

А.С. Федоренчик, профессор кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок, кандидат технических наук
(Белорусский государственный технологический университет)

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕСНОЙ ТЕХНИКИ

Современное состояние природной среды выдвигает на первое место в ряду приоритетных проблем глобального масштаба экологическую проблему. Значительное место в ее формировании занимает лесной комплекс, использующий мощную, далекую от совершенства технику и технологии лесозаготовок, негативные последствия применения которых проявляются во всех природных средах. В этой связи можно сформулировать следующие экологические задачи при проектировании и эксплуатации лесной техники:

- оптимизация технологических, инженерных и проектно-конструкторских решений, минимизирующих наносимый природной среде ущерб;

- прогнозирование и оценка возможных отрицательных последствий применяемых и проектируемых технологических процессов и машин для окружающей среды;

- своевременное выявление технологических процессов и машин, наносящих ущерб лесной среде, и их экологическая корректировка.

Поэтому очевидно, что помимо требований высокой производительности лесозаготовительных машин и стремления к более низкой удельной стоимости заготовки, позволяющей получить экономический эффект, на этапе проведения рубок ухода (промежуточное пользование) следует учитывать **требования по исключению повреждаемости деревьев и почвенного покрова**. На этапе рубок главного пользования под «**экологической совместимостью**» (ЭС) будем понимать совокупность параметров машин и технологий, обеспечивающих после рубки состояние лесосек, благоприятное для воспроизводства леса в соответствии со способом лесовозобновления. Данный подход обуславливается принципами устойчивого ведения лесного хозяйства.

Повреждения, причиняемые техникой природной среде, можно разделить на четыре группы:

- повреждения стволовой части дерева и корневой шейки (разрыв и обдир коры, облом сучьев, ошмыги крон, слом вершин);

- повреждения корней (видимые и невидимые переломы, разрывы корней, обдиры корневой коры);

- повреждения почвенного покрова (уплотнение почвы с ухудшением питательных функций корневых систем, образование колеи и эрозия);

- загрязнения (инградиентное или химическое воздействие),

обусловленные попаданием топлива, масел и выхлопных газов в лесную экосистему.

К ним можно добавить менее существенные, но имеющие место воздействия лесной техники – параметрическое (потери энергии, выбросы тепла, шум, вибрация, электромагнитные излучения) и экологическое (уменьшение продуктивности и дегрессия лесных экосистем, сокращение мест обитания, гибель животных организмов и их беспокойство).

Учитывая, что в процессе лесозаготовки задействован ряд машин, отличающихся по конструкции, весовым и размерным характеристикам, реализующие различные технологии в конкретных природно-производственных условиях, их взаимосвязи с целью минимизации воздействия на окружающую среду представлены на рисунке 1.

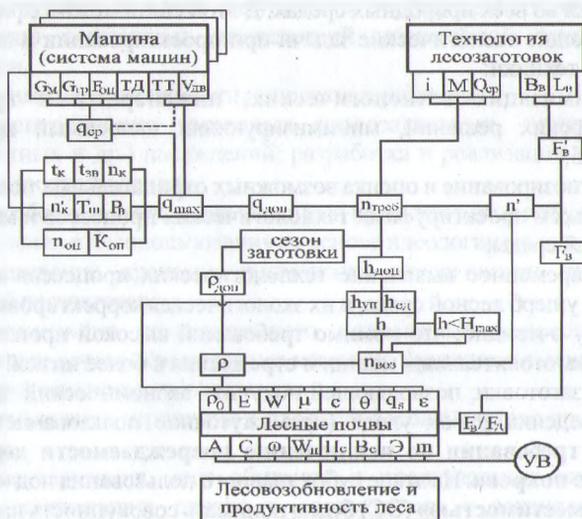


Рис. 1. Структурная схема взаимодействия системы «машина–технология–лесные почвы–лесовозобновление»

Раскроем некоторые принятые обозначения рисунка: G_k – вес машины; $G_{гр}$ – вес груза; $F_{оп}$ – площадь опорной поверхности движителя; $ГТ$ – тип трансмиссии; $V_{дв}$ – средняя скорость движения машины по лесосеке; q_{max} – максимальное давление на почву; $q_{доп}$ – допустимое нормативное давление на почву; t_x – шаг звеньев границы; n'_k – число колес; P_B – давление воздуха в шине; h – глубина колеи; ρ – плотность грунта в колее; ρ_0 – пороговое значение плотности для прорастания семян воспроизводимой породы; ρ_0 – начальная плотность грунта; E – модуль деформации почвы; W – влажность грунта; ϵ – уплотнение почвы; μ – коэффициент поперечного расширения; A – аэрация почвы; C – скважность; Э – эрозия; m – степень

минерализации; H_{\max} – клиренс машины; $n_{\text{воз}}$ – возможное число проходов; $n_{\text{треб}}$ – требуемое число проходов; i – интенсивность рубки; M – запас древесины на га; $Q_{\text{ср}}$ – средний объем вывозимой пачки деревьев; $B_{\text{в}}$ – ширина волока; $L_{\text{в}}$ – длина волока; $F_{\text{в}}$ – площадь волока с учетом возможного количества проходов; $F_{\text{д}}$ – площадь делянки; УВ – управляемые воздействия (выстилка волоков порубочными остатками, использование цепей и гусениц противоскольжения и др.).

Представляя в комплексе проблему экологической совместимости машин для заготовки древесины и лесной среды, рассмотрим характер и структуру связей внутри данной системы с позиций создания наиболее благоприятных условий для лесовозобновления. Здесь возможны варианты. Например, когда лесовозобновление обеспечивается за счет сохранения достаточного количества подроста главной породы, параметры и связи системы настраиваются на минимизацию повреждений поверхности почвы и подроста. Или когда лесовозобновление происходит за счет последующего возобновления главной породы, система настраивается на режим, при котором обеспечивается уплотнение почвы ниже пороговых значений.

Многочисленными исследованиями [1–5] установлено, что уплотнение почвы, возникающее в процессе работы лесных машин, – наиболее негативный показатель в развитии корней деревьев. На рисунке 2 представлены корни, развивающиеся в одинаковых условиях, но при различной степени уплотнения почвы. В опытах верхний слой почвы имел плотность $\rho = 1,24 \text{ г/см}^3$, а нижний был уплотнен до $\rho = 1,52 \text{ г/см}^3$.

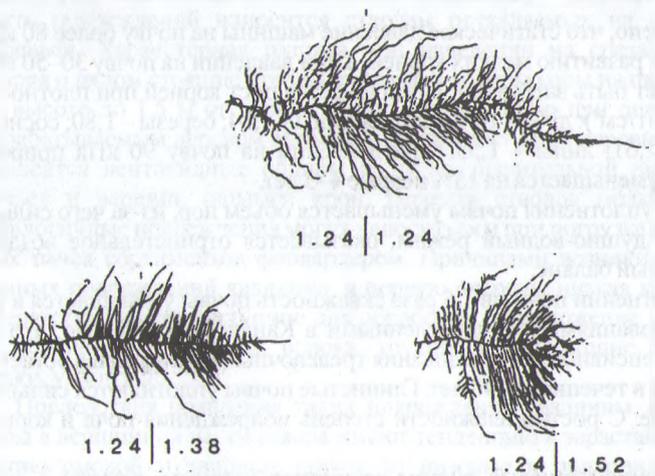


Рис. 2. Изменения в развитии корня при различном уплотнении почвы

Уплотнение почвы отрицательно влияет на развитие мелких корней деревьев, концентрация которых в гумусном слое 200–500 м/м². Количество таких корней составляет более 93% от всей корневой системы, и зона их распространения вокруг ствола достаточно обширна (рис. 3).



Рис. 3. Зона распространения корней вокруг ствола

Установлено, что статическое давление машины на почву более 80 кПа препятствует развитию мелких корней, а при давлении на почву 30–50 кПа их рост может быть затруднен. Прекращается рост корней при плотности почвы более (г/см³): дуба – 1,89; лиственницы – 1,84; березы – 1,80; сосны – 1,72; ели – 1,61; липы – 1,55. При давлении на почву 90 кПа прирост молодняков уменьшается на 15% первые 4–5 лет.

В случае уплотнения почвы уменьшается объем пор, из-за чего сильно меняется воздушно-водный режим, оказывается отрицательное воздействие на водный баланс.

При уплотнении почвы в 1,5 раза скважность почвы уменьшается в 1,3 раза. Исследованиями [6], проведенными в Канаде, установлено, что на участках интенсивного использования трелевочных машин почва остается уплотненной в течение 16–40 лет. Глинистые почвы уплотняются сильнее, чем песчаные. С ростом влажности степень повреждения почв и корней растет.

Повреждения корневых систем возникают главным образом в зоне магистральных и пасечных волоков, технологических коридоров. Поскольку 70% корней находится в верхнем гумусном слое, то колеса или

гусеницы движущихся машин вызывают переломы, разрывы корней и обдиры их коры. Установлено [7], что если корни повреждаются в 50 см от комлевой части, то 39% деревьев через 10 лет имеют признаки наличия стволовой гнили. При повреждении 15% площади корневой системы наблюдается снижение роста деревьев на 10% по сравнению с неповрежденными. Если повреждено 40% корней (машина проходит на расстоянии 30 см от ствола), отрицательная реакция роста составляет 27%.

В весенне-летний период по сравнению с зимой, интенсивность повреждения как корневой, так и стволовой частей деревьев возрастает в 1,25–4 раза. В этот период, когда прочность корневой коры минимальна, возникает максимальная опасность ее обдира. При этом обдиры коры наблюдаются не только у поверхностно расположенных корней, но и у глубоко залегающих, особенно на песчаных и гравийных почвах за счет сдвига их абразивных частиц.

Число проходов машины по волоку также влияет на повреждаемость корневых систем и резко возрастает на участке от 3 до 9. После дальнейшего увеличения числа проходов корни оказываются поврежденными в сильной степени.

В последние десятилетия проблема снижения уровня отрицательного воздействия машин на древостои при проведении рубок ухода стала ключевой при проектировании новой техники. Отмечается, что для низкомеханизированных систем лесозаготовок (валка бензопилами с трелевкой хлыстов) основная часть повреждений приходится на почву, корневые системы и нижнюю часть стволов деревьев. При применении полностью механизированных систем (харвестер + форвардер) большая часть повреждений наносится стволам оставляемых на доращивание деревьев. Харвестерная головка при наведении на срезаемое дерево, ударяя о рядом стоящие стволы, вызывает обдиры коры на шейке и стволе на высоте до 1,5 м от уровня земли. Манипулятор при оперировании с обрабатываемым деревом вызывает наклон растущих деревьев, при валке наносятся лентовидные обдиры коры на значительной высоте, облом сучьев и вершин, ошмыги кроен, перелом стволов мелких деревьев. Аналогичные повреждения могут наноситься и при погрузке подготовленных пачек сортиментов форвардером. Причинами возникновения отмеченных повреждений являются, в первую очередь, низкая квалификация операторов, плохо доступное для обработки расположение подлежащего обработке дерева, узость волока, трудное расположение погружаемой пачки, уклон и др.

Последствия появления таких повреждений различны. Если обдиры коры в вершинной части ствола имеют тенденцию к зарастанию и затягиванию смолой у хвойных пород, то низовые и прикорневые обдиры представляют опасность для дальнейшего развития дерева, поскольку они наиболее подвержены развитию гнили. В начале применения харвестер

ной заготовки леса на рубках ухода доля повреждаемых оставляемых в рост деревьев составляла 21%. По мере развития техники и роста квалификации операторов эта цифра составила 8–10%, а у лучших операторов – 2–4% [2].

Конечными целями совершенствования лесозаготовок и транспорта леса, определенными Стратегическим планом развития лесного хозяйства на период до 2015 года (СП), являются экологизация хозяйственной деятельности и повышение экономической эффективности производства на основе передовой техники и технологий, повышение безопасности труда, престижа лесозаготовительных специальностей. Учитывая, что на момент разработки СП парк оборудования Минлесхоза отличался разномарочностью, был слабо приспособлен к выполнению основных операций, особенно на лесосечных работах (часто применялись автомобили общего и тракторы – сельскохозяйственного назначения), и отсутствовали валютные средства на приобретение зарубежной техники, остро встал вопрос развития собственного лесного машиностроения.

В целях организации рационального лесопользования в стране в БГТУ на основе почвенно-типологических групп, серий типов леса был выполнен анализ условий произрастания насаждений [8]. Выявлено, что в составе Государственного лесного фонда леса на песчаных и супесчаных почвах недостаточного и нормального увлажнения составляют 37,2% (I тип местности), повышенного увлажнения – 38,5% (II тип местности); леса на суглинистых и глинистых почвах занимают 6,7% (III тип местности); леса на переувлажненных (глеевых) минеральных и торфяных болотистых почвах, наиболее неблагоприятные для лесозэксплуатации (IV.1 и IV.2 типы местности), занимают 17,6%. Учитывая, что доступность разработки заболоченных лесосек ограничивается несущей способностью грунтов, эксплуатационные показатели типов местности представлены в таблице.

Эксплуатационные показатели типов местности

Тип местности	Уровень грунтовых вод, м	Несущая способность, кПа	Сезон разработки
I	2,5 и >	70–200	На протяжении года
II	0,5–2,5	40–70	Лето, зима, сухая осень
III	0,5 и >	30–60	Лето, зима
IV.1	0–1,0	20–30	Сухое лето, зима
IV.2	0–0,5	<20	Зима

На основании данных пересчета лесосечного фонда с использованием картографических материалов по крутизне склонов установлено, что ограничений для применения лесозаготовительных машин нет, так как холмистая местность с крутизной более 150 составляет 1,3%. Сдерживает эффективное использование лесозаготовительных машин малая средняя площадь лесосек (4,8 га), отводимых в рубку. Так как деревья, у которых

средний объем хлыста составляет 0,46 куб. м и более, составляют в лесосечном фонде страны лишь 2%, то для выполнения лесосечных работ следует ориентироваться на колесные лесные машины на базе тракторов тяговых классов от 0,6 до 4 с максимальными габаритами по ширине не более 3,1 м.

В целях исследования взаимодействия (разрабатываемых) лесозаготовительных машин и лесных почвогрунтов на кафедре лесных машин и технологии лесозаготовок была разработана теория деформации лесных почвогрунтов колесными и гусеничными машинами и оценки напряженно-деформированного состояния транспортно-технических элементов лесосек [5, 9], отличающаяся учетом параметров, характеризующих вязкоупругие и реологические свойства почвогрунтов и материалов, используемых для укрепления волоков (порубочных остатков), параметров машин и технологий (рис.1), и позволяющая обеспечивать эксплуатационно-экологическую совместимость систем машин с почвогрунтами. Например, суммарное остаточное вертикальное перемещение поверхности грунта, т. е. глубина колеи $h(N)$, при котором наступит критическая плотность грунта в колее (невозможно естественное лесовозобновление самосевом для главной породы), можно определить по формуле

$$h(N) = \frac{\rho_{дон} - \rho_o}{\rho_{дон} - \rho_o(W - \sqrt{W})} \cdot H_o \cdot (1 + W) h_{max}$$

где N – число циклов нагружения (проходов машины); H_o – толщина эквивалентного слоя почвы; h_{max} – величина максимальной деформации грунта.

Остальные обозначения в соответствии с рисунком 1.

Величину h_{max} определяют по формуле, предложенной профессором Н.А. Цытовичем:

$$h_{max} = H_o \left(1 - \frac{\rho_o}{(1 - W)\rho_{max}} \right),$$

где ρ_{max} – наибольшая возможная плотность (пески 2,66 г/см³; супеси 2,70 г/см³; суглинки – 2,71 г/см³; глины – 2,74 г/см³; гумусовые и горизонты черноземов – 2,50 г/см³; торф – 1,60 г/см³).

Толщина эквивалентного слоя равна:

$$H_o = \frac{(1 - \mu^2)}{1 - 2\mu} \omega B,$$

где μ – коэффициент Пуассона; ω – коэффициент, зависящий от формы и размеров площадки, передающей нагрузку (G_n, G_p); B – ширина колеи.

Наличие модели, описывающей процессы уплотнения почвогрунтов и колееобразования в процессе их работы, экспериментальные и лабораторные исследования позволили сформулировать общие требования по воздействию на почву лесных машин. Они, а также рекомендации по результатам исследований химического (ингредиентного) воздействия лесных машин на экосистемы [10] были использованы при разработке первых в стране стандартов по лесной сертификации СТБ 1342-2002 «Устойчивое лесоуправление и лесопользование. Машины для рубок леса. Общие технические требования» и СТБ 1360-2002 «Устойчивое лесоуправление и лесопользование. Рубки главного пользования. Требования к технологиям». В них установлены критерии, обеспечивающие допустимое отрицательное воздействие лесозаготовительной техники на лесную экосистему.

Наличие таких критериев позволило выполнить сравнительный анализ оценки экологического ущерба от эксплуатации различных систем машин, применяемых в стране в начале XXI века [11]. Под экологическим ущербом (ЭУ) понимается доля затрат, необходимая для компенсации отрицательного воздействия систем машин на разрабатываемую лесосеку, превышающего регламентированные значения, установленные СТБ. По разработанной нами методике величина ЭУ для сплошнолесосечной рубки в рублях может быть определена из выражения

$$\text{ЭУ} = C_{л.в.} K S_n + \text{Э}_{а.а.} + \text{Э}_n,$$

где $C_{л.в.}$ – средняя себестоимость 1 га лесовозобновления; K – коэффициент, учитывающий долю увеличения затрат, необходимых на лесовозобновление (обуславливается степенью повреждения элементов экосистемы); S_n – площадь лесосеки; $\text{Э}_{а.а.}$ и Э_n – величина ущерба от загрязнения соответственно атмосферного воздуха и почвенного покрова отработавшими газами и горюче-смазочными материалами.

Компоненту $C_{л.в.}$ можно определить по формуле

$$C_{л.в.} = C_{б.л.} + C_n \frac{100 - a}{100},$$

где $C_{б.л.}$ – стоимостная оценка 1 га лесовозобновления без стоимости подроста; C_n – цена подроста, необходимого для возобновления 1 га; a – процент сохранившегося подроста.

Анализ полученных результатов показал, что экологический ущерб оказывает существенное влияние на экономический эффект от работы систем машин, снижая его величину на 7...25%. Самыми агрессивными из рассмотренных явились системы машин на базе гусеничных тракторов ЛП-17, ТБ-1М, ЛП-30Б. Более перспективными явились колесные системы машины, включающие МЛ-131, МЛПТ-354, а среди технологий – сортиментная заготовка леса. Принятый в стране подход на разработку специализированных колесных многооперационных, трелевочных, погрузочно-транспортных машин является экономически и экологически оправданным.

Литература

1. Котиков, В.М. Воздействие лесозаготовительных машин на лесные почвы : автореф. ... докт. техн. наук : 05.21.01 / В.М. Котиков. – М., 1995. – 37 с.
2. Герасимов, Ю.Ю. Экологическая оптимизация технологических процессов и машин для лесозаготовок / Ю.Ю. Герасимов, В.С. Сюнев. – Йёнсуу : изд. университета Йёнсуу, 1998. – 178 с.
3. Atkinson, D., Macbie – Dawson L. Root growth: methods of measurement // Soil Analysis. Physical methods. Edited by Keith a. Smith and Chris F. Mullins. – New York, 1991. – Pp. 447–509.
4. Wasterlund, I. Damage to the ground and the stand after mechanized cleaning // Research Notes № 193. – Swedish University of Agricultural Sciences. – Garpenberg, 1990.
5. Протас, П.А. Актуализация лесосырьевого потенциала обеспечением эксплуатационно-экологической совместимости систем машин с почвогрунтами на принципах устойчивого лесопользования: автореф. ... канд. техн. наук : 05.21.01 / П.А. Протас. – Минск, 2010. – 24 с.
6. Corns, Jan G.W. Compaction by forestry equipment and effects on coniferous seedling growth on four soil in the Alberta foothills // Canadian Journal of For. Res. – 1987. – Vol. 18. – Pp. 75–84.
7. Бредберг, К.Й. Разработка машин для рубок ухода, наносящих меньший вред насаждениям / К.Й. Бредберг // Проблемы рубок ухода. М. : Лесная промышленность, 1987.
8. Федоренчик, А.С. Типизация лесных территорий Беларуси для разработки требований по организации и проведению лесосечных работ / А.С. Федоренчик, В.Г. Меркуль, И.В. Соколовский // Труды Бел. гос. технол. ун-та. Сер. II. Лесная и деревообработ. пром-сть. – 1999. – Вып. VII. – С. 8–12.
9. Федоренчик, А.С. Аналитическое исследование колееобразования на трелевочных волоках, укрепленных отходами лесозаготовок / А.С. Федоренчик, С.С. Макаревич, П.А. Протас // Изв. вузов. Лесной журнал. – 2002. – №1. – С. 80–89.
10. Федоренчик, А.С. Проблемы снижения влияния лесозаготовки на окружающую среду // Podstawy Komunikacyjnego Udostępnienia Lasów w Wielofunkcyjnej Zrównowazonej Gospodarze Leśnej. – Warszawa, 2000. – С. 29–39.
11. Федоренчик, А.С. Совместимость лесных машин и технологии лесозаготовок с окружающей средой // Uzytkowanie lasu w wielofunkcyjnym, zrównoważonym leśnictwie // SGGW, Warszawa, 2002. – С. 152–157.