

УДК 630*37

DOI: 10.37482/0536-1036-2021-5-117-133

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ НА ВЫРУБКАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ ТРАКТОРОВ

И.М. Бартнев, *д-р техн. наук, проф.*; *ResearcherID: [AAR-1937-2020](https://orcid.org/0000-0002-7335-2862)*,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7335-2862>

М.В. Драпалюк, *д-р техн. наук, проф.*; *ResearcherID: [AAP-5563-2020](https://orcid.org/0000-0002-8029-2706)*,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8029-2706>

Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия, 394087; e-mail: michael1@yandex.ru, kafedramehaniza@mail.ru

Оригинальная статья / Поступила в редакцию 20.04.20 / Принята к печати 26.06.20

Аннотация. Применяемые в настоящее время полосное лесовосстановление на вырубках и удаление пней путем корчевания имеют ряд существенных недостатков технологического, экологического и экономического характера: вынос гумусированного слоя почвы за пределы расчищаемых полос, уплотнение и снижение ее пористости; образование подпневых ям и их локальное заболачивание; захламление нерасчищаемых кулис между полосами порубочными остатками и выкорчеванными пнями; низкая производительность корчевальных машин и высокая энергоемкость процесса корчевания пней; прекращение агротехнических уходов через 2-3 года после посадки и невозможность проведения осветления культур из-за их непроходимости для тракторных агрегатов; низкий уровень использования силы тяги специальных лесных тракторов и их недостаточная мощность для корчевания пней. Предметом исследования становятся технология, машины и орудия лесовосстановления на вырубках. Цель – обеспечение комплексной механизации технологического процесса лесовосстановления для повышения производительности работ, снижения энерго- и материалоемкости технологии и создание условий для эффективного использования машин и орудий в агрегате с энергонасыщенными тракторами тягово-энергетической концепции, исключающих вредное воздействие на экологию почвы и растений. Результатами достижения поставленных цели и задач являются обоснование лесоводственно-экологической, технической и экономической целесообразности применения технологии, основанной на сплошной расчистке вырубок от порубочных остатков, валежника и поросли кустарниковой растительности путем их измельчения мобильными мульчерами; удаление пней на вырубках посредством их дробления на глубине до 0,15...0,20 м модернизированной машиной МУП-4А с разбрасыванием щепы по лесокультурной площади и последующей сплошной обработкой почвы бороной дисковой клавишной БДК-2.5. При повышении производительности практически исключаются вредные воздействия на экологию почвы и растений, а измельченная древесная биомасса, перемешанная с почвой, превращается в органическое удобрение. Устранение механических препятствий, какими являются порубочные остатки, валежник и пни, позволяет эффективно использовать энергонасыщенные тракторы за счет совмещения технологических операций и выполнения их за один проход агрегата, увеличения ширины захвата и рабочих скоростей. Создаются условия для эффективной работы лесохозяйственных машин и орудий на тракторно-моторной тяге для защиты леса от вредителей, болезней и пожаров, а также для механизации различных видов рубок ухода.

Данная статья опубликована в режиме открытого доступа и распространяется на условиях лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (CC BY 4.0) • Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Для цитирования: Бартнев И.М., Драпалюк М.В. Совершенствование технологии лесовосстановления на вырубках с применением энергонасыщенных тракторов // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 5. С.117–133. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-5-117-133

Ключевые слова: лесовосстановление, технология лесовосстановления, вырубка, корчевка пней, расчистка вырубок, лесная машина, мульчирование, дробление пней, энергонасыщенный трактор.

IMPROVING THE TECHNOLOGY OF REFORESTATION IN CUTTINGS WITH THE USE OF ENERGY-EFFICIENT TRACTORS

Ivan M. Bartenev, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [AAR-1937-2020](https://orcid.org/0000-0002-7335-2862),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7335-2862>

Michael V. Drapalyuk, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [AAP-5563-2020](https://orcid.org/0000-0002-8029-2706),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8029-2706>

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, ul. Timiryazeva, 8, Voronezh, 394087, Russian Federation; e-mail: kafedramehaniza@mail.ru, michael1@yandex.ru

Original article / Received on April 20, 2020 / Accepted on June 26, 2020

Abstract. Currently applied partial reforestation in cuttings and removal of stumps by uprooting have a number of significant technological, environmental and economic disadvantages. These are removal of the humus layer of soil outside the cleared strips, compaction and reduction of soil porosity; formation of understump holes and their local waterlogging; littering of non-cleared belts of trees between strips with felling debris and uprooted stumps; low productivity of uprooting machines and high energy consumption of stump uprooting; termination of agrotechnical tending after 2–3 years after planting and impossibility of cleaning stands due to their obstruction for tractor units; low level of traction force of special forest tractors and their insufficient power for uprooting stumps. Technology, machines and tools for reforestation in cuttings become the subjects of the research. The aim of the research is to provide a comprehensive mechanization of the reforestation process in order to improve work productivity, reduce energy and material consumption of the technology and create conditions for the effective use of machines and tools in combination with energy-efficient tractors of the traction-energy concept, ensuring the elimination of harmful effects on soil and plants ecology. The results of achieving the set aim and objectives are substantiation of forestry and ecological, technical, and economic feasibility of using the technology based on the complete clearing of cuttings from felling residues, dead wood and coppice of shrub vegetation by their crushing using mobile mulchers; removal of stumps in cuttings through crushing them at a depth of 0.15–0.20 m by an upgraded MUP-4A machine with scattering chips over the planting area and subsequent continuous tillage with a disk harrow BDK-2.5. Harmful effects on the ecology of soil and plants are practically eliminated with an increase in productivity, and the grinded woody biomass mixed with the soil turns into an organic fertilizer. The elimination of mechanical obstacles such as felling residues, fallen trees and stumps makes it possible to effectively use energy-efficient tractors by combining technological operations and performing them in one pass of the unit, as well as increasing the working width and operating speeds. Conditions for efficient operation of forestry machines and tools on tractor-motor traction to protect the forest from pests, diseases, and fires, and for mechanization of various types of thinning are being created.

For citation: Bartenev I.M., Drapalyuk M.V. Improving the Technology of Reforestation in Cuttings with the Use of Energy-Efficient Tractors. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2021, no. 5, pp. 117–133. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-5-117-133

Keywords: reforestation, reforestation technology, cutting, stump uprooting, clearing of cuttings, forest machine, mulching, stump crushing, energy-efficient tractor.

Введение

В последнее время все чаще высказывается мнение о необходимости восстановления производства техники для лесного хозяйства, проектирование и разработка которой были прекращены в годы перестройки. Однако возобновлять производство значительной части машин, орудий и лесохозяйственных тракторов ЛХТ-55А и ЛХТ-4 вряд ли целесообразно, поскольку эта техника за последнюю четверть века устарела и не соответствует современным задачам и требованиям.

Лесному хозяйству необходимы технологии и специальные лесные машины, работающие по принципу «меньше задач – больше отдачи» на основе широкомасштабного использования научно-технических открытий. Успех может быть достигнут не только за счет техники, но и в не меньшей степени за счет технологий.

Действующая в нашей стране технология лесовосстановления основана на частичной расчистке вырубок от порубочных остатков, валежника и пней в виде полос шириной 2,5...3,0 м с оставлением между ними нерасчищенных кулис такой же ширины [16]. Кулисы заполняются дополнительно древесной массой вместе с почвой, находящейся на пнях, интенсивно зарастают порослью осины, березы, ольхи и других мягколиственных пород, тем самым исключая перемещение машинно-тракторных агрегатов по данной территории. В результате через 2-3 года прекращаются агротехнические уходы и не проводится осветление лесных культур, что отрицательно сказывается на их сохранности. Полосная расчистка не позволяет применять многорядные (многомашинные) агрегаты при подготовке почвы, посадке и агротехнических уходах. Это сдерживает использование современных тракторов тягово-энергетической концепции, т. е. энергонасыщенных, которые стали энергетической базой сельского хозяйства и должны частично заменить известные лесохозяйственные тракторы [6, 7].

Успех в лесовосстановлении может быть достигнут путем применения технологий сплошной расчистки вырубок и сплошной обработки почвы, превращения древесной массы, остающейся после лесозаготовок, в щепу, а затем в органическое удобрение [10] после смешения ее с почвой. Современные научно-технические достижения в области развития техники позволяют удалять пни способами, которые в сравнении с корчеванием значительно менее энергоемки, более производительны и сохраняют экологию природной среды [9].

Целью настоящей работы является снижение вредного воздействия технологии и техники на почву, энерго- и материалоемкости; повышение технико-экономических показателей процесса лесовосстановления за счет совершенствования технологии и разработки перспективных машин, агрегируемых с энергонасыщенными тракторами, позволяющими совмещать технологические

операции и выполнять их за один проход агрегата, увеличивать ширину захвата и рабочие скорости, применять комбинированные машины с рабочими органами пассивного и активного действия [5, 9].

Объекты и методы исследования

Механизация как часть технологии лесовосстановления в годы своего интенсивного развития ограничивалась и оценивалась увеличением производительности на 20–30 %, надежности и долговечности конструкций машин и орудий, соответствием качественных показателей работы агротехническим требованиям и повышением экономической эффективности. Оценка производилась по разработанным и утвержденным стандартам и методикам. Лесоводственно-агротехническая часть технологии практически не менялась, а определялась одним вопросом – не корчевать пни, а если корчевать, то сколько. Энергетическая база лесного хозяйства – это всего лишь 2–3 марки тяжелых, но слабых по мощности гусеничных тракторов, что явилось тормозом в развитии средств механизации и технологии в целом [11].

При разработке новой техники не уделялось должного внимания ее экологическому воздействию на природную среду, в первую очередь на почву, при выполнении таких технологических операций, как удаление порубочных остатков, валежника и пней, подготовка почвы на вырубках. Во время данных видов работ происходят чрезмерное уплотнение почвы, разрушение ее структуры и снижение плодородия, обнажение нижних бесструктурных горизонтов, вынос гумуса за пределы среды обитания лесных культур, локальное заболачивание на месте подпневых ям и др. Существуют различные пути уменьшения негативного воздействия на экологию почв: снижение количества проходов по одному следу, а также сокращение площади вырубki и удельного давления на почву; исключение скольжения движителей тракторов; совмещение технологических операций и их выполнение за счет работы двигателя и вала отбора мощности (ВОМ) трактора, использование современных энергонасыщенных тракторов тягово-энергетической концепции [10]. Это и является задачей проведенных исследований, которые могут быть в дальнейшем приняты за основу методик комплексной оценки новых средств механизации. Исходя из этого, в качестве объекта изучения приняты обе составляющие технологии лесовосстановления на вырубках – лесоводственно-агротехническая и техническая.

Результаты исследования и их обсуждение

В 40–60-е гг. прошлого столетия восстановление леса на вырубках производилось по технологии сплошной корчевки пней и сплошной подготовки почвы. Применялись корчеватели К-1А и К-2А, корчеватель-собирающий Д-210Г, корневычесыватель ВК-1.7. Выкорчеванные пни и корни складировались в валы по периметру вырубki или непосредственно на ее расчищенной части. Затем следовали сплошная вспашка кустарниково-болотным плугом ПКБ-2-54 и двухкратное дискование тяжелой дисковой бороной БДТ-2.2. Порубочные остатки, пни и корни, сдвинутые в валы, вывозили на транспортных средствах. Так территория вырубki превращалась в своего рода сельскохозяйственное поле, на котором в течение двух лет выращивали травы, овес и бахчевые культуры, обогащая почву азотистыми удобрениями и органическими веществами.

Подобная подготовка площади обеспечивала высокий уровень последующих технологических операций (посадка леса, агротехнический и лесоводственный уход, защита леса от вредителей, болезней и пожара) и механизацию работ, проводимых в течение всей жизни культур вплоть до осуществления рубок главного пользования. Густота закладываемых культур при ширине междурядий 2,5 м и шаге посадки 0,75 и 1,00 м составляла 5300...4000 шт./га, что находится в пределах, установленных нормативными документами, 3500...6000 шт./га [21].

Однако из-за больших материально-денежных и трудовых затрат на расчистку вырубок, отсутствия сбыта и глубокой переработки выкорчеванных пней, валы которых постепенно превращались в резерваты вредителей и болезней не только лесных, но и сельскохозяйственных культур на прилегающих полях и являлись источниками повышенной пожарной опасности, в начале 70-х гг. был осуществлен переход на частичную полосную расчистку вырубок. Ширина полос и оставляемых между ними нерасчищаемых кулис составляла по 2,5–3,0 м, т. е. ширина междурядий была, соответственно, 5–6 м, и количество высаживаемых сеянцев оказалось в 2–3 раза меньше нормативных значений.

Для применения этой технологии были разработаны машины и орудия, обеспечивающие комплексную механизацию лесовосстановления и лесоразведения на базе лесохозяйственных тракторов тяговой концепции ЛХТ-55, ЛХТ-4 и ЛХТ-100, а также ряда тракторов-тягачей общего и сельскохозяйственного назначения (Т-100МГС, Т-130, ДТ-75М, ДТ-75Б, МТЗ-80/82, Т-150К). Основным энергетическим средством в условиях работы на вырубках является трактор ЛХТ-55.

Переход на полосную расчистку вырубок снижает затраты только на выполнение одной технологической операции: количество удаляемых пней уменьшается в 2–2,5 раза. Однако во столько же раз снижается первоначальная полнота насаждений, следовательно, практически исключается получение промежуточного экономического эффекта от рубок ухода.

Порубочные остатки, валежник и корчующие пни с расчищенных полос удаляются в кулисы. Кулисы интенсивно зарастают порослью мягколиственных пород и уже на 2-3-й год становятся тракторонепроходимыми. По этой причине на 3-м году становится невозможным проводить агротехнические уход и осуществлять осветление. Эти операции проводятся частично с помощью ручных мотоинструментов.

Расчищаемые полосы после удаления пней и выравнивания некоторых подпневых ям представляют собой корытообразное понижение в поперечном сечении глубиной 0,1...0,2 м. Обнаженные нижние почвенные горизонты под действием атмосферных осадков легко и быстро заплывают. Вода стекает, заполняет микропонижения, и происходит локальное заболачивание.

В результате всех этих неблагоприятных условий, складывающихся в почве и над почвой, часть культур находится в угнетенном состоянии, вымокает и погибает. Сохранность хвойных культур не превышает 53 % [16], а культур дуба – 18–23 % [2].

Агрегатирование специальных лесных машин разного назначения и разного тягового сопротивления (корчеватели КМ-1А, МРП-2А и ОРВ-1.5; плуги ПКЛ-70, ПЛ-1, ПЛМ-1.3А и ПЛМ-1.5; лесопосадочные машины МЛУ-1А, СЛГ-1А, ЛМД-81К и др.; культиваторы КЛБ-1.7 и КДС-1.8) с одним и тем же

трактором ЛХТ-55 делает его применение неэффективным. Коэффициент загрузки в этом случае составляет всего лишь 0,10–0,46 (табл. 1). В то же время мощность двигателя данного трактора недостаточна для корчевания пней диаметром более 25...35 см [3].

Таблица 1

Показатели использования силы тяги трактора ЛХТ-55 в лесовосстановлении

Вид работ	Орудие	Рабочая скорость, км/ч	Сила тяги трактора, кН	Сопротивление орудия, кН	Коэффициент использования силы тяги трактора
Нарезка двухотвальных борозд	Плуг ПКЛ-70	4,7	32,0	12,6	0,40
Образование микроповышений	Плуг ПЛМ-1.5	3,6	45,8	21,0	0,46
Посадка	Сажалка МЛУ-1А	1,8	56,0	11,5	0,20
	Сажалка СЛГ-1А	1,8	56,0	13,5	0,24
Агротехнический уход	Культиватор КЛБ-1.7	4,7	32,0	3,0	0,10

Таким образом, в лесохозяйственном производстве сложилась проблемная ситуация, из которой возможны несколько выходов. Первое направление – иметь широкий типаж специальных лесных тракторов класса 0,9; 1,4; 2; 3 и 4; 5; 5 и 9, а также самоходное шасси 0,6, степень загрузки каждого из которых должна быть не ниже 0,85. Второе – повышать рабочие скорости и рабочую ширину захвата машинно-тракторных агрегатов с использованием навесных и гидрофицированных прицепных сцепок.

Реализация первого направления за счет разработки и серийного производства полномасштабного типажа тракторов-тягачей лесохозяйственного назначения нецелесообразна, потому что не будет обеспечена их годовая загрузка. Что касается лесных тракторов ЛХТ-55, ЛХТ-4 и ЛХТ-100, то их выпуск прекращен. Поэтому энергетическая база лесного хозяйства в настоящее время и в будущем может быть представлена современными тракторами тягово-энергетической концепции, ставшими основой развития механизации сельского хозяйства [18].

Коэффициент энергонасыщенности тракторов тягово-энергетической концепции составляет для гусеничных 2,12...2,61 и колесных 1,5...1,75 кВт/кН [17]. Энергонасыщенность гусеничных тракторов-тягачей ЛХТ-55 и ДТ-75М равна 0,5 и 1,05 кВт/кН соответственно, т. е. меньше в 2 раза.

В тракторах тягово-энергетической концепции в отличие от тракторов-тягачей мощность двигателя реализуется не только через движители, создавая этим самым силу тяги, но и через устройства отбора мощности для механического или гидравлического привода рабочих органов активного типа. Энергонасыщенность трактора тягово-энергетической концепции позволяет выполнять одновременно несколько технологических операций за один проход машинно-тракторного агрегата, увеличивать рабочие скорости, производительность в кратное число раз, используя многорядные и широкозахватные агрегаты, заменяя при этом 2–3 трактора меньшего класса тяги [1]. Практический интерес для лесного хозяйства представляют такие марки энергонасыщенных тракторов, как МТЗ-622, МТЗ-311М, МТЗ-1221, МТЗ-952.2, МТЗ-320.4, и ряд других.

Также остаются востребованными и выпускаемые заводами широко известные МТЗ-80/82 и гусеничный «Агромаш 90 ТГ». Энергонасыщенность этих тракторов 1,54...1,90 (табл. 2).

Таблица 2

Энергонасыщенность тракторов общего назначения Минского тракторного завода

Показатель	МТЗ-320.4	МТЗ-622	МТЗ-1220	МТЗ-952.2	МТЗ-1221	МТЗ-80
Мощность двигателя, кВт	26,5	46,0	82,3	66,0	96,0	59,0
Эксплуатационный вес трактора, кН	17,2	24,1	46,0	41,0	53,0	31,6
Коэффициент энергонасыщенности, кВт/кН	1,54	1,90	1,80	1,61	1,61	1,87

Эти тракторы могут быть тягово-энергетическими средствами для выполнения следующих видов работ: расчистка вырубок от порубочных остатков, подготовка почвы, посадка и посев, агротехнический и лесоводственный уход, опрыскивание и опыливание насаждений, прокладка противопожарных минерализованных полос, тушение низовых лесных пожаров. Универсально-пропашные тракторы RSM 320, RSM 340, RSM 370 и RSM 400, выпускаемые заводом «Ростсельмаш», могут быть применены для удаления как надземной части пней, так и вместе с корнями на глубине, что обеспечивает высокое качество подготовки почвы, посадки лесных культур и ухода за ними; для тушения наземных лесных пожаров почвогрунтом. Мощность двигателей этих тракторов 243,6...292,0 кВт, коэффициент энергонасыщенности – 1,97...2,15 кВт/кН.

Однако энергонасыщенные тракторы не вписываются в технологию полосной расчистки вырубок и в существующие комплексы машин. Такие тракторы эффективны в технологиях, разработанных для открытых площадей, свободных от механических препятствий и обеспечивающих высокую маневренность широкозахватных машинно-тракторных агрегатов.

Подобные условия в лесовосстановлении могут быть созданы в варианте сплошной расчистки вырубок, но в отличие от ранее применяемой в лесном хозяйстве технологии будут базироваться на совершенно новых научно-технических достижениях, обеспечивающих комплексную механизацию лесовосстановления и ведения хозяйства в лесу, а также минимизацию энергоресурсных затрат; сохраняющих экологию природной среды в процессе удаления порубочных остатков, пней и подготовки почвы; повышающих эффективность использования машинно-тракторных агрегатов.

Основной способ удаления пней – механический, осуществляемый в настоящее время корчевательными машинами (корчевателями и корчевателями-собирающими) рычажного типа. В основе этого способа лежит принцип вытягивания пня из почвы путем статистического и динамического воздействий, приложенных к пню в наклонном, горизонтальном и вертикальном направлениях [25, 27]. В частности, широко известные корчевальные машины КМ-1А и МРП-2А работают по принципу наклонного приложения силы к пню [24, 26].

Корчевка пней весьма трудоемкий, энергоемкий и малопроизводительный процесс, состоящий из нескольких операций: подход машины к пню, заглубление рабочего органа в почву, вытягивание пня (одновременно

в вертикальной и горизонтальной плоскостях), трелевка выкорчеванного пня к месту вывозки пней подъемно-транспортными средствами, возврат и установка машины в исходное положение для продолжения работы.

На усилии извлечения пня из почвы влияет большое количество факторов: порода дерева, размер пня, форма и параметры корневой системы, наличие корневых лап, тип, влажность и плотность почвы и др. При вытягивании пня в его корнях создаются напряжения растяжения, их величина возрастает по мере увеличения сил воздействия рабочего органа корчевальной машины до предела прочности, превышение которого приводит к разрыву корней, и, таким образом, их верхняя часть теряет контакт со средой своего обитания.

Пни диаметром 34...41 см извлекаются из почвы усилием 87,5...120 кН и более. Длительность процесса корчевки пня достигает 20–30 мин [14]. Пни диаметром более 25 см, особенно таких пород как дуб, клен остролистный и др., корчуют с нескольких заходов, маневрируя вокруг пня до 14 раз. При каждом заходе цикл рабочего процесса корчевальной машины повторяется, производя таким образом постепенный обрыв корней по периметру пня [22]. Это является главной причиной низкой производительности корчевателя, которая с учетом трелевки и заполнения подпневых ям почвогрунтом составляет 0,15–0,22 га в смену или 12–20 пней в час сменного времени [13]. С целью уменьшения сопротивления пня корчеванию и повышения производительности корчевателя предложена предварительная подрезка корней [20]. Однако это не решает проблему, а еще больше усложняет работу, поскольку увеличивается количество операций и техники.

В странах Европы и Америки при уходах за городскими парками и в зеленом строительстве применяют измельчители пней на месте их нахождения в почве. Рабочие органы используемой в этом случае машины представляют собой дисковую фрезу [31, 34] либо барабан на горизонтальной оси вращения [30, 32] с закрепленными на них резцами. Эти рабочие органы, вращаясь с окружной скоростью 40...100 м/с, измельчают пни путем фрезерования поперек волокон, превращая их в мелкую стружку. Однако у данного способа есть ряд недостатков: большая энергоемкость процесса фрезерования, быстрое затупление резцов при контакте с почвогрунтом, послойное фрезерование сверху-вниз, что приводит к многократным челночным перемещениям и, следовательно, к снижению производительности.

При применении других устройств, действующих по способу вытягивания пней, т. е. как и обычные корчеватели рычажного типа, но с введением вибрации [28, 33], усилие выдергивания может снизиться на 30 %. Однако вибрация приводит к увеличению жесткости конструкции, массы машины и дополнительным существенным затратам по устранению вредного воздействия на оператора.

Особенностью древесины в отличие, например, от металла является различие ее предела прочности в зависимости от направления действия прикладываемых сил относительно волокон – вдоль или поперек. При растяжении вдоль волокон, что имеет место в работе корчевальных машин, предел прочности таких пород, как лиственница, сосна, ель, дуб, береза и осина, равен 125,0; 103,5; 108,0; 138,8; 168,0 и 125,56 кН соответственно. При растяжении поперек волокон в радиальном/тангенциальном направлениях – 5,6/5,2; 5,4/3,5; 5,0/3,2;

8,0/6,5; 11,1/6,5 и 7,4/4,6 кН соответственно, т. е. меньше, чем при растяжении в 25–40 раз [23].

Удаление пней корчевальными машинами сопровождается рядом негативных факторов экологического характера [24]: минерализация и разрушение структуры почвенных слоев, полное удаление гумусового горизонта с 32 % площади вырубki, снижение вдвое – на 15 % и обнажение горизонта – на 6,6 %. Образуются подпневные ямы глубиной от 25–30 см до 70–90 см, заполнение которых почвогрунтом с прилегающих к ним участков производится теми же корчевальными или бульдозерами. Это ведет к еще большей неравномерности распределения гумуса [27, 29]. В процессе буксования движителей корчевальных машин, когда сопротивление пня корчеванию превышает толкающее усилие трактора, происходит интенсивное колеобразование, что увеличивает количество пылеватых частиц [19].

Технология сплошной расчистки вырубok может быть экологически безопасной и экономически выгодной в случае удаления пней полностью или только их надземной части рабочими органами активного действия, производящими фрезерование, высверливание и дробление за счет энергии двигателя трактора, передаваемой через ВОМ или гидропривод. Во время удаления пня трактор по сравнению с корчевальными машинами находится в стояночном положении. Его движители не используются для создания толкающего усилия с целью выдергивания пня из почвы, а являются средством передвижения между остановками.

Наиболее перспективный вариант – дробление пней рабочим органом, действующим на древесину вдоль волокон в тангенциальном направлении. Этот способ по сравнению с фрезерованием и высверливанием менее энергоемкий и более производительный. Данный способ реализован в конструкции машины для удаления пней МУП-4.

Машина МУП-4 – это агрегат, состоящий из трактора ТДТ-55 (ЛХТ-55А) и размещенного впереди рабочего оборудования, включающего ротор-измельчитель в виде усеченного конуса, стрелы длиной 4 м, гидроцилиндров поворота стрелы в горизонтальной и вертикальной плоскостях. На стойках ротора-измельчителя расположены скальвающие ножи, по окружности нижнего основания – подрезающие резцы. Привод ротора-измельчителя от переднего ВОМ трактора производится через карданную передачу, размещенную в трубе стрелы, и конический редуктор.

Рабочий процесс дробления осуществляется, когда трактор находится в стояночном положении. При вращении ротора-измельчителя с окружной скоростью до 40 м/с и перемещении его в горизонтальной плоскости над поверхностью земли происходят одновременно подрезание пня резцами и дробление ножами по линиям наименьшего сопротивления в тангенциальном направлении, т. е. вдоль волокон, на древесные фракции в виде щепы, отбрасываемой на расстояние до 30 м.

В зависимости от диаметра, физического состояния пня, параметров и формы его комлевой части оператор машины МУП-4 регулирует скорость подачи и частоту вращения ротора-измельчителя. После окончания дробления пня стрелу с ротором-измельчителем переводят в транспортное положение и осуществляют переезд к следующему пню или группе пней.

Испытания, проведенные на лесных вырубках в зоне смешанных лесов, показали, что машина МУП-4 удаляет надземную часть пней осины, березы и сосны диаметром 28...37 см за 20...26 с; дуба семенного происхождения диаметром 30...42 см – за 17...32 с, а двойчатки и тройчатки порослевого происхождения – в несколько приемов за 55...70 с. Производительность МУП-4 по сравнению с корчевальной машиной КМ-1А выше в 7–10 раз [12, 15].

Вместе с тем были выявлены некоторые недостатки: вибрация при дроблении пней твердолиственных пород; трудности в наведении рабочего органа относительно пня и, как следствие, некачественное дробление пней с увеличением частоты маневрирования всего агрегата в целом; агрегатирование с гусеничным трактором устаревшей марки; ограниченность в применении по глубине дробления из-за недостаточной износостойкости резцов в условиях абразивной среды [8, 10].

Большинство отмеченных недостатков устранены в модернизированном образце машины МУП-4А (рис. 1): увеличено количество подрезающих ножей; скальвающие ножи размещены по винтовой линии и имеют дугообразную режущую кромку [12]. Механический привод заменен на гидравлический, вместо стрелы постоянной длины установлен гидроманипулятор телескопического типа ЛВ-210 (Майкопский машиностроительный завод), длина стрелы которого переменна – 2,7...5,4 м, что увеличивает количество удаляемых пней с одной рабочей позиции агрегата в пределах полосы шириной, ограниченной изменяемым вылетом стрелы и углом поворота в 170°. Машина МУП-4А агрегатируется с колесными тракторами ЛТЗ-60, МТЗ-622 класса 0,9. Мощность, потребляемая на дробление пней, составляет 9...12 кВт.

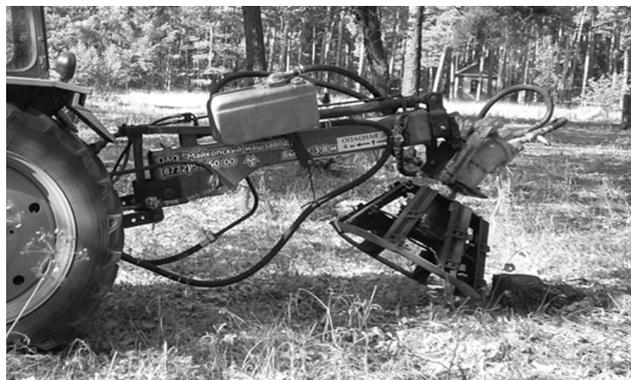


Рис. 1. Модернизированный образец машины МУП-4А

Fig. 1. Upgraded model of the MUP-4A machine

С целью дробления не только надземной части пней, но и находящейся в почве на глубине 0,15...0,20 м, и снижения износа режущих и скальвающих ножей разработана машина [4] (рис. 2), состоящая из двух модулей: очистителя от почвы 5 и измельчителя пней 1, соединенных со стрелой гидроманипулятора 8 на раме 2. В состав управления агрегатом входят гидроцилиндр поворота рамы 3, гидроцилиндр перемещения измельчителя в зависимости от диаметра пней 15, гидромоторы привода измельчителя 9 и секций очистителя 4 через цепную передачу 11 и шарниры Гука 6. Расхождение и схождение секций очистителя в зависимости от диаметра пней производится гидроцилиндром 15, жестко соединенным с рамой 2 через двухплечие рычаги 13 шарнирами 12 и поводкой 14. Измельчитель соединен с рамой с возможностью перемещения в вертикальной

плоскости гидроцилиндром 10 до момента его установки, когда рабочая поверхность займет положение, параллельное поверхности пня, т. е. установится вертикально. Вылет стрелы изменяется гидроцилиндром 7.

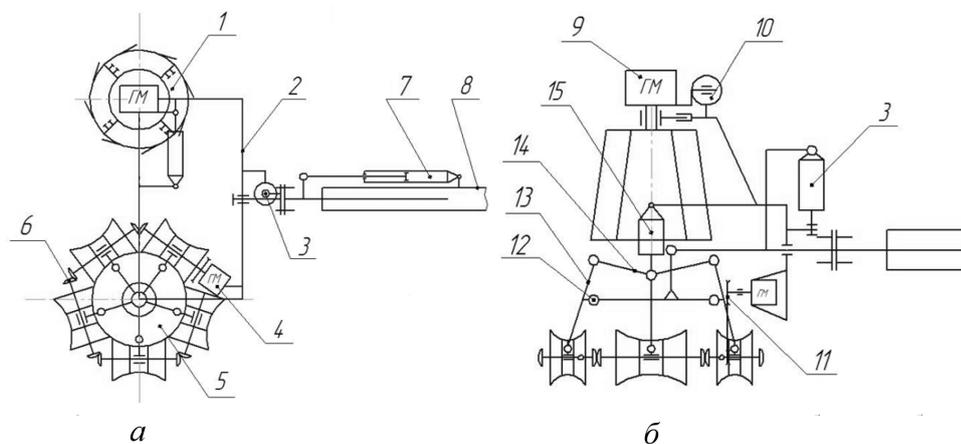


Рис. 2. Двухмодульная машина для удаления пней: *а* – вид сверху; *б* – вид сбоку

Fig. 2. Two-module machine for removing stumps: *a* – top view; *b* – side view

Оба модуля установлены на раме в виде качающегося коромысла, на концах которого размещены модули, работающие поочередно. Сначала очиститель удаляет почвогрунт вокруг пня в радиусе до 0,9 м на глубину до 0,2 м, а затем приходит в действие измельчитель.

Сочетание в одной конструкции рабочих органов для очистки пней от почвы, образования площадки-углубления вокруг пней и затем их дробления снижает денежные затраты, трудо- и материалоемкость процесса удаления пней и обеспечивает эффективное использование энергетических ресурсов.

После удаления пней на всей культивируемой площади на глубине 5–7 см производится сплошное измельчение порубочных остатков, валежника. В случае обнаружения оставшейся части пня применяется мобильный мульчер BERTY EFX/DT (Италия), агрегируемый с трактором МТЗ-1221. Происходит интенсивное перемешивание щепы с верхним слоем почвы. Ширина захвата мульчера 2,3 м, рабочие скорости – до 5 км/ч.

В комплексе с модернизированной машиной для дробления пней МУП-4А BERTY EFX/DT работает борона дисковая клавишная БДК-2.5 (рис. 3), спроектированная в Воронежском государственном лесотехническом университете.

Глубина сплошной обработки почвы 15...17 см. Оставшиеся в земле части пней и их корней не оказывают отрицательного влияния на качество работы. Двукратность во взаимноперпендикулярных проходах агрегата приводит к подавлению корнеотпрысковой способности осины и к образованию слоя хорошо разрыхленной почвы, в том числе и над оставшейся в земле частью пня. Толщина разрыхленного слоя при расположении пней на глубине до 0,15...0,20 м с учетом вспушенности после сплошной основной обработки достаточна для беспрепятственного действия лесопосадочных машин и культиваторов при осуществлении уходов в лесных культурах.



Рис. 3. Борона дисковая клавишная БДК-2.5

Fig. 3. Key-actuated disk harrow BDK-2.5

Таким образом, модернизированная машина МУП-4А, мульчер BERTY EFX/DT и борона дисковая клавишная БДК-2.5 превращают вырубку в поверхность, на которой нет препятствий. Это создает условия для механизированной посадки растений прямолинейными и параллельными рядами с заданной шириной междурядий и дает возможность выполнять работы широкозахватными и многорядными агрегатами на повышенных скоростях, эффективно использовать современные энергонасыщенные колесные тракторы разных по мощности и силе тяги моделей.

Новая технология по удельной металлоемкости и удельной энергоёмкости (табл. 3) в 6,6 и 1,9 раза соответственно эффективнее действующей технологии (табл. 4) и предполагает меньшее количество операций. Исключаются сдвиг и трелевка пней в сторону, очистка их от почвы и заравнивание подпневных ям, сбор и трелевка порубочных остатков и валежника в валы, последующие погрузка и транспортирование их за пределы вырубков. Замена корчевки пней на их дробление снижает энергоёмкость процесса почти в 3,5 раза, а металлоёмкость – в 12 раз.

Таблица 3

Существующая полосная технология лесовосстановления (ширина полос – 2,5 м; ширина кулис – 2,5 м; ширина междурядий – 5 м)

Операция	Агрегат		G, кг	N, кВт	W, га/смену	G/W, кг/га	N/W, кВт/га
	трактор	машина					
Расчистка вырубков от порубочных остатков	ЛХТ-55	ПС-2.4	10900	46	2,38	4500	19,4
Корчевание пней, сдвиги их в кулисы, заравнивание подпневных ям	ЛХТ-55	КМ-1А	10500	46	0,21	50000	218,0
Нарезка двухотвальных борозд	ЛХТ-55	ПКЛ-70	9800	46	11,50	852	4,0
Посадка культур	ЛХТ-55	МЛУ-1А	9750	46	4,30	2035	10,6
Агротехнический уход	ЛХТ-55	КЛБ-1,7	9700	46	15,10	642	3,0
<i>Итого</i>	–	–	–	–	–	58029	255

Примечание: G – масса агрегата; N – мощность двигателя трактора; W – производительность агрегата; G/W – удельная металлоёмкость технологической операции; N/W – удельная энергоёмкость операции.

Таблица 4

Предлагаемая технология лесовосстановления (ширина междурядий – 2,5 м)

Операция	Агрегат				G, кг	N, кВт	W, га/смена	G/W, кг/га	N/W, кВт/га
	Трактор	Машина	Сцепка	n					
Дробление пней на глубину до 0,15...0,20 м	МТЗ-1220	МУП-4А	–	–	5100	82,3	1,26	4048	65,3
Измельчение порубочных остатков	МТЗ-1221	Мульчер BERTU EFX/DT	–	–	5460	96,0	2,40	2275	40,0
Сплошная обработка почвы. Глубина обработки 17 см. Двухкратный проход	МТЗ-1220	БДК-2.5	–	–	5500	82,3	8,40	654	9,8
	МТЗ-1220	БДК-2.5	–	–	5500	82,3	8,40	654	9,8
Посадка культур	Агромаш-90ТГ	МЛУ-1А	СН-75	3	7450	66,0	8,60	832	7,7
Агротехнический уход	МТЗ-1220	КЛ-2,6	СН-35М	3	5400	82,3	15,00	360	5,5
<i>Итого</i>	–	–	–	–	–	–	–	8823	138,1

Примечание: n – количество машин в агрегате; СН-75 – полунавесная гидрофицированная сцепка.

Заключение

Сплошная расчистка вырубок от пней путем дробления их на мелкие фракции по линиям наименьшего сопротивления, т. е. вдоль волокон в тангенциальном направлении, на глубине до 15...20 см с разбрасыванием щепы по поверхности почвы и последующее сплошное измельчение порубочных остатков и валежника мобильными мульчерами делают возможным: осуществление на высоком агролесокультурном уровне сплошной обработки почвы, посадки, агротехнических уходов, осветления и других видов рубок ухода; применение современных сельскохозяйственных энергонасыщенных тракторов тягово-энергетической концепции с загрузкой их не ниже 75...85 % за счет совмещения технологических операций и выполнения их комбинированными навесными и полунавесными машинами за один проход и на повышенных скоростях; использование многомашинных (многорядных) агрегатов и полунавесных гидрофицированных сцепок типа СН-75, СН-35М и др. Эти выводы подтверждены научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами,

проведенными учеными Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова. Результаты, полученные по модернизированной машине МУП-4А, мобильным мульчерам BERTY EFX/DT, разработанным бороне дисковой клавишной БДК-2.5, очищающей и измельчающей пни на глубине 15...20 см комбинированной машине, лесопосадочным машинам, работающему на повышенных скоростях комбинированному культиватору, подтверждают целесообразность и эффективность перехода на сплошное освоение под лесные культуры не только вырубков, но и горельников. Основным направлением дальнейших исследований должны быть разработка, промышленное производство и применение комбинированных машин и агрегатов, приводимых в действие мощностью двигателей тракторов тягово-энергетической концепции, реализуемой одновременно через их движители и оборудование отбора и передачи мощности. Сплошное освоение вырубков и превращение их в своего рода поле позволяет отказаться от разработки и производства специальных лесных тракторов, т. к. здесь вполне приемлемы современные сельскохозяйственные тракторы тягово-энергетической концепции, типаж которых достаточен не только для лесовосстановления на вырубках и горельниках, но и для сбора лесных семян, производства посадочного материала в питомниках, защиты леса от вредителей, болезней и пожаров. В пользу заимствования тракторов сельскохозяйственного назначения различного класса тяги в качестве энергетической базы для лесного хозяйства говорит и то, что данные тракторы являются колесными, а это делает их маневренными, высокоскоростными и независимыми в плане переброски с одного места работы на другое. Они также характеризуются низким удельным давлением на почву, высокой проходимостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Агеев Л.Е., Бахриев С.Х. Эксплуатация энергонасыщенных тракторов. М.: Агропромиздат, 1991. 271 с. Ageyev L.E., Bakhriyev S.Kh. *Operation of High-Energy Tractors*. Moscow, Agropromizdat Publ., 1991. 271 p.
2. Алентьев П.Н. Проблемы повышения эффективности лесных культур на вырубках, зарастающих лиственными породами // Изв. вузов. Лесн. журн. 2005. № 6. С. 37–43. Alentjev P.N. Problems of Increasing Efficiency of Forest Cultures on Cleared Space Overgrown by Deciduous Species. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2005, no. 6, pp. 37–43. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/b3a/b3a55c4e49c7e27ee4bc438d48587346.pdf>
3. Алябьев А.Ф. Обоснование технологических комплексов машин для лесовосстановления: моногр. М.: МГУЛ, 2010. 267 с. Alyab'yev A.F. *Substantiation of Technological Complexes of Machines for Reforestation*: Monograph. Moscow, MGUL Publ., 2010. 267 p.
4. Бартнев И.М. Экологизация процесса освоения вырубков под лесные культуры // Лесотехн. журн. 2012. № 1(5). С. 21–27. Bartenev I.M. Ecologization of Process of Developing Cuttings for Forest Cultures. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2012, no. 1(5). pp. 21–27.
5. Бартнев И.М. Природоохранные технологии лесопользования и лесовосстановления // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. № 3, ч. 4(8-4). С. 121–126. Bartenev I.M. Environmental Technologies for Forest Management and Reforestation. *Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovaniy XXI veka*:

teoria i praktika [Current Directions of Scientific Research of the XXI Century: Theory and Practice], 2014, no. 3, part 4(8-4), pp. 121–126. DOI: <https://doi.org/10.12737/4354>

6. Бартенеv И.М., Драпалюк М.В. Снижение вредного воздействия лесных тракторов и лесосечных машин на почву и насаждения // Лесотехн. журн. 2012. № 1(5). С. 61–66. Bartenev I.M., Drapalyuk M.V. Reducing the Harmful Effects of Forest Harvesting Machines and Tractors on the Soil and Plantations. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2012, no. 1(5), pp. 61–66.

7. Бартенеv И.М., Поздняков Е.В. Площадкоделатель вокруг пней // Лесотехн. журн. 2014. № 1(13). С. 156–158. Bartenev I.M., Pozdnyakov E.V. Patch-Maker around the Stumps. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2014, no. 1(13), pp. 156–158. DOI: <https://doi.org/10.12737/3361>

8. Бартенеv И.М., Родин С.А. Экологизация технологий и машин лесного комплекса. Пушкино: ВНИИЛМ, 2001. 87 с. Bartenev I.M., Rodin S.A. *Greening Technologies and Machines of the Forestry Complex*. Pushkino, VNIILM Publ., 2001. 87 p.

9. Бартенеv И.М., Драпалюк М.В., Казаков В.И. Совершенствование технологий и средств механизации лесовосстановления: моногр. М.: Флинта, 2013. 208 с. Bartenev I.M., Drapalyuk M.V., Kazakov V.I. *Improvement of Technologies and Mechanical Equipment for Reforestation*: Monograph. Moscow, Flinta Publ., 2013. 208 p.

10. Бартенеv И.М., Драпалюк М.В., Попиков П.И., Бухтояров Л.Д. Конструкции и параметры машин для расчистки лесных площадей: моногр. М.: Флинта, 2007. 208 с. Bartenev I.M., Drapalyuk M.V., Popikov P.I., Bukhtoyarov L.D. *Designs and Parameters of Machines for Clearing Forest Areas*: Monograph. Moscow, Flinta Publ., 2007. 208 p.

11. Беликов Е.В. Обоснование параметров фрезы с гидроприводом для понижения пней твердолиственных пород на лесных участках: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Воронеж: ВГЛТА. 2010. 16 с. Belikov E.V. *Substantiation of Parameters of a Hydraulically-Driven Cutter for Lowering Hardwood Stumps in Forest Areas*: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs. Voronezh, VGLTA Publ., 2010. 16 p.

12. Винокуров В.Н., Еремин Н.В. Система машин в лесном хозяйстве. М.: Академия, 2004. 320 с. Vinokurov V.N., Eremin N.V. *Machine System in Forestry*. Moscow, Akademiya Publ., 2004. 320 p.

13. Горячкин В.П. Собрание сочинений. Т. 6. М.: ОГИЗ-СЕЛЬХОЗГИЗ, 1948. 298 с. Goryachkin V.P. *Collected Works*. Vol. 6. Moscow, OGIZ-SEL'KHOZGIZ Publ., 1948. 298 p.

14. Драпалюк М.В., Батищев С.Н., Посметьев В.В. Оптимизация параметров виброударной машины удаления пней // Вестн. КрасГАУ. 2010. № 12. С. 111–115. Drapalyuk M.V., Batishchev S.N., Posmetyev V.V. Parameter Optimization of the Vibroimpact Machine for Stub Removal. *Vestnik KrasGAU* [The Bulletin of KrasGAU], 2010, no. 12, pp. 111–115.

15. Калиниченко Н.П., Писаренко А.И., Смирнов Н.А. Лесовосстановление на вырубках. М.: Экология, 1991. 380 с. Kalinichenko N.P., Pisarenko A.I., Smirnov N.A. *Reforestation in Clearcuts*. Moscow, Ekologiya Publ., 1991. 380 p.

16. Ксенеvич И.П., Кутков Г.М. Технологические основы и техническая концепция тракторов второго поколения // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1982. № 12. С. 26–28. Ksenevich I.P., Kutkov G.M. Technological Basis and Engineering Concept of the Second Generation Tractors. *Traktory i sel'khoz'yaystvennyye mashiny*, 1982, no. 12, pp. 26–28.

17. Кузьмин Н.В. Повышение эффективности работы почвообрабатывающих агрегатов на базе гусеничного трактора тягово-энергетической концепции: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2008. 20 с. Kuz'min N.V. *Improving the Efficiency of Soil Cultivation Units Based on a Caterpillar Tractor of the Traction and Energy Concept*: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs. Krasnoyarsk, 2008. 20 p.

18. Куликов М.И. О взаимодействии системы «движитель – грунт – лесная среда» // Тр. лесоинж. фак. ПетрГУ. 2001. № 3. С. 52–55. Kulikov M.I. On the Interaction of the System “Mover – Soil – Forest Environment”. *Trudy lesoinzhernogo fakul'teta PetrGU* [Resources and Technology], 2001, no. 3, pp. 52–55. DOI: <https://doi.org/10.15393/j2.art.2001.2275>
19. Новиков С.В. Обоснование параметров и разработка компоновочной схемы оборудования для полосной расчистки вырубок: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Л., 1984. 18 с. Novikov S.V. *Substantiation of Parameters and Development of a Layout Diagram of Equipment for Strip Clearing of Clearcuts*: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs. Leningrad, 1984. 18 p.
20. Патент 2571798 РФ, МПК А01G23/06. Машина для понижения пней: № 2014144688/13: заявл. 05.11.2014; опубл. 20.12.2015 / И.М. Бартнев, М.В. Драпалюк, Л.Д. Бухтояров, Е.В. Поздняков. Bartenev I.M., Drapaljuk M.V., Bukhtojarov L.D., Pozdnjakov E.V. *Machine for Descending Stumps*. Patent RF, no. RU 2571798 C1, 2015.
21. Справочник лесничего / В.Д. Новосельцев, Д.Ф. Горбов, Г.И. Зинов [и др.]; под ред. В.Д. Новосельцева. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1986. 352 с. Novosel'tsev V.D., Gorbov D.F., Zinov G.I. et al. *Handbook of a Forester*. Ed. by V.D. Novosel'tsev. Moscow, Agropromizdat Publ., 1986. 352 p.
22. Толмачев А.Н. Исследование работы гусеничного корчевателя: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1975. 28 с. Tolmachev A.N. *Study of the Caterpillar Grubber Operation*: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs. Moscow, 1975. 28 p.
23. Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение. М.: МГУЛ, 2007. 351 с. Ugolev B.N. *Wood Science and Commodity Science*. Moscow, MSFU Publ., 2007. 351 p.
24. Филин А.И. Обоснование способов расчистки вырубок под лесные культуры в подзоне южной тайги: автореф. ... канд. с.-х. наук. Л., 1987. 20 с. Filin A.I. *Substantiation of Methods for Clearing Felling Areas for Forest Crops in the Southern Taiga Subzone*: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs. Leningrad, 1987. 20 p.
25. Фокин С.В. О машинах и орудиях по удалению и измельчению пней // Лесн. хоз-во Поволжья. Саратов: СГАУ, 2000. С. 230–232. Fokin S.V. About Machines and Tools for Removing and Crushing Stumps. *Forestry of the Volga Region: Interuniversity Collection of Academic Papers*. Saratov, SSAU Publ., 2000. pp. 230–232.
26. Фокин С.В., Цыплаков В.В. К технологии полосной расчистки нераскорчеванных вырубок в степной и лесостепной зонах // Вестн. Саратов. госагроун-та им. Н.И. Вавилова. 2007. № 4. С. 91–92. Fokin S.V., Tsyplakov V.V. To the Question of Belt Clearing of the Unstubbing Clearings in the Steppe and Forest-Steppe Zones. *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N.I. Vavilova* [The Bulletin of Saratov State Agrarian University in honor of N.I. Vavilov], 2007, no. 4, pp. 91–92.
27. Beck W. Verwendung von Gleitschutzketten beim Rucken mit Traktoren. *Beiträge für die Forstwirtschaft*, 1993, no. 4, pp. 175–178.
28. Czupy I. Energetic Comparison of Some Stump-Removing Methods. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, 2014, vol. 10, iss. 1, pp. 35–51. DOI: <https://doi.org/10.1556/progress.10.2014.3>
29. Guiraud C. La Mécánisation des reboisements. *Revue Forestière Française*, 1969, no. 1424, pp. 421–428. DOI: <https://doi.org/10.4267/2042/20326>
30. Jain T., Sikkink P., Keefe R., Byrne J. *To Masticate or not: Useful Tips for Treating Forest, Woodland, and Shrubland Vegetation*. General Technical Report RMRS-GTR-381. Fort Collins, CO, Rocky Mountain Research Station. 2018. 55 p. DOI: <https://doi.org/10.2737/RMRS-GTR-381>

31. Jones P.C., Hawkend J.H. *Stump Grinders*. Austin, USA, 2014. 156 p.
32. Luptáčiková V., Hnilica R., Ťavodová M. Increasing the Life of Mulching Tools. *International Journal of Engineering and Management Sciences*, 2019, vol. 4, no. 1, pp. 414–421. DOI: <https://doi.org/10.21791/IJEMS.2019.1.51>.
33. Omdal D.W., Shaw C.G., Jacobi W.R. Evaluation of Three Machines to Remove Armillaria- and Annosum-Infected Stumps. *Western Journal of Applied Forestry*, 2001, vol. 16, iss. 1, pp. 22–25. DOI: <https://doi.org/10.1093/wjaf/16.1.22>
34. Yao L., Wang Y., Zeng Z., Kan J. Vibration Analysis and Optimization of a Vertical Disc Stump Grinder. *Advances in Mechanical Engineering*, 2018, vol. 10, iss. 2, pp. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1177/1687814018758577>