

Обзор

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.3/11>

УДК 630.232.32



## Оценка целесообразности применения мотоблоков и мини-тракторов для механизации работ в лесных питомниках Российской Федерации

Максим А. Никулин<sup>1</sup>✉, [nikuln.vrn@bk.ru](mailto:nikuln.vrn@bk.ru), <https://orcid.org/0009-0002-1105-869X>

Валерий А. Иванников<sup>1</sup>, [ivannikov\\_vrn@mail.ru](mailto:ivannikov_vrn@mail.ru) <https://orcid.org/0000-0002-6652-3934>

Сергей С. Самойленков<sup>1</sup>, [samojlenkov91@mail.ru](mailto:samojlenkov91@mail.ru) <https://orcid.org/0000-0002-7218-3198>

Михаил К. Асмоловский<sup>2</sup>, [asmolovsky@belstu.by](mailto:asmolovsky@belstu.by) <https://orcid.org/0009-0009-7723-8862>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация

<sup>2</sup>Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», ул. Свердлова, 13а, г. Минск, 220006, Республика Беларусь

На текущий момент значительная часть эксплуатируемой в постоянных лесных питомниках техники изношена на 70–80 %. При этом имеющаяся техника обладает избыточной производительностью, что в условиях малых лесных питомников приводит к избыточным эксплуатационным затратам. Площадь посевных отделений и полей под паром в современных питомниках редко превышает 3 га, что позволяет принять в качестве ближайшей аналогии по объему агротехнических работ небольшие фермерские хозяйства. На основании кластерного анализа номенклатуры существующих машин и орудий различных типов оценивали варианты переоснащения лесных питомников малогабаритными мобильными энергетическими средствами (ММЭС) и средствами малой механизации (СММ) в современных геополитических условиях. Во-первых, проанализирована информация о доступных к покупке плугов лемешных, борон дисковых, разбрасывателей твердых удобрений, опрыскивателей, сеялок точного высева и культиваторов для агрегатирования с мотоблоками и мини-тракторами. Во-вторых, определен необходимый уровень энерговооруженности тягового средства для выполнения всего перечня механизированных работ по выращиванию посадочного материала в лесном питомнике. В-третьих, оценена экономическая целесообразность применения мотоблоков и мини-тракторов для выполнения работ в лесных питомниках методом расчета «часовых эксплуатационных затрат». Сокращение ассортимента предлагаемых на рынке Российской Федерации моделей ММЭС и СММ не является ограничивающим фактором. Машин и орудий российского, белорусского и китайского производства достаточно для обеспечения механизированных работ в лесном питомнике. Наиболее эффективными являются ММЭС с мощностью двигателя 30 кВт и грузоподъемностью задней навески 700 кг. ММЭС экономически целесообразно применять при годовом объеме работ, эквивалентном 60 га условной пашни, и менее. При больших объемах экономически обосновано применение более производительных орудий с трактором тягового класса 1,4.

**Ключевые слова:** лесной питомник, механизация работ, мини-трактор, малая механизация, орудия для мини-тракторов, эксплуатационные затраты

**Финансирование:** исследование проведено при поддержке локального гранта ФГБОУ ВО ВГЛТУ.

**Благодарности:** авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

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

**Для цитирования:** Оценка целесообразности применения мотоблоков и мини-тракторов для механизации работ в лесных питомниках / М. А. Никулин, В. А. Иванников, С. С. Самойленков, М. К. Асмоловский // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13. – № 3 (51). – С. 143–163. – Библиогр.: с. 157–163 (40 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.3/11>.

Поступила 13.10.2023. Пересмотрена 18.11.2023. Принята 18.11.2023. Опубликована онлайн 30.11.2023.

Review

## Assessing the feasibility of using tillers and mini-tractors for mechanizing work in forest nurseries

Maxim A. Nikulin<sup>1</sup>✉, nikulin.vrn@bk.ru,  <https://orcid.org/0009-0002-1105-869X>

Valery A. Ivannikov<sup>1</sup>, ivannikov\_vrn@mail.ru  <https://orcid.org/0000-0002-6652-3934>

Sergei S. Samoylenkov<sup>1</sup>, samojlenkov91@mail.ru  <https://orcid.org/0000-0002-7218-3198>

Mikhail K. Asmolovskiy<sup>2</sup>, asmolovsky@belstu.by  <https://orcid.org/0009-0009-7723-8862>

<sup>1</sup>Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh city, 394087, Russian Federation

<sup>2</sup>Belarussian State Technological University, 13a Sverdlova str., Minsk, 220006, Belarus

### Abstract

At the moment, a significant part of the equipment operated in permanent forest nurseries is worn out by 70-80%. At the same time, the existing equipment has excessive productivity, which in conditions of small forest nurseries leads to excessive operating costs. The area of sowing departments and fallow fields in modern nurseries rarely exceeds 3 hectares, which makes it possible to accept small farms as the closest analogy in terms of the volume of agrotechnical work. Based on the cluster analysis of the nomenclature of existing machines and tools of various types, the options for re-equipping forest nurseries with small-sized mobile energy means (SMEM) and small-scale mechanization means (SMM) in modern geopolitical conditions were evaluated. Firstly, the information on ploughshares, disc harrows, spreaders of solid fertilizers, sprayers, precision seeders and cultivators for aggregation with tillers and mini-tractors available for purchase was analyzed. Secondly, the necessary level of power-to-weight ratio of the heavy vehicle has been determined to perform the entire list of mechanized work on growing planting material in a forest nursery. Thirdly, the economic feasibility of using tillers and mini-tractors to perform work in forest nurseries by calculating "hourly operating costs" was evaluated. The reduction of the range of SMEM and SMM models offered on the market of the Russian Federation is not a limiting factor. There are enough machines and tools of Russian, Belarusian and Chinese production to ensure mechanized work in a forest nursery. The most effective are SMEM with an engine power of 30 kW and a load capacity of 700 kg rear suspension. SMEM is economically feasible to use with an annual volume of work equivalent to 60 hectares of conventional arable land, or less. With large volumes, the use of more productive tools with a tractor of traction class 1.4 is economically justified.

**Keywords:** forest nursery, mechanization of work, mini-tractor, small-scale mechanization, attachments for mini-tractors, operational costs

**Funding:** the research supported by a local grant from the FSBEI HE VSUFT.

**Acknowledgments:** authors thank the reviewers for their contribution to the peer review.

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

**For citation:** Nikulin M. A., Ivannikov V. A., Samoylenkov S. S., Asmolovskiy M. K. (2023). Assessing the feasibility of using tillers and mini-tractors for mechanizing work in forest nurseries. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 13, No. 3 (51), pp. 143-163 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.3/11>.

*Received* 13.10.2023. *Revised* 17.11.2023. *Accepted* 18.11.2023. *Published online* 30.11.2023.

### Введение

Согласно федеральному проекту «Сохранение лесов» к 2024 году в Российской Федерации количество вырубаемого леса должно быть в полной мере компенсировано за счет лесовосстановления, причем основной объем работ должен возлагаться на арендаторов лесных земель. К 2024 году объем лесовосстановления в России должен достигнуть уровня в полтора миллиона гектар ежегодно (*Сохранение лесов — Национальный проект Экология*).

Доля искусственного лесовосстановления сегодня составляет около 22 %. Для обеспечения реализации федерального проекта необходимо к 2024 году 879 млн. штук посадочного материала, включая расход на компенсационное лесовосстановление (*План деятельности Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации на 2019 - 2024 годы*" (утв. Минприроды России 11.03.2022 N 9/12); *Распоряжение Правительства РФ от 11.02.2021 N 312-р <Об утверждении Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года>*). При этом в ряде регионов на протяжении последних лет наблюдается дефицит посадочного материала («*Центр защиты Леса Пермского края*» - *Отчет о результатах работ по государственному мониторингу воспроизводства лесов в Пермском крае за 2017 год*) [16, 14, 2]. Однако, стартовавшая в 2019 году программа переоснащения лесных хозяйств, в первую очередь коснулась борьбы с лесными пожарами (*Официальный портал Республики Тыва; Официальный портал администрации Краснозороенского района; Forest.ru*).

На это есть как минимум две причины: во-первых, предотвращение лесного пожара значительно выгоднее устранения его последствий; во-вторых, в лесном законодательстве Российской Федерации в отношении лесных питомников существует ряд сдерживающих факторов.

Например, в соответствии со статьей 39.1 Лесного кодекса Российской Федерации деятельность лесных питомников считается предпринимательской (*ЛК РФ Статья 39.1. Создание лесных питомников и их эксплуатация*), и это приводит к тому, что лесные питомники за счет средств бюджетов Российской Федерации в большинстве слу-

чаев финансируются по остаточному принципу [24].

Следствием вынужденной финансовой самостоятельности лесных питомников стало то, что парк машин и оборудования, находящихся в постоянном бессрочном пользовании специализированных учреждений субъектов Российской Федерации, не обновлялся с 2006 года и фактически изношен на 70 - 80 процентов (*Распоряжение Правительства РФ от 11.02.2021 N 312-р <Об утверждении Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года>*). В связи с этим возникает проблема рационального обновления парка машин лесных питомников с учетом экономической и технологической целесообразности и необходимости создания потенциала к оптимизации и автоматизации технологических процессов.

Площадь посевных отделений и полей под паром в современных лесных питомниках редко превышает 3 га (*сайт департамента Смоленской области по охране, контролю и регулированию использования лесного хозяйства, объектов животного мира и среды их обитания*) [2, 5, 20, 21]. Это позволяет предположить, что ближайшей аналогией для рассмотрения работ в лесных питомниках являются небольшие фермерские хозяйства.

Существует несколько вариантов перевооружения лесных питомников: покупка техники, аналогичной той, что уже эксплуатируется (универсально-пропашные тракторы класса 1,4 и соответствующие орудия); аренда техники для выполнения наиболее энергоемких работ, значительное увеличение доли ручного труда; подбор менее энергоемких, и как следствие менее производительных машин и орудий, которые будут дешевле, чем универсальные сельскохозяйственные машины.

Вариант с обновлением парка без серьезного изменения номенклатуры является неоптимальным для небольших питомников, т.к. высокая начальная стоимость сельскохозяйственных машин и затраты на их эксплуатацию при малом ежегодном объеме работ приведут к увеличению себестоимости посадочного материала вследствие ограниченного срока эксплуатации машин и оборудования [4, 15].

Аренду техники для почвообработки и увеличение доли ручного труда также можно исклю-

чить: при небольшом объеме работ доставка техники в питомник будет вносить существенный вклад в общую стоимость работ, что также приведет к росту себестоимости посадочного материала [7, 8, 9, 36, 40]. Тем не менее, существуют исследования, показывающие превосходство ручного труда над механизированным в лесных питомниках площадью менее 1-1,5 га [39].

Третий вариант с подбором оптимального машинно-тракторного парка требует более детального анализа. Тема применения мотоблоков и мини-тракторов в условиях небольших по площади фермерских хозяйств общей площадью полей до 3-5 га активно прорабатывается в мире [26, 27, 31, 32, 37], изучаются вопросы безопасности и эргономичности ММЭС [34, 38]. Их применяют для широкого круга сельскохозяйственных задач, включая вспашку, опрыскивание, посев и пересадку [28, 35], прополку и межкультурные мероприятия, орошение, распыление пестицидов и опыление, сбор урожая и послеуборочные операции, транспортировку [30]. В ряде развивающихся стран сейчас наблюдается повышение интереса к мотоблокам и мини-тракторам со стороны политического руководства, проводятся стимулирующие мероприятия [29]. В первую очередь, такой интерес к теме малой механизации обоснован низкой начальной стоимостью машин и орудий и меньшими эксплуатационными затратами относительно крупной сельскохозяйственной техники при работе на малых площадях.

На основании вышеизложенного можно предположить, что годовую себестоимость работ при выполнении работ в лесных питомниках можно снизить путем применения средств малой механизации (СММ) и малогабаритных мобильных энергетических средств (ММЭС) — мотоблоков и мини-тракторов.

Таким образом, цель данного исследования — оценка целесообразности применения существующих СММ и ММЭС для механизации работ в лесных питомниках.

Для достижения поставленной цели в рамках данной работы предполагается решить три задачи.

1. Осуществить поиск и систематизацию информации о доступных к покупке плугов лемеш-

ных, борон дисковых, разбрасывателей твердых удобрений, опрыскивателей, сеялок точного высева и культиваторов для агрегатирования с мотоблоками и мини-тракторами.

2. Определить необходимый уровень энерговооруженности мотоблока или мини-трактора для выполнения всего перечня механизированных работ по выращиванию посадочного материала в лесных питомниках.

3. Оценить экономическую целесообразность применения мотоблоков и мини-тракторов для выполнения работ в лесных питомниках.

### Материалы и методы

*Объект и предмет исследований.* Объект исследования: технологический процесс выращивания посадочного материала в лесных питомниках.

*Предмет исследования:* номенклатура парка машин и оборудования для механизации работ по выращиванию посадочного материала с открытой корневой системой в лесных питомниках малой площади.

*Сбор данных.* Поиск и накопление материалов произведен согласно концепции обзора предметного поля [23, 33].

Источниками послужили научные электронные библиотеки «ELibrary.ru» и «КиберЛенинка»; многофункциональная поисковая платформа научных публикаций "Google Академия"; единая библиографическая и реферативная база данных рецензируемой научной литературы «Scopus»; каталоги фирм, реализующих сельскохозяйственные орудия на территории Российской Федерации, представленные в сети «Интернет». Поисковые запросы формировались на основании ключевых слов: «мини-трактор», «средства малой механизации», «плуг для мотоблока», «плуг для мини-трактора», «бороны дисковые малые», «борона для мини-трактора», «РУМ малого объема», «разбрасыватель удобрений для мини-трактора», «сеялка для мотоблока», «сеялка для мини-трактора», «опрыскиватель для мини-трактора», «культиватор для мини-трактора» и их прямые англоязычные аналоги. Для формирования сложных запросов использовались соответствующие литерные операторы для каждой поисковой системы.

Из активных каталогов фирм, реализующих сельскохозяйственные орудия на территории Российской Федерации, были отобраны доступные на текущий момент к покупке орудия для агрегатирования с мотоблоками и мини-тракторами.

Для оценки необходимой энерговооруженности в рамках данной работы рассматривается тяговое сопротивление лемешных плугов, с учетом скорости движения ЭС 3-5 км/ч, авторами использовано рекомендованное при данных условиях выражение [21]:

$$R_{пл} = K_{пл} \cdot \alpha \cdot B_{пл}, \quad (1)$$

где  $K_{пл}$  — удельное тяговое сопротивление корпусов плуга, Н/см<sup>2</sup>;  $\alpha$  — глубина вспашки, см;  $B_{пл}$  — ширина захвата плуга, см.

Существует несколько подходов к оценке экономической эффективности сельскохозяйственных машин и орудий. Традиционный для стран СНГ приведен в ГОСТ 34393-2018 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки». Однако, он слабо адаптирован к современной рыночной экономике [13] в отличие от метода «часовых эксплуатационных затрат» («ЧЭЗ») [22].

Математически метод "ЧЭЗ" выражается как

$$ZA = ZM_{трактора} + ZM_{плуга} + S_q + S_m \quad (2)$$

$$ZM_i = (Ц / (\mu_T \cdot T_0)) \cdot \sum_{i=1}^v K_i \quad (3)$$

$$S_q = Ц_T \cdot (q_n / 1000 \cdot N \cdot k_{эТ}) \cdot k_c \quad (4)$$

$$S_m = S_{ср} \cdot r \quad (5)$$

где  $ZA$  — часовые эксплуатационные затраты агрегата, руб/ч;

$ZM$  — часовые эксплуатационные затраты машины (орудия), руб/ч;

$Ц$  — заводская цена машины (орудия), руб;

$\mu_T$  — коэффициент приравнивания величины часового амортизационного ресурса отечественных машин к стандарту ASAE;

$T_0$  — амортизационный ресурс машины, ч;

$T_0 = T \cdot n$ , где  $T$  — годовой объем работ, ч;  $n$  — плановый срок эксплуатации, лет

$\sum_{i=1}^v K_i$  — общий коэффициент всех видов затрат, зависящих от заводской цены машины (орудия),

для практических расчетов  $\sum_{i=1}^v K_i = K_1 + K_2 + 0.175$ ,  $K_1 = 1.0$ ,  $K_2 = \frac{P_0 \cdot \mu_P}{100}$ ,  $P_0$  — нормированная величина суммарных затрат на ремонт заданного класса техники за амортизационный период в процентах от заводской цены, %;

$S_q$  — затраты на топливо и смазочные материалы, руб;

$Ц_T$  — стоимость топлива, руб/кг;

$q_n$  — удельный расход топлива, г/ч·л.с.;

$k_{эТ}$  — коэффициент эксплуатационного расхода топлива, экспериментальный;

$k_c$  — коэффициент учета стоимости смазочных материалов, для отечественных машин 1,1, для зарубежных 1,25;

$S_m$  — расходы на оплату труда;

$S_{ср}$  — средняя ставка рабочего со всеми отчислениями, руб/чел·ч;

$r$  — число работников для обслуживания машины.

При этом, себестоимость механизированного процесса руб/га будет выражена как

$$SS_{мп} = ZW = \frac{ZA}{W_3}, \quad (6)$$

где  $W_3$  — эксплуатационная производительность агрегата, равная

$$W_3 = 0.1 \cdot B \cdot V \cdot k_3, \quad (7)$$

где  $B$  — ширина захвата агрегата, м;  $V$  — рабочая скорость агрегата, км/ч;  $k_3$  — коэффициент использования рабочего времени агрегата.

*Анализ данных.* Сравнение годовой себестоимости работ производилось исходя из того, что трудоемкость и материалоемкость механизированных работ возможно привести к гектарам пашни [6, 12].

Из систематического поиска были отобраны наиболее релевантные конструкции плугов, дисковых борон, разбрасывателей твердых удобрений, сеялок точного высева, опрыскивателей и культиваторов из предложенных на рынке РФ и проведен статистический анализ степени их сходства и различия по конструктивно-технологическим параметрам. Оценку степени сходства и различия про-

водили с использованием иерархической диаграммы сходства, оценивающей удаленность признаков от центра на основании меры квадрата Эвклидова расстояния с помощью пакета прикладных программ (StatSoft Statistica v6.0 Rus).

### Результаты

**Плуги лемешные отвальные.** Ассортимент лемешных отвальных плугов для агрегатирования с МЭС состоит из плугов с одноточечным креплением и трехточечной навеской. Для агрегатирования с мини-тракторами подходят оба типа, в то время как для мотоблоков — только первый. По компоновке предлагаются четыре вида плугов: однокорпусный (в том числе с подрезным диском), двухкорпусный и двухкорпусный оборотный (один рабочий корпус на проход). На рис. 1 представлены вышеописанные виды плугов с одноточечным креплением (плуги под трехточечную навеску аналогичны).

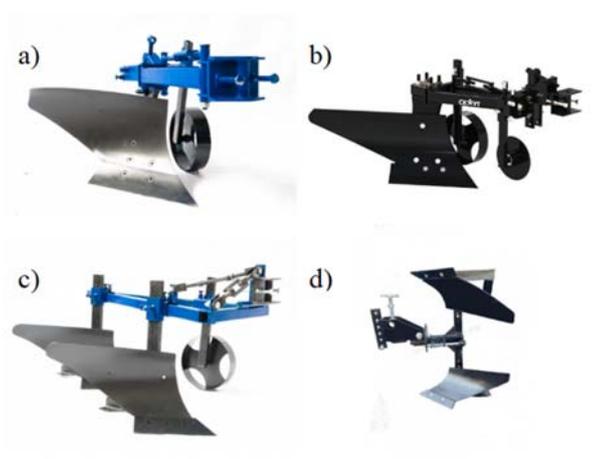


Рисунок 1. Плуги для агрегатирования с ММЭС:  
а – однокорпусный, б – однокорпусный с подрезным диском, с – двухкорпусный, d – оборотный

Figure 1. Plows for two-wheels and sub compact tractors: a – single furrow, b – single furrow with scoring disc, c – double furrow, d – single furrow reversible plow

Источник: каталог компании «Агро-амбар».

URL: <https://agro-ambar.ru/>

Source: catalogue of the company «Агро-амбар».

URL: <https://agro-ambar.ru/>

Ширина захвата корпуса плуга составляет 150-250 мм, глубина обработки подразумевается в разных моделях от 150 до 230 мм. Примечательно, что серийных моделей для мини-тракторов с предплужниками на текущий момент не представлено.

Всего на рынке представлены 44 модели от 20 брендов (рис. 2).

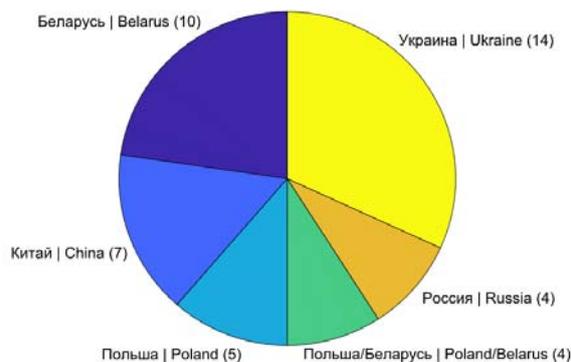


Рисунок 2. Распределение моделей плугов по странам-производителям  
Figure 2. Distribution of plow models by countries of origin

Источник: собственные вычисления авторов  
Source: author's calculations

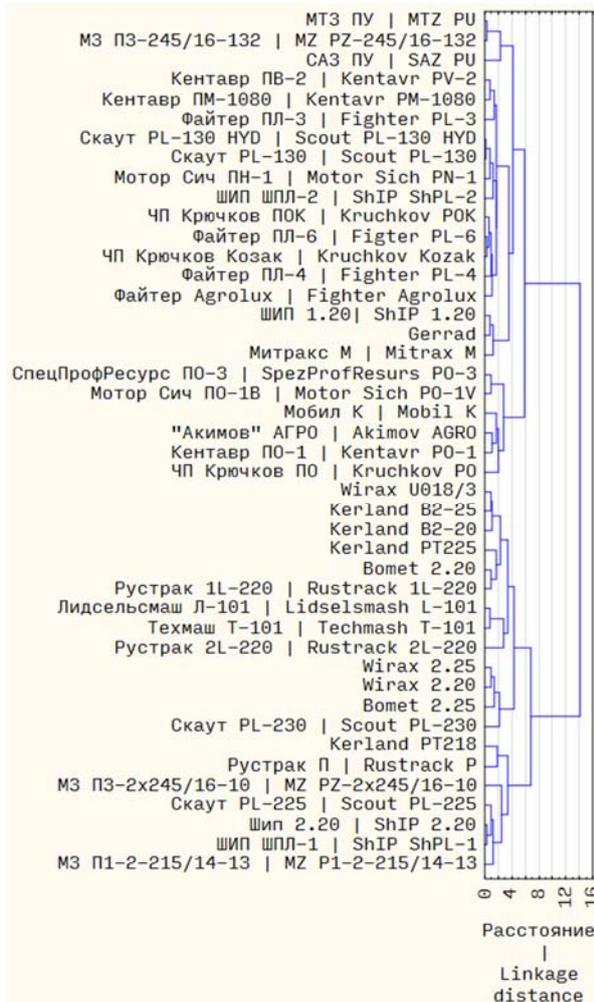


Рисунок 3. Иерархическая диаграмма сходства и различия плугов

Figure 3. Hierarchical diagram of the similarities and differences of plows

Источник: Собственные вычисления авторов  
Source: Authors' own calculations

Рассматриваемые в рамках данной работы плуги можно разделить на 6 кластеров (рис. 3). В первом – три однокорпусных плуга белорусского производства с трехточечной навеской, имеющих заявленную глубину обработки 180 мм и ширину захвата 250 мм. Во втором – 13 плугов от разных производителей, имеющих по одному корпусу, одноточечную навеску и близкие значения ширины и глубины обработки. К третьему кластеру отнесены оборотные плуги, близкие по характеристикам к второму кластеру. В четвертом кластере – 9 двухкорпусных плугов с трехточечной навеской и заявленной глубиной обработки 210-250 мм. В пятом

кластере четыре плуга, аналогичных плугам четвертого кластера, но с глубиной обработки 300-350 мм. В шестой кластер отнесены 7 двухкорпусных плугов с глубиной обработки до 200 мм.

В агрегатировании с митракторами допустимо использовать плуги из первых трех кластеров.

**Бороны дисковые.** Ассортимент дисковых борон для агрегатирования с мини-тракторами представлен 14 моделями с шириной захвата до 1300 мм и диаметром дисков порядка 300-450 мм. Масса таких борон составляет как правило 200-250 кг. Примечательно, что дисковых борон для агрегатирования с мотоблоками нет. Пример характерной бороны для мини-трактора представлена на рис. 4.

В значительном количестве каталогов фирм, реализующих дисковые бороны рассматриваемого класса, не указывают торговую марку производителя и страну производства. Это делает невозможным анализ распределения брендов и моделей по странам. Отметим, что основными производителями, которые чаще прочих встречаются в каталогах, являются «Русич» (Россия), «ФермерТехника» (Россия), ООО ПФ «Автотехпласт» (Россия), «Скаут» (Россия-Китай), «Kerland» (Польша-Беларусь), «Bomet» (Польша).



Рисунок 4. Дисковая борона для мини-тракторов «Скаут»

Figure 4. Disc harrow for sub compact tractors "Scout"

Источник: каталог компании «Агроград».

URL: <https://agrogradt.com/>

Source: catalog of the company «Агроград».

URL: <https://agrogradt.com/>

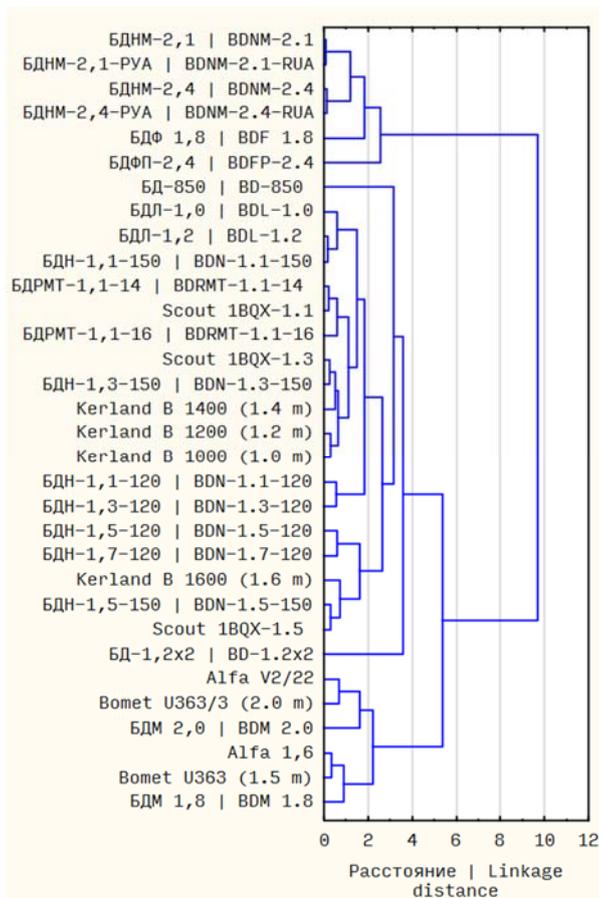


Рисунок 5. Иерархическая диаграмма сходства и различия дисковых борон  
Figure 5. Hierarchical diagram of the similarities and differences of disc harrows

Источник: Собственные вычисления авторов  
Source: Authors' own calculations

Рассматриваемые в рамках данной работы дисковые бороны можно разделить на 3 кластера (рис. 5). В первом кластере — бороны с шириной захвата свыше 2 м, глубиной обработки 180-200 мм, количеством корпусов 10-14, диаметром дисков преимущественно 640 мм и массой около 1 т. Во втором — бороны с шириной захвата 0,8-1,7 м, глубиной обработки 120-150 мм, количеством корпусов 6-18, диаметром дисков 300-560 мм и массой до 550 кг. В третьем кластере — бороны с шириной захвата 1,8-2,2 м, глубиной обработки 140-170 мм, количеством корпусов 14-20, диаметром дисков преимущественно 510-640 мм и массой до 550 кг.

Для агрегатирования с минитракторами допустимо использовать бороны из второго кластера (с оговоркой, что конкретный минитрактор спосо-

бен работать с конкретной боронной исходя из её массы и тягового сопротивления).

**Разбрасыватели твердых удобрений и мульчи.** В ассортименте разбрасывателей минеральных удобрений (РУМ) на текущий момент нет специальных машин для агрегатирования с минитракторами. Однако, модели с меньшим объемом бункера и малой массой могут применяться исходя из условия грузоподъемности навески минитрактора и наличия вала отбора мощности.

Сегодня на рынке преобладают два типа навесных РУМ: однодисковые и двухдисковые (рис. 6). Основное отличие в ширине захвата и объеме бункера: средним захватом для однодискового РУМ является 12-14 м, для двухдискового — 22-24 м. Объем однодисковых РУМ, как правило, составляет 400-600 л, двухдисковых — 800-1200 л. Собственная масса РУМ различных модификаций обычно лежит в диапазоне от 80 кг до 340 кг.

Распределение по странам и количеству доступных моделей установить также не удалось ввиду неполноты информации на сайтах и в каталогах производителей и ритейлеров. Основными представителями рынка РУМ в РФ сегодня являются: «ОптСельМаш» (Россия), «ВСК» (Россия), «Кубаньжелдормаш» (Россия), «АгроТех» (Россия), «D-POL» (Беларусь), «STRUMYK» (Польша), «AGROLEAD» (Турция).



Рисунок 6. Разбрасыватель минеральных удобрений (а – однодисковый; б – двухдисковый)  
Figure 6. Mineral fertilizer spreader (a - single disc; b - double disc)

Источник: каталог компании «Агроград».  
URL: <https://agrogradt.com/>  
Source: catalog of the company «Агроград».  
URL: <https://agrogradt.com/>

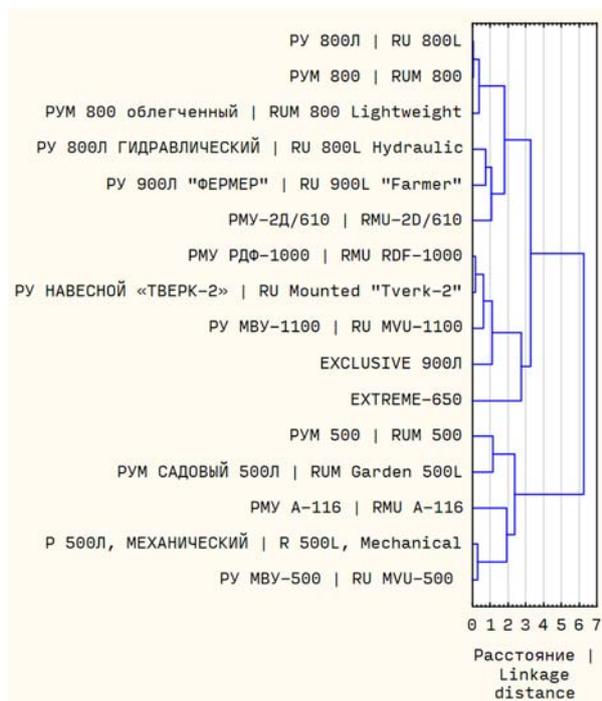


Рисунок 7. Иерархическая диаграмма сходства и различия разбрасывателей минеральных удобрений

Figure 7. Hierarchical diagram of the similarities and differences of mineral fertilizer spreaders

Источник: Собственные вычисления авторов  
Source: Authors' own calculations

Рассматриваемые в рамках работы разбрасыватели твердых удобрений можно разделить на 3 кластера (рис. 7). В первых двух содержатся разбрасыватели двухдисковые с шириной захвата 24 м и объемом бака 610-900 л. Во втором — также двухдисковые с шириной захвата 24 м, но объемом бака 650-1100 л. В третий кластер отнесены однодисковые разбрасыватели с шириной захвата 12-24 м и объемом бака 500-600 л.

Для минитракторов можно использовать РУМ из третьего кластера с учетом предельной грузоподъемности задней навески. Для обхода ограничения грузоподъемности возможна доработка рассмотренных навесных РУМ – установка на несущую платформу, аналогично серийным большеобъемным прицепным РУМ.

**Сеялки точного высева.** Ассортимент сеялок для мини-тракторов сегодня представлен изделиями российского, украинского и совместного российско-китайского производств (рис. 8). Поль-

ские, турецкие или белорусские сеялки на рынке РФ представлены только в модификациях для агрегатирования с тракторами класса 0,9 и выше.

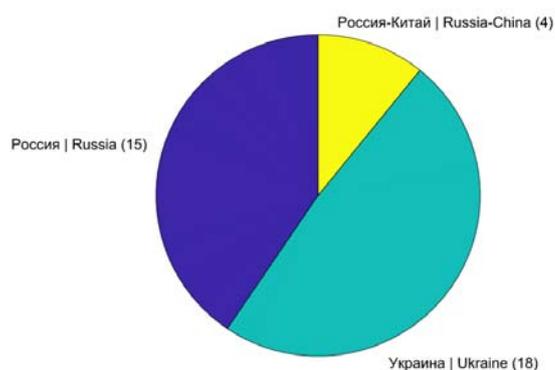


Рисунок 8. Распределение моделей сеялок для мини-тракторов по странам-производителям

Figure 8. Distribution of seeders models for subcompact tractors by countries of origin

Источник: собственные вычисления авторов  
Source: author's calculations

Те сеялки, которые возможно агрегатировать с мотоблоками или мини-тракторами, как правило имеют ячеисто-щеточный механизм дозирования семян. Минимальное расстояние между строчками, ввиду конструктивных особенностей сеялок, не менее 130 мм. Большинство модификаций — не менее 150 мм. Это ведет к необходимости двухпроходного сева в ленту для обеспечения конфигураций типа 10-30-10-30-10-60.

Большинство моделей сеялок имеют модификации с бункером для удобрений и механизмом их внесения в посевные строчки. При этом разница в стоимости может составлять от 5 % до 25 %.

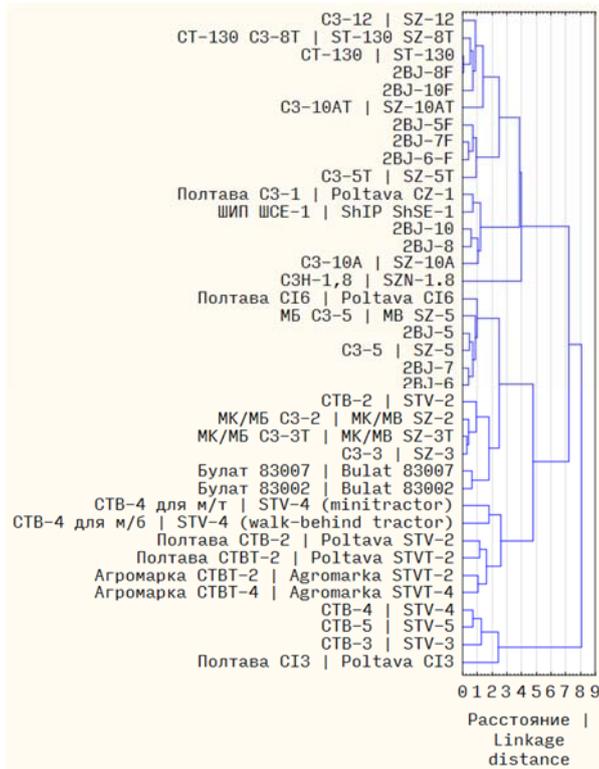


Рисунок 9. Иерархическая диаграмма сходства и различия сеялок

Figure 9. Hierarchical diagram of the similarities and differences of seeders

Источник: Собственные вычисления авторов  
Source: Authors' own calculations

Рассматриваемые в рамках данной работы сеялки можно разделить на 6 кластеров (рис. 9).

В первый кластер отнесены сеялки с шириной захвата 950-1860 мм, количеством строчек от 3 до 5, регулируемым расстоянием между строчками (кроме C3-12) в диапазоне 150-300 мм, наличием бункера для удобрений и массой от 52 до 150 кг.

Во второй – сеялки с шириной захвата 1200-1860 мм, количеством строчек от 8 до 10, регулируемым расстоянием между строчками (кроме ШИП ШСЕ-1 и Полтава C3-1) в диапазоне 150-300 мм, без бункера для удобрений и массой от 82 до 134 кг.

В третий кластер попадает одна сеялка C3Н-1,8, имеющая ширину захвата 1800 мм, 12 строчек, регулировку расстояния между строчками в диапазоне 150-300 мм, с бункером для удобрений и наибольшей массой среди рассматриваемых сеялок — 240 кг.

В четвертый кластер отнесены сеялки с шириной захвата 300-1370 мм, количеством строчек от 2 до 7, регулируемым расстоянием между строчками в диапазоне 150-300 мм (130-400 мм для СТВ-2), без бункера для удобрений и массой от 15 до 105 кг.

В пятый кластер отнесены сеялки с шириной захвата 1100-3000 мм, количеством строчек от 2 до 4, с наиболее широкими возможностями регулировки расстояния между строчками, преимущественно в диапазоне 150-500 мм (для Полтава СТВ-2 — 160-800 мм), без бункера для удобрений (кроме Полтава СТВ-4 для минитракторов) и массой от 40 до 85 кг.

Шестой кластер составляют сеялки с шириной захвата 1700-3000 мм, количеством строчек от 3 до 5, широким диапазоном регулировки расстояния между строчками 300-700 мм (250-700 для Полтава CI3, с бункером для удобрений (кроме Полтава CI3) и массой от 92 до 145 кг.

Наиболее подходящими для лесных питомников являются сеялки, отнесённые ко второму кластеру, однако, тема лесопитомниковых сеялок на текущий момент остаётся открытой: применяемые сельскохозяйственные решения с малой шириной захвата являются своего рода компромиссом между требованиями к посеву посадочного материала в лесном питомнике и существующими решениями.

**Опрыскиватели.** Ассортимент опрыскивателей состоит практически полностью из орудий, предназначенных для тракторов с высокой грузоподъемностью задней навески: средний объем резервуара 1000 л. Отметим, что у мини-тракторов типа «Скаут Т-18» грузоподъемность навески составляет около 250 кг, а у МТЗ-320 и аналогичных — 750 кг.

Основными производителями, в продуктовых линейках которых представлены малообъемные опрыскиватели, являются WJG (Польша), DEMAROL (Польша), BIARDZKI (Польша), Promar (Польша), Vadilli (Турция), MOSH (Турция), D-POL (Беларусь), ООО ТД АгроПромГрупп (Россия), MV-Group (Россия).

Существуют предприятия, которые изготавливают опрыскиватели под заказ. Например, ИК-2

УФСИН России по Рязанской области, ФКУ (Россия, Рязанская область).

На текущий момент оптимальным решением по мнению авторов для мини-тракторов типа «Скаут» и «Уралец» можно считать опрыскиватель OGR-200, с объемом резервуара 200 л, шириной обработки 8 м и полной массой до 340 кг. Стоимость такого опрыскивателя около 70 000 р. В зависимости от модификации мини-трактора и грузоподъемности навески возможно неполное использование объема резервуара. Тем не менее, производимых на текущий момент альтернатив не обнаружено. Для тракторов уровня МТЗ-320 возможно применение любого малообъемного опрыскивателя с объемом резервуара до 600 л.



Рисунок 10. Опрыскиватель навесной 300 л, рабочая ширина 9 м

Figure 10. Mounted sprayer 300 l, working width 9 m

Источник: каталог компании «Агроград».

URL: <https://agrogradt.com/>

Source: catalog of the company «Agrograd».

URL: <https://agrogradt.com/>

**Культиваторы.** Ассортимент культиваторов для обработки междурядий достаточно широк, чтобы не считать его ограничивающим фактором для выполнения операций, предусмотренных технологическим процессом ухода за сеянцами в лесных питомниках.

Одним из наиболее подходящих для междурядной обработки активных орудий можно считать культиватор КФП-1,5 в двухрядной конфигурации (рис. 11) с фрезами на 520 мм по щиткам. Также для КФП-1,5 существуют более легкие фрезы с ши-

риной в 310 мм по щиткам. Ограничивающим фактором здесь является грузоподъемность задней навески: масса наиболее легкой конфигурации КФП-1,5 для работы на два междурядья составляет около 500 кг.



Рисунок 11. Культиватор фрезерный КФП-1,5

Figure 11. Milling cultivator KFP-1.5

Источник: каталог компании «АгроМир».

URL: <https://www.tpk-agromir.ru/>

Source: catalog of the company "AgroMir".

URL: <https://www.tpk-agromir.ru/>

Отметим, что на текущий момент для работ в питомниках часто применяется КФП-1,5 в агрегатировании с МТЗ-82 и аналогичными универсально-пропашными тракторами.

В связи с высокой массой активных орудий, для применения с наиболее легкими мини-тракторами целесообразно применение пассивных орудий: культиваторов, рыхлителей.

Анализ цен для данных орудий производить нецелесообразно ввиду широкого перечня орудий, применимых к выполнению операций рассматриваемого технологического процесса. Цены варьируются от 10 тысяч рублей за пассивные орудия с малой шириной захвата до полумиллиона рублей за активные орудия высокой производительности, которые, тем не менее, возможно агрегатировать с тракторами тягового класса 0,6-0,9.

**Оценка средней стоимости навесного оборудования.** Распределение цен на сельскохозяйственные орудия, рассмотренные выше, представлено на рис. 12.

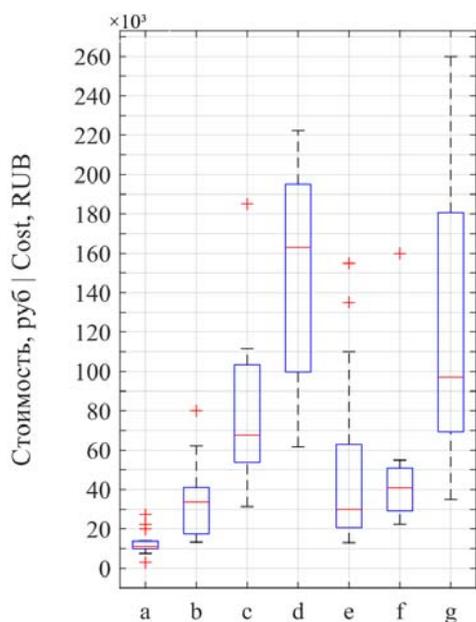


Рисунок 12. Распределение цен на сельскохозяйственные орудия, агрегируемые с мотоблоками и мини-тракторами

a — цена на однокорпусные плуги; b — цена на двухкорпусные плуги; c — цена на дисковые бороны шириной 1000–1400 мм; d — цена на дисковые бороны шириной 1500–2500 мм; e — цена на сеялки до 6 строчек; f — цена на сеялки 7–12 строчек; g — цена на разбрасыватели с объемом бака 500–1000 л.

Figure 12. Distribution of prices of agricultural implements for two-wheels and sub compact tractors  
a — price for single-hull plows; b — price for double-hull plows; c — price for disc harrows 1000–1400 mm wide; d — price for disc harrows with a width of 1500–2500 mm; e — price for seeders up to 6 lines; f — price for seeders 7–12 lines; g — price for spreaders with a tank volume of 500–1000 l.

Источник: собственные вычисления авторов  
Source: author's calculations

**Оценка потребной энерговооруженности МЭС.** Тяговое сопротивление плуга является наибольшим при вспашке почвы согласно технологическому процессу среди прочих операций, поэтому логично оценивать потребную энерговооруженность МЭС для выполнения технологического процесса выращивания посадочного материала в открытом питомнике именно по этому критерию.

На рис. 13 представлена зависимость тягового сопротивления плуга  $R_{пл}$  от ширины захвата плуга  $B_{пл}$  и глубины обработки почвы  $\alpha$  при работе на средних по тяжести почвах ( $K_{пл} = 0.6 \text{ кг/см}^2$ ). Для легких ( $K_{пл} = 0.3 \text{ кг/см}^2$ ), среднетяжелых ( $K_{пл} = 0.9 \text{ кг/см}^2$ ) и тяжелых ( $K_{пл} = 1.2 \text{ кг/см}^2$ ) почв значения можно получить умножив значение тягового сопротивления на 0.5, 1.5 и 2 соответственно.

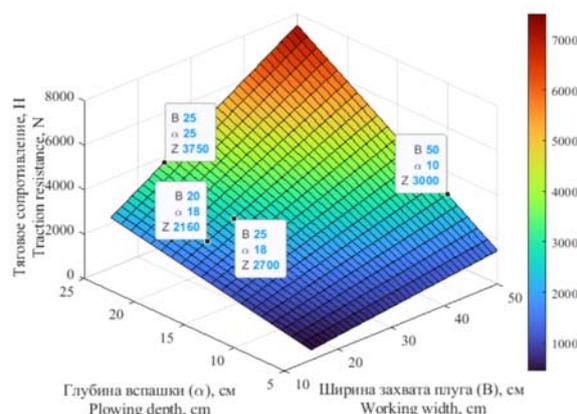


Рисунок 13. Тяговое сопротивление плуга  
Figure 13. Plow draft resistance

Источник: собственные вычисления авторов  
Source: author's calculations

Из рис. 13 видно, что для однокорпусного плуга шириной 20–25 см для работы на средних почвах при скорости движения 5 км/ч и глубине обработки почвы на глубину 25 см необходим МТА тяговым классом 0.4–0.6 и выше, что соответствует тракторам с мощностью 18–23 кВт, например, Т-25, Т-30, «Беларус» серии 300.

Для ММЭС, тяговое усилие которых составляет до 4 кН (мощность 7–10 кВт) доступна обработка легких почв однокорпусным плугом шириной до 20 см на глубину до 18 см.

Внесение сидератов на подготовленных почвах на глубину 5–10 см средствами малой механизации с тягой до 4 кН возможно двухкорпусным плугом с шириной захвата до 50 см.

Вопреки заявлениям производителей, на достаточную глубину (18–22 см) обработать почву даже однокорпусным плугом шириной 20 см мотоблоки мощностью до 5 кВт не способны ввиду малой массы и низкого тягового усилия (как прави-

ло, менее 1.8 кН), пределом для них является вспашка легких почв однокорпусным плугом шириной 15–20 см на глубину до 10 см, что актуально только для внесения удобрений.

**Экономическая целесообразность применения МЭС при механизации работ в лесных питомниках.** Для оценки целесообразности применения мотоблоков и мини-тракторов в условиях

лесных питомников необходимо рассчитать «ЧЭЗ» для МТА различных классов. Исходные данные для расчета «ЧЭЗ» и сравнения стоимости годовых работ приведены в табл. 1. Результаты расчетов стоимости механизированных работ в зависимости от годового объема в условных гектарах пашни приведены на рис. 14.

Таблица 1

Исходные данные для расчета эксплуатационных затрат

Table 1

Initial data for calculating operating costs

№	Показатель   Specification	Уралец-224	МТЗ-320	МТЗ-82
1	Мощность трактора, л.с.   Tractor power, hp	22	36	90
2	Цена трактора, руб   Tractor price, rub	530000	930000	2900000
3	Орудие   Agricultural tool	ШПЛ-4	ШПЛ-2	ПЛН-3-35
3	Цена орудия, руб   Agricultural tool price, rub	12000	19900	120000
4	Срок эксплуатации машины, лет   Service life of the machine, years	20		
5	Срок эксплуатации орудия, лет   Tool service life, years	20		
6	Общий коэффициент затрат машины   Overall machine cost factor	1,975		
7	Общий коэффициент затрат орудия   Overall tool cost factor	2,175		
8	Стоимость топлива, руб/кг   Fuel cost, rub/kg	65,16		
9	Удельный расход топлива, г/ч·л.с.   Specific fuel consumption, g/h·hp	280	320	230

Источник: использована информация из каталога ритейлера «Центр технического оборудования» URL: <https://mtraktor.ru/>

Source: used information from the catalog of the retailer "Technical Equipment Center" URL: <https://mtraktor.ru/>

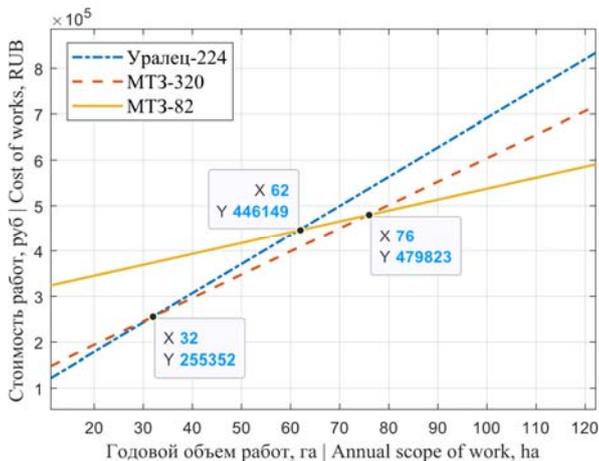


Рисунок 14. Стоимость механизированных работ для МТА различных классов  
Figure 14. The cost of mechanized work for tractors of various classes

Источник: собственные вычисления авторов  
Source: author's calculations

Из приведенных расчетов видно, что применение СММ и ММЭС в технологическом процессе лесного питомника экономически целесообразно пока годовой объем работ не превысит эквивалент 60 га пашни.

### Обсуждение

Проведенный в рамках данной работы анализ номенклатуры предлагаемых на рынке Российской Федерации орудий для мотоблоков и минитракторов показал, что в современных условиях возможно формирование комплекса орудий для обеспечения технологического процесса работ в лесных питомниках. Аналогичных работ выявлено не было, однако идея формирования технологических комплексов на базе ММЭС для работ в небольших питомниках и теплицах рассматривается достаточно давно.

Оценка потребной энерговооруженности ММЭС показала, что для охвата всего технологического процесса выращивания посадочного материала в лесных питомниках необходим МТА тяговым классом 0.4–0.6, что соответствует тракторам с мощностью 18–23 кВт, например, Т-25, Т-30, «Беларус» серии 300. Аналогичная позиция освещена в публикации [3]: в качестве базовой машины для

дальнейшей модернизации авторы принимают мини-трактор «Беларус-152».

Для операций, не требующих значительной энерговооруженности тягового средства, например высев семян, учеными уже давно предлагаются различные варианты применения мотоблоков, минитракторов или, например, мотошасси на базе ЗиД-50-01 [17, 25]. Недостатком такого решения может стать необходимость содержания парка различных тяговых модулей: мотоблоков, мотошасси, минитракторов. Этот недостаток влечёт за собой усложнение технологического процесса выполнения работ из-за разных габаритных характеристик, например, ширины колеи, что наглядно продемонстрировано в работе [1].

Этого недостатка лишена предлагаемая в публикации [18] дискретная концепция системы малой механизации лесохозяйственных работ, в фундамент которой положен блочно-модульный принцип проектирования машин и орудий, т. е. использование универсального энергоблока – специализированного для данной отрасли базового шасси и шлейфа сменного рабочего оборудования.

При этом в более ранних исследованиях в Архангельском лесотехническом институте имени В.В. Куйбышева (АЛТИ) был представлен концепт САФУ (одноосный лесохозяйственный минитрактор, номинальная мощность 8 кВт), предназначенный для выполнения комплекса лесохозяйственных операций [19]. Следует отметить, что колёсный одноосный трактор такой мощности не способен обеспечить необходимое тяговое усилие для обработки почвы плугом в рамках технологического процесса выращивания посадочного материала. Упрощенные оценочные расчеты, проведенные в данной статье, не противоречат результатам, полученным в более углубленных материалах, например [10, 11]. Для ММЭС, тяговое усилие которых составляет до 4 кН (мощность 7–10 кВт) доступна обработка легких почв однокорпусным плугом шириной до 20 см на глубину до 18. Внесение сидератов на подготовленных почвах на глубину 5–10 см средствами малой механизации с тягой до 4 кН возможно двухкорпусным плугом с шириной захвата до 50 см. Применение же мотоблоков и минитракторов с фрезами в рамках стандартного тех-

нологического процесса выращивания посадочного материала в лесных питомниках изучено мало и на практике, как правило, не встречается.

### Заключение

В связи со сложившейся геополитической обстановкой рынок орудий для агрегатирования с мини-тракторами в Российской Федерации несколько сократился. Некоторые иностранные компании отказались от поставок техники в Россию и исполнения гарантийных обязательств. Тем не менее, орудий отечественного, белорусского или китайского производства достаточно для составления комплекса, способного к выполнению операций технологического процесса выращивания посадочного материала с открытой корневой системой в лесных питомниках.

С точки зрения энерговооруженности наиболее подходящими для обеспечения рассматриваемого

технологического процесса в полном объеме являются тракторы типа МТЗ-320 и аналогичные, с мощностью двигателя около 30 кВт и грузоподъемностью задней навески около 700 кг. Этого достаточно как для выполнения работ по первичной обработке почвы с приемлемой для питомников малой площади производительностью, так и для использования навесного оборудования для внесения жидких и твердых удобрений. К тому же, данные тракторы могут оснащаться фронтальными гидравлическими погрузочными механизмами.

Анализ годовых эксплуатационных затрат показал, что мини-тракторы аналогичные «Уралец-224» и «МТЗ-320» экономически целесообразно применять при годовом объеме работ, эквивалентном 60 га условной пашни или менее. При больших объемах экономически обосновано использование сельскохозяйственных орудий в агрегатировании с универсально-пропашными тракторами.

### Список литературы

1. Асмоловский, М. К. Конструктивные и технологические особенности посева семян хвойных пород в открытый грунт / М. К. Асмоловский, М. В. Ярошук // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2019. – № 2(222). – С. 104-108. – EDN RUBJZE. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39467642>.
2. Балданова, Л. П. Оценка реализации компенсационного лесовосстановления на примере Иркутской области / Л. П. Балданова // Известия Байкальского государственного университета. – 2022. – Т. 32. – № 2. – С. 407-414. – DOI 10.17150/2500-2759.2022.32(2).407-414. – EDN CSSWVA. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48747197>.
3. Голякевич, С. А. Концепция применения малогабаритного лесохозяйственного трактора с электросиловым приводом для механизации работы в теплицах лесопитомников / С. А. Голякевич, М. К. Асмоловский, Е. А. Станкевич // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2020. – № 2(234). – С. 168-173. – EDN JMBXEQ. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43937084>.
4. Городов, А. А. Оптимизация использования машинно-тракторного парка в сельскохозяйственных организациях / А. А. Городов, Л. В. Городова, М. А. Федорова // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 9(96). – С. 3-11. – EDN SZBUBT. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22532031>.
5. Демшин, С. Л. Комплекс машин для обработки почвы и посева в условиях евро-Северо-Востока / С. Л. Демшин, М. В. Симонов // Advanced Science. – 2017. – № 2(6). – С. 20. – EDN ZJRWAV. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30146087>.
6. Жданко, Д. А. Совершенствование оценки работы машинно-тракторного парка / Д. А. Жданко, А. В. Новиков, Т. А. Непарко // Инновации в сельском хозяйстве. – 2017. – № 4(25). – С. 228-234. – EDN YVDNPH. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32756826>.
7. Камилова, Э. Р. Особенности учета аренды и лизинга новой техники в сельскохозяйственных организациях / Э. Р. Камилова, К. Д. Колесник // Новая наука: От идеи к результату. – 2016. – № 1-1. – С. 145-148. – EDN XBTOZH. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27407269>.

8. Коротких, Ю. С. Агролизинг как источник воспроизводства отечественного машинно-тракторного парка / Ю. С. Коротких // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. – 2017. – № 25(30). – С. 74-79. – EDN YOQFRB. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32426192>.
9. Кравченко, И. Н. Методика обоснования эффективности аренды сельскохозяйственной техники / И. Н. Кравченко, Ю. А. Шамарин, М. С. Мордасова // Технический сервис машин. – 2018. – Т. 133. – С. 12-19. – EDN YUGVOH. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36801571>.
10. Купряшкин, В. Ф. Анализ динамических нагрузок в приводе машины для обработки почвы в теплицах МПТ-1,2 / В. Ф. Купряшкин, Н. И. Наумкин, А. Ф. Фирстов, А. С. Уланов // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5-1. – С. 94-100. – EDN SAJGJH. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21402725>.
11. Купряшкин, В. Ф. Анализ энергоемкости процесса вспашки почвы мотоблоком в агрегате с лемешно-отвальным плугом / В. Ф. Купряшкин, А. С. Уланов, Н. И. Наумкин [и др.] // Инженерные технологии и системы. – 2019. – Т. 29, № 3. – С. 414-427. – DOI 10.15507/2658-4123.029.201903.414-427. – EDN GAZHVS. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41040245>.
12. Лавров, А. В. Методические подходы к оценке технологической потребности в сельскохозяйственных тракторах для АПК / А. В. Лавров, В. А. Зубина // Агроинженерия. – 2021. – № 1(101). – С. 20-26. – DOI 10.26897/2687-1149-2021-1-20-26. – EDN FNMMBJ. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44779285>.
13. Матвеев, А. М. О современных методиках оценки экономической эффективности использования сельскохозяйственной техники / А. М. Матвеев, И. В. Шугуров // Вестник Курганской ГСХА. – 2014. – № 4(12). – С. 5-8. – EDN TLIDIF. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23091573>.
14. Морковина, С. С. Государственно-частное партнерство как механизм решения проблемы финансирования лесовосстановления / С. С. Морковина, Е. А. Панявина, О. И. Драпалюк // Социально-экономические явления и процессы. – 2013. – № 11(57). – С. 77-81. – EDN RQROQJ. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20960369>.
15. Морковина, С. С. Факторы, определяющие функционирование объектов инфраструктуры лесного комплекса / С. С. Морковина, А. В. Константинов, О. И. Васильев // Социально-экономические явления и процессы. – 2015. – Т. 10, № 1. – С. 59-66. – EDN TNESKF. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23176957>.
16. Мочалов, Б. А. Лесокультурное производство - основа непрерывности лесопользования / Б. А. Мочалов, С. В. Бобушкина // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2021. – № 4(382). – С. 80-96. – DOI 10.37482/0536-1036-2021-4-80-96. – EDN BDTAHD. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21237911>.
17. Мясичев, Д. Г. Оптимизация конструктивных параметров системы "рабочий орган - мотошасси" для измельчения напочвенного растительного покрова / Д. Г. Мясичев, С. А. Путинцев // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2016. – № 215. – С. 149-162. – DOI 10.21266/2079-4304.2016.215.149-162. – EDN WAXWCF. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26180945>.
18. Мясичев, Д. Г. Потенциал малой механизации в лесохозяйственных технологических процессах / Д. Г. Мясичев // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2018. – № 1(361). – С. 70-79. – DOI 10.17238/issn0536-1036.2018.1.70. – EDN YNMFBS. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32367561>.
19. Мясичев, Д. Г. Синтез структуры лесохозяйственного механизированного комплекса на базе малогабаритного мобильного силового модуля / Д. Г. Мясичев // Лесотехнический журнал. – 2017. – Т. 7, № 1(25). – С. 196-204. – EDN YKVTUZ. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29010527>.
20. Паленова, М.М. Лесное хозяйство Турецкой Республики: обзор / М. М. Паленова, А. Н. Филипчук, А. Н. Югов, Т. А. Золина // Лесохозяйственная информация. – 2023. – № 1. – С. 68-83. – DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2023.1.06. – EDN KPSNMR. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50372388>.
21. Паршуков, Н. Е. Метод расчета тяговых сопротивлений плугов и других орудий при основной обработке почвы в лесном хозяйстве / Н. Е. Паршуков // Февральские чтения : Сборник материалов научно-

практической конференции профессорско-преподавательского состава Сыктывкарского лесного института по итогам научно-исследовательской работы в 2013 году, Сыктывкар, 18–20 февраля 2014 года. – Сыктывкар: Сыктывкарский лесной институт, 2014. – С. 367-369. – EDN VCGEAV. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25053103>.

22. Пронин, В. М. Методика оценки технико-экономических показателей сельскохозяйственной техники по критерию часовых эксплуатационных затрат / В. М. Пронин, В. А. Прокопенко // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2013. – № 3. – С. 10-14. – EDN QINCPZ – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19398808>.

23. Тихонова, Е. В. Обзор предметного поля как метод синтеза научных данных / Е. В. Тихонова, Н. М. Шленская // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2021. – № 3. – С. 11-25. – DOI 10.36107/spfp.2021.257. – EDN UUDXHJ. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48003100>.

24. Шамсутдинова, А. И. Внедрение инноваций в лесное хозяйство РФ и перспективы их развития / А. И. Шамсутдинова, Г. Ф. Илалова, А. Р. Мухтарова // Наука молодых - будущее России : Сборник научных статей 2-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых. В 5-ти томах, Курск, 13–14 декабря 2017 года / Ответственный редактор А.А. Горохов. Том 5. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2017. – С. 211-213. – EDN YBBGRQ. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=31736899>.

25. Якимов, В. А. Экспериментальное исследование лесного посевного агрегата на базе мототрактора / В. А. Якимов, Д. Г. Мясичев // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2, № 3-4(8-4). – С. 95-98. – DOI 10.12737/4347. – EDN SHVQVL. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21744407>.

26. Belton, B.; Win, M.T.; Zhang, X.; Filipski, M. The rapid rise of agricultural mechanization in Myanmar. *Food Policy* 2021, 101, 102095. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2021.102095>.

27. Daum T. et al. Animal traction, two-wheel tractors, or four-wheel tractors? A best-fit approach to guide farm mechanization in Africa // *Experimental Agriculture*. – 2023. – Т. 59. – С. e12. – DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.4092687>.

28. Haque M. E. и др. Versatile strip seed drill: A 2-wheel tractor-based option for smallholders to implement conservation agriculture in Asia and Africa // *Environments* - MDPI. 2016. Т. 3. № 1. С. 1–13. – DOI: <https://doi.org/10.3390/environments3010001>.

29. Justice S., Biggs S. The spread of smaller engines and markets in machinery services in rural areas of South Asia // *Journal of Rural Studies*. 2020. Т. 73. С. 10–20. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.11.013>.

30. Krishnadas R., Renganathan R. A comprehensive review on power tillers usage - Bottlenecks and prospects in India. 2022. – DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1041/1/012018>.

31. Liao W., Zeng F., Chaniebate M. Mechanization of Small-Scale Agriculture in China: Lessons for Enhancing Smallholder Access to Agricultural Machinery // *Sustainability*. – 2022. – Т. 14. – №. 13. – С. 7964. – DOI: <https://doi.org/10.3390/su14137964>.

32. Negrete J. C. Analysis of the current situation of two wheels tractors in Mexico // *Horticult. Int J*. – 2020. – Т. 4. – №. 1. – С. 28-33. – DOI: <https://doi.org/10.15406/hij.2020.04.00152>.

33. Peters M. D. J. et al. Scoping reviews: reinforcing and advancing the methodology and application // *Systematic reviews*. – 2021. – Т. 10. – №. 1. – С. 1-6. – DOI: <https://doi.org/10.1186/s13643-021-01821-3>.

34. Rohani A. et al. Designing and modeling the power transmission mechanism for existing walking tractors to facilitate their guidance and turning // *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*. – 2023. – Т. 10. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01516-0>.

35. Stubbs S., Colton J. The Design of a Mechanized Onion Transplanter for Bangladesh with Functional Testing // *Agriculture (Switzerland)*. 2022. Т. 12. № 11. – DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12111790>.

36. Takeshima H. Custom-hired tractor services and returns to scale in smallholder agriculture: a production function approach //Agricultural Economics. – 2017. – Т. 48. – №. 3. – С. 363-372. – DOI: <https://doi.org/10.1111/agec.12339>.
37. Takeshima H., Nin-Pratt A., Diao X. Mechanization and agricultural technology evolution, agricultural intensification in sub-Saharan Africa: Typology of agricultural mechanization in Nigeria //American Journal of Agricultural Economics. – 2013. – Т. 95. – №. 5. – С. 1230-1236. – DOI: <https://doi.org/10.1093/ajae/aat045>.
38. Tangtong C. et al. Risk factors associated with hand tractor related injuries among rice farmers in Thai-land //Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. – 2022. – Т. 28. – №. 1. – С. 43-57. – DOI: <https://doi.org/10.1080/10807039.2021.2014301>.
39. Varol T. et al. Efficiency Comparison of Mechanization Techniques in Nursery //European Journal of Forest Engineering. – 2019. – Т. 5. – №. 2. – С. 68-76. – DOI: <https://doi.org/10.33904/ejfe.581652>.
40. Zhang X., Yang J., Thomas R. Mechanization outsourcing clusters and division of labor in Chinese agriculture //China Economic Review. – 2017. – Т. 43. – С. 184-195. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2017.01.012>.

### References

1. Asmolovskiy M.K., Yaroshuk M.V. *Konstruktivnye i tekhnologicheskie osobennosti poseva semyan khvoynykh porod v otkrytyy grunt* [Constructive and technological features of seeding forest seeds of coniferous breeds in open ground] *Trudy BGTU. Seriya 1: Lesnoe khozyaystvo, prirodopol'zovanie i pererabotka vozobnovlyaemykh resursov* [Proceedings of BSTU. Series 1: Forestry, environmental management and processing of renewable resources], 2019, no. 2(222), pp. 104-108. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39467642>.
2. Baldanova, L. P. *Otsenka realizatsii kompensatsionnogo lesovosstanovleniya na primere Irkutskoy oblasti* [Evaluation of the implementation of compensatory reforestation on the example of the Irkutsk region]. *Izvestiya Baykal'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Baikal State University], 2022, no.2, pp. 407-414. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48747197>.
3. Golyakevich S. A., Asmolovskiy M. K., Stankevich E. A. *Kontseptsiya primeneniya malogabaritnogo lesokhozyaystvennogo traktora s elektrosilovym privodom dlya mekhanizatsii raboty v teplitsakh lesopitomnikov* [The concept of a small size forestry tractor with electric power drive for mechanization of work in greenhouses of forestry] *Trudy BGTU. Seriya 1: Lesnoe khozyaystvo, prirodopol'zovanie i pererabotka vozobnovlyaemykh resursov* [Proceedings of BSTU. Series 1: Forestry, environmental management and processing of renewable resources], 2020, no. 2(234), pp. 168-173. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43937084>.
4. Gorodov, A. A., Gorodova, L.V., Fedorova, M. A. *Optimizatsiya ispol'zovaniya mashinno-traktornogo parka v sel'skokhozyaystvennykh organizatsiyakh* [The optimization of the machine-tractor park use in agricultural organizations]. *Vestnik KrasGAU* [Bulletin of KrasSAU], 2014, no.9(96), pp. 3-11. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22532031>.
5. Demshin, S. L., Simonov, M. V. *Kompleks mashin dlya obrabotki pochvy i poseva v usloviyakh evro-Severo-Vostoka* [A complex of machines for tillage and sowing in the conditions of the Euro-North-East]. *Advanced Science*, 2017, no.2(6), p. 20. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30146087>.
6. Zhdanko, D. A., Novikov, A. V., Neparko, T. A. *Sovershenstvovanie otsenki raboty mashinno-traktornogo parka* [Specified preformance of the composition and use tractor fleet agricultural company]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve* [Innovations in agriculture], 2017, no.4(25), pp. 228-234. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32756826>.
7. Kamilova E. R., Kolesnik K. D. *Osobennosti ucheta arendy i lizinga novoy tekhniki v sel'skokhozyaystvennykh organizatsiyakh* [Features of accounting for rental and leasing of new equipment in agricultural organizations]. *Novaya nauka: Ot idei k rezul'tatu* [New science: From idea to result], 2016, no. 1-1, pp. 145-148. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27407269>.

8. Korotkikh Yu. S. *Agrolizing kak istochnik vosproizvodstva otechestvennogo mashinno-traktornogo parka* [Agroleasing as a source of reproduction of the domestic machine and tractor fleet]. *Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo agrarnogo zaochnogo universiteta* [Bulletin of the Russian State Agrarian Correspondence University], 2017, no. 25(30), pp. 74-79. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32426192>.
9. Kravchenko, I. N., Shamarin, Yu. A., Mordasova, M. S. *Metodika obosnovaniya effektivnosti arendy sel'skokhozyaystvennoy tekhniki* [Methodology of substantiation of efficiency of rental agricultural equipment]. *Tekhnicheskij servis mashin* [Technical Service of Machines], 2018, no.133, pp. 12-19. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36801571>.
10. Kupryashkin V. F., Naumkin N. I., Firstov A. F., Ulanov A. C. *Analiz dinamicheskikh nagruzok v privode mashiny dlya obrabotki pochvy v teplitsakh MPT-1,2* [Analysis of dynamic loads in the drive of the machine for tillage in greenhouses MPT-1,2]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern high technology], 2014, no. 5-1, pp. 94-100. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21402725>.
11. Kupryashkin V.F., Ulanov A.S., Naumkin N.I., et al. Analysis of Energy Consumption during Plowing Using a Motor-Block with Moldboard Plow. *Inzhenerynye tekhnologii i sistemy = Engineering Technologies and Systems*. 2019; 29(3):414-427. DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.029.201903.414-427>. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41040245>.
12. Lavrov A.V., Zubina V.A. Methodological approaches to assessing the technological need for farm tractors // *Agricultural Engineering*, 2021; 1 (101): 20-26. (In Rus.). DOI: 10.26897/2687-1149-2021-1-20-26. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44779285>.
13. Matveev, A. M., Shugurov, I. V. *O sovremennykh metodikakh otsenki ekonomicheskoy effektivnosti ispol'zovaniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki* [About modern techniques of economic efficiency assessment when using agricultural machinery]. *Vestnik Kurganskoy GSKhA* [Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy], 2014, no.4(12), pp. 5-8. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23091573>.
14. Morkovina, S. S., Panyavina, E. A., Drapalyuk, O. I. *Gosudarstvenno-chastnoe partnerstvo kak mekhanizm resheniya problemy finansirovaniya lesovosstanovleniya* [State-private partnership as a mechanism of solution of the problem of financing of reforestation]. *Sotsial'no-ekonomicheskie yavleniya i protsessy* [Social and economic phenomena and processes], 2013, no.11, pp. 77-81. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20960369>.
15. Morkovina S. S., Konstantinov A. V., Vasil'ev O. I. *Faktory, opredelyayushchie funktsionirovanie ob"ektov infrastruktury lesnogo kompleksa* [Factors defining functioning of objects of infrastructure of the forest complex]. *Sotsial'no-ekonomicheskie yavleniya i protsessy* [Social and economic phenomena and processes], 2015, no.10, pp. 59-66. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23176957>.
16. Mochalov, B. A., Bobushkina, S.V. *Lesokul'turnoe proizvodstvo - osnova nepreryvnosti lesopol'zovaniya* [Forestry production is the basis for the continuity of forest management]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [News of higher educational institutions. Forest magazine.], 2021, no.4, pp. 80-96. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21237911>.
17. Myasishchev D.G., Putincev S.A. Optimization of design parameters of «body work – motoshassi» for grinding of soil vegetation. *Izvestia Sankt-Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2016, is. 215, pp. 149–162 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2016.215.149-162
18. D.G. Myasishchev. Potential of Small-Scale Mechanization in Forestry Technological Processes. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 1, pp. 70–79. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.70
19. Myasishchev D. G. *Sintez struktury lesokhozyaystvennogo mekhanizirovannogo kompleksa na baze malogabaritnogo mobil'nogo silovogo modulya* [Synthesis of structure of forest mechanized complex based on a compact mobile power module]. *Lesotekhnicheskij zhurnal* [Forestry engineering journal], 2017, no.1(25), pp. 196-204. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29010527>.
20. Palenova M., Yugov A., Filipchuk A., Zolina T. Forestry in the Republic of Turkey: Overview. – Text : electronic // *Forestry information.2023. № 1. P. 68–83. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2023.1.06*

21. Parshukov N. E. Metod Rascheta Tyagovykh Soprotivleniy Plugov I Drugikh Orudiy Pri Osnovnoy Obrabotke Pochvy V Lesnom Khozyaystve [Method for calculating the traction resistance of plows and other implements in the main tillage in forestry], 2014, pp. 367–369. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25053103>.
22. Pronin, V. M., Prokopenko, V. A. Metodika otsenki tekhniko-ekonomicheskikh pokazateley sel'skokhozyaystvennoy tekhniki po kriteriyu chasovykh ekspluatatsionnykh zatrat [Methodology for assessing the technical and economic indicators of agricultural machinery by the criterion of hourly operating costs]. Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii [Agricultural machines and technologies], 2013, no.3, pp. 10-14. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19398808>.
23. Tikhonova, E. V., Shlenskaya, N.M. Obzor predmetnogo polya kak metod sinteza nauchnykh dannykh [Scoping review as a method for synthesizing scientific data]. Khraneniye i pererabotka sel'khozsyrya [Storage and processing of agricultural raw materials], 2021, no.3, pp. 11-25. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48003100>.
24. Shamsutdinova A. I., Ilalova G. F., Mukhtarova A. R. Vnedreniye innovatsiy v lesnoye khozyaystvo RF i perspektivy ikh razvitiya [Introduction of innovations into forestry in the Russian Federation and prospects for their development]. Nauka molodykh - budushchee Rossii : Sbornik nauchnykh statey 2-y Mezhduнародnoy nauchnoy konferentsii perspektivnykh razrabotok molodykh uchenykh. Tom 5 [Science of the young - the future of Russia: Collection of scientific articles of the 2nd International Scientific Conference on Prospective Developments of Young Scientists. Tom 5]. Kursk: Zakrytoe aktsionernoe obshchestvo "Universitetskaya kniga", 2017, pp. 211-213. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=31736899>.
25. Yakimov V. A., Myasishchev D. G. Eksperimental'noye issledovaniye lesnogo posevnogo agregata na baze motoshassi [Experimental study of a forest seeding unit based on a motor chassis]. Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika [Current directions of scientific research of the 21st century: theory and practice], 2014, no. 3-4(8-4), pp. 95-98. – DOI 10.12737/4347. – EDN SHVQVL. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21744407>.
26. Belton, B.; Win, M.T.; Zhang, X.; Filipski, M. The rapid rise of agricultural mechanization in Myanmar. Food Policy 2021, 101, 102095. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2021.102095>.
27. Daum T. et al. Animal traction, two-wheel tractors, or four-wheel tractors? A best-fit approach to guide farm mechanization in Africa //Experimental Agriculture. – 2023. – T. 59. – C. e12. – DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.4092687>.
28. Haque M. E. и др. Versatile strip seed drill: A 2-wheel tractor-based option for smallholders to implement conservation agriculture in Asia and Africa // Environments - MDPI. 2016. T. 3. № 1. C. 1–13. – DOI: <https://doi.org/10.3390/environments3010001>.
29. Justice S., Biggs S. The spread of smaller engines and markets in machinery services in rural areas of South Asia // Journal of Rural Studies. 2020. T. 73. C. 10–20. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.11.013>.
30. Krishnadas R., Renganathan R. A comprehensive review on power tillers usage - Bottlenecks and prospects in India. , 2022. – DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1041/1/012018>.
31. Liao W., Zeng F., Chaniebate M. Mechanization of Small-Scale Agriculture in China: Lessons for Enhancing Smallholder Access to Agricultural Machinery //Sustainability. – 2022. – T. 14. – №. 13. – C. 7964. – DOI: <https://doi.org/10.3390/su14137964>.
32. Negrete J. C. Analysis of the current situation of two wheels tractors in Mexico //Horticult Int J. – 2020. – T. 4. – №. 1. – C. 28-33. – DOI: <https://doi.org/10.15406/hij.2020.04.00152>.
33. Peters M. D. J. et al. Scoping reviews: reinforcing and advancing the methodology and application //Systematic reviews. – 2021. – T. 10. – №. 1. – C. 1-6. – DOI: <https://doi.org/10.1186/s13643-021-01821-3>.
34. Rohani A. et al. Designing and modeling the power transmission mechanism for existing walking tractors to facilitate their guidance and turning //International Journal on Interactive Design and Manufacturing. – 2023. – T. 10. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01516-0>.

35. Stubbs S., Colton J. The Design of a Mechanized Onion Transplanter for Bangladesh with Functional Testing // Agriculture (Switzerland). 2022. Т. 12. № 11. – DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12111790>.
36. Takeshima H. Custom-hired tractor services and returns to scale in smallholder agriculture: a production function approach // Agricultural Economics. – 2017. – Т. 48. – №. 3. – С. 363-372. – DOI: <https://doi.org/10.1111/agec.12339>.
37. Takeshima H., Nin-Pratt A., Diao X. Mechanization and agricultural technology evolution, agricultural intensification in sub-Saharan Africa: Typology of agricultural mechanization in Nigeria // American Journal of Agricultural Economics. – 2013. – Т. 95. – №. 5. – С. 1230-1236. – DOI: <https://doi.org/10.1093/ajae/aat045>.
38. Tangtong C. et al. Risk factors associated with hand tractor related injuries among rice farmers in Thailand // Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. – 2022. – Т. 28. – №. 1. – С. 43-57. – DOI: <https://doi.org/10.1080/10807039.2021.2014301>.
39. Varol T. et al. Efficiency Comparison of Mechanization Techniques in Nursery // European Journal of Forest Engineering. – 2019. – Т. 5. – №. 2. – С. 68-76. – DOI: <https://doi.org/10.33904/ejfe.581652>.
40. Zhang X., Yang J., Thomas R. Mechanization outsourcing clusters and division of labor in Chinese agriculture // China Economic Review. – 2017. – Т. 43. – С. 184-195. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2017.01.012>.

### Сведения об авторах

✉ *Никулин Максим Алексеевич* – старший преподаватель кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-1105-869X>, e-mail: [nikulin.vrn@bk.ru](mailto:nikulin.vrn@bk.ru).

*Иванников Валерий Александрович* – доктор техн. наук, заведующий кафедрой производства, ремонта и эксплуатации машин, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6652-3934>, e-mail: [ivannikov\\_vrn@mail.ru](mailto:ivannikov_vrn@mail.ru).

*Самойленков Сергей Сергеевич* – аспирант, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7218-3198>, e-mail: [samojlenkov91@mail.ru](mailto:samojlenkov91@mail.ru)

*Асмоловский Михаил Корнеевич* – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, г. Минск, 13а, 220006, Республика Беларусь. E-mail: [asmolovsky@belstu.by](mailto:asmolovsky@belstu.by)

### Information about the authors

✉ *Maxim A. Nikulin* – senior lecturer of the Department of Production, Repair and Operation of Machines, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, <http://orcid.org/0009-0002-1105-869X>, e-mail: [nikulin.vrn@bk.ru](mailto:nikulin.vrn@bk.ru).

*Valery A. Ivannikov* – Dr. Sci. (Tech.), Docent, Head of the Department of Production, Repair and Operation of Machines, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6652-3934>, e-mail: [ivannikov\\_vrn@mail.ru](mailto:ivannikov_vrn@mail.ru).

*Sergei S. Samoylenkov* – post-graduate student, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7218-3198>, e-mail: [samojlenkov91@mail.ru](mailto:samojlenkov91@mail.ru)

*Mikhail K. Asmolovskiy* – PhD (Engineering), Associated Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University, 13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7723-8862>, e-mail: [asmolovsky@belstu.by](mailto:asmolovsky@belstu.by)

✉ – Для контактов | Corresponding author