

**Анализ производительности машин дискретного действия, применяемых для механизированной посадки семян с закрытой корневой системой**

**Кристина Николаевна Черник, Владимир Андреевич Лозовой**

ФГБОУ ВО СибГУ им. М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия

e-mail: [Kristi.Blueberry@yandex.ru](mailto:Kristi.Blueberry@yandex.ru)

**Аннотация.** На сегодняшний момент в мире существует большое количество лесопосадочных машин, устройств и агрегатов. Все они совершают один технологический процесс – подготавливают посадочное место для посадочного материала, подают в него сеянец и заделывают корни почвой. Технологию механизированной посадки можно разделить на два типа: дискретного действия и непрерывного действия. Одним из отличий данных технологий посадки является осуществление подготовки посадочного места: в виде непрерывной борозды (непрерывного действия), либо дискретно расположенных лунок (дискретного действия). Поскольку потребность в механизации работ по посадке деревьев в России в последнее время возросла, а связано это со стратегией развития лесного комплекса РФ, то внедрение прогрессивных технологий и методов для искусственного лесовосстановления, в особенности, посадкой семян с закрытой корневой системой, является актуальным направлением. К тому же в РФ доля ручного труда при посадке семян велика. Поэтому, цель данной статьи заключается в выявлении перспективного типа посадки для территории РФ семян с закрытой корневой системой для дальнейшего совершенствования путем анализа производительности машин дискретного действия. Объектами исследования являлись три распространенные в Европе лесопосадочные машины дискретного действия: Brascke (производство Швеция), M-Planter (производство Финляндия) и Risutec (производство Финляндия). В среднем производительность лесопосадочных машин дискретного действия составляет 300 семян в час. На производительность влияли следующие факторы: каменистость, пни, поверхностные препятствия, гумусовый слой, порубочные остатки, количество посадочных головок на посадочном устройстве, тип почвы и опыт оператора. Применение зарубежных машин дискретного действия в РФ неэкономично использовать по следующим причинам: низкая производительность; значительная стоимость; требуют высоких затрат при работе, обслуживании и хранении.

**Ключевые слова:** производительность; механизация; лесовосстановление; лесопосадочная машина; семена с закрытой корневой системой

**Для цитирования:** Черник К. Н., Лозовой В. А. Анализ производительности машин дискретного действия, применяемых для механизированной посадки семян с закрытой корневой системой // Аграрный научный журнал. 2024. № 1. С. 136–144. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i1pp136-144>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

**Analysis of the productivity of discrete action machines used for mechanized planting of seedlings**

**Kristina N. Chernik, Vladimir A. Lozovoy**

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

e-mail: [Kristi.Blueberry@yandex.ru](mailto:Kristi.Blueberry@yandex.ru)

**Abstract.** Today in the world there are a large number of forest planters, devices and units. All of them perform one technological process - they prepare a seat for planting material, feed a seedling into it and close up the roots with soil. Mechanized landing technology can be divided into two types: discrete action and continuous action. One of the differences between these planting technologies is the implementation of the preparation of the seat: in the form of a continuous furrow (continuous action), or discretely located holes (discrete action). Since the need for mechanization of tree planting in Russia has recently increased, and this is due to the development strategy of the forestry complex of the Russian Federation, the introduction of advanced technologies and methods for artificial reforestation, in particular, planting seedlings with a closed root system, is an actual direction. In addition, in the Russian Federation, the share of manual labor when planting seedlings is large. Therefore, the purpose of this article is to identify a promising type of planting for the territory of the Russian Federation of seedlings with



a closed root system for further improvement by analyzing the performance of discrete action machines. The objects of the study were three discrete forest planters common in Europe: Bracke (Sweden production), M-Planter (Finland production) and Risutec (Finland production). On average, the productivity of forest planters of discrete action is 300 seedlings per hour. The following factors influenced the performance: stoniness, stumps, surface obstacles, humus layer, cutting residues, number of planting heads on the planter, soil type and operator experience. The use of foreign machines of discrete action in the Russian Federation is irrational to use for the following reasons: low productivity; significant cost; require high costs during operation, maintenance and storage.

**Keywords:** productivity; mechanization; reforestation; planting machine; seedlings

**For citation:** Chernik K. N., Lozovoy V. A. Analysis of the productivity of discrete action machines used for mechanized planting of seedlings. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2024;(1):136–144. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i1pp136-144>.

**Введение.** Лесовосстановление включает в себя все виды деятельности, связанные с посадкой и созданием новых лесонасаждений на определенном участке. Лесовосстановление может быть основано на естественном или искусственном возобновлении. Существуют различные методы искусственного возобновления – это ручная и механизированная посадка.

Финские специалисты отмечают, что механизированная технология посадки может быть в десять раз более продуктивной, чем ручная. Когда участки хорошо подготовлены, лесопосадочные машины могут давать производительность до 5000 сеянцев в час, но механические посадочные машины ограничены уклоном земли не более 20 %. Если на земле есть поверхностные препятствия, такие как каменистость, пни, порубочные остатки, то механическая посадка может быть менее эффективной. Еще одним фактором, влияющим на эффективность и производительность лесопосадочной машины, является влажность почвы. Когда почва очень влажная, машины не могут работать безопасно и эффективно из-за возможного проскальзывания и затруднения движения. В свою очередь, когда почва очень сухая – приживаемость сеянцев может снизиться. Существует три вида посадочных машин, относительно посадочного материала: для сеянцев с открытой корневой системой, с закрытой корневой системой и универсальные лесопосадочные машины [9].

При создании лесных культур в Скандинавских странах используют посадочный материал с закрытой корневой системой (ЗКС) – это около 70 % площадей, создаваемых посадкой. Для посадки применяются комплексные машины, совмещающие подготовку почвы с посадкой, которые навешиваются на стрелу манипуляторной машины. Наиболее распространенными машинами являются шведская Bracke, финские M-Planter и Risutec [9].

Зарубежный опыт применения механизированной технологии посадки сеянцев с ЗКС довольно богат. На данный момент в таких странах, как Швеция, Финляндия, Норвегия и Канада восстановление лесов производится в основном сеянцами с ЗКС (рис. 1) [3]. Данная технология лесовосстановления особенно хорошо зарекомендовала себя во влажном климате, на болотистых почвах скандинавских стран [4, 6].

Сеянцы с ЗКС легче адаптируются в природных экосистемах и отличаются лучшей сохранностью и ростом [3, 7]. Кроме того, расширяются сроки ведения посадочных работ, так как сеянцы с ЗКС можно высаживать на протяжении всего периода вегетации [3, 4, 6, 20].

Основываясь на истории зарубежных лесохозяйственных машин, известно, что высокоавтоматизированные и постоянно совершенствующиеся посадочные машины, такие как шведская Silva Nova и финская Serlachius, были впервые разработаны в 1970-х гг. Поскольку это были довольно специализированные машины, предназначенные только для посадочных работ, они считались слишком дорогими по сравнению с ручным методом посадки,



**Рис. 1.** Сеянец ели обыкновенной, посаженный в микроповышение машиной дискретного действия [8]  
**Fig. 1.** Norway spruce seedling planted in a micro-raise using a discrete-action machine [8]



который осуществлялся с помощью посадочной трубы Pottiputki. К концу 1980-х гг. на смену этим посадочным машинам пришло первое посадочное устройство, навешиваемое на стрелу манипулятора, известное сегодня как Braske P11.a. В настоящее время посадочные машины, используемые в Финляндии, выполняют полный комплекс лесопосадочных работ от подготовки почвы до посадки сеянцев [10, 12–14, 17, 18, 21–23].

Посадка сеянцев с ЗКС машинами дискретного действия выглядит следующим образом: посадочный аппарат формирует холмик с перевёрнутым дерном, прижимает его и высаживает сеянец в середину холмика (рис. 2). Дискретное микроповышение относится к наиболее эффективному методу для большинства типов почв [3].

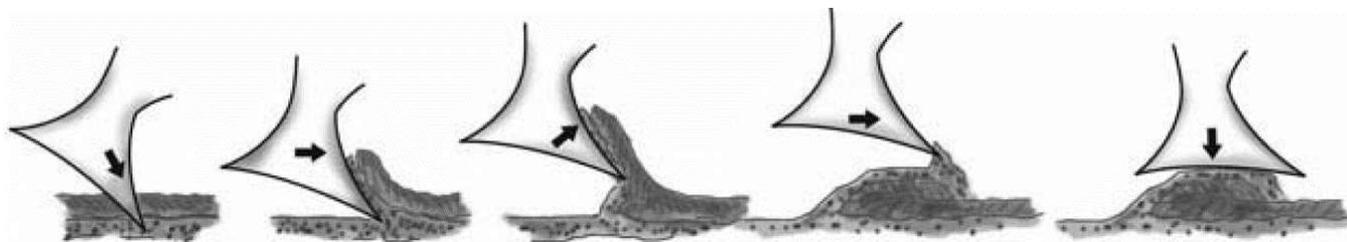


Рис. 2. Принципиальная схема создания микроповышения с помощью стационарной посадочной головки [15]  
Fig. 2. Schematic diagram of creating a micro-raise using a stationary landing head [15]

Технология дискретной посадки – точечная подготовка почвы, включающая в себя три различных метода: микроповышение или точечная насыпь, перевёрнутая насыпь и углубление (рис. 3). Точечная насыпь является наиболее широко применяемым методом в Финляндии, когда слои гумуса и минеральной почвы переворачиваются на ненарушенную почву.

### Три метода точечной подготовки почвы

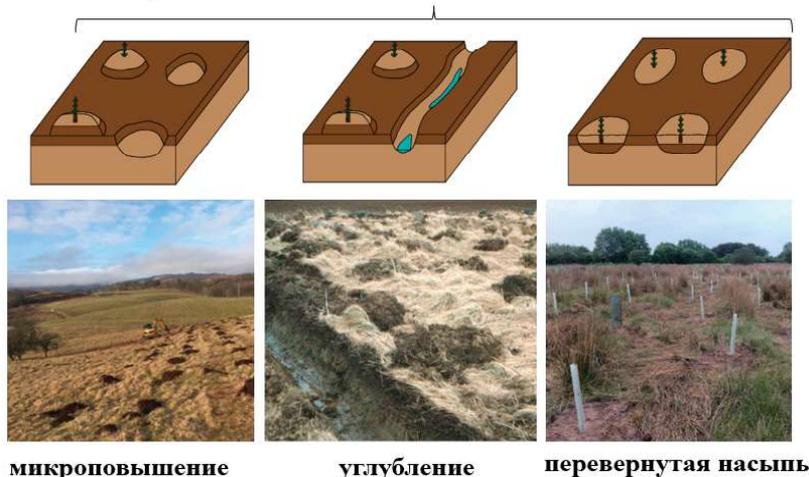


Рис. 3. Инфографика методов точечной подготовки почвы машинами дискретного действия  
Fig. 3. Infographics of methods for spot preparation of soil using discrete action machines

Результаты зарубежных научных исследований свидетельствуют о том, что в настоящее время в странах Северной Европы постепенно увеличивается количество механических посадочных машин дискретного действия. Механизированная посадка сеянцев применяется также и в других странах мира, таких как, Бразилия, Южная Африка, Австралия, Канада [18].

Преимущество автоматических лесопосадочных агрегатов, устанавливаемых на стреле манипулятора харвестера или экскаватора, заключается в том, что силами одного оператора можно выполнять полный комплекс лесовосстановительных работ, включая обработку почвы, точечную культивацию, посадку сеянца, полив и внесение удобрений. К тому же, очень важно, что данные посадочные машины смягчают послепосадочный стресс от пересадки сеянцев, поскольку в дальнейшем это приводит к более быстрому и здоровому росту. По данным финских исследователей, производительность машин дискретного действия колеблется от 143 до 475 сеянцев в час [19].



Основными узлами автоматических агрегатов машин дискретного действия являются: рабочий орган, осуществляющий подготовку посадочного места; лункообразующие элементы; стеллаж для хранения посадочного материала; трубопровод по которому перемещается сеянец в посадочное место. Достоинством данных машин является то, что оператор, анализируя рельеф, может выбирать наилучшее место посадки, оставляя при этом естественный подрост [11, 19].

Исходя из вышеизложенного следует, что лесопосадочные машины дискретного действия могут осуществлять посадку сеянцев только с закрытой корневой системой, они не предназначены для посадки сеянцев с открытыми корнями.

Цель исследования – выявление перспективного типа посадки для территории РФ сеянцев с закрытой корневой системой для дальнейшего совершенствования путем анализа производительности машин дискретного действия.

**Материалы и методы.** Для сравнения производительности было выбрано три посадочных устройства: Bracke P11.a, M-Planter и Risutec. Литература для проведения анализа данных машин была получена из статей онлайн-журналов, публикуемых на английском языке путем поиска в электронных базах данных. Теоретические исследования проведены методом статистического анализа. Обработка данных проводилась пакетом прикладных программ Excel.

**Bracke P11.a.** Посадочное устройство Bracke P11.a является одним из первых посадочных устройств на финском рынке и широко используется в Скандинавских странах в течение последних 20 лет. Первоначальная вместимость саженцев составляла 90 ед., те машины, которые используются сегодня, обычно содержат максимум 72 саженца (рис. 4). Стеллаж для хранения сеянцев, прикрепленный к базовой машине, вмещает 2080 ед. посадочного материала (13 пластиковых лотков по 160 сеянцев в каждом). Сеянцы вручную загружаются оператором по лоткам [16].

Бразильские исследователи изучали Bracke P11.a на базе экскаватора при посадке сеянцев эвкалипта в штате Сан-Паулу. Результаты показали, что производительность варьировалась от 324 до 355 сеянцев в час [9].

В Швеции специалисты изучали MagMat, прототип автоматической системы подачи, разработанный для посадочного устройства Bracke. MagMat вмещает 320 ед. посадочного материала в восьми лотках для выращивания. Устройство еще не находится в коммерческом производстве, но, как сообщают зарубежные исследователи, оценки и анализ рабочего времени показали, что MagMat может обеспечить существенную экономию средств.

**Risutec и Risutec APC.** В целях повышения производительности механизированной посадки Risutec Ltd. и UPM Forest разработали автоматическую кассету для подачи сеянцев Risutec APC, которая вмещает более 1200 сеянцев и прикреплена к одноблочному посадочному устройству (рис. 5). Финские специалисты отмечают, что Risutec APC еще предстоит оценить, но можно предположить, что производительность аналогична производительности Bracke P11.a с меньшим временем, затрачиваемым на перезарядку кассеты. Сеянцы загружаются по лоткам, избавляя оператора от необходимости вручную загружать их по одному. При загрузке стеллажа для хранения сеянцев, посадочный материал в каждой ячейке должен быть вручную отключен от лотков для выращивания с помощью толкателей, чтобы ослабить корневую систему. Посадочное устройство вмещает до 16 лотков для выращивания на двух уровнях, что соответствует в общей сложности 1296 сеянцам [16].

Загрузчик, расположенный в середине устройства Risutec APC, набирает одновременно из лотков (с левой и правой стороны по очереди) один ряд, состоящий из девяти единиц посадочного



Рис. 4. Загрузка оператором сеянцев в посадочный аппарат Bracke P11.a  
Fig. 4. Loading of seedlings into the Bracke P11.a planting apparatus by the operator





материала. После отбора девять сеянцев загружаются в питатель, в то время как вся машина остается неподвижной. Сеянцы высаживаются по одному, и после посадки седьмого сеянца загрузчик начинает набирать еще девять сеянцев из лотков. После посадки девятого сеянца загрузчик возвращается для пополнения запасов посадочного материала, а пока в это время машина формирует насыпи. Цикл посадки повторяется до тех пор, пока все лотки не будут опорожнены или работа не будет завершена [16].

Лесная корпорация Нового Южного Уэльса в Австралии провела испытания финской машины Risutec (не путать с Risutec APC) для более быстрой повторной посадки на площадях, пострадавших после пожара (рис. 6). Точечная культивация избавила от необходимости подготовки участка. Машина Risutec выполняла несколько задач за один проход, включая культивацию, посадку и возможное внесение воды и удобрений. Производительность составила 143–475 саженцев в час [9].



Рис. 5. Посадочное устройство Risutec APC  
Fig. 5. Risutec APC planting device



Рис. 6. Посадочное устройство Risutec  
Fig. 6. Risutec planting device

**M-Planter.** Новейшим посадочным устройством на рынке является финский M-Planter (рис. 7). M-Planter имеет две посадочные головки, поэтому он подготавливает две точечные насыпи одновременно. Как только насыпи сформированы, сеянцы автоматически подаются из лотков в посадочные лунки и происходит уплотнение почвы вокруг сеянцев. Два лотка M-Planter вмещают 242 ед. посадочного материала. Сеянцы хранятся в загружаемых вручную кассетах в верхней части каждого посадочного устройства и пополняются по мере необходимости со стеллажа для хранения сеянцев в задней части экскаватора [22].

Финские ученые проводили исследование производительности M-Planter, в результате производительность варьировалась от 143 до 387 сеянцев в час. Исследование проводилось за два сезона посадки и с разным количеством операторов. Такие факторы, как каменистость, пни, поверхностные препятствия и гумусовый слой, оказали значительное влияние на производительность. Производительность уменьшалась, когда количество камней и пней было больше, а слой гумуса был толще [9].



Рис. 7. Лесопосадочное устройство M-Planter с двумя посадочными головками  
Fig. 7. Forest planter M-Planter with two planting heads

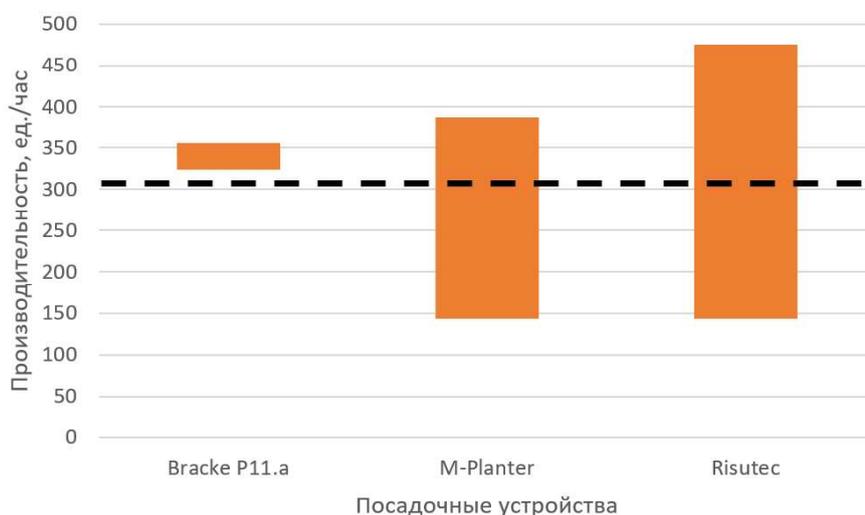
**Результаты исследований.** На основании типа посадочного устройства и их производительности, была составлена таблица, некоторые данные в которой заимствованы из финских исследований по производительности механизированной посадки (табл. 1), а также построен график производительности посадочных устройств дискретного действия, по которому видно, что средняя производительность лесопосадочных машин составляет 300 семян в час (рис. 8).

**Таблица 1. Сравнительная характеристика лесопосадочных машин дискретного действия**

**Table 1. Comparative characteristics of forest planting machines of discrete action**

Посадочное устройство	Кол-во посадочных головок	Производительность <sup>а</sup> , ед./ч	Система загрузки семян	Тип базовой машины	Посадочный материал с ЗКС	Факторы, влияющие на производительность <sup>б</sup>
Bracke P11.a	1	324–355	Ручная	Экскаватор харвестер	Сеянцы ели европейской, сеянцы сосны обыкновенной	Каменистость, пни, поверхностные препятствия, толщина гумусового слоя, количество посадочных головок на посадочном устройстве, порубочные остатки, тип почв
M-Planter	2	143–387	Ручная			
Risutec	1	143–475	Автоматическая (для Risutec APC)			

*Примечание:* данные с индексом а, б заимствованы из исследования «A short review on studies on work productivity of mechanical tree planting» [9].



**Рис. 8. График производительности посадочных устройств дискретного действия**

**Fig. 8. Discrete landing gear performance graph**

Изучение производственной практики позволяет утверждать, что различия в базовых машинах могут привести к некоторым различиям в результатах производительности, поскольку, длина стрелы может вызвать различия в необходимости перемещения базовой машины. Финскими исследователями сообщалось, что размер базовой машины не оказывает существенного влияния на производительность посадочных устройств на базе экскаватора. Также особого влияния на производительность не оказывает количество посадочных головок на посадочном аппарате. Сбор порубочных остатков и корчевание пней повышает производительность посадочных работ. Для обеспечения высокой производительности время простоя посадочной машины должно быть сведено к минимуму.

На эффективность современных машин для посадки семян с ЗКС и их производительность сильно влияют условия эксплуатации, технические характеристики машины и оператор. Например, опытные операторы достигают значительно более высокой производительности, чем новички. Будущие решения по повышению производительности лесопосадочных машин должны предусматривать снижение умственной и физической нагрузки на операторов механизированной посадки.



За показатель качества работ по технологиям механизированной и ручной посадки был принят процент приживаемости сеянцев с ЗКС. Сравнительная характеристика типов посадки представлена в табл. 2 [1–3,5].

Таблица 2. Сравнительная характеристика типов посадки

Table 2. Comparative characteristics of planting types

Тип посадки	Средняя производительность, ед/час	Приживаемость, %	Стоимость оборудования, руб.*
Дискретного действия	300	65	~ 100 000 000
Ручная (меч Колесова/посадочная труба Pottiputki)	230	80-90	~ 2000/9000
Непрерывного действия	500-1200	82	~ 500 000

Примечание: \* – стоимость оборудования предоставлена по запросу официальными производителями.

Исходя из данных табл. 1, 2 необходимо подчеркнуть, что для машин дискретного действия в качестве базовых машин используются импортные харвестеры и экскаваторы, стоимость которых достигает 100 млн. руб. К тому же запчасти для данной техники в современных реалиях санкционного давления приобрести достаточно тяжело, а если это удастся, то стоимость таких запчастей может превышать рыночную в несколько раз.

**Закключение.** Анализ, представленный в работе, позволил сформулировать некоторые общие и частные выводы. Во-первых, чтобы технология механизированной посадки сеянцев с ЗКС была осуществимой, посадочные машины должны иметь умеренно высокую производительность, низкие эксплуатационные расходы, хорошую техническую доступность и адекватное использование годовой мощности. Во-вторых, чтобы получить всеобщее признание, механизированная посадка должна быть как минимум такой же рентабельной, как и ручные методы, и должна соответствовать как минимум тому же стандарту качества. В-третьих, на производительность механизированных лесных работ большое влияние оказывают когнитивные, так и физические навыки, а также мотивация оператора машины. В-четвертых, важно, чтобы питомники предоставляли качественные сеянцы подходящего возраста и размера, чтобы гарантировать успех механизированной посадки.

Несмотря на все достоинства, машины дискретного действия имеют недостатки, которые обуславливаются дефектом посадки, например, недостаточное уплотнение и слишком малая глубина заделки посадочного материала. По мнению финских ученых, причиной такого посадочного дефекта является дождь, так как мокрый ком почвы легко разрушается при вращении кассеты для выращивания сеянцев, и после этого сеянец не попадает должным образом в посадочную трубу. Уплотнение почвы, после размещения сеянца на микроповышении, недостаточное на мягких торфяниках и на мелкозернистых почвах, где посадочная труба легко забивается землей.

Перспективным типом посадки для территорий РФ является посадка машинами непрерывного действия, исходя из этого обоснование параметров данных машин является актуальной задачей.

Подводя итоги вышесказанному, считаем необходимым подчеркнуть, что применение зарубежных машин дискретного действия в РФ нерационально использовать по следующим причинам: низкая производительность; значительная стоимость; требуют высоких затрат при работе, обслуживании и хранении.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вербицкая Н. О., Чекотин Р. С., Корж М. А. Влияние харвестерных лесозаготовок на повреждение почвенного покрова // Леса России и хозяйство в них. 2018. №2 (65). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-harvesternyh-lesozagotovok-na-povrezhdenie-pochvennogo-pokrova> (дата обращения: 06.07.2023).
2. Дебков Н. М. Опыт создания лесных культур посадочным материалом с закрытой корневой системой // Изв. вузов. лесн. журн. 2021. № 5. С. 192–200. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-5-192-200.
3. Драпалюк М. В., Стасюк В. В., Зеликов В. А. Новые конструкции универсальных лесопосадочных машин для посадки сеянцев с открытой и закрытой корневой системой // Лесотехнический журнал.



2021. Т. 11. № 4 (44). С. 112–123. Библиогр.: с. 119–123 (26 назв.). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.4/10>.

4. Корчагов С. А., Грибов С. Е., Обрядина О. Ю. Экономическая оценка создания лесных культур различным видом посадочного материала. Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2017. № 5 (359). С. 92–102. DOI 10.17238/issn0536-1036.2017.5.92.

5. Петухов И. Н. Лесоводственная эффективность создания лесных культур сеянцами с закрытой корневой системой в условиях костромской области // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2011. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/lesovodstvennaya-effektivnost-sozdaniya-lesnyh-kultur-seyantsami-s-zakrytoy-kornevoy-sistemoy-v-usloviyah-kostromskoy-oblasti> (дата обращения: 06.07.2023).

6. Проказин Н. Е., Баргенов И. М., Родин С. А. Динамика приживаемости и роста культур сосны обыкновенной на горельнике в лесостепной зоне. Современная лесная наука: проблемы и перспективы: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 20–22 декабря 2017 года. Воронеж, 2017. С. 335–338.

7. Шихов А. Н., Зарипов А. С. Многолетние тренды потерь лесов от пожаров и ветровалов на северо-востоке Европейской России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: сб. тезисов докладов шестнадцатой Всерос. открытой конф. М., 2018. С. 453.

8. Back Tomas Ersson. Concepts for Mechanized Tree Planting in Southern Sweden / Back Tomas Ersson // Faculty of Forest Sciences. Doctoral Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Umeå. 2014. P. 78.

9. Ghaffariyan M. R. A short review on studies on work productivity of mechanical tree planting // Silva Balcanica. 2021;22(2):25–32. <https://doi.org/10.3897/silvabalcanica.22.e64233>.

10. Ersson B. T. Possible concepts for mechanized tree planting in southern Sweden – an introductory essay on forest technology // Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning, Arbetsrapport. 2010; 269. 51 p.

11. Errson B. T. Concepts for mechanized tree planting in Southern Sweden. PhD Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. 2014.78 p.

12. Hallonborg U., von Hofsten H., Mattsson S., Hagberg J., Thorsén Å., Nyström C., Arvidsson H. Mechanized planting with the Silva Nova tree planter – recent state and feasibility compared with manual planting. Skogforsk, Redogörelse. 1995;(6):95.

13. Hallonborg U., von Hofsten H., Mattsson S., Thorsén Å. Forestry planting machines – a description of the methods and the machines. Skogforsk, Redogörelse 1997;7. 24 p.

14. Kaila S. The G. A. Serlachius planting machine. Test report to the machine. Metsäteho Review 9/1984. 6 p.

15. Laine T., Rantala J. Mechanized tree planting with an excavator-mounted M-Planter planting device. International Journal of Forest Engineering, 2013;24(3):183–193.

16. Laine T., Saarinen V.-M. Comparative study of the Risutec Automatic Plant Container (APC) and Bracke planting devices. Silva Fennica 2014vol. 48 no. 3 article id 1161. 16 p.

17. Laine T., Kärhä K., Hynönen A. A survey of the Finnish mechanized tree-planting industry in 2013 and its success factors. Silva Fennica 2016vol. 50 no. 2 article id 1323. 14 p. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1323>.

18. Laine T. Mechanized tree planting in Finland and improving its productivity. PhD thesis, University of Helsinki, 2017.48 pp.

19. Lideskog H. A methodology for automation of mechanized forest regeneration. Phd Thesis. Lulee University of Technology, 2018.73 pp.

20. Ramantswana M., Guerra S.P.S., Ersson B.T. Advances in the Mechanization of Regenerating Plantation Forests: a Review. CurrForestryRep 2020;(6):143–158. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40725-020-00114-7>.

21. Rantala J., Harstela P., Saarinen V.-M., Tervo L. A techno-economic evaluation of Bracke and M-planter tree planting devices. Silva Fennica 2009;43(4):659–667. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.186>.

22. Rantala J., Laine T. (2010). Productivity of the M-Planter tree-planting device in practice. Silva Fennica. 2010;44(5):859–869. Available at: <http://dx.doi.org/10.14214/sf.125>.

23. von Hofsten H. The Öje-Planter machine - good performance at a competitive cost. Skogforsk, Resultat 3/1993. 4 p.

## REFERENCES

1. Verbitskaya N. O., Chekotin R. S., Korzh M. A. The influence of harvester logging on soil damage. *Forests of Russia and Management in them*. 2018;2(65). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-harvesternyh-lesozagotovok-na-povrezhdenie-pochvennogo-pokrova> (date of access: 07/06/2023). (In Russ.).





2. Debkov N. M. Experience in creating forest crops using planting material with a closed root system. *Izv. of Universities Forest Magazines*. 2021;(5):192–200. (In Russ.). DOI: 10.37482/0536-1036-2021-5-192-200.
3. Drapalyuk M. V., Stasyuk V. V., Zelikov V. A. New designs of universal logging-planting machines for planting seedlings with an open and closed root system. *Forestry Journal*. 2021; 11;4(44):112–123. Bibliography: p. 119–123 (26 titles). (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.4/10>.
4. Korchagov S. A., Gribov S. E., Obryadina O. Yu. Economic assessment of the creation of forest crops with different types of planting material. *News of Higher Educational Institutions. Forest Magazine*. 2017;5(359): 92–102. (In Russ.). DOI 10.17238/issn0536-1036.2017.5.92.
5. Petukhov I. N. Silvicultural efficiency of creating forest crops by seedlings with a closed root system in the conditions of the Kostroma region. *Bulletin of the Moscow State University of Forestry - Forest Bulletin*. 2011;(3). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/lesovodstvennaya-effektivnost-sozdaniya-lesnyh-kultur-seyantsami-s-zakrytoy-kornevoy-sistemoy-v-usloviyah-kostromskoy-oblasti> (access date: 07/06/2023 ). (In Russ.).
6. Prokazin N. E., Bartenev I. M., Rodin S. A. Dynamics of survival and growth of Scots pine crops on a burnt forest in the forest-steppe zone. *Modern Forest Science: Problems and Prospects*. Voronezh, 2017:335-338. (In Russ.).
7. Shikhov A. N., Zaripov A. S. Long-term trends in forest loss from fires and windfalls in the northeast of European Russia. *Modern problems of Remote Sensing of the Earth from Space*. Moscow, 2018:453. (In Russ.).
8. Back Tomas Ersson. Concepts for Mechanized Tree Planting in Southern Sweden / Back Tomas Ersson. Umeå. 2014:78.
9. Ghaffariyan M. R. A short review on studies on work productivity of mechanical tree planting. *Silva Balcanica*. 2021;22(2):25–32. Available at: <https://doi.org/10.3897/silvabalcanica.22.e64233>.
10. Ersson B. T. Possible concepts for mechanized tree planting in southern Sweden – an introductory essay on forest technology. *Arbetsrapport*. 2010;(269). 51 p.
11. Ersson B. T. Concepts for mechanized tree planting in Southern Sweden. PhD Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. 2014. 78 p.
12. Hallonborg U., von Hofsten H., Mattsson S., Hagberg J., Thorsén Å., Nyström C., Arvidsson H. Mechanized planting with the Silva Nova tree planter – recent state and feasibility compared with manual planting. *Skogforsk, Redogörelse*. 1995;(6):95.
13. Hallonborg U., von Hofsten H., Mattsson S., Thorsén Å. Forestry planting machines – a description of the methods and the machines. *Skogforsk, Redogörelse* 1997;(7). 24 p.m.
14. Kaila S. The G. A. Serlachius planting machine. Test report to the machine. *Metsäteho Review* 9/1984. 6 p.m.
15. Laine T., Rantala J. Mechanized tree planting with an excavator-mounted M-Planter planting device. *International Journal of Forest Engineering*. 2013;24(3):183–193.
16. Laine T., Saarinen V.-M. Comparative study of the Risutec Automatic Plant Container (APC) and Bracke planting devices. *Silva Fennica*. 2014;(48):3. article id 1161. 16 p.
17. Laine T., Kärhä K., Hynönen A. A survey of the Finnish mechanized tree-planting industry in 2013 and its success factors. *Silva Fennica*. 2016;(50);2. article id 1323. 14 p. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1323>.
18. Laine T. Mechanized tree planting in Finland and improving its productivity. PhD thesis, University of Helsinki, 2017. 48 p.
19. Lideskog H. A methodology for automation of mechanized forest regeneration. PhD Thesis. Lulee University of Technology, 2018. 73 p.
20. Ramantswana M., Guerra S.P.S., Ersson B. T. Advances in the Mechanization of Regenerating Plantation Forests: a Review. *CurrForestryRep*. 2020;(6):143-158. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40725-020-00114-7>.
21. Rantala J., Harstela P., Saarinen V.-M., Tervo L. A techno-economic evaluation of Bracke and M-planter tree planting devices. *Silva Fennica*. 2009;43(4):659–667. Available at: <http://dx.doi.org/10.14214/sf.186>.
22. Rantala J., Laine T. Productivity of the M-Planter tree-planting device in practice. *Silva Fennica*. 2010;44(5):859–869. Available at: <http://dx.doi.org/10.14214/sf.125>.
23. von Hofsten H. The Öje-Planter machine - good performance at a competitive cost. *Skogforsk, Resultat* 3/1993. 4 p.m.

Статья поступила в редакцию 6.06.2023; одобрена после рецензирования 30.07.2023; принята к публикации 10.08.2023.

The article was submitted 6.06.2023; approved after reviewing 30.07.2023; accepted for publication 10.08.2023.