021) [18], Малюковым С.В. и др. (2023) [19, 20] позволили определить энергетические и качественные показатели работы почвообрабатывающих агрегатов. Было выявлено, что комбинированные машины позволяют повысить качество обработки почвы и производительность агрегата. При этом, уменьшаются потери влаги и вредное воздействие машин на почву.

Достоинство комбинированных агрегатов состоит в том, что в зависимости от условий можно использовать агрегат в целом, либо отдельные рабочие органы агрегата. Это значительно повышает эффективность использования почвообрабатывающих орудий. Недостатком комбинированных агрегатов является их значительная длина. Набор навесных орудий ограничен из-за опасности нарушить продольную устойчивость трактора. Ширина захвата комбинированных агрегатов ограничивается требованиями минимальной габаритной ширины в транспортном положении.

Существующие машины довольно хорошо справляются с поставленными задачами, но работы по их усовершенствованию все же должны продолжаться. Это требует от исследователей проявления новых конструкторских и научных решений.

Приведенные выше работы показывают связь между качеством обработки почвы, расстановкой рабочих органов и энергетическими затратами.

Цель исследований – определение тягового сопротивления комбинированного почвообрабатывающего орудия в полевых условиях в зависимости от конструктивных и технологических параметров модульных рабочих органов.

Задачи:

- изучить влияния конструктивных параметров на изменение нагрузок в звеньях комбинированной почвообрабатывающей при движении по вырубкам.
- определить тяговое сопротивление комбинированной почвообрабатывающей на вырубке;
- изучить влияние модульных рабочих органов на качество обработки почвы и удаление покровов на вырубках.

Материалы и методы

Предмет и объект исследований

Объект: модульные почвообрабатывающие рабочие органы.

Предмет: взаимодействие дисковой батареи, сферических дисков, ножевого катка с почвой.

Сбор данных

Были проведены экспериментальные полевые исследования. При проведении эксперимента использовался колесный трактор МТЗ-80 (рис. 1).



Рисунок 1. Лабораторный образец комбинированной почвообрабатывающей машины с дисковыми орудиями в полевых условиях

Figure 1. Laboratory sample of combined soil tillage machine with disk implements under field conditions

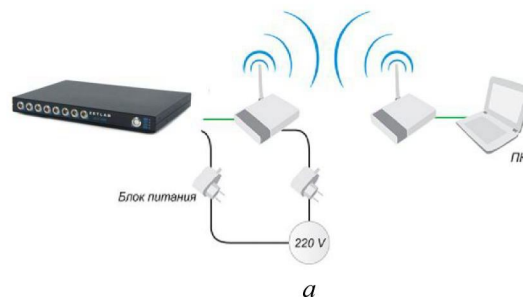
Источник: собственное фото авторов

Source: authors' own photo

При изготовлении испытуемых образцов учитывалось: легкость в сборке, дешевизна конструкции, унифицированность деталей с возможностью использования стандартных узлов и деталей различных машин.

Для проведения полевых экспериментов были подобраны несколько делянок с длиной участка до 50 метров. Тип почвы – супесчаная. Рельеф волнистый с уклонами не более 10°. Влажность почвы – 3,5-5,6 % измерялась при помощи электронного влагомера.

При проведении полевых исследований использовался метод тензометрирования [1, 8]. В полевых условиях вся тензометрическая аппаратура была установлена в кабине трактора. Тензометрическое оборудование (рис. 2) состоит из многоканальной тензометрической станции со встроенным генератором для питания датчика. Тензометрическая станция ZET 058 позволяет произвести сбор данных с S-образного тензодатчика, который установлен на тензометрической навеске.



а



б

Рисунок 2. Общий вид тензометрического оборудования: а – тензометрическое оборудование; б – тензометрическое оборудование с тензонавеской в работе

Figure 2. General view of strain gauge equipment:

a - strain gauge equipment; b - strain gauge equipment with strain gauge in operation

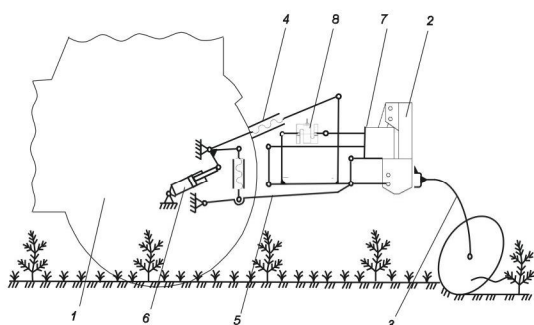
Источник: собственное фото авторов

Source: authors' own photo

Тензометрическая станция была установлена в кабине трактора, а ее питания осуществлялась от бесперебойного источника на 650 Ватт.

Передача данных с тензометрической станции Zet 058 на ноутбук осуществлялась по бесперебойному интерфейсу Wi-Fi. В модуль тензостанции была прошита оптация *Интерфейс Ethernet*.

Для измерения тягового усилия при проведении полевого эксперимента была использована тензометрическая навеска. Кинематическая схема и ее общий вид представлен на рисунке 3.



a



b

Рисунок 3. Общий вид тензометрического оборудования для определения тягового сопротивления комбинированной почвообрабатывающей машины: *a* – схема тензометрического оборудования;

b – общий вид тензометрической навески

Figure 3. General view of strain gauge equipment for determining the traction resistance of the combined tillage machine: *a* - scheme of strain gauge equipment; *b* - general view of strain gauge linkage

Источник: Собственная композиция автора

Source: Authors' own composition

Трактор 1 верхней 4 и нижними тягами 5, цеплялся к нижним пальцам тензонавески. Задняя навеска трактора поднималась и опускалась при помощи гидроцилиндра 6. Крепление тензонавески 7 к лабораторному образцу 3 осуществлялось при помощи квадратной трубы за счет шпилек и проушины рамы 2 лабораторного образца. Это позволило нам жёстко соединить тензонавеску с лабораторным образцом. Сама же тензометрическая навеска состоит из двух рамок, которые могут совершать движения друг относительно друга только в продольном

направлении. Соединяются эти две рамки за счет качающихся поводков. Степень свободы, при движении вперед, ограничивает тензовено.

При движении трактора с лабораторным образцом вперед, происходит смещение верхней рамки относительно нижней. Из-за смещения этих двух рамок происходит растягивание тензовена, в состав которого входит два поводка и S-образный датчик. S-образный датчик, расположенный между двумя поводками, позволяет регистрировать усилия при растяжении или сжатии. Предварительное регулирование напряжения тензовена осуществляется за счет гайки крепления тензовена к тензонавеске. При переводе орудия в транспортное положение, рамка с присоединенным к ней лабораторным образцом смещается вперед, тем самым снимает нагрузку с тензометрического звена.

На рисунке 4 представлен S-образный датчик силы растяжения и сжатия для определения тягового сопротивления. Номинальный выходной сигнал $2 \text{ мВ/В} \pm 1 \%$, баланс нуля $\pm 2 \%$. Калибровка – компания DACELL CO., LTD., Республика Корея.



Рисунок 4. Общий вид S-образного датчика силы растяжения и сжатия

Figure 4. General view of the S-shaped tensile and compressive force sensor

Источник: собственное фото авторов

Source: authors' own photo

Принцип действия тензодатчик 8 заключается в том, что растягивание тензовена в продольном направлении преобразует механическую силу (растяжение/сжатие), которая образуется вдоль оси симметрии датчика в электрический сигнал. Все сигналы с тензодатчика поступают на тензостанцию. Далее в режиме реального времени по средствам бесперебойного интерфейса Wi-Fi поступают на ноутбук. Так как датчик оттарирован, программа в режиме реального времени показывает нагрузку, которую испытывает орудие при взаимодействии с

почвой. В программе ZETVIEW так же содержится множество библиотек и различных виртуальных приборов, по средствам которых осуществляться измерения и анализ данных.

Анализ данных

Полученные при проведении полевых экспериментов данные сохранялись в виде документов Microsoft Excel. В программе Microsoft Excel для анализа данных использовали установившийся режим работы орудий, когда влияние случайных воздействий минимально. Для обработки экспериментальных данных и их систематизации был использован инструмент «Описательная статистика».

Результаты и их обсуждение

Из-за ограниченного объема в статье представлены результаты исследований трех рабочих органов. Всего их было семь – дисковый плуг, глубокорыхлитель, плоскорез, ножевые барабаны, ротационные рыхлители, дисковые рыхлители, дисковые батареи.

Испытания дискового плуга.

Перед каждым опытом два плужных диска с углом атаки α от 10 до 30° и углом наклона $\beta=10^\circ$ устанавливались на раме экспериментальной полевой установки (рис. 5). Диаметр дисков составлял 560 мм. Два диска были установлены на встречу друг друга для компенсации силы бокового увода F_y . По оси ОХ действует сила сопротивления подачи F_x , по оси ОZ выглубляющая сила F_z . Сложив три силы, получим результирующий вектор сопротивления движению F_{xyz} .

С помощью опорных колес диски заглублялись на необходимую глубину. В качестве предохранительного механизма на секциях рабочих органов устанавливались два типа пружин разной жесткости. Причем пружина 100х400х12 была установлена на левую секцию, а пружина 100х400х14 на правую.

После прохода дисков определялась глубина борозды. Данные по глубинам сведены в таблицу 1.

Наличие дернины, связывающей оборачиваемый диском пласт, давало возможность определить оборот пласта. Пласт считался полностью обернутым, если угол поворота пласта (задернелого слоя) был более 120°. Для угла атаки 10° оборота пласта не происходило. Для угла атаки 20° - в 30% случаев пласт был недовален, а в 70% упал обратно в бо-

розду. Для угла атаки 30° - в 39% случаев пласт полностью обернут, в 41% - недовален, в 20% - упал обратно в борозду.



a



b

Рисунок 5. Общий вид орудия с двумя дисковыми плужными рабочими органами, установленными «вразвал»: а – угол атаки $\alpha = 10^\circ$, б – угол атаки $\alpha = 30^\circ$

Figure 5. General view of the implement with two disk plow implements mounted “off-slope”: a - angle of attack $\alpha = 10^\circ$, b - angle of attack $\alpha = 30^\circ$

Источник: собственное фото авторов

Source: authors' own photo

Таблица 1

Показатели работы дисков в полевых условиях

Table 1

Disk performance in the field

Угол атаки дисков, ° Disc attack angle, °	Глубина обработки почвы, см Depth of tillage, cm	
	Левая секция Left section	Правая секция Right section
10	8-9	8-9
20	13	15
30	14	15

Источник: Собственные вычисления авторов
Source: Authors' own calculations

Во время полевых исследований сразу фиксировалась результирующая сила F_{xyz} . Таким образом, у каждой из осциллограмм были выбраны режимы установившейся работы. Их показания были переведены из кг в Н (умножены на 9,81) и приведены к нормированным показателям времени (рис. 6). Среднее значение тягового сопротивления $F_{xyz} = 2569,68$ Н при $\alpha = 10^\circ$, $F_{xyz} = 4455,46$ Н при $\alpha = 20^\circ$, $F_{xyz} = 5013,20$ Н, при $\alpha = 30^\circ$ (рис. 5, 6).

Определим описательные статистические характеристики проведенных опытов для F_{xyz} , (F_{xyz1} , для $\alpha = 10^\circ$; F_{xyz2} , для $\alpha = 20^\circ$; F_{xyz3} , для $\alpha = 30^\circ$) и сведем их в таблицу 2.

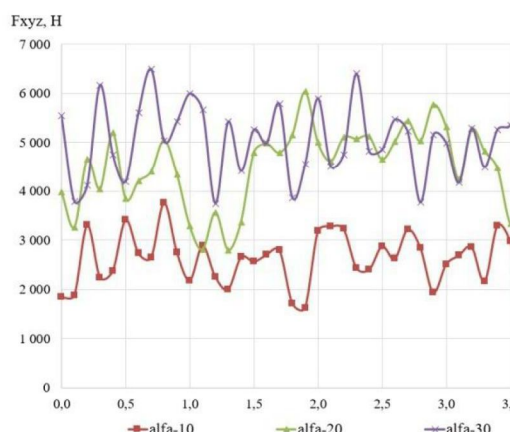


Рисунок 6. Результирующая сила сопротивления F_{xyz} на полевых испытаниях
Figure 6. Resultant drag force F_{xyz} on field tests
Источник: Собственные вычисления авторов
Source: Authors' own calculations

Таблица 2

Описательные статистические характеристики F_{xyz}

Table 2

Descriptive statistical characteristics of F_{xyz}

Параметр Parameter	Опыты Experiments		
	F_{xyz1}	F_{xyz2}	F_{xyz3}
Асимметричность Asymmetry	0,13	-0,37	-0,02
Экссесс Excess	-0,64	-0,65	-0,86
Уровень надежности (95,0%) Reliability level (95.0%)	164,66	254,65	241,38
Медиана Median	2623,01	4650,19	5030,70
Дисперсия выборки Sample variance	272155,64	650892,88	584830,44
Стандартная ошибка Standard error	81,47	126,00	119,43
Стандартное отклонение Standard deviation	521,69	806,78	764,74
Среднее Average	2569,68	4455,46	5013,20

Источник: Собственные вычисления авторов
Source: Authors' own calculations

На основе данных таблицы 2 можно сказать, что распределение в целом симметрично (соответствует нормальному). При этом величин дисперсии говорит о большом разбросе значений в массиве относительно среднего.

На основании средних значений сил сопротивления, полученных по результатам проведенной статистической обработки, построим их зависимость от углов установки дискового плуга (рис. 7).

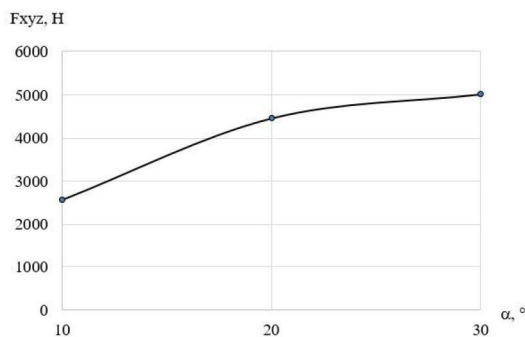


Рисунок 7. Зависимость F_{xyz} от угла установки дисковых плужных рабочих органов в полевых условиях

Figure 7. Dependence of F_{xyz} on the installation angle of disk plow bodies in field conditions

Источник: Собственная композиция автора

Source: Authors' own composition

Из рисунка 7 видно, что с увеличением угла установки дисковых плужных рабочих органов увеличивается их тяговое сопротивление, что вполне закономерно.

Данные опытов показывают, что при увеличении угла атаки дисков увеличивается количество оборнутых пластов, а количество пластов, недоваленных и упавших в борозду, при этом уменьшается. Возможными причинами не полной оборачиваемости пластов служит наличие дернины, а также несоблюдение скоростного режима движения трактора по вырубке. С увеличением угла атаки дисков повышается эффективность работы агрегата.

Испытания дискового культиватора.

При проведении полевых испытаний изучалась работа цельнокрайних сферических дисков диаметром 460 мм. Диски были собраны в батареи, установленные под углом атаки 10, 20, 30° для работы «вразвал». Общий вид установки в полевых условиях показан на рисунке 8. Две батареи по углу были установлены на встречу друг друга для компенсации силы бокового увода F_y . По оси ОХ действует сила сопротивления подачи F_x , по оси ОZ выглубляющая сила F_z . Сложив три силы, получим результирующий вектор сопротивления движению F_{xyz} .



Рисунок 8. Общий вид дискового культиватора

Figure 8. General view of a disk cultivator

Источник: собственное фото авторов

Source: authors' own photo

В качестве предохранительного механизма на секциях рабочих органов устанавливались пружины.

После прохода дисковых батарей определялась глубина борозды. Данные по глубинам сведены в таблицу 3.

Во время проведения опытов также исследовалось подрезание сорняков. Выбирались учетные площадки, которые имели ширину 1 метр и длину 2 метра.

Таблица 3

Показатели работы дискового культиватора
в полевых условиях

Table 3

Performance of the disk cultivator under field conditions

Угол атаки дисковой батареи, ° Angle of at- tack of the disk battery, °	Глубина обработки почвы, мм Depth of tillage, mm	
	Левая секция Left section	Правая секция Right section
10	49	31
20	68	57
30	95	88

Источник: Собственные вычисления авторов

Source: Authors' own calculations

Повторность опытов трехкратная. При угле атаки дисковой батареи $\alpha=10^\circ$ степень подрезания сорняков составляла 31,2%, при $\alpha=20^\circ$ – 79,6%, при $\alpha=30^\circ$ – 90,4%.

При полевых исследованиях измеряли результирующий вектор сопротивления движению F_{xyz} , миную раскладывание его на составляющие. Таким образом, у каждой из осциллограмм были выбраны режимы установившейся работы. Их показания были переведены из кг в Н (умножены на 9,81) и приведены к нормированным показателям времени (рис. 9). Среднее значение тягового сопротивления $F_{xyz}=1620,62$ Н при $\alpha=10^\circ$, $F_{xyz}=2762,23$ Н при $\alpha=20^\circ$, $F_{xyz}=3135,82$ Н, при $\alpha=30^\circ$ (рис. 8, 9).

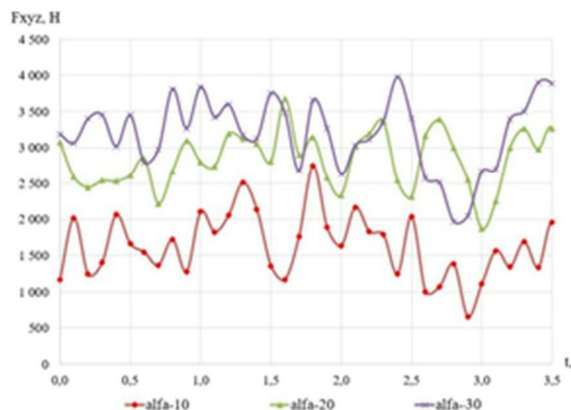


Рисунок 9. Результирующая сила сопротивления F_{xyz} на полевых испытаниях

Figure 9. Resultant drag force F_{xyz} on field tests

Источник: Собственные вычисления авторов

Source: Authors' own calculations

Определим описательные статистические характеристики проведенных опытов (F_{xyz1} , для $\alpha=10^\circ$; F_{xyz2} , для $\alpha=20^\circ$; F_{xyz3} , для $\alpha=30^\circ$), и сведем их в таблицу 4. На основании средних значений сил, полученных по результатам проведенной статистической обработки, построим их зависимость от углов установки батареи (рис. 10).

Таблица 4

Описательные статистические характеристики F_{xyz}

Table 4

Descriptive statistical characteristics of F_{xyz}

Параметр Parameter	Опыты Experiments		
	F_{xyz1}	F_{xyz2}	F_{xyz3}
Асимметричность Asymmetry	0,26	-0,66	-0,52
Экспесс Excess	-0,02	0,85	-0,32
Уровень надежности (95,0%) Reliability level (95.0%)	147,62	143,36	165,73
Медиана Median	1647,76	2807,56	3185,18
Дисперсия выборки Sample variance	201708,96	206288,42	275692,68
Стандартная ошибка Standard error	72,86	70,93	82,00
Стандартное отклонение Standard deviation	449,12	454,19	525,06
Среднее Average	1620,62	2762,23	3135,82

Источник: Собственные вычисления авторов

Source: Authors' own calculations

На основе данных таблицы 4 можно сказать, что распределение в целом симметрично (соответствует нормальному).

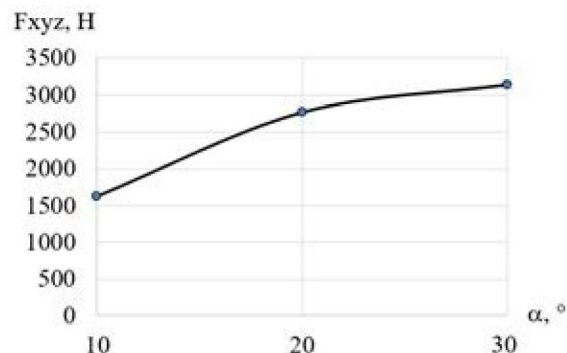


Рисунок 10. Зависимость F_{xyz} от угла установки батарей в полевых условиях

Figure 10. Dependence of F_{xyz} on the angle of battery installation in field conditions

Источник: Собственная композиция автора

Source: Authors' own composition

Из рисунка 10 видно, что с увеличением угла установки дисковых батарей увеличивается их тяговое сопротивление, но, при этом, повышается эффективность работы агрегата.

Данные опытов показывают, что более жесткая пружина обеспечивает более глубокое рыхление почвы, при $\alpha=10^\circ$ на 58%, при $\alpha=20^\circ$ на 19%, при $\alpha=30^\circ$ на 8%. Для обеспечения требуемой и постоянной глубины хода орудия необходимо использовать более жесткие пружины, особенно на малых углах атаки. Также следует предусмотреть возможность установки балластных ящиков для дополнительного заглубления дисков в почву.

Испытания культиватора с двумя ножевыми барабанами.

При проведении полевых испытаний угол поворота ножевого барабана варьировался в пределах $\alpha=0-30^\circ$ (рис. 11). Два катка были установлены на встречу друг друга для компенсации силы бокового увода F_y . По оси OX действует сила сопротивления подачи F_x , по оси OZ выглубляющая сила F_z . Сложив три силы, получим результирующий вектор сопротивления движению F_{xyz} .

В качестве предохранительного механизма на секциях рабочих органов устанавливались пружины. После прохода агрегата с ножевыми катками определялся диаметр поросли и степень ее удаления.



Рисунок 11. Общий вид орудия с двумя
ножевыми катками

Figure 11. General view of the implement
with two knife rollers

Источник: собственное фото авторов

Source: authors' own photo

Во время проведения опытов исследовалось срезание древесно-кустарниковой растительности. Выбирались учетные площадки, которые имели ширину 1 метр и длину 2 метра. Повторность опытов трехкратная. Степень подрезания травы в зоне обработки 9-42 %. Степень срезания древесно-кустарниковой растительности в зоне обработки 45-61 %. Диаметр срезанной поросли варьировался в пределах 5-21 мм. Наибольший процент срезанной поросли наблюдался при углах установки катков $\alpha=10$ и 20° . При $\alpha=30^\circ$ катки начинали забиваться травянистой растительностью.

Во время полевых исследований сразу фиксировалась результирующая сила F_{xyz} . Таким образом, у каждой из осциллограмм были выбраны режимы установившейся работы. Их показания были переведены из кг в Н (умножены на 9,81) и приведены к нормированным показателям времени (рис. 12). Среднее значение тягового сопротивления $F_{xyz}=5337,81$ Н при $\alpha=0^\circ$, $F_{xyz}=3605,51$ Н при $\alpha=10^\circ$, $F_{xyz}=3380,28$ Н при $\alpha=20^\circ$, $F_{xyz}=4519,37$ Н, при $\alpha=30^\circ$ (рис. 11, 12).

Определим описательные статистические характеристики проведенных опытов для F_{xyz} и сведем их в таблицу 5.

На основании средних значений сил сопротивлений, полученных по результатам проведенной статистической обработки, построим их зависимость от углов установки катка (рис. 13).

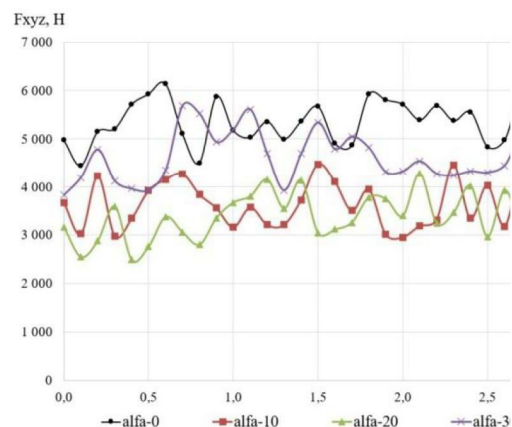


Рисунок 12. Результирующая сила сопротивления F_{xyz} на полевых испытаниях

Figure 12. Resultant drag force F_{xyz} on field tests

Источник: Собственные вычисления авторов

Source: Authors' own calculations

Таблица 5

Описательные статистические характеристики F_{xyz}

Table 5

Descriptive statistical characteristics of F_{xyz}

Параметр Parameter	Опыты Experiments			
	F_{xyz1}	F_{xyz2}	F_{xyz3}	F_{xyz4}
Асимметричность Asymmetry	0,12	0,38	-0,10	0,37
Экссесс Excess	-0,33	-1,11	-0,61	-0,41
Уровень надежности (95,0%) Reliability level (95.0%)	145,12	171,08	153,56	166,78
Медиана Median	5356,97	3563,66	3357,69	4445,91
Дисперсия выборки Sample variance	211389,12	217535,48	236679,44	279198,75
Стандартная ошибка Standard error	71,80	83,77	75,98	82,52
Стандартное отклонение Standard deviation	459,77	466,41	486,50	528,39
Среднее Average	5337,81	3605,51	3380,28	4519,37

Источник: Собственные вычисления авторов
Source: Authors' own calculations

На основе данных таблицы 5 можно сказать, что распределение в целом симметрично (соответствует нормальному).

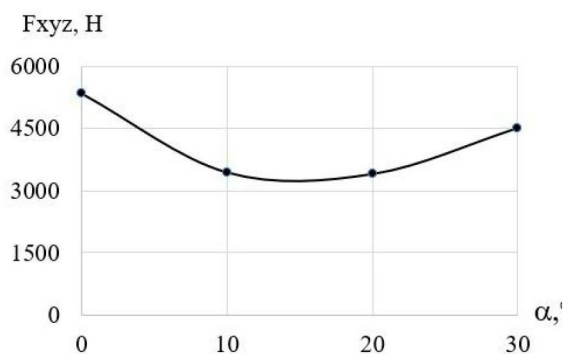


Рисунок 13. Зависимость F_{xyz} от угла установки пары катков в полевых условиях

Figure 13. Dependence of F_{xyz} on the angle of installation of a pair of rollers in field conditions

Источник: Собственная композиция автора
Source: Authors' own composition

Из рисунка 13 видно, что при угле поворота катка $\alpha=0^\circ$ наблюдается самое большое тяговое сопротивление. Далее оно начинает уменьшаться, но после угла $\alpha=20^\circ$ постепенно возрастает. Это объясняется тем, что при прямолинейном движении ($\alpha=0^\circ$) ножи барабана, при каждом своем взаимодействии с почвой и растительными остатками, создают дополнительную динамическую нагрузку (происходят удары), которая передается на тензодатчик. При увеличении угла поворота катка до $\alpha=10-20^\circ$ происходит уменьшение динамической нагрузки, катки работают более плавно. Увеличение тягового сопротивления после угла $\alpha=20^\circ$ связано с тем, что травянистая растительность начинает забиваться между ножевыми барабанами и их стойками, тем самым препятствуя их вращению.

Данные опытов показывают, что необходимо предусмотреть увеличение массы ножевых катков для лучшего перерезания ими поросли за счет заполнения их внутренней полости. Также требуется предусмотреть увеличение зазора между ножевым барабаном и его п-образной стойкой. Это необхо-

димо для исключения забивания крупными древесными включениями и последующего протягивания рабочего органа без вращения.

Наибольшая эффективность орудия достигается при углах установки катков $\alpha=10$ и 20° . При этом наблюдается минимальное тяговое сопротивление и наибольший процент срезанной поросли.

Выводы

Были получены зависимости тягового сопротивления различных рабочих органов в зависимости от конструктивных и технологических параметров установки рабочих органов.

При обработке данных полевых экспериментов силы сопротивления для двух дисковых плужных рабочих органов, достигают средних значений $F_{xyz} = 2569,68 \text{ Н}$ при $\alpha=10^\circ$, $F_{xyz} = 4455,46 \text{ Н}$ при $\alpha=20^\circ$, $F_{xyz} = 5013,20 \text{ Н}$, при $\alpha=30^\circ$.

При обработке данных полевых экспериментов получены значения силы сопротивления пары дисковых батарейных рабочих органов, которые достигают средних значений $F_{xyz} = 1620,62 \text{ Н}$ при $\alpha=10^\circ$, $F_{xyz} = 2762,23 \text{ Н}$ при $\alpha=20^\circ$, $F_{xyz} = 3135,82 \text{ Н}$, при $\alpha=30^\circ$.

С увеличением угла установки дисков возрастает глубина обработки почвы, которая, в свою очередь, повышает тяговое сопротивление агрегата.

При обработке данных полевых экспериментов силы сопротивления для двух ножевых катков, достигают средних значений $F_{xyz} = 5337,81 \text{ Н}$ при $\alpha=0^\circ$, $F_{xyz} = 3605,51 \text{ Н}$ при $\alpha=10^\circ$, $F_{xyz} = 3380,28 \text{ Н}$ при $\alpha=20^\circ$, $F_{xyz} = 4519,37 \text{ Н}$, при $\alpha=30^\circ$.

Полученные результаты применимы к песчаным и супесчаным типам почвы с влажностью 3,5-5,6 %.

На основе полученных экспериментальных данных можно спроектировать комбинированные агрегаты, состоящие из нескольких видов рабочих органов. При этом подбор орудий будет осуществлен исходя из тягового класса трактора. Под определенный класс трактора можно будет подобрать определенное сочетание рабочих органов с требуемыми конструктивными и технологическими параметрами. Такие комбинации позволят в дальнейшем повысить качество и эффективность почвообработки, уменьшить расход топлива при выполнении работ.

Список литературы

1. Ушаков А.Е., Египко С.В. Разработка тензометрической навески для проведения полевых испытаний почвообрабатывающих машин // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2023. – № 22. – С. 42-49. – DOI: <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2023-22-42-49>.
2. Малюков С.В., Поздняков Е.В., Шавков М.В., Петков А.Ф., Шанин И.И., Болгов А.В. Анализ современных конструкций комбинированных почвообрабатывающих машин и агрегатов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2023. – № 2 (70). – С. 523-534. – DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2023-02-61>.
3. Aldoshin N., Mamatov F., Ismailov I., Ergashov G. Development of combined tillage tool for melon cultivation. 19th international scientific conference engineering for rural development Proceedings. 2020;19. – DOI: <https://doi.org/10.22616/ERDev.2020.19.TF175>
4. Zhirnov A. Construction of active working machines for the care of seed-lings. Proceedings of the XXXVIII International Multidisciplinary Conference «Recent Scientific Investigation». Primedia E-launch LLC. Shawnee, USA. 2022;37-47. – DOI: <https://doi.org/10.32743/UsaConf.2022.11.38.346741>
5. Kalinin A.B., Novikov M.A., Ruzhev V.A., Teplinsky I.Z. Improving the efficiency of the soil uncompaction by the cultivator-subsoiler through the use of digital systems for working depth control. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021;723:032061. – DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032061>
6. Balabanov V., Lee A., Norov B., Khudaev I., Egorov V. Investigation of various options for processing gray forest soil in a field crop rotation. E3S Web of Conferences. "International Scientific Conference "Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering, Connechydro 2021". 2021;04025. – DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126404025>.
7. Сучков Д.К., Поташкина Ю.Н. Агротехнический уход за лесными культурами: цель, сроки и число уходов // Промышленность и сельское хозяйство. – 2020. – № 9 (26). – С. 28-35. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44073255&ysclid=llaz91t2mv34353766>.
8. Лисунов О.В., Богиня М.В., Васильев А.А., Олейникова Е.Н. Исследование влияния параметров рабочих органов и режимов работы культиватора модульного типа на качество поверхностной обработки почвы // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 1 (61). – С. 190-196. – DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2023-1-190-196>
9. Малюков С.В., Поздняков Е.В., Дегтярева С.И., Шавков М.В., Малюкова М.А., Шанин И.И., Арико С.Е. Эксплуатация почвообрабатывающих орудий в условиях нераскорчеванных вырубок европейской части России: анализ препятствий в виде пней и корней // Лесотехнический журнал. – 2022. – Т. 12. – № 4 (48). – С. 96-113. – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.4/7>
10. Григорьев И.В., Куницкая О.А., Рудов С.Е., Давтян А.Б. Пути повышения эффективности работы лесных машин // Энергия: экономика, техника, экология. – 2020. – № 1. – С. 55-63. – DOI: <https://doi.org/10.7868/S0233361920010085>.
11. Бойков В.М., Старцев С.В., Воротников И.Л., Нарушев В.Б. Классификация машин для полосовой технологии обработки почвы // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 5. – С. 72-76. – DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i5pp72-76>
12. Догеев Г.Д., Халилов М.Б. Ресурсосберегающие влагонакопительные агроприемы и машины // Проблемы развития АПК региона. – 2021. № 1 (45). – С. 43-50. – DOI: https://doi.org/10.52671/20790996_2021_1_43
13. Ilintsev A., Bogdanov A., Nakvasina E., Amosova I., Koptev S., Tretyakov S. The Natural Recovery of Disturbed Soil, Plant Cover and Trees after Clear-Cutting in the Boreal Forests, Russia. iForest – Biogeosciences and Forestry. 2020;13(6):531-540. – DOI: <https://doi.org/10.3832/ifor3371-013>
14. Жук А.Ф., Халилов М.Б., Абдулнатилов М.Г. Технологии, приемы и технические средства для ресурсосберегающей обработки почвы // Проблемы развития АПК региона. – 2020. – № 4 (44). – С. 52-58. – DOI: <https://doi.org/10.15217/issn2079-0996.2020.3.52>

15. Раднаев Д.Н., Дамбаева Б.Е. Повышение эффективности работы комбинированных машин и комплексов // Вестник ВСГУТУ. – 2021. – № 1 (80). – С. 55-60. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44874751&ysclid=llay1qq5oc976265711>.
16. Яхин С.М., Алиакберов И.И., Нуриев Л.М., Яруллин Ф.Ф. Кинематика игольчатого эллипсоидного диска ротационного почвообрабатывающего орудия // Техника и оборудование для села. – 2020. – № 2 (272). – С. 12-15. – DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-2-12-15>
17. Халилов М.Б., Халилова К.М., Халилова М.М. Сравнительная оценка приемов и машин для обработки почвы // Известия Дагестанского ГАУ. – 2022. – № 3 (15). – С. 37-43. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49514137&ysclid=llay4og2pc154486540>.
18. 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 (10). – С. 113-129. – DOI: <https://doi.org/10.21515/1990-4665-174-012>
19. Малюков С. В., Лысыч М. Н., Бухтояров Л. Д., Поздняков Е. В., Гнусов М. А., Шавков М. В., Петков А. Ф. Анализ дисковых рабочих органов лесных почвообрабатывающих орудий // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13. – 2 (50). – С. 128-141. – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.2/7>
20. Малюков С.В., Бухтояров Л.Д., Лысыч М.Н., Шавков М.В., Поздняков Е.В., Петков А.Ф. Метод динамики частиц: моделирование комбинированного почвообрабатывающего орудия, применяемого при лесовосстановлении и защите леса // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2023. – № 245. – С. 215-234. – DOI: <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2023.245.215-234>

References

1. Ushakov A.E., Egipko S.V. *Razrabotka tenzometricheskoy naveski dlja provedenija polevyh ispytaniy pochvoobrabatyvajushhih mashin* [Development of a strain gauge attachment for field testing of reclamation machines]. *Transportnoe, gornoe i stroitel'noe mashinostroenie: nauka i proizvodstvo = Transportation, mining and construction engineering: science and production*, 2023; 22: 42-49. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2023-22-42-49>.
2. Malyukov S. V., Pozdnyakov E. V., Shavkov M. V., Petkov A. F., Shanin I. I., Bolgov A. V. *Analiz sovremennykh konstrukcij kombinirovannykh pochvoobrabatyvajushhih mashin i agregatov* [Analysis of modern designs of combined tillage machines and units]. *Izvestija Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie = Proceedings of lower Volga agro-university complex: science and higher education*, 2023; 2(70): 523-534. (.). DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2023-02-61>.
3. Aldoshin N., Mamatov F., Ismailov I., Ergashov G. *Development of combined tillage tool for melon cultivation*. 19th international scientific conference engineering for rural development Proceedings, 2020; 19. DOI: <https://doi.org/10.22616/ERDev.2020.19.TF175>
4. Zhirnov A. *Construction of active working machines for the care of seed-lings*. Proceedings of the XXXVIII International Multidisciplinary Conference «Recent Scientific Investigation». Primedia E-launch LLC. Shawnee, USA, 2022; 37-47. DOI: <https://doi.org/10.32743/UsaConf.2022.11.38.346741>
5. Kalinin A. B., Novikov M. A., Ruzhev V. A., Teplinsky I.Z. *Improving the efficiency of the soil uncompaction by the cultivator-subsoiler through the use of digital systems for working depth control*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2021; 723: 032061. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032061>
6. Balabanov V., Lee A., Norov B., Khudaev I., Egorov V. *Investigation of various options for processing gray forest soil in a field crop rotation*. E3S Web of Conferences. "International Scientific Conference "Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering, Conmechydro 2021", 2021; 04025. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126404025>.
7. Suchkov D. K., Potashkina Yu. N. *Agrotehnicheskij uhod za lesnymi kul'turami: cel', sroki i chislo uhodov* [Agrotechnical care for forest crops: purpose, timing and number of care]. *Promyshlennost i selskoe hozjajstvo = Industry*

and agriculture, 2020; 9(26): 28-35. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44073255&ysclid=llaz91t2mv34353766>.

8. Lisunov O. V., Boginya M. V., Vasiliev A. A., Oleynikova E. N. *Issledovanie vlijanija parametrov rabochih organov i rezhimov raboty kul'tivatora modul'nogo tipa na kachestvo poverhnostnoj obrabotki pochvy* [Study of the influence of the parameters of working bodies and operating modes of a modular cultivator on the quality of surface tillage]. *Vestnik Uljanovskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii* = Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy, 2023; 1 (61): 190-196. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2023-1-190-196>

9. Malyukov S. V., Pozdnyakov E. V., Degtyareva S. I., Shavkov M. V., Malyukova M. A., Shanin I. I., Ariko S. E. *Jekspluatacija pochvoobrabatyvajushhih orudij v uslovijah neraskorchevannyh vyrubok evropejskoj chasti rossii: analiz prepjatstvij v vide pnej i kornej* [Operation of soil-cultivating implements in conditions of non-uprooted clearings in the European part of Russia: analysis of obstacles in the form of stumps and roots]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* = Forestry Engineering journal, 2022; 4 (48): 96-113. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.4/7>

10. Grigoriev I. V., Kunitskaya O. A., Rudov S. E., Davtyan A. B. *Puti povyshenija jeffektivnosti raboty lesnyh mashin* [Ways to improve the efficiency of forest machines]. *Jenergija: jekonomika, tehnika, jekologija* = Energy: economics, technology, ecology, 2020; 1: 55-63. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7868/S0233361920010085>.

11. Boikov V. M., Startsev S. V., Vorotnikov I. L., Narushev V. B. *Klassifikacija mashin dlja polosovoj tehnologii obrabotki pochvy* [Classification of machines for strip technology of tillage]. *Agrarnyj nauchnyj zhurnal* = Agrarian scientific journal, 2020; 5: 72-76. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i5pp72-76>

12. Dogeev G. D., Khalilov M. B. *Resursosberegajushhie vlagonakopitel'nye agropriemy i mashiny* [Resource-saving moisture-accumulating agricultural techniques and machines]. *Problemy razvitiya APK regiona* = Problems of development of the regional agro-industrial complex, 2021; 1 (45): 43-50. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.52671/20790996_2021_1_43

13. Ilintsev A., Bogdanov A., Nakvasina E., Amosova I., Koptev S., Tretyakov S. *The Natural Recovery of Disturbed Soil, Plant Cover and Trees after Clear-Cutting in the Boreal Forests, Russia*. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 2020; 13(6): 531-540. DOI: <https://doi.org/10.3832/ifor3371-013>

14. Zhuk A. F., Khalilov M. B., Abdulnatipov M. G. *Tehnologii, priemy i tehicheskie sredstva dlja re-sursos-beregajushhej obrabotki pochvy* [Technologies, techniques and technical means for resource-saving tillage]. *Problemy razvitiya APK regiona* = Problems of development of the agro-industrial complex of the region, 2020; 4(44): 52-58. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15217/issn2079-0996.2020.3.52>

15. Radnaev D. N., Dambaeva B. E. *Povyshenie jeffektivnosti raboty kombinirovannyh mashin i kompleksov* [Improving the efficiency of combined machines and complexes]. *Vestnik VSGUTU* = Bulletin of the ESSTU, 2021; 1(80): 55-60. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44874751&ysclid=llay1qq5oc976265711>.

16. Yakhin S. M., Aliakberov I. I., Nuriyev L. M., Yarullin F. F. *Kinematika igol'chatogo jellipsovidnogo diska rotacionnogo pochvoobrabatyvajushhego orudija* [Kinematics of a needle-shaped elliptical disk of a rotary tillage implement]. *Tehnika i oborudovanie dlja sela* = Machinery and equipment for the village, 2020; 2 (272): 12-15. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-2-12-15>

17. Khalilov M. B., Khalilova K. M., Khalilova M. M. *Sravnitel'naja ocenka priemov i mashin dlja obrabotki pochvy* [Comparative evaluation of techniques and machines for tillage]. *Izvestija Dagestanskogo GAU* = Proceedings of the Dagestan State Agrarian University, 2022; 3(15): 37-43. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49514137&ysclid=llay4og2pc154486540>.

18. Tarasenko B. F., Rudnev S. G., Drobot V. A. *Universal'nyj pochvoobrabatyvajushhij agregat dlja malo-zemel'nyh fermerskih hozjajstv* [Universal tillage unit for small-scale farms]. *Politematicheskij setevoy jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Polythematic online electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University, 2021; 174: 113-129. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21515/1990-4665-174-012>

19. Malyukov S. V., Lysych M. N., Buhtoyarov L. D., Pozdnyakov E. V., Gnusov M. A., Shavkov M. V., Petkov A. F. *Analiz diskovykh rabochnykh organov lesnykh pochvoobrabatyvayushchikh orudiy*. [Analysis of disk working bodies of forest soil-cultivating implements]. *Lesotekhnicheskii zhurnal = Forestry Engineering journal*, 2023; 2 (50): 128-141. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.2/7>

20. Malyukov S. V., Bukhtoyarov L. D., Lysych M. N., Shavkov M. V., Pozdnyakov E. V., Petkov A. F. *Metod dinamiki chastic: modelirovaniye kombinirovannogo pochvoobrabatyvayushhego orudiya, primenyaemogo pri lesovostanovlenii i zashchite lesa* [Particle dynamics method: simulation of a combined tillage tool used in reforestation and forest protection]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii = Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy*, 2023; 245: 215-234. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2023.245.215-234>

Сведения об авторах

✉ Малуков Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2098-154X>, e-mail: malyukovsergey@yandex.ru.

Лысыч Михаил Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры лесной промышленности, метрологии, стандартизации и сертификации ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3764-3873>, e-mail: miklynea@yandex.ru

Бухтояров Леонид Дмитриевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесной промышленности, метрологии, стандартизации и сертификации ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7428-0821>, e-mail: vgltla-mlx@yandex.ru

Шавков Михаил Викторович – кандидат технических наук, специалист по снабжению ООО «Русгидроком», ул. Мазлумова, д. 25, г. Воронеж, Российская Федерация, 394040, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3700-7508>, e-mail: shavkovmv@mail.ru

Петков Александр Федорович – кандидат технических наук, инженер кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6348-8934>, e-mail: alexanderpetkoff@mail.ru

Попов Максим Александрович – преподаватель кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-6356-5028>, e-mail: porovmaxim98@mail.ru.

Черенков Дмитрий Сергеевич – аспирант кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0009-0000-1257-6902>, e-mail: chierienkov1999@mail.ru

Information about authors

✉ Sergey V. Malyukov – Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor Department of Forestry Mechanization and Machine Design, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation; 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2098-154X>, e-mail: malyukovsergey@yandex.ru

Mikhail N. Lysych – Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Forest Industry, Metrology, Standardization and Certification, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3764-3873>, e-mail: miklynea@yandex.ru.

Leonid D. Bukhtoyarov – Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Forest Industry, Metrology, Standardization and Certification, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7428-0821>, e-mail: vglt-a-mlx@yandex.ru

Mikhail V. Shavkov – Cand. Sci. (Tech.), Procurement Specialist RusHydrocom LLC, Mazlumova str., 25, Voronezh, Russian Federation, 394040, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3700-7508>, e-mail: shavkovmv@mail.ru

Aleksandr F. Petkov – Cand. Sci. (Tech.), Engineer of the Department of Forestry Mechanization and Machine Design, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8 Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <https://orcid.org/https://orcid.org/0000-0002-6348-8934>, e-mail: alexanderpetkoff@mail.ru.

Maksim A. Popov – Lecturer of the Department of Forestry Mechanization and Machine Design, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6356-5028>, e-mail: popovmaxim98@mail.ru.

Dmitriy S. Cherenkov – Post-graduate student (Tech.), Department of Forestry Mechanization and Machine Design, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1257-6902>, e-mail: chierienkov1999@mail.ru

✉ – Для контактов/Corresponding author