

DOI: 10.15393/j2.art.2023.7263

УДК 630*24; 630*375.9

Статья

Технологические схемы использования мини-тракторов на рубках ухода за лесом

Теринов Николай Николаевич

доктор сельскохозяйственных наук, ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук» (Российская Федерация), n_n_terinov@mail.ru

Герц Эдуард Фёдорович

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (Российская Федерация), gerz.e@mail.ru

Мехренцев Андрей Вениаминович

Кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (Российская Федерация), mehrentsev@yandex.ru

Залесов Сергей Вениаминович

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (Российская Федерация), zalesov@usfeu.ru

Терехов Геннадий Григорьевич

доктор сельскохозяйственных наук, ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук» (Российская Федерация), terekhov_g_g@mail.ru

Толкач Ольга Владимировна

доктор сельскохозяйственных наук, ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук» (Российская Федерация), tolkach_o_v@mail.ru

Получена: 28 июля 2023 / Принята: 5 октября 2023 / Опубликовано: 12 октября 2023

Аннотация: Цель исследования — опробовать в реальных условиях и предложить производству ряд технологических схем использования мини-тракторов в качестве трелёвочных механизмов на рубках ухода за лесом. Одним из достоинств этого вида техники на выборочных рубках является возможность трелёвки древесины без разрубки технологических коридоров. Другое достоинство — это сохранение живого напочвенного покрова и верхних горизонтов почвы в процессе трелёвки заготовленной древесины на прицепном

устройстве. В качестве трелёвочного механизма был использован опытный образец мини-трактора МТР-1, созданный при участии студентов и преподавателей Уральского государственного лесотехнического университета. В работе представлены результаты трёхлетних испытаний опытного образца трелёвочного мини-трактора МТР-1 на проходных рубках в насаждениях искусственного и естественного происхождения. Опробован ряд схем безопасной технологии лесосечных работ. Сделан вывод, что при выборе схемы разработки лесосеки этим способом необходимо учитывать конфигурацию отведённого в рубку участка, его рельеф, наличие прогалин, лесных и грунтовых дорог. Установлено, что при проведении всего комплекса лесозаготовительных работ одним человеком реальная производительность мини-трактора на трелёвке леса составляет 3,0—3,5 м³/смену. В случае трелёвки крупных сортиментов и с целью снижения площади соприкосновения их с поверхностью рекомендовано осуществлять этот процесс по подкладочным деревьям. Дистанционное управление лебёдкой позволило эффективно использовать мини-трактор в качестве самоходной лебёдки на начальном этапе разработки лесосеки, сократить время погрузки сортиментов на погрузочное устройство и увеличить объём заготовленной древесины до 4 м³/смену. Кроме того, это устройство по времени позволило синхронизировать работу двух человек на операциях, с одной стороны связанных с рубкой деревьев и заготовкой сортиментов, с другой — с их трелёвкой и штабелёвкой. При таком варианте бригадой из двух человек объём заготовленной древесины составляет 7,5 м³/смену и сокращается время освоения лесосеки.

Ключевые слова: мини-трелёвщик; безопасная технология лесосечных работ

DOI: 10.15393/j2.art.2023.7263

Article

Technological schemes of using mini-tractors for cleaning cutting in forest

Nikolay Terinov

D. Sc. in agriculture, Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation), n_n_terinov@mail.ru

Eduard Hertz

D. Sc. in engineering, professor, Ural State Forest Engineering University (Russian Federation), gerz.e@mail.ru

Andrey Mehrentsev

PhD in engineering, associate professor, Ural State Forest Engineering University (Russian Federation), mehrentsev@yandex.ru

Sergey Zalesov

D. Sc. in agriculture, professor, Ural State Forest Engineering University (Russian Federation), zalesov@usfeu.ru

Gennady Terekhov

D. Sc. in agriculture, Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation), terekhov_g_g@mail.ru

Olga Tolkach

D. Sc. in agriculture, Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation), tolkach_o_v@mail.ru

Received: 28 July 2023 / Accepted: 5 October 2023 / Published: 12 October 2023

Abstract: The study is aimed at testing and proposing some technological schemes for using mini-tractors as skidding mechanisms for cleaning cutting in forest. One of the advantages of this type of equipment on selective cuttings is the possibility to skid wood without cutting technological corridors in the forest. . Another advantage is the preservation of the ground vegetation and topsoil during the skidding of the harvested wood on the loading device. The MTR-1 mini-tractor created by students and staff of the Ural State Forestry University was used as a skidding mechanism. The article presents the results of three-year tests of an experimental mini-forwarder MTR-1 performance during severance cuttings in artificial and natural forests. Some

technologies excluding cutting roads during logging operations have been tested. It is concluded that when choosing a scheme for the development of a cutting area it is necessary to take into account the configuration of the cutting area, its relief, the presence of glades, forest and dirt roads, and the trees location. It has been established that when the entire complex of cutting operations is performed by one person, the real productivity of a mini-tractor on wood skidding is 3.0—3.5 m³ per working day. It is recommended to use dunnage timber when skidding large logs to reduce the area of their contact with the surface. Remote control of the winch allowed the mini-tractor effective usage as a self-propelled winch at the initial stage of the cutting area development, to reduce the loading time of the logs and to increase the volume of harvested wood to 4 m³ per working day. In addition, this device allowed synchronizing the work of two people during operations that included short-length logging, skidding and stockpiling. Thus two people harvested 7.5 m³ per working day reducing the period of the cutting area development.

Keywords: mini-skidder; technology excluding cutting roads

1. Введение

Выращивание высокопродуктивных, устойчивых лесных насаждений, успешно выполняющих природосберегающие и природообразующие функции, является одной из основных задач лесоводства. Практическая её реализация сопровождается соответствующими мероприятиями. Так, в процессе формирования насаждения от молодняка до приспевающего древостоя действующими Правилами ухода за лесами регламентировано периодическое проведение на одних и тех же участках (таксационных выделах) рубок ухода за лесом [1]. До 20 лет — это осветление и прочистка, далее до возраста приспевания — прореживание и проходная рубка. При любом вмешательстве в естественный ход лесообразовательного процесса, будь то причины антропогенного или природного характера, лесная экосистема в той или иной степени испытывает стрессовое состояние. Это может быть ветровал, лесной пожар, уничтожение подроста и повреждение деревьев в процессе лесозаготовки, развитие эрозионных процессов, в результате уплотнение и разрушение верхних горизонтов почвы. Часто все это проявляется в той или иной степени комплексно.

Восстановление экосистемы до состояния, близкого к исходному (демутация), по времени соизмеримо с масштабами её нарушения. Рубка леса, наряду с пожарами и катастрофическими ветровалами, является одним из факторов, существенно влияющих на современный облик лесов. Если предотвратить природные пожары и ветровалы человечество пока не в силах, то при проведении лесозаготовительных работ имеются технические средства и технологии, позволяющие свести негативные последствия рубок к минимуму. Одним из таких средств является малогабаритная трелёвочная техника с низким удельным давлением на почву. Она может успешно применяться на рубках ухода за лесом [2] и в тех случаях, когда использование других механизмов небезопасно, невыгодно [3] или приводит к существенному нарушению природной среды [4]. В частности, объектом её применения являются леса, относящиеся к категории «защитные» (городские, пригородные, водоохранные, противозрозионные леса, запретные полосы вдоль рек, берегозащитные участки и т. д.). В них к сохранению природной среды предъявляются повышенные требования, и в этом отношении природосберегающую роль подобного класса техники трудно переоценить [5].

Трелёвочные мини-тракторы производятся и успешно используются при проведении рубок в зарубежных странах [6—8]. В России специализированная малогабаритная лесозаготовительная техника серийно не выпускается и существует только в качестве опытных образцов. Следовательно, отсутствуют технологии, адаптированные к местным условиям.

На основе экспериментального материала, полученного в результате опытно-производственных работ в древостоях искусственного и естественного происхождения, предлагается ряд технологических схем по использованию трелёвочного мини-трактора на рубках ухода за лесом. Хочется надеяться, что прошедшие производственную проверку технологии вызовут интерес лесных предприятий и муниципальных образований

в приобретении подобной техники. В свою очередь, это подтолкнёт машиностроительные предприятия к производству этого вида отечественного оборудования.

2. Материалы и методы

Прежде всего, следует определиться с тем, какую категорию механизмов следует отнести к мини-тракторам. Согласно информации, помещённой в «Справочнике по технологическим и транспортным машинам лесопромышленных предприятий и техническому сервису» под общей редакцией В. В. Быкова, А. Ю. Тесовского [9], малогабаритная техника в зависимости от массы и мощности двигателя подразделяется на лёгкую, среднюю и тяжёлую (таблица 1).

Таблица 1. Типы малогабаритных тракторов

Table 1. Mini-tractors types

Тип	Конструкционная масса, кг	Номинальная мощность двигателя, кВт	Максимальная скорость, км/ч		Ширина колеи (не более), мм
			рабочая	транспортная	
Малогабаритные тракторы двухосные (гусеничные)					
Лёгкий	до 500	до 10	6	15	800
Средний	500—650	10—14	6	25	800
Тяжёлый	свыше 650	14—16	6	25	1200

Оборудованные специальными приспособлениями для трелёвки леса малогабаритные тракторы при определённых таксационных характеристиках древостоев и типах лесорастительных условий можно успешно использовать на рубках ухода за лесом в течение всего года. Основываясь на данных таблицы 1, лёгкие малогабаритные тракторы можно отнести к группе «мини-трелёвщики» или «мини-форвардеры», а средние и тяжёлые — к группе «малогабаритные трелёвочные тракторы» или «малогабаритные форвардеры». Наиболее известным представителем первого типа техники является семейство мини-форвардеров Iron Horse («Железный конь») (фото 1). Ширина мини-трелёвщика 1,1 м, длина 1,7 м, масса 350 кг. На машине установлен двигатель мощностью 8,8 л. с. (6,5 кВт). Для сравнения модель Scottrac OX14, выпускаемая шведской фирмой Artcom Tradebridge Ltd, относится к представителям группы малогабаритных трелёвочных тракторов среднего типа (фото 2). Эта машина комплектуется двигателем мощностью 14 л. с. (10,3 кВт). Масса машины с лебёдкой составляет 500 кг, длина 1,7 м, ширина 1,2 м.

Для проведения наших исследований использовался опытный образец мини-трактора МТР-1, разработанный и созданный студентами и преподавателями Уральского государственного лесотехнического университета. В первоначальном виде мини-трактор МТР-1 напоминал мини-форвардер производства Швеции.



Фото 1. Мини-трелёвщик IH 2055PW (Швеция)

Photo 1. Mini-skidder IH 2055PW (Sweden)



Фото 2. Малогабаритный трелёвщик Scottrac OX14 (Швеция)

Photo 2. Small-sized skidder Scottrac OX14 (Sweden)

В процессе эксплуатации производилась его модернизация. Первый её этап состоял в изменении компоновки механизма и системы управления. Вместо манипулятора, с помощью которого осуществлялось управление механизмом в пешем состоянии, было оборудовано место водителя. Рядом разместилась педаль для регулировки оборотов двигателя и рычаг переключения направления движения мини-трактора (вперёд —

нейтральное положение — назад). Лебёдку, используемую для подтаскивания и погрузки сортиментов на прицепное устройство, установили в задней части мини-трактора, а механизм для её управления — под сиденьем водителя. Место водителя оградили защитным щитом (фото 3). На втором этапе было усовершенствовано управление лебёдкой: трелёвка и погрузка сортиментов стала осуществляться дистанционно, с помощью радиосигнала [10]. Для транспортировки мини-трактора с прицепным устройством обходились бортовым автомобилем УАЗ-3303. Технические характеристики мини-трактора МТР-1 представлены в таблице 2. Согласно данным таблицы 1, он относится к лёгкому типу малогабаритных тракторов.



Фото 3. Опытный образец мини-трактора МТР-1

Photo 3. Prototype of the MTR-1 mini-tractor

Опытно-производственная проверка МТР-1 производилась в течение 3 лет в насаждениях естественного и искусственного происхождения. Рассматривались только безопасные технологии разработки лесосек, т. е. возможность использования механизма на трелёвке леса без рубки технологических коридоров. На всех участках перед проведением лесосечных работ, согласно инструкции, закладывались пробные лесоустроительные площади (ОСТ 56-69-83). На каждой пробной площади производился сплошной перелёт

деревьев, на основе которого с помощью таблиц устанавливалась таксационная характеристика насаждения. Для определения интенсивности рубки после её окончания на пробной площади производился повторный переѐт деревьев. Ежедневно после окончания работы производился обмер стрелѐванных сортиментов и по таблицам определялся объѐм заготовленной древесины.

Таблица 2. Технические характеристики мини-трактора МТР-1

Table 2. Technical characteristics of the MTR -1 mini-tractor

Параметр	Значение
Масса, кг	Около 300
Грузоподѐмность, кг	500
Рейсовая нагрузка, м ³	0,5—0,8
Удельное давление на почву, кг/см ²	0,15
Тип двигателя	Гусеничный
Двигатель	Карбюраторный, одноцилиндровый, четырёхтактный
Мощность двигателя, кВт /л. с.	5,1/7,0
Длина, м	1,6
Ширина, м	1,1
Оснащение	Прицепное устройство, лебѐдка механическая

Все лесозаготовительные работы проводились в летний период. При разработке технологий рубок с применением мини-трактора МТР-1 исходили из принципа максимального сохранения лесорастительной среды, древостоя и минимального расстояния и удобного маршрута трелѐвки заготовленной древесины к месту погрузки на автотранспорт. При этом внимание уделялось рельефу отведѐнного в рубку участка, форме лесосеки, наличию и состоянию дорожно-тропиночной сети, расположению деревьев. Весь комплекс работ по заготовке древесины на рубках ухода осуществлялся одним человеком. Валка, обрезка ветвей и раскряжѐвка хлыстов на сортименты длиной от 3 до 6 м производилась бензомоторной пилой Stihl-250, трелѐвка — мини-трактором МТР-1, оборудованным прицепным устройством. Порубочные остатки складировались в кучи для последующего сжигания в пожаробезопасный период. В результате были предложены безопасные технологии разработки лесосеки с использованием мини-трактора на трелѐвке древесины.

3. Результаты

Первое исследование проведено на территории Уральского учебно-опытного лесхоза Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ) (Билимбаевское

лесничество, участок Северский, кв. 38, выд. 23). Объектом исследования являлся участок площадью 2,2 га, отведённый под проходную рубку в сосняке ягодниковом I класса бонитета. Интенсивность рубки планировалась в объёме 15 % от исходного запаса древостоя до рубки (фото 4).



Фото 4. Древостой, отведённый под проходную рубку

Photo 4. Forest stand for severance cutting

Размещение деревьев по площади лесосеки — равномерное. Участок характеризуется неоднородным рельефом, особенно в северной и восточной его частях: отмечено значительное количество микроповышений и микропонижений, имеющих искусственное происхождение. Это в определённой степени затрудняло погрузку сортиментов на погрузочное устройство и прохождение загруженного поезда по короткому маршруту. Через участок проходит лесная дорога, примыкающая на юге к грунтовой дороге и делящая лесосеку практически на две равные части. По северной стороне лесосеки с выходом на грунтовую дорогу проходит магистральный волок, который был прорублен при проведении выборочной санитарной рубки на смежном участке. Его состояние не позволяло использовать для трелёвки древесины мини-трактор. На основании информации, полученной при обследовании участка, было решено осуществлять трелёвку сортиментов по схеме, представленной на рисунке 1.

Складирование сортиментов для погрузки на автотранспорт планировалось осуществлять вдоль лесных и грунтовых дорог (фото 5). Проведённые после проведения проходной рубки расчёты показали, что её интенсивность составила 12 % от исходного запаса древостоя. Не отмечено повреждения верхнего горизонта почвы и полностью сохранён напочвенный покров (фото 6). В то же время произошло улучшение санитарного состояния древостоя после удаления сухостойных и усыхающих деревьев. Относительная полнота снизилась

на 0,1, произошло увеличение среднего диаметра и средней высоты оставшихся после рубки деревьев (таблица 3). В процессе проведения лесозаготовительных работ проводились хронометрические наблюдения, при которых определялось время, затраченное одним человеком на проведение всего комплекса лесозаготовительных работ (валка, раскряжёвка, погрузка, трелёвка, штабелёвка, складирование порубочных остатков). Расстояние трелёвки составляло от 30 до 50 м. Рейсовая нагрузка на мини-трактор была от 0,6 до 0,8 м³. Экспериментально установлено, что при таких условиях за 6 ч рабочего времени реально заготавливалось 3,0—3,5 м³ древесины. При этом 58 % этого времени (3 ч 30 мин) приходится на операции, связанные с работой мини-трактора (таблица 4). Из них наиболее продолжительной является загрузка сортиментов на прицепное устройство (57 %, или около 2 ч).

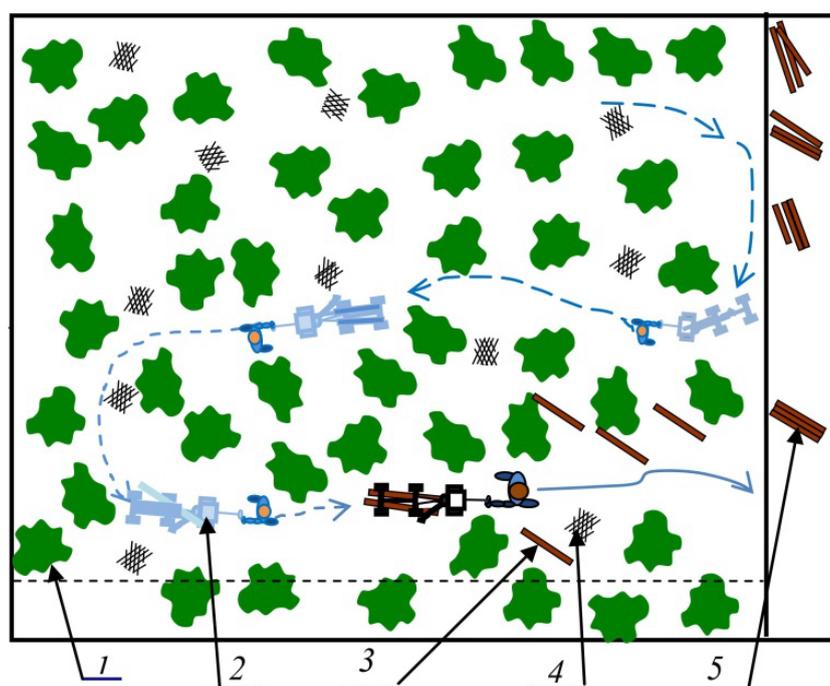


Рисунок 1. Трелёвка челночными ходами с загрузкой прицепного устройства при передвижении по всему маршруту: 1 — растущие деревья; 2 — малогабаритный трактор и маршрут его перемещения; 3 — заготовленные сортименты; 4 — порубочные остатки; 5 — пакеты

Figure 1. Shuttle-type skidding when the trailer is loaded when moving along the entire track: 1 — growing trees; 2 — a small-sized tractor and the route of its movement; 3 — harvested assortment; 4 — felling residue; 5 - packages



Фото 5. Штабелька сортиментов вдоль лесной дороги

Photo 5. Stockpiling of logs along the forest road



Фото 6. Состояние напочвенного покрова после неоднократного прохода мини-трактора с полной загрузкой

Foto 6. Ground vegetation state after severance cutting using a mini-tractor for forest skidding

Таблица 3. Таксационная характеристика древостоя до и после проходной рубки

Table 3. Taxation characteristics of the forest stand before and after severance cutting

Таксационные характеристики	До рубки	После рубки
Состав	9С1Б	9С1Б
Средняя высота, м	25	27
Средний диаметр, см	24	26
Относительная полнота	0,95	0,85
Возраст, лет	85	85
Запас, м ³ /га	364	319
Подрост:		
состав	6Е4С	6Е4С
высота (ель), м	2,0	2,0
высота (сосна), м	0,2	0,2
возраст (ель), лет	35	35
возраст (сосна), лет	3	3
количество, тыс. экз./га	0,5	0,5

Таблица 4. Затраты времени по операциям на формирование и транспортировку одного транспортного пакета

Table 4. Timing of formation and transportation of one transport package

Длительность операций, мин. доля от затраченного времени, %						Итого
Выбор и валка деревьев	Раскряжёвка деревьев и обрубка ветвей	Сбор порубочных остатков	Трелёвка			
			погрузка сортиментов	трелёвка и холостой ход	штабелёвка	
$\frac{2 \pm 0,7}{5,5}$	$\frac{6 \pm 1,3}{16,7}$	$\frac{7 \pm 1,3}{19,4}$	$\frac{12 \pm 1,2}{33,3}$	$\frac{5 \pm 0,7}{13,9}$	$\frac{4 \pm 0,6}{11,2}$	$\frac{36 \pm 5,5}{100}$

Следующим объектом являлись культуры сосны, расположенные на территории Свердловского лесничества (Черноусовское участковое лесничество), в кв. 30, выд. 14. Территория закреплена за арендным предприятием ООО «ЖелДорПуть». Участок имеет форму прямоугольного треугольника, длинная сторона которого с восточной стороны примыкает к лесной дороге. Рельеф ровный, с небольшим понижением в северо-западной части лесосеки. С северной стороны лесосека ограничена грунтовой дорогой. Ряды культур

сосны не везде просматриваются. Особенно чётко они обозначены в восточной части лесосеки на узком участке (1—2 ряда), прилегающем к лесной дороге (фото 7).



Фото 7. Лесные культуры сосны на границе с лесной дорогой

Photo 7. Forest plantation of pine on the border with the forest road

Здесь же произрастают наиболее крупномерные деревья (диаметр на высоте груди у отдельных деревьев достигал около 50 см), имеющие низко опущенную и хорошо развитую крону. Внутри лесосеки зафиксировано значительное количество сухостойных и ветровальных деревьев, соответственно 20 м³/га и 10 м³/га, что отразилось на снижении полноты и запаса древостоя в этой части участка (фото 8). Стволы здоровых деревьев сосны и берёзы хорошо очищены от ветвей и имеют высоко поднятую крону. Длина заготавливаемых сортиментов предполагалась от 5,5 до 6,5 м. На участке запроектирована проходная рубка интенсивностью 15 % от исходного запаса древостоя. На основании текущих таксационных характеристик, наличия значительного объёма сухостойных и ветровальных деревьев сосны, специализации предприятия на изготовление столбов ЛЭП и железнодорожных шпал, отсутствия потребности в сосновой дровяной древесине, а также с целью сохранения лесорастительной среды и древостоя приняты следующие технологические решения:

- Сосредоточить основные работы по заготовке деловой древесины в восточной части лесосеки.
- Складировать заготовленные сортименты в восточной части лесосеки вдоль лесной дороги.
- Производить трелёвку крупных сортиментов по подкладочным деревьям.

- Под погрузочную площадку использовать прогалину, прилегающую к лесной дороге в восточной части лесосеки.
- В центральной части лесосеки производить вырубку сухостойных деревьев и уборку валежа с последующим их сжиганием на открытых участках (окнах), размеры которых были бы достаточные, чтобы исключить ожог у здоровых деревьев.



Фото 8. Участок лесных культур сосны, отведённый в проходную рубку

Photo 8. The site of pine forest plantation for severance cutting

Для реализации первого и второго пунктов подошла схема трелёвки древесины параллельно кромке леса (рисунок 2). Трелёвка крупномерных сортиментов осуществлялась по подкладочным деревьям. Для этого из ряда лесных культур вырубались сухостойные и тонкомерные деревья диаметром 10—12 см, которые укладывались через 1,5—2 м примерно перпендикулярно по направлению трелёвки (фото 9). На них происходила валка крупномерных экземпляров деревьев. После обрубки ветвей и раскряжёвки хлыстов сортименты с помощью троса подтягивались к месту их складирования (фото 10). За счёт уменьшения площади соприкосновения с поверхностью создавалась возможность трелевать крупные сортименты, превышающие массу мини-трактора, и предотвратить образование

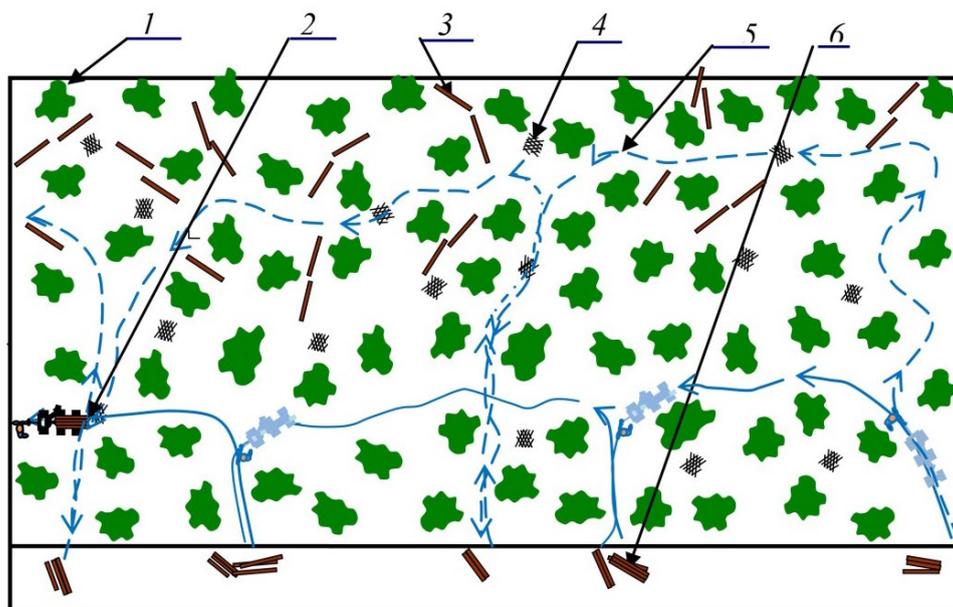


Рисунок 2. Трелёвка леса ходами параллельными кромке древостоя: 1 — растущие деревья; 2 — малогабаритный трактор и маршрут его перемещения при подборе сортиментов с ближней ленты; 3 — заготовленные сортименты; 4 — порубочные остатки; 5 — маршруты перемещения малогабаритного трактора при подборе сортиментов со второй от кромки древостоя ленты; 6 — пакеты сортиментов в зоне складирования

Figure 2. Forest skidding with moves parallel to the forest stand border: 1 — growing trees; 2 — a small-sized tractor and the route of its movement when collecting assortment from the nearby swath; 3 — harvested assortment; 4 — felling residue; 5 — routes of movement of a small-sized tractor when collecting assortment from the second swath from the stand edge; 6 - packages of assortment in the storage area

глубоких борозд на поверхности почвы. После завершения трелёвки крупных сортиментов подкладочные деревья раскряжёвывались и на прицепном устройстве трелевались к месту складирования. В центральной части лесосеки, кроме заготовки древесины, проводились работы по уборке тонкомерных сухостойных деревьев и валежа. Для этого выбиралось открытое место и раскряжёванные на произвольные отрезки стволы подтягивались лебёдкой трактора к месту, где происходило их сжигание. После окончания лесосечных работ не произошло снижения средней высоты и диаметра древостоя, сохранилось соотношение древесных пород в его составе, относительная полнота снизилась до 0,85 (таблица 5). Территория участка приведена в надлежащее санитарное состояние (фото 11). При проведении проходной рубки в начальной и конечной стадиях эксперимента фиксировался объём заготовленной древесины при проведении всего комплекса лесозаготовительных работ (валка деревьев, обрубка сучьев, раскряжёвка хлыстов, трелёвка

и штабелёвка сортиментов, сбор порубочных остатков и их сжигание). Дополнительные затраты времени по подготовке трассы для трелёвки крупных сортиментов и переработка (обрубка сучьев, складирование и сжигание) значительного объёма порубочных остатков компенсировались объёмом крупных сортиментов. В результате объём заготовленной ликвидной древесины составил 0,6—0,7 м³/ч, или 3,5—4,0 м³/смену.



Фото 9. Деревья, уложенные перпендикулярно направлению трелёвки

Photo 9. The trees located perpendicular to the direction of the skidding



Фото 10. Трелёвка крупных сортиментов по подкладочным деревьям

Photo 10. Skidding of large logs using dunnage trees

Таблица 5. Таксационные характеристики лесных культур сосны в типе леса сосняк травяной

Table 5. Taxation characteristics of pine forest plantation in a grass pine forest

Таксационные показатели	Таксационные характеристики насаждения	
	до рубки	после рубки
Состав	6С4Б, ед. Ос	6С4Б, ед. Ос
Средняя высота, м	24	24
Средний диаметр, см	23	23
Относительная полнота	1,0	0,85
Возраст, лет	60	60
Запас, м ³ /га	390	330



Фото 11. Состояние насаждения после проходной рубки

Photo 11. The forest stand after severance cutting

Очередной объект исследований также расположен на территории Свердловского лесничества (Черноусовское участковое лесничество), в кв. 30, выд. 14. Участок выровненный, имеет прямоугольную форму 100 × 150 м (1,5 га), длинной стороной ориентирован в направлении С–Ю, а по короткой стороне ограничен лесовозными дорогами. Таким образом, расстояние от середины участка до дорог составляло 50 м. Таксационная

характеристика древостоя представлена в таблице 6. На этом участке находятся подпологовые культуры дуба летнего или дуба черешчатого (*Quercus robur*). Расстояние между рядами 2,0—2,5 м. Высота культур варьирует в пределах от 0,5 до 7,0 м (фото 12). Отдельные экземпляры достигали 9 м. Основной целью мероприятия являлся уход за подпологовыми культурами дуба. Объект является уникальным, т. к. граница ареала естественного произрастания дубовых насаждений проходит на несколько сотен километров южнее. Исходя из особенностей участка, наличия рядов лесных культур и обязательного их сохранения, ограниченной маневренности мини-трактора с прицепным устройством в междурядьях, было принято решение провести проходную рубку с использованием технологии параллельных ходов между двумя лесными дорогами (рисунок 3). В этом случае мини-трактор с прицепным устройством перемещался всё время в направлении вперёд без разворотов внутри древостоя. Дополнительные трудности при проведении проходной рубки на данном участке были связаны со строго направленной валкой деревьев в междурядья вдоль рядов лесных культур (фото 13). Поэтому в первой половине дня осуществлялись валка деревьев, обрезка ветвей, раскряжёвка хлыстов на 6-метровые сортименты и сбор порубочных остатков.

Таблица 6. Таксационная характеристика насаждения с культурами дуба

Table 6. Taxation characteristics of the forest site including oak plantation

Таксационные показатели	Таксационные характеристики древостоя
Тип леса	Сосняк травяной
Состав	7Б3С
Возраст	65
Класс бонитета	I
Средняя высота, м	24
Средний диаметр, см	24
Относительная полнота	0,9
Запас, м ³ /га	315
Подпологовые культуры дуба: возраст, лет, высота, м	30 2,3
Количество, экз./га	2300



Фото 12. Насаждение с подпологовыми культурами дуба летнего или дуба черешчатого (*Quercus robur*)

Photo 12. Forest stand with cutures of oak (*Quercus robur*) as a subordinate crop

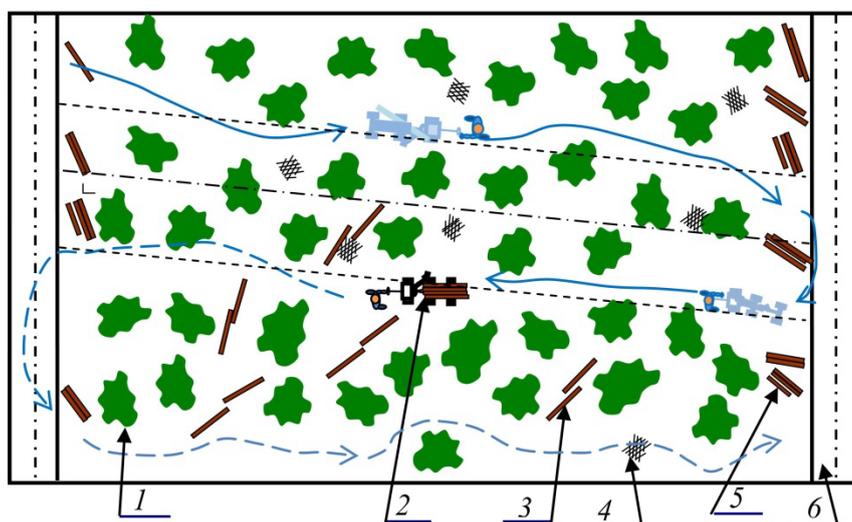


Рисунок 3. Трелёвка леса параллельными ходами между двумя волоками: 1 — растущие деревья; 2 — малогабаритный трактор и маршрут его перемещения; 3 — заготовленные сортименты; 4 — порубочные остатки; 5 — пакеты сортиментов; 6 — пасечный волок

Figure 3. Wood skidding by parallel passages between two tracks: 1 — growing trees; 2 — a small-sized tractor and the route of its movement; 3 — harvested assortment; 4 — felling residue; 5 — packages of assortment; 6 — cutting strip



Фото 13. Трелёвка древесины между рядами культур дуба

Photo 13. Wood skidding between the rows of oak trees

Во второй половине дня производили трелёвку сортиментов на прицепном устройстве за пределы лесосеки к месту погрузки на автотранспорт. По мнению непосредственного участника эксперимента, смена операций в течение рабочего дня явилась положительным моментом с точки зрения техники безопасности. В итоге отработана технология лесозаготовки в насаждении с подпологовыми лесными культурами. Относительная полнота древостоя снижена до 0,7, полностью сохранены напочвенный покров и верхний горизонт почвы, улучшены условия лесорастительной среды подпологовых культур дуба (фото 14). Ранее было установлено, что при использовании мини-трактора на трелёвке леса 57 % времени занимает погрузка сортиментов на прицепное устройство (см. таблицу 4). Это связано с перемещением рабочего для чокеровки сортиментов и включением и выключением лебёдки. Такие перемещения от мини-трактора и обратно могут происходить неоднократно в случае зацепа сортимента за препятствие. Применение дистанционного управления лебёдкой показало, что время операции по загрузке сортиментов сокращается в 1,7 раза и составляет 7 мин вместо 12 мин. Общие затраты времени на проведение всего технологического цикла сокращаются на 19,4 %. В результате реально при проведении всего цикла лесозаготовительных работ одним человеком за 6 ч возможно заготовить около 4 м³, вместо 3,0—3,5 м³. Таким образом, первая часть лесозаготовительных работ, связанных с валкой деревьев, обрезкой ветвей, раскряжёвкой хлыстов и сбором порубочных остатков, по продолжительности уравнилась с работами, связанными с трелёвкой заготовленной древесины, соответственно 15 мин и 16 мин (см. таблицу 4). Раздельное выполнение этих

операций двумя рабочими обеспечивает реальную выработку на бригаду в размере $7,5 \text{ м}^3/\text{смену}$. По отношению к варианту с одним рабочим объём заготовленной древесины снижается на $0,3 \text{ м}^3$ и составляет $3,8 \text{ м}^3/\text{смену}$, но при этом увеличивается пройденная рубкой площадь.



Фото 14. Состояние насаждения после проходной рубки

Photo 14. The forest stand after severance cutting

Последний участок проходной опытно-производственной рубки с использованием мини-трактора на трелёвке сортиментов проводился на территории Уральского учебно-опытного лесхоза Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ) (Билимбаевское лесничество, участок Северский, кв. 37, выд. 16). Лесосека расположена на небольшом склоне, примыкает к пойме реки Северка и имеет вытянутую форму. Её ширина составляет около 60 м. Почти по середине участка проходит дорога шириной 5 м, ведущая к памятнику природы регионального значения «Соколиный камень». На лесосеке зарегистрировано $40 \text{ м}^3/\text{га}$ сухостойных деревьев, что составляет около 9 % от общего запаса древостоя, и 8 тыс. экз./га жизнеспособного елового подроста (фото 15). Сухостойные и зависшие деревья представляют серьёзную опасность для экскурсий. Отмечены случаи падения деревьев на дорогу. Таким образом, первоочередная задача заключалась в создании условий для безопасного прохода по туристической тропе. Форма и размеры лесосеки, наличие широкой дороги, дистанционное управления лебёдкой позволили испытать мини-трактор в качестве самоходной лебёдки по схеме, представленной на рисунке 4. Такая технология не предусматривает использования прицепного устройства и перемещения

мини-трактора по площади лесосеки. Валка деревьев осуществлялась вершиной в сторону дороги. После этого происходила обрезка ветвей. Хлысты либо раскряжёвывались на 6-метровые сортименты или целиком подтаскивались лебёдкой к дороге, где происходила дальнейшая их обработка. Мини-трактор устанавливался перпендикулярно дороге. Рабочий разматывал буксировочный трос, чокеровал сортимент или хлыст и после дистанционного включения лебёдки, которое подтверждалось световым и звуковым сигналами, следовал за лесоматериалом. При возникновении ситуации, препятствующей выполнению этой операции, лебёдка с помощью джойстика останавливалась, причина устранялась, после чего процесс возобновлялся. Вся стрелёванная древесина располагалась вдоль дороги (фото 16), где осуществлялась её механизированная погрузка на автотранспорт. Ещё одним положительным моментом при применении этой технологии стало максимальное сохранение подроста и верхнего горизонта почвы (фото 17). В результате проведена проходная рубка интенсивностью 28 % от исходного запаса древостоя (таблица 7). После неё произошло увеличение среднего диаметра деревьев, а относительная полнота снизилась до 0,7. Улучшено санитарное состояние древостоя: убраны все сухостойные, повреждённые и зависшие деревья. Отмечены единичные случаи гибели елового подроста.



Фото 15. Состояние насаждения до проходной рубки

Photo 15. The forest stand before severance cutting

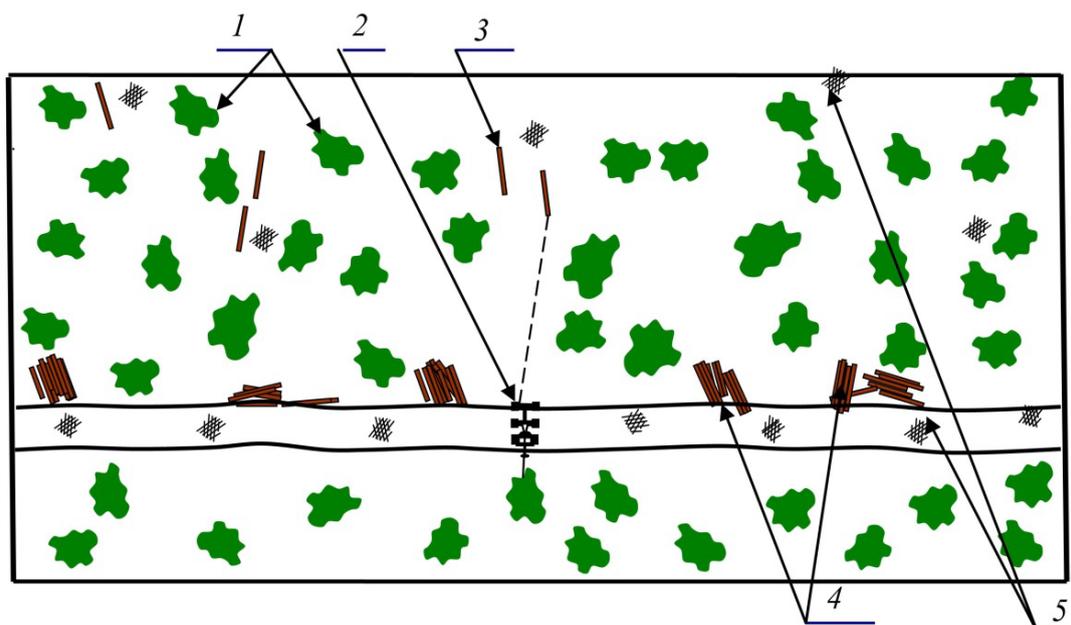


Рисунок 4. Использование мини-трактора в качестве самоходной лебёдки: 1 — деревья; 2 — малогабаритный трактор; 3 — заготовленные сортименты; 4 — пакеты сортиментов; 5 — порубочные остатки

Figure 4. Using a min-tractor as a self-propelled winch: 1 — trees; 2 — a small-sized tractor; 3 — harvested assortment; 4 — packages of assortment; 5 - felling residue

Таблица 7. Таксационная характеристика древостоя

Table 7. Taxation characteristics of the forest stand

Таксационные показатели	Таксационные характеристики древостоя	
	до рубки	после рубки
Состав	9С1Б, ед. Лц, Е	9С1Б, ед. Лц, Е
Возраст, лет	75	75
Средняя высота, м	23	23
Средний диаметр, см	22	24
Полнота относительная	1,0	0,7
Запас, м ³ /га	460	320
Подрост:		
состав	10Е	10Е
возраст, лет	25	25
высота, м	1,0	1,0
количество, тыс. экз./га	8,0	8,0



Фото 16. Стрелёванные вдоль дороги сортименты

Photo 16. Skidded logs along the road



Фото 17. Состояние насаждения после проходной рубки

Photo 17. The forest stand before severance cutting

4. Обсуждение и заключение

Мини-трактор МТР-1 с прицепным устройством хорошо зарекомендовал себя для трелёвки сортиментов на расстоянии 50 м. Его габариты при рубках ухода за лесом позволяют производить трелёвку заготовленной древесины без разрубки технологических коридоров, а низкое удельное давление на единицу поверхности ($0,15 \text{ кг/см}^2$) обеспечивает сохранение напочвенного покрова и верхнего горизонта почвы. В результате трёхлетней работы по испытанию мини-трактора на трелёвке леса в производственных условиях опробован и предложен ряд технологических схем. Выбор конкретной схемы зависит от конфигурации лесосеки, её рельефа, наличия и состояния дорожно-тропиночной сети и прогалов, пространственного расположения деревьев. Установлено, что при проведении всего комплекса лесозаготовительных работ — от валки деревьев, их раскряжёвки, трелёвки и до уборки порубочных остатков — один человек в состоянии заготовить $3,0\text{—}3,5 \text{ м}^3/\text{смену}$. Применение дистанционного управления лебёдкой позволяет увеличить этот объём до $4 \text{ м}^3/\text{смену}$. Кроме этого, появляются перспективы разделить и синхронизировать по времени операции, связанные с проведением лесозаготовительных работ бригадой в составе двух человек. Один занимается непосредственно валкой деревьев и дальнейшей обработкой хлыстов, другой — трелёвкой раскряжёванной древесины и её штабелёвкой. В этом случае производительность такой бригады возрастает до $7,5 \text{ м}^3/\text{смену}$ и сокращается время освоения лесосеки. В процессе опытно-производственных работ успешно опробован способ трелёвки крупных сортиментов по подкладочным деревьям. Это позволяет обойтись без привлечения более мощной лесозаготовительной техники и избежать существенного повреждения верхнего горизонта почвы. Предполагается, что подобная техника и прилагаемые к ней технологические схемы трелёвки древесины будут полезны, прежде всего, администрациям муниципальных образований и лесохозяйственным предприятиям, осуществляющим свою деятельность в городских лесах, лесах вокруг городских и сельских поселений и других насаждениях, относящихся к категории защитных.

Исследование выполнено в рамках госбюджетной темы Министерства науки и высшего образования Российской Федерации FUWW-2023-0010 и FEUGWW-2023-0002.

Список литературы

1. Об утверждении Правил ухода за лесами / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации: приказ от 30 июля 2020 года № 534. 206 с.
2. Антонов И. О. Повышение качественной продуктивности насаждений — задача интенсивного лесного хозяйства // Известия вузов. Лесной журнал. 2017. № 1 (355). С. 86—94. DOI: 10.17238.
3. Мясичев Д. Г. Синтез структуры лесохозяйственного механизированного комплекса на базе малогабаритного мобильного силового модуля // Лесотехнический журнал. 2017. Т. 7. № 1 (25). С. 196—204. DOI: 12737/25211.
4. Theoretical Studies of Dynamic Soil Compaction by Wheeled Forestry Machines / I. Grigorev, O. Kunickaya, A. Burgonutdinov [et al.] // Diagnostyka. 2020. Vol. 21, no. 2. P. 3—13. DOI: 10.29354/diag/127650.

5. Skidding operations in Thinning and Shelterwood Cut of Mixed Stands — Work Productivity, Energy Inputs and Emissions / D. Vusić, M. Šušnjar, E. Marchi [et al.] // *Ecological Engineering*. 2013. Vol. 61, part A. P. 216—223.
6. Семин И. А. Малогабаритные лесозаготовительные машины Скандинавских стран. М.: ВНИПИЭИлеспром, 1999. 10 с.
7. Developing Management Systems for the Production of Beech Timber / R. Allen, J. Hurst, S. Wiser [et al.] // *New Zealand Journal of Forestry*. 2012. Vol. 57, no. 2. P. 38—44.
8. McEwan A., Brink M., van Zyl S. Guidelines for Difficult Terrain Ground Based Harvesting Operations in South Africa // *ICFR Bulletin*. 2013. No. 02. 149 p.
9. Справочник по технологическим и транспортным машинам лесопромышленных предприятий и техническому сервису / под общ. ред. В. В. Быкова, А. Ю. Тесовского. М.: МГУЛ, 2000. 531 с.
10. Modernization of Mini-tractor for Wood Skidding / N. Terinov, V. Toybich, E. Gertz [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 875, iss. 1, no. 12086. DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/012086.

References

1. About Acceptance of the Rules of the Forest Stands Care. Ministerstvo prirodny`x resursov i e`kologii Rossijskoj Federacii: prikaz ot 30 iyulya 2020 goda No. 534. 206 p. (In Russ.)
2. Antonov O. I. Qualitative Productivization of Forest Stands is the Goal of Intensive Forestry. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal*, 2017, no. 1, pp. 86—94. doi: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.86. (In Russ.)
3. Myasishchev D. G. Synthesis of Structure of Forest Mechanized Complex Based on a Compact Mobile Power Module. *Lesotekhnicheskij zhurnal*, 2017, vol. 7, no. 1 (25), pp. 196—204. doi: 12737/25211. (In Russ.)
4. Grigorev I., Kunickaya O., Burgonutdinov A., Ivanov V., Shuvalova S., Shvetsova V., Stepanishcheva M., Tikhonov E. Theoretical Studies of Dynamic Soil Compaction by Wheeled Forestry Machines. *Diagnostyka*, 2020, vol. 21, no. 2, pp. 3—13. doi: 10.29354/diag/127650.
5. Vusić D., Šušnjar M., Marchi E., Spina R., Zečić T., Picchio R. Skidding operations in Thinning and Shelterwood Cut of Mixed Stands — Work Productivity, Energy Inputs and Emissions. *Ecological Engineering*, 2013, vol. 61, part A, pp. 216—223.
6. Semin I. A. *Small-Sized Logging Machines of the Scandinavian Countries*. Moscow, VNIPIE`Ilesprom, 1999. 10 p. (In Russ.)
7. Allen R., Hurst J., Wiser S., Easdale T. Developing Management Systems for the Production of Beech Timber. *New Zealand Journal of Forestry*, 2012, vol. 57, no. 2, pp. 38—44.
8. McEwan A., Brink M., van Zyl S. Guidelines for Difficult Terrain Ground Based Harvesting Operations in South Africa. *ICFR Bulletin*, 2013, no. 02, 149 p.
9. *Technological and Transport Machines. Handbook of Wood Enterprises and Technical Service*. Under the general editorship V. V. Bykov, A. Y. Tesovsky. Moscow, MGYL, 2000. 531 p. (In Russ.)
10. Terinov N., Toybich V., Gertz E., Mekhrentsev A., Azarenok V., Kazantsev P. Modernization of Mini-tractor for Wood Skidding. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 875, iss. 1, no. 12086. doi: 10.1088/1755-1315/875/1/012086. (In Russ.)

© Теринов Н. Н., Герц Э. Ф., Мехренцев А. В., Залесов С. В.

Терехов Г. Г., Толкач О. В., 2023