

УДК 630*3

DOI: 10.37482/0536-1036-2021-1-138-149

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МУЛЬТИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ ВЕДЕНИЯ ИНТЕНСИВНОГО ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Э.Ф. Герц, д-р техн. наук, проф.; ResearcherID: [O-6331-2018](https://orcid.org/0000-0003-0434-7282)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0434-7282>

А.В. Мехренцев, канд. техн. наук, доц.; ResearcherID: [AAE-5378-2020](https://orcid.org/0000-0002-2186-0152)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2186-0152>

В.В. Побединский, д-р техн. наук, проф.; ResearcherID: [G-3245-2018](https://orcid.org/0000-0001-6318-3447)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6318-3447>

Н.Н. Теринов, д-р с.-х. наук; ResearcherID: [N-2884-2019](https://orcid.org/0000-0001-5936-208X)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5936-208X>

А.Ф. Уразова, канд. с.-х. наук; ResearcherID: [AAD-2602-2020](https://orcid.org/0000-0003-2771-2334)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2771-2334>

Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия, 620100; e-mail: gerz.e@mail.ru, mehrentsev@yandex.ru, n_n_terinov@mail.ru, ura-alina@mail.ru

Аннотация. Рассмотрен метод интенсификации лесного хозяйства способом комплексной механизации лесохозяйственных и лесозаготовительных работ. В качестве технической основы предлагается использовать машины манипуляторного типа: харвестеры, форвардеры и экскаваторы. Повышение эффективности машин манипуляторного типа может быть достигнуто за счет комплекта дополнительного сменного оборудования. Это позволит создавать культуры посадкой саженцев с открытой и закрытой корневой системой, выполнять обработку почвы, посев семян, прореживание молодняков и проводить борьбу с вредителями, мульчирование волоков после осуществления основных работ на лесосеке, а также земляные работы при устройстве лесовозных дорог. Использование дополнительного сменного оборудования превращает машину манипуляторного типа в мультифункциональную. Доказано, что приобретение дополнительного оборудования для лесохозяйственных и лесозаготовительных работ, даже если их объем небольшой, экономически оправдано. Основу интенсивного лесного хозяйства составляют в первую очередь мероприятия по рубкам спелых и перестойных насаждений, уходу за лесом и лесовосстановлению. Предложен ряд технологических схем с использованием мультифункционального агрегата при выполнении рубок как в режиме харвестера, так и в режиме валочно-пакетирующей машины. В последнем варианте раскряжевка хлыстов и обрезка ветвей обеспечивают концентрацию всех порубочных остатков на верхнем складе и создают благоприятные условия для их переработки в сырье для производства биотоплива и уменьшения захламленности лесосек. Рассмотрен вариант использования малогабаритной техники для подтрелевки деревьев в зону действия мультифункциональной машины с установленной харвестерной головкой при выполнении селективных (выборочных) рубок по широкопосечной технологии лесосечных работ. Предлагается предварительная подготовка лесосеки малогабаритной техникой (уборка тонкомерных, сухостойных и валежных деревьев), что существенно снизит повреждение компонентов насаждения и обеспечит большую степень сохранности природной среды в процессе основной работы мультифункциональной машины. Ее использование в наиболее благоприятные сроки за счет выполнения работ по квартально-блочной схеме, уменьшение числа простоев по природно-производственным условиям и числа перебазировок и, соответственно, увеличение количества машино-часов

позволят минимизировать общие затраты на проведение комплекса лесохозяйственных и лесозаготовительных работ.

Для цитирования: Герц Э.Ф., Мехренцев А.В., Побединский В.В., Теринов Н.Н., Уразова А.Ф. Повышение эффективности multifunctionальных машин для ведения интенсивного лесного хозяйства // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 1. С. 138–149. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-1-138-149

Финансирование: Статья подготовлена по результатам работы над темой «Экологические аспекты рационального природопользования» (номер госрегистрации FEUG-2020-0013).

Ключевые слова: комплексная механизация, multifunctionальные машины, сменное оборудование, кварталльно-блочная организация работ.

Введение

Интенсивная модель ведения лесного хозяйства в ближайшей перспективе должна стать приоритетной на территории всех основных лесных регионов Российской Федерации, что закреплено в принятой Концепции интенсивного использования и воспроизводства лесов [7]. В основе Концепции лежит опыт исследовательских работ, выполненных в России за последние 15 лет, а также исторический опыт применения интенсивной модели в разных странах. Основу интенсивного лесного хозяйства составляют в первую очередь эффективные мероприятия по лесовосстановлению и лесосечные работы [3]. Качество выполненных работ и снижение затрат являются ключевыми показателями для получения прибыли. Постоянное увеличение потребности в кадрах для ведения лесного хозяйства, а также рост стоимости ручного труда заставляют минимизировать затраты и стимулируют интерес к комплексной механизации лесохозяйственных работ [16, 19]. Например, обработка почвы, посев или посадка лесных культур могут проводиться одной и той же машиной одновременно, что позволяет завершить весь комплекс работ на объекте лесовосстановления за один проход. За рубежом активно исследуется механизированная посадка лесных культур с применением разных видов посадочных агрегатов [14]. В качестве базовой машины используется экскаватор или форвардер [8, 15, 17]. К сожалению, в российской лесохозяйственной практике механизация лесного хозяйства ограничивается применением мотокусторезов, бензомоторных пил, а также общепромышленных гусеничных и колесных тракторов с навесными орудиями для обработки лесной почвы. Ряд исследователей считает, что использование гусеничного шасси как единой базы для выполнения широкого спектра работ на лесосеке актуально с учетом трендов развития современного лесного машиностроения [4].

В мировой практике для лесопосадочных работ в качестве базовой машины чаще всего применяется экскаватор. Стрела базовой машины должна быть достаточно прочной для создания микроповышений, а рабочий просвет и ширина колеи машины – соответствовать необходимым требованиям для производства работ. Лесопосадочное устройство устанавливается на рукояти манипулятора базовой машины. С его помощью выполняются как обработка почвы, так и посадка растений. В настоящее время на рынке представлены лесопосадочные устройства следующих производителей: M-Planter (M-Planter Oy, Финляндия) и Risutec (Risutec Oy, Финляндия), а также Bracke (Bracke Forest Ab,

Швеция) [20]. Компания M-Planter выпускает лесопосадочные устройства не только с одной, но и с двумя посадочными головками [18]. Саженцы перевозятся в стеллаже, установленном на раме базовой машины, в объеме, необходимом для обеспечения работы в течение одной смены или одного рабочего дня.

С точки зрения комплексной экономичности эксплуатации лесной техники общее количество рабочих часов является столь важным фактором, что приобретение дополнительного оборудования для лесохозяйственных работ становится для арендатора рентабельным вложением денежных средств даже при выполнении небольшого объема дополнительных работ. На рис. 1 приведены данные, отражающие изменение объема затрат на 1 ч эксплуатации базовой ма-

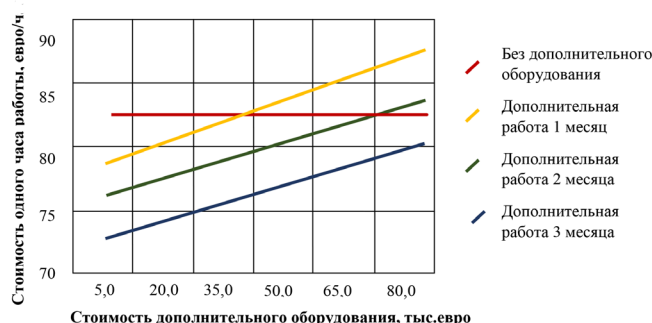


Рис. 1. Затраты на эксплуатацию харвестера при использовании дополнительного оборудования различной стоимости
Fig. 1. Harvester operating expenses when using optional equipment of various cost

шины стоимостью 10,5 млн р. при использовании дополнительного оборудования различной стоимости в случае, когда с помощью инвестиций на приобретение последнего можно увеличить рабочее время на 1–3 мес. в году по сравнению с исходной ситуацией, при которой работы ведутся лишь 8 мес.

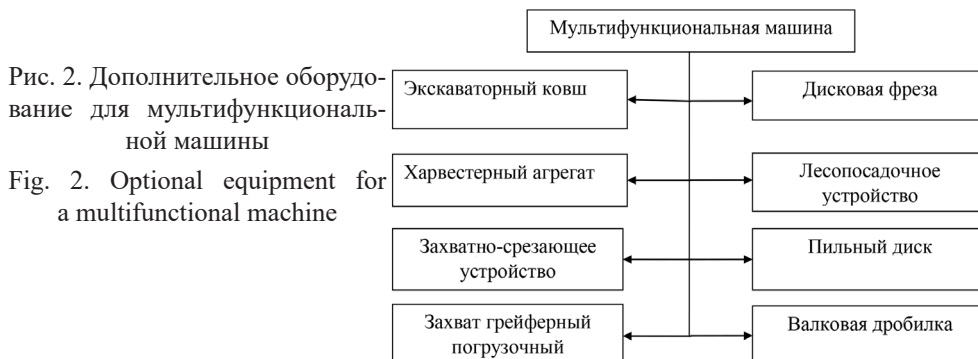
Объекты и методы исследования

Многофункциональность универсальной манипуляторной машины многоцелевого назначения на базе гусеничного экскаваторного шасси ЭО-41211А, разработанной и изготовленной АО «Уральское конструкторское бюро транспортного машиностроения» (г. Нижний Тагил), предполагает возможность ее применения для выполнения необходимых при ведении интенсивного лесного хозяйства операций. Для этого машину планируется оснастить дополнительными функциональными модулями, монтируемыми на рукояти манипулятора.

Харвестерный агрегат Х600 разработан для установки на экскаватор и имеет повышенные прочность и жесткость, что позволяет компенсировать ряд погрешностей работы операторов и извлекать из лесного массива крупные и поваленные деревья без опасности повреждения вилки механизма подъема харвестерной головки. Технические характеристики харвестерной головки:

оптимальная толщина ствола в месте спила.....	400...600 мм
масса головки.....	1980 кг
максимальное открытие передних ножей головки.....	750 мм
максимальное открытие протаскивающих вальцов.....	850 мм
максимальное открытие задних ножей головки.....	950 мм
длина пильной шины.....	820...880 мм
скорость протяжки ствола дерева.....	5 м/с
максимальное усилие протяжки.....	37 кН

Дополнительное сменное технологическое оборудование для мультифункциональной машины представлено на рис. 2.



Оно позволяет производить практически весь комплекс лесохозяйственных и лесозаготовительных работ, в том числе:

харвестерный агрегат или захватно-срезающее устройство (ЗСУ) обеспечивают работу универсальной машины в качестве харвестера или валочно-пакетирующей машины;

дисковая фреза с высевальным аппаратом осуществляет обработку почвы, совмещая это с посевом семян;

лесопосадочное устройство револьверного типа используется для создания культур путем посадки саженцев с закрытой корневой системой (ЗКС);

пильный диск с форсунками предназначен для осветления и прореживания молодняков и обработки древостоя препаратами от насекомых-вредителей;

экскаваторный ковш используется при прокладке усов и подготовке погрузочных пунктов, локального водоотвода и других земляных работ;

валковая дробилка предназначена для измельчения порубочных остатков;

захват грейферный обеспечивает погрузку заготовленных круглых лесоматериалов.

Проект освоения лесов содержит комплекс лесохозяйственных мероприятий, которые должны быть осуществлены в пределах одного квартала или группы смежных кварталов. При составлении технологической карты разработки лесосеки максимально учитываются все существующие лесные дороги, лесовозные усы, верхние склады (погрузочные площадки): действует принцип минимума затрат на строительство дорог. Учитывается необходимость заготовки ликвидной древесины и затрат на восстановление и уход за лесом. Выбор маршрута прокладки лесовозных усов, их протяженность, а также численность и местоположения погрузочных пунктов определяются из условия

$$C^{lv}l_v + \sum_1^n C_i^{nn} + \sum_1^n \sum_1^m \sum_1^p C_{ijk}^{cc} q_j^{cc} + C_b + C_y = C_{01} \Rightarrow \min,$$

где $C^{lv}l_v$ – произведение стоимости строительства 1 км лесовозного уса (лесных дорог) на их протяженность в квартале; C_i^{nn} – себестоимость строительства i -го погрузочного пункта; n – количество погрузочных пунктов; m – число выделов, на которых планируется проведение рубок; p – число систем машин, используемых для выполнения работ; C_{ijk}^{cc} – себестоимость заготовки 1 м³ ликвидной древесины k -й системой машин на j -м выделе и ее трелевки к i -му

погрузочному пункту; q_j^{cc} – объем ликвидной древесины в j -м выделе; C_b – затраты на выполнение работ по лесовосстановлению; C_y – затраты на выполнение мероприятий по уходу за лесом; C_{01} – общая стоимость выполнения работ в квартале (блоке кварталов).

Планирование баланса рабочего времени мультифункциональной машины определяется объемом запланированных в квартале (блоке кварталов) лесохозяйственных мероприятий:

$$T = t^{r1} + t^{r2} + t^{r3} + t^d + t^{ol} + t^{p1} + t^{p2} + t^{p3},$$

где t^{r1} – затраты времени на выполнение рубок в спелых и перестойных древостоях; t^{r2} – затраты времени на выполнение рубок ухода в средневозрастных и приспевающих древостоях; t^{r3} – затраты времени на выполнение рубок ухода в молодняках; t^d – затраты времени харвестера (базовой машины) на выполнение работ по формированию сети лесных дорог (лесовозных усов); t^{ol} – затраты времени на очистку мест рубок (мульчирование порубочных отходов); t^{p1} – затраты времени на посев семян; t^{p2} – затраты времени на посадку культур с открытой корневой системой (ОКС); t^{p3} – затраты времени на посадку культур с ЗКС.

Результаты исследования и их обсуждение

Эффективной формой организации интенсивно проводимых лесохозяйственных работ в комплексе с лесопромышленным производством, реализуемым арендаторами, может быть поквартальный или поквартально-блочный метод [10]. Он предполагает ежегодное планирование работ в рамках отдельных лесных кварталов или группы кварталов. Это позволяет концентрировать трудовые и материальные ресурсы и тем самым увеличивать коэффициент использования оборудования за счет снижения числа перебазировок.

Наличие мультифункциональной машины с комплектом съемного оборудования дает возможность существенно повысить эффективность использования дорогостоящей техники в течение календарного года. Вместе с тем следует обратить внимание на восстановление прежних машино-тракторных станций (МТС), которые могут быть созданы на базе государственных лесохозяйственных предприятий. Эти предприятия, продавая услуги по прокату лесохозяйственного оборудования, поддерживали бы индивидуальных предпринимателей, работающих в данной сфере. Продажа услуг МТС, в том числе и сервисных, в настоящее время может стать выгодным бизнесом. При интенсивной модели ведения лесного хозяйства лесопользователю потребуется целый комплекс техники и оборудования для выполнения работ. Предоставление так называемой услуги «tracksharing», или прокат лесохозяйственной техники, может быть интересно и поставщикам оборудования. Здесь же реально воспользоваться возможностями подрядчиков-специалистов и организаций по выполнению тех или иных работ в лесу [6].

Система машин включает мультифункциональную машину с харвестерной головкой или ЗСУ и трелевочный трактор. Харвестерный агрегат обеспечивает валку, раскряжевку хлыстов и обрезку ветвей (рис. 3, 4).

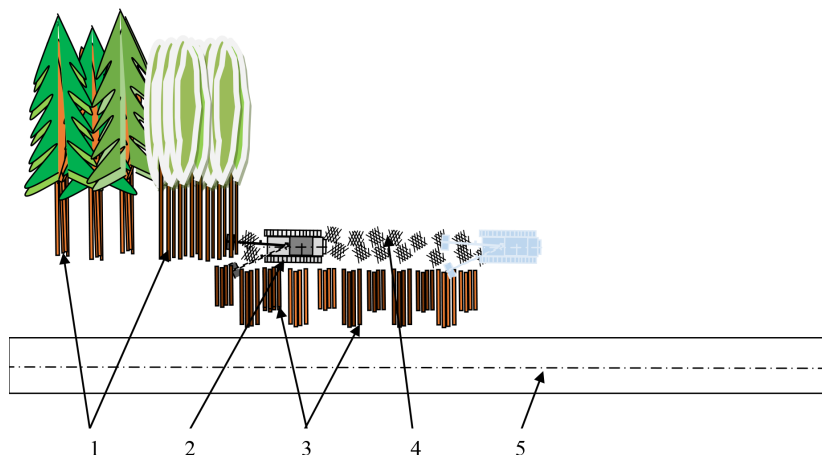


Рис. 3. Технологическая схема заготовки древесины с использованием мультифункциональной машины с харвестерным агрегатом: 1 – пакеты деревьев; 2 – харвестер; 3 – пакеты сортиментов; 4 – порубочные остатки; 5 – лесовозный ус

Fig. 3. Process flow diagram of timber harvesting using a multifunctional machine with a harvester head: 1 – packages of trees; 2 – harvester; 3 – packages of logs; 4 – logging residues; 5 – haul road spur



Рис. 4. Раскряжевка хлыстов мультифункциональной машиной на верхнем складе

Fig. 4. Tree length bucking with a multifunctional machine in the upper depot

Мультифункциональная машина, оборудованная ЗСУ, работает в режиме валочно-пакетирующего агрегата. В спелых и перестойных древостоях сплошные рубки ведутся по ленточной технологии, позволяющей реализовывать максимальную производительность лесозаготовительных машин с ЗСУ. В процессе работы выполняется предварительная попородная подсортировка деревьев. Трелевка заготовленной древесины на верхний склад в виде деревьев с кронами осуществляется чокерным или бесчокерным трелевочным трактором.

В предлагаемой технологии предварительная попородная подсортировка деревьев позволит произвести сортировку с использованием погрузочно-штабелевочного грейфера на большее число сортотроп. Концентрация всех порубочных остатков на верхнем складе создаст благоприятные условия для производства биотоплива, уменьшит захламленность лесосек.

При валке деревьев бензомоторными пилами и хлыстовой трелевке древесины трелевочными тракторами мультифункциональная машина может использоваться на верхнем складе в качестве процессора для раскряжевки хлыстов, а при трелевке деревьев с кронами – и для обрезки ветвей.

В ходе проведения селективных или выборочных рубок целесообразно применять схемы, позволяющие рубить широкие пасаки. При выполнении рубок ухода с вырубкой деревьев незначительного объема мультифункциональную машину в режиме харвестера рекомендуется эксплуатировать с использованием телескопического элемента рукояти, что увеличит ширину разрабатываемой пасеки. После рубки центральной ленты, включающей технологический коридор и смежные сортиментные ленты, осуществляется разработка периферийных лент. Подлежащие рубке деревья валят в направлении волока бензомоторной пилой в промежутки между деревьями, оставляемыми на дорасщивание. Ширина полупасаки при этом должна быть меньше суммы вылета манипулятора и средней высоты вырубаемых деревьев, что обеспечит досягаемость вершин деревьев, поваленных в направлении технологического коридора манипулятором харвестера [1].

При большей ширине пасеки необходимо подтрелевывать вырубленные деревья в зону действия мультифункциональной машины с установленной харвестерной головкой [5]. В ходе выборочных рубок это может достигаться посредством привлечения дополнительного оборудования, в зависимости от объема хлыста – малогабаритными тракторами или мини-тракторами, оборудованными лебедками и способными работать под пологом древостоя без прокладки технологических коридоров (рис. 5) [12].

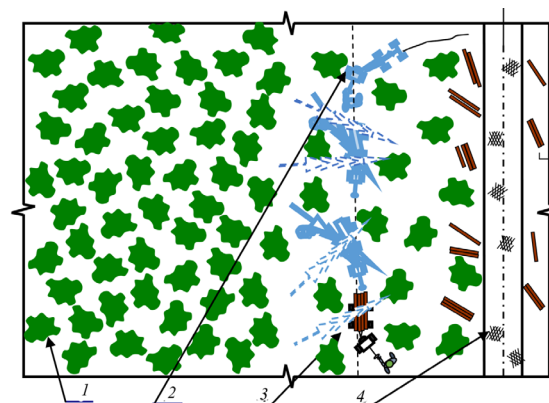


Рис. 5. Схема подтрелевки деревьев из глубины пасеки: 1 – растущие деревья; 2 – мини-трактор и маршрут его перемещения; 3 – порубочные остатки; 4 – граница зоны работы харвестера

Fig. 5. Scheme of hauling trees using wide-strip technology: 1 – growing trees; 2 – mini tractor and its movement route; 3 – logging residues; 4 – borders of the harvester working area

В технологической цепочке с использованием мультифункциональной машины малогабаритная техника успешно применима для предварительной подготовки лесосеки к рубке. Это мероприятие включает в себя вырубку тонкомерных, больных, поврежденных, сухостойных деревьев и уборку валежа (рис. 6), что



Рис. 6. Предварительная подготовка лесосеки мини-трактором

Fig. 6. Preliminary preparation of the cutting area by a mini tractor

было успешно опробовано при проходной рубке на участке с подпологовыми лесными культурами [11].

Предварительная подготовка лесосеки и подтрелевка хлыстов в процессе ее освоения с помощью дополнительного малогабаритного оборудования позволяют снизить повреждение компонентов насаждения, обеспечивая в большей степени сохранение природной среды.

Существенное влияние на лесозаготовительные работы оказывают погодные условия [9]. Основной объем лесозаготовительных работ приходится в основном на зимние месяцы. В остальное время работа возможна только на дренированных сухих и свежих почвах. В среднем простои харвестеров и других тяжелых лесозаготовительных машин, в первую очередь трелевочных, по погодным условиям составляют примерно 30 %. Степень эксплуатации базовой машины удастся повысить за счет лесохозяйственных работ, выполняемых в теплое время, когда грунт оттаял, при этом постоянные расходы распределяются в соответствии с увеличившимся числом машино-часов, что означает сокращение объема затрат на 1 ч эксплуатации техники. Гусеничное шасси имеет меньший показатель удельного давления на грунт (от 0,3 до 0,6 кгс/см²) по сравнению с колесными аналогами (от 1,7 до 2,1 кгс/см²) [13], что существенно в условиях «слабых» грунтов. Возможность установки широких траков (до 900 мм) превращает multifunctionальную машину на базе экскаватора в болотоходную технику. Это особенно актуально при выполнении работ в период межсезонья. Например, посев и посадку ценных древесных пород проводят в основном в весенний период, т. е. в момент снижения интенсивности лесозаготовок в связи с сезонными условиями и при относительно прогретой и влажной почве. В 2–3-недельный период в мае–июне при совмещенном механизированном посеве (обработка почвы боронованием или частичной минерализацией с одновременным посевом) семена попадают в свежую и влажную обработанную

почву. Узел для дозирования семян прикрепляется к дисковой бороне, установленной на универсальной манипуляторной машине. При минерализации площадками узел для дозирования семян монтируется к ее ковшу.

В ближайшие годы должны значительно возрасти объемы лесовосстановления с применением посадочного материала с ЗКС, что потребует применения современных высокопроизводительных лесопосадочных устройств [2]. При механизированной посадке особое значение имеют высокое качество саженцев и их одинаковые размеры в каждой партии. Корневая система должна быть неповрежденной и здоровой, а почвенный ком с корнями достаточно плотным и способным сохранить целостность в условиях вибрации лесопосадочной машины. Этим требованиям в полной мере отвечает посадочный материал с ЗКС. Преимуществом механизированной посадки, по сравнению с отдельно выполняемой обработкой почвы и ручной посадкой, является то, что все работы на объекте можно завершить за один проход агрегата и саженцы всегда высаживаются в центре микроповышений в свежеобработанную почву. Это обеспечивает хорошую приживаемость. К плюсам механизированной посадки относится также и стабильное качество работ, поскольку при высадке саженцев лесопосадочная машина прижимает их с одинаковой силой. Кроме того, успешная приживаемость саженцев с ЗКС возможна при значительно более длительном периоде посадки в условиях, когда низкая влажность почвы не обеспечивает приживаемость посадочного материала с ОКС.

Заключение

Таким образом, наличие в машинном парке предприятия мультифункциональной машины для осуществления комплекса операций по ведению интенсивного лесного хозяйства позволит:

создать условия для выполнения работ в наиболее благоприятные сроки с учетом изменчивости климатических и производственных условий;

минимизировать затраты на перебазировки технологических машин при организации работ по поквартально-блочной схеме;

повысить энергоэффективность технологического процесса;

значительно снизить непроизводительные простои базовой манипуляторной машины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Азаренок В.А., Залесов С.В.* Экологизированные рубки леса. Екатеринбург: УГЛТУ, 2015. 97 с. [Azarenok V.A., Zalesov S.V. *Ecological Forest Cuttings*. Yekaterinburg, USFEU Publ., 2015. 97 p.].

2. *Бартенев И.М., Попов И.В.* Современное развитие конструкций лесопосадочных машин за рубежом // Лесотехн. журн. 2014. Т. 4, № 2(14). С. 203–216. [Bartenev I.M., Popov I.V. Modern Development of Designs of Tree Planting Machines Abroad. *Lesotekhnicheskij zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2014, vol. 4, no. 2(14), pp. 203–216]. DOI: [10.12737/4528](https://doi.org/10.12737/4528)

3. *Васильев А.С.* Выбор базовых технологий лесопромышленных производств для формирования новых объектов интеллектуальной собственности // Образование и наука в современных условиях. 2016. № 1(6). С. 256–257. [Vasil'yev A.S. The Choice

of Basic Technologies of Timber Industries to Form New Objects of Intellectual Property. *Obrazovaniye i nauka v sovremennykh usloviyakh*, 2016, no. 1(6), pp. 256–257].

4. Васильев А.С., Ивашиев М.В., Шукин П.О. Многофункциональное оборудование для выполнения широкого спектра работ на лесосеке // Научное и образовательное пространство: перспективы развития: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 24 апр. 2016 г.) / редкол.: О.Н. Широков [и др.]. Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2016. С. 272–274. Режим доступа: <https://interactive-plus.ru/e-articles/251/Action251-79319.pdf> (дата обращения: 08.02.20). [Vasil'yev A.S., Ivashnev M.V., Shchukin P.O. Multifunctional Equipment for Carrying out a Wide Range of Works at the Logging Site. *Scientific and Educational Space: Prospects for Development: Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference, Cheboksary, April 24, 2016*. Cheboksary, TsNS «Interaktiv plus» Publ., 2016, pp. 272–274].

5. Герц Э.Ф., Теринов Н.Н. К вопросу об организации рубок с применением бензомоторных пил и мини-тракторов // Изв. вузов. Лесн. журн. 2019. № 2. С. 86–94. [Gerts E.F., Terinov N.N. On the Issue of Thinning Schedule Using Gasoline Saws and Mini Skidders. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 2, pp. 86–94]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2019.2.86](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.2.86), URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/1ed/86_94.pdf

6. Каштелян Т.В., Ермалицкий А.А., Юреня Е.Г. Совершенствование системы подрядных отношений в лесном комплексе Беларуси // Тр. БГТУ. № 7. Экономика и управление. 2014. № 7. С. 131–133. [Kashtelyan T.V., Ermalitskiy A.A., Yurenya E.G. Improvement of the System of Contractual Relations in the Forestry Complex of Belarus. *Trudy BGTY. Ekonomika i upravleniye* [Proceedings of BSTU. Economics and Management], 2014, no. 7, pp. 131–133].

7. Концепция интенсивного использования и воспроизводства лесов. СПб.: СПбНИИЛХ, 2015. 16 с. [*The Concept of Intensive Use and Regeneration of Forests*. Saint Petersburg, SPbNIILH Publ., 2015. 16 p.].

8. Кречетников Е.Г., Слезов М.А., Костырченко В.А., Мадьяров Т.М. Обзор конструкций харвестеров для подготовительных работ при строительстве дорог // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства: материалы междунар. науч.-техн. конф. (г. Тюмень, 08 февр. 2016 г.) Тюмень: Тюмен. индустр. ун-т, 2016. С. 145–148. [Krechetnikov E.G., Slezov M.A., Kostyrchenko V.A., Madyarov T.M. Review of Structures Harvesters for Preparatory Works in Road Construction. *Ground Transport and Technological Systems and Facilities: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference, Tyumen, February 8, 2016*. Tyumen, TyuIU Publ., 2016, pp. 145–148].

9. Мельник М.А., Волкова Е.С. Природные опасности как реорганизующий фактор лесопользования в южной тайге Западной Сибири // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. Т. 3, № 2. С. 245–249. [Melnik M.A., Volkova E.S. Natural Hazards as a Reorganizing Factor of Forest Management in the Southern Taiga of West Siberia. *Interekspo Geo-Sibir*, 2017, vol. 3, no. 2, pp. 245–249].

10. Рукомойников К.П. Выбор рациональной технологии и обоснование параметров квартального освоения лесных участков: моногр. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. 296 с. [Rukomojnikov K.P. *Choosing a Rational Technology and Justification of Parameters of Quarterly Development of Forest Areas*: Monograph. Yoshkar-Ola, Volgatech Publ., 2016. 296 p.].

11. Теринов Н.Н., Герц Э.Ф. Выборочные рубки в насаждении с подпологовыми лесными культурами // Леса России и хозяйство в них. 2017. № 3(62). С. 19–26. [Terinov N.N., Gerts E.F. Selective Cuttings in the Forest Stand Including Forest Culture. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh*, 2017, no. 3(62), pp. 19–26].

12. Теринов Н.Н., Луганский Н.А. Уральский учебно-опытный лесхоз УГЛТУ – проблемы и перспективы // Леса России и хозяйство в них. 2016. № 2(57). С. 21–26. [Terinov N.N., Lugansky N.A. The Ural Educational-Research Forestry of USFEU – Problems and Prospects. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh*, 2016, no. 2(57), pp. 21–26].

13. Шегельман И.Р., Скрыпник В.И. О потенциале гусеничных движителей лесных машин // Инж. вестн. Дона. 2014. № 1(28). Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2014/2231> (дата обращения: 08.02.20). [Shegelman I.R., Skrypnik V.I. The Potential Drivers of Tracked Forestry Machines. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Journal of Don], 2014, no. 1(28)].
14. Ersson B.T., Jundén L., Bergsten U., Servin M. Simulated Productivity of One- and Two-Armed Tree Planting Machines. *Silva Fennica*, vol. 47, no. 2, art. 958. DOI: [10.14214/sf.958](https://doi.org/10.14214/sf.958)
15. Hall P. Mechanical Site Preparation Using Excavators. *New Zealand Journal of Forestry*, 1995, vol. 40(2), pp. 31–35.
16. Hallongren H., Laine T., Rantala J., Saarinen V.-M., Strandström M., Hämäläinen J., Poikela A. Competitiveness of Mechanized Tree Planting in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2014, vol. 29, iss. 2, pp. 144–151. DOI: [10.1080/02827581.2014.881542](https://doi.org/10.1080/02827581.2014.881542)
17. Laffan M.D., Naughton P., Hetherington S., Rees S. Comparison of the Effects of Spot and Strip Cultivation on the Early Growth of *Eucalyptus nitens* and *Pinus radiata* in Tasmania. *Tasforests*, 2003, vol. 14, pp. 137–144.
18. Laine T., Rantala J. Mechanized Tree Planting with an Excavator-Mounted M-Planter Planting Device. *International Journal of Forest Engineering*, 2013, vol. 24, iss. 3, pp. 183–193. DOI: [10.1080/14942119.2013.844884](https://doi.org/10.1080/14942119.2013.844884)
19. Nieuwenhuis M., Egan D. An Evaluation and Comparison of Mechanised and Manual Tree Planting on Afforestation and Reforestation Sites in Ireland. *International Journal of Forest Engineering*, 2002, vol. 13, iss. 2, pp. 11–23. DOI: [10.1080/14942119.2002.10702459](https://doi.org/10.1080/14942119.2002.10702459)
20. Rantala J., Laine T. Productivity of the M-Planter Tree-Planting Device in Practice. *Silva Fennica*, 2010, no. 44, no. 5, pp. 859–869. DOI: [10.14214/sf.125](https://doi.org/10.14214/sf.125)

IMPROVING THE EFFICIENCY OF MULTIFUNCTIONAL MACHINES FOR INTENSIVE FORESTRY

Eduard F. Gerts, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [O-6331-2018](https://orcid.org/0000-0003-0434-7282),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0434-7282>

Andrey V. Mekhrentsev, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.;

ResearcherID: [AAE-5378-2020](https://orcid.org/0000-0002-2186-0152), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2186-0152>

Vladimir V. Pobedinsky, Doctor of Engineering, Prof.;

ResearcherID: [G-3245-2018](https://orcid.org/0000-0001-6318-3447), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6318-3447>

Nikolay N. Terinov, Doctor of Agriculture; ResearcherID: [N-2884-2019](https://orcid.org/0000-0001-5936-208X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5936-208X>

Alina F. Urazova, Candidate of Agriculture; ResearcherID: [AAD-2602-2020](https://orcid.org/0000-0003-2771-2334),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2771-2334>

Ural State Forest Engineering University, ul. Sibirskiy trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation; e-mail: gerz.e@mail.ru, mekhrentsev@yandex.ru, n_n_terinov@mail.ru, ura-alina@mail.ru

Abstract. The method of intensification of forestry by means of integrated mechanization of forestry and logging operations is considered. It is proposed to use manipulator-type machines, such as harvesters, forwarders and excavators, as a technical basis. Improving the efficiency of manipulator-type machines can be achieved through using a set of optional interchangeable equipment. This will allow to create crops by planting seedlings with open and closed root systems, to carry out soil cultivation, seed sowing, thinning of young plants and to carry out pest control, mulching of skidding tracks after major work in the logging site, as well

as earthworks during the construction of forest roads. The use of optional interchangeable equipment transforms a manipulator-type machine into a multifunctional machine. It has been shown that the purchase of optional equipment for forestry and logging is a cost-effective investment even for a small amount of works. Intensive forestry is primarily based on the measures of mature and overmature stands cutting, forest tending, and reforestation. Several technological schemes with the use of the multifunctional machine for felling both in the harvester and feller buncher modes are offered. In the latter option, tree length bucking and branch pruning ensure the concentration of all logging residues at the upper depot and create favorable conditions for their processing into raw material for biofuel production and reduce woodwaste in cutting areas. An option of using small size equipment for hauling trees into the area of operation of a multifunctional machine with an installed harvester head is offered when performing selective felling using wide-strip technology of harvesting. Preliminary preparation of the cutting area with small sized equipment (harvesting of small-sized, dead and fallen trees) is proposed. This will significantly reduce the damage to plantation components and provide a greater degree of preservation of the natural environment during the main work of the multifunctional machine. Its use in the most favorable terms due to the work execution on a quarter-block scheme, reducing the number of downtime due to natural-production conditions and the number of relocations and, accordingly, increasing the number of machine hours, will minimize total costs of the range of forestry and harvesting works.

For citation: Gerts E.F., Mekhrentsev A.V., Pobedinsky V.V., Terinov N.N., Urazova A.F. Improving the Efficiency of Multifunctional Machines for Intensive Forestry. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2021, no. 1, pp. 138–149. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-1-138-149

Funding: The article is based on the results of work on the topic “Environmental Aspects of Sustainable Nature Management” (state registration No. FEUG-2020-0013).

Keywords: complex mechanization, multifunctional machines, interchangeable equipment, quarter-block organization of works.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
The authors declare that there is no conflict of interest*

Поступила 26.03.20 / Received on March 26, 2020
