

PF no. 519525, 1974.

8. Andryuchin M. I., Ryskin U. E. *Balansirnjaja telezhka kolesnogo transportnogo sredstva* [Wheeled vehicle balance trolley] Patent PF no. 2189911, 2002.

9. Zhavoronkov A. V., Marshak C. F., Tolstopyatenka E. I., Heifetz M. I. *Podveska zadnih koles avtogrejdera* [Motor grader rear wheel suspension] Patent PF no. 293967, 1971.

10. Gudkov V. V., Sokol P. A., Lyapich E. N. *Nesimmetrichnyj balansirnyj privod vedushhih koles avtogrejdera* [Asymmetrical balancing drive of grader wheel] Patent PF no. 2563468, 2015.

Сведения об авторах

Попиков Петр Иванович – и. о. заведующего кафедрой механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», доктор технических наук, профессор, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: popikovpetr@yandex.ru

Гудков Виктор Владимирович – доцент кафедры автомобильной подготовки ФГКВБОУ ВПО «Военный учебно-научный центр Военно-Воздушных Сил Военно-Воздушная Академия имени Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», кандидат технических наук, доцент, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: gydvik-51@yandex.ru.

Сокол Павел Александрович – экстерн кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: pavsokol@yandex.ru.

Information about authors

Popikov Petr Ivanovich – Acting Head of the Department of Forestry Mechanization and Machine Design, FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», DSc (Engineering), Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: popikovpetr@yandex.ru

Gudkov Victor Vladimirovich – Associate Professor of Department of Automotive Training, FSOMEI HE «Military Education and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy», PhD (Engineering), Associate Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: gydvik-51@yadnex.ru.

Sokol Pavel Aleksandrovich – external student of the Department of Forestry Mechanization and Machine Design, FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russian Federation; e-mail: pavsokol@yandex.ru.

DOI: 10.12737/article_5c1a323ff0ed79.44618896

УДК 630.004.54:630*182

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ СОРТИМЕНТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ЗАГОТОВКИ ДРЕВЕСИНЫ НА РУБКАХ УХОДА

доктор технических наук, профессор **В. И. Прядкин**¹

доктор технических наук, профессор **И. М. Бартенев**¹

1 – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация

Применение современных технологий на рубках ухода и высокопроизводительных агрегатных машин приводит к экологическим проблемам, в частности к снижению качества и продуктивности древесины на этапе сплошных рубок. В статье рассматриваются методики определения экологического ущерба при проведении рубок ухода и их влияние на продуктивность древесины на этапе сплошных рубок. Многие методики устарели и не отражают многофункциональность современных технологий и новых высокопроизводительных агрегатных машин. В статье показана необходимость применения комплексной методики эколого-экономической оценки сортиментной технологии заготовки древе-

сины на рубках ухода с учетом «дальнего» и «ближнего» эффектов для расчета показателей технологических операций и эффективности агрегатных машин, наличие таких факторов рыночной экономики, как конкуренция в борьбе за рынки сбыта, целесообразность инвестирования в новую технику и распределение финансовых средств, востребованность древесины, поиск лучших решений. Показана необходимость учета как ближнего, так и дальнего эффекта от применения сортиментной технологии заготовки древесины. В результате исследований выявлено, что основное влияние на угнетение роста деревьев оказывает ходовой аппарат агрегатных машин. Приведенная в статье методика позволяет определять как «ближний», так и «дальний» эффект при проведении рубок ухода.

Ключевые слова: сортиментная технология, рубки ухода, заготовка древесины, агрегатные машины, колесный движитель, экология.

METHOD OF ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC ESTIMATION ON THE EXAMPLE OF CTL TECHNOLOGY OF WOOD PREPARATION ON CLEAR-CUTTING

DSc (Engineering), Professor **V. I. Pryadkin**¹

DSc (Engineering), Professor **I. M. Bartenev**¹

1 – Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russian Federation

Abstract

The use of modern technologies in clear-cutting and high-performance aggregate machines leads to environmental problems, in particular to a reduction in the quality and productivity of wood at the stage of clear-cutting. The article discusses the methods for determining environmental damage during clear-cutting and their impact on the productivity of wood at the stage of clear cutting. Many methods are outdated and do not reflect multifunctionality of modern technologies and new high-performance aggregate machines. The article shows the need to use an integrated method of environmental and economic assessment of CTL technology of wood harvesting in the thinning, taking into account the "long-range" and "near" effects to calculate the indicators of technological operations and efficiency of aggregate machines. The presence of such market economy factors as competition in the fight for sales markets, expediency of investing in new equipment and distribution of funds, demand for wood and search for better solutions. The necessity of taking into account both near and long-range effect from the use of CTL technology of wood harvesting is shown. As a result of the research, it has been found that the running gear of aggregate machines has the main effect on the inhibition of tree growth. The technique given in the article allows determining both "near" and "long-range" effect during clear-cutting.

Keywords: CTL technology, clear-cutting, wood harvesting, aggregate machines, wheeled gear, ecology.

Введение

Внедрение сортиментной технологии заготовки древесины позволило сделать рубки ухода на стадии прореживания и проходные рентабельными. Поэтому столь высокий интерес к экономическим вопросам проведения рубок ухода можно объяснить различной целевой направленностью «ближних» и «дальних» эффектов от проведения рубок ухода, что обуславливает в теории и практике различные методы оценки продукции и затрат в сфере промышленно-лесохозяйственной деятельности [1, 2, 3].

Рубки ухода за лесом являются наименее механизированным технологическим процессом. Это особенно относится к прореживанию в средневозрастных

древостоях, рубкам обновления и перестройки [4].

Применение современных агрегатных лесозаготовительных машин для рубок ухода приводит к повреждению остающегося древостоя и подростка главной породы выше допустимых значений, сдиранию почвенного покрова, изъятию до 20 % лесной площади под технологические коридоры, разрушению структуры почвы вследствие многократных проходов по одному следу валочных и трелевочных машин, перемещающих деревья хлыстами. Эти и другие недостатки вызваны тем, что агрегатные лесозаготовительные машины сконструированы и подобраны по своим параметрам для выполнения сплошных рубок главного

пользования. Для рубок ухода необходимы специальные машины, способные выполнять технологические операции в лесу, то есть под пологом древостоя в соответствии с лесоводственными, экологическими и экономическими требованиями [2].

Поэтому лесохозяйственное производство в настоящее время проявляет большой интерес к технологии, основанной на применении на рубках ухода многооперационных машин типа харвестеров и форвардеров. Однако механическое перенесение их из условий, которые имеют место в лесах западных стран и для которых они созданы, в условиях российских лесов может не дать ожидаемых результатов, хотя определенное преимущество по сравнению с комплексом машин для заготовки древесины хлыстами, несомненно, имеется.

Машины, осуществляющие рубки ухода, перемещаются между деревьями, в результате часть деревьев повреждаются габаритами машины, а их движители воздействуют на почвенный покров, почву и корни древостоя.

Лесоводственная оценка рубок ухода, выполненных с помощью харвестера и форвардера, была проведена КарНИИЛПом, Петрозаводской ЛОС, ЛенНИИЛХ, основные результаты которой приведены в табл. 1. Из нее видно, что основными нарушениями являются: высокая степень повреждения древостоя (до 16 %); повреждения, связанные с обрывами корневых лап при образовании колеи; степень повреждения оставленного на доращивание древостоя превысила 5 %, что недопустимо [5].

При многочисленных проходах техники происходит уплотнение почвы, и чем больше давление движителя, тем выше уплотнение. В уплотненной почве

мелкие всасывающие корешки резко замедляют свой рост и развитие. Количество таких корней составляет более 93 % от всей корневой системы, и зона их распространения достаточно велика. Если у 20-летнего дерева радиус корневой системы равен в среднем 1,7 м, то у 40-летнего – почти 3 м [6]. При давлении на почву 90 кПа прирост молодняка уменьшается на 15 % в течение 3-4 лет после воздействия [7]. Повреждения корневой системы возникают главным образом в зоне технологического коридора, но не только корней деревьев, ограничивающих технологический коридор, а также прилегающих к нему.

Материал и методы

Преимущества той или иной технологии, тех или иных машин должны определяться не только полученным эффектом непосредственно при применении их (снижение доли повреждений древостоя, почвы и напочвенного покрова; материальных затрат на проведение технологических операций), но и в последующем, поскольку экологический ущерб, нанесенный в раннем возрасте, отражается на продуктивности и качестве древесины, получаемых уже в период достижения деревьями возраста рубок главного пользования.

Следовательно, технологическая операция рубки ухода имеет «ближний» и «дальний» эффект. Соединение их, чтобы дать окончательную оценку новых технологий и машин, возможно, применив методы дисконтирования затрат и результатов, когда последние приводятся ко времени главной рубки. Математически это достигается применением коэффициента приведения.

«Дальний» эффект рубок ухода определяется комплексом противоречивых по своей сути требований: экономических, лесоводственных и экологиче-

Таблица 1

Лесоводственная оценка рубок ухода при сортиментной технологии

Показатели	Значение показателей, %
Количество деревьев, повреждённых во время рубки	5-16
В том числе с серьёзными повреждениями (в основном обрыв корневых лап)	1-10
Повреждение надпочвенного покрова на волоках, от общей площади волоков	34-64
Нарушен верхний горизонт почвы, подстилка перемещена	5-40
Колея (глубина до 70 см)	9

ских. Слагаемыми его являются съем продукции с единицы площади за все приемы рубок, кончая главной; качественная структура заготавливаемой лесопродукции; использование недревесных компонентов лесных ресурсов.

На данном этапе остановимся на экологическом аспекте «дальнего» эффекта. Для определения экологического ущерба, как правило, сравнивают два состояния экологических систем: естественное и сложившееся в результате хозяйственной деятельности [8, 9, 10]. Поэтому оценку экологического ущерба от воздействия ходового аппарата на лесную почву и механического травмирования древостоя технологическим оборудованием целесообразно проводить по доле снижения биологической продуктивности древесины при сплошных рубках

$$D = \frac{B - \Phi}{B}, \quad (1)$$

где B – биологическая продуктивность древесины, которая может быть получена, если механическое воздействие агрегатных машин отсутствует;

Φ – фактическая продуктивность древесины при сплошных рубках.

Соотношение между биологической продуктивностью спелой древесины, которая может быть получена на лесной делянке, не подверженной механическому воздействию ТГА, фактической продуктивностью и её снижением согласно [11, 12, 13] равно

$$\Phi = B - P_{\text{общ}} F_L, \quad (2)$$

где $P_{\text{общ}}$ – общие потери продуктивности древесины при выполнении сплошных рубок;

F_L – площадь лесосеки.

Суммарные абсолютные потери продуктивности древесины в зоне воздействия ходовых систем на лесную почву и корневую систему, а также потери от повреждений стволовой части деревьев при выполнении рубок ухода системой машин «харвестер – форвардер» равны

$$P_{\text{общ}} = P_1 + P_2 + P_3, \quad (3)$$

где P_1 – потери от уплотнения почвы ходовым аппаратом;

P_2 – потери от механического повреждения корневой системы деревьев;

P_3 – потери от механического травмирования

стволовой части деревьев в зоне технологического коридора, на пасеке харвестерной головкой и стрелой манипулятора, обрабатываемыми деревьями.

Учитывая общий процент площади, подверженной воздействию ходовых аппаратов при выполнении рубок ухода, определим потери продуктивности древесины от уплотнения лесной почвы колесными двигателями

$$P_1 = K_1 \cdot F_{\text{УПЛ}}, \quad (4)$$

где K_1 – потери продуктивности древесины от уплотнения лесной почвы в колее и вблизи следов;

$F_{\text{УПЛ}}$ – часть площади технологического коридора, подвергшаяся уплотнению ($F_{\text{УПЛ}} = l \cdot b \cdot m \cdot n$, где l – длина технологического коридора; b – ширина шины; m – число следов; n – число проходов).

Недобор древесины от уплотнения лесной почвы в колее и вблизи следов определяется аналогично [14]:

$$K_1 = B_{\text{CP}} \cdot \left[\frac{\sum B_{\text{СЛ}}}{B_{\text{ТК}} - \Delta B_3} \right] \cdot [(q_\phi - q_\delta) \cdot \beta]^n, \quad (5)$$

где B_{CP} – средняя биологическая продуктивность древесины на делянке, не подверженной воздействию ходовых аппаратов;

$\sum B_{\text{СЛ}}$ – суммарная ширина следов движителей машин, движущихся по технологическому коридору;

$B_{\text{ТК}}$ – ширина технологического коридора;

ΔB_3 – ширина зоны перекрытия следов движителей при проходах заготовительных шин;

q_ϕ – фактическое максимальное давление от шин в следе агрегатных машин;

q_δ – допустимое давление колесного движителя на лесную почву согласно лесоводственным требованиям;

β – коэффициент эффекта снижения давления на почву.

Применение шин повышенной проходимости обеспечивает снижение величины контактных давлений на лесную почву, что позволяет повысить продуктивность древесины. Тогда повышение продуктивности древесины за счет применения экологически ща-

двигателя в абсолютных единицах на одном гектаре лесосеки равно

$$\Delta\Pi_1 = (K_1^{CP} \cdot B_{CP} \cdot F_{УПЛ}^{CP}) - (K_1^П \cdot B_{CP} \cdot F_{УПЛ}^П), \quad (6)$$

где $K_1^{CP}, K_1^П$ – соответственно процент снижения продуктивности древесины в колее серийных шин и повышенной проходимости;

$F_{УПЛ}^{CP}, F_{УПЛ}^П$ – соответственно уплотненная площадь лесной почвы при проведении рубок ухода на 1 га лесосеки серийными шинами и повышенной проходимости;

B_{CP} – средняя биологическая продуктивность древесины на делянке, не подверженной воздействию ходовых аппаратов.

Потери от механического повреждения корневой системы деревьев в следах и вблизи колеи равны

$$\Pi_2 = K_2 \cdot B_{CP} \cdot K_2^N \cdot F_{УПЛ}, \quad (7)$$

где K_2 – процент снижения продуктивности древесины от повреждения корневой системы деревьев, учитывающий расстояние от двигателя до ствола дерева;

K_2^N – процент снижения продуктивности древесины от повреждения корневой системы деревьев, учитывающий количество проходов агрегата по одному следу (уровень повреждаемости корневой системы колесным двигателем резко возрастает, начиная с 3 до 9 проходов, при дальнейших проходах корневая система оказывается поврежденной в сильной степени [15]).

Снижение продуктивности древесины от повреждения стволовой части деревьев и облома сучьев равно

$$\Pi_3 = K_3 \cdot B_{CP} \cdot N \cdot F_{П}, \quad (8)$$

где N – процент древостоя пасеки, подвергшийся механическим повреждениям харвестерной головкой, стрелой манипулятора, обрабатываемыми деревьями (согласно зарубежным литературным данным, установлено, что в начале применения харвестерной заготовки леса на рубках ухода доля поврежденных деревьев, оставленных в рост, составляла 21 %, но по мере развития техники и роста квалификации операторов эта цифра составила 8-10 %, а сегодня – 2-4 % [7]);

K_3 – потери продуктивности от механических повреждений стволовой части деревьев при проведении рубок ухода; $F_{П}$ – площадь пасеки.

Анализ выражений (4)-(8) показывает, что существуют два способа снижения вредного воздействия ходовых аппаратов ТГА на лесную почву и корневую систему, а следовательно, на продуктивность древесины, оставленной продуцировать: 1) снижение контактных давлений двигателей на лесную почву путем применения специальных лесных шин повышенной проходимости, имеющих увеличенную длину и ширину поверхности контакта; 2) уменьшение количества проходов агрегатных машин по технологическому коридору за счет совмещения операций.

Для снижения травмирования древостоя на пасеке харвестерной головкой важную роль играют квалификация оператора, наличие постоянного контроля за его работой и соответствующая форма оплаты труда, учитывающая степень оставляемых повреждений. Так, в Финляндии оператор форвардера перед работами на рубках проходит курс обучения 1330 часов. Вторым фактором является применение гидроманипулятора с короткой стрелой 6-7 метров.

Суммарный экологический ущерб от проведения рубок ухода по сортиментной технологии заготовки древесины с применением машин «харвестер-форвардер», приведенный к сплошным рубкам, в стоимостном выражении на один гектар площади можно определить как

$$\mathcal{E}_S = \Pi_{Общ} \cdot P + C, \quad (9)$$

где P – оптовая цена качественного сортимента;

C – затраты на лесовосстановление поврежденного подростка через посадку и уход за культурами.

Доля снижения продуктивности древесины $D \leq 2,5 \%$.

Оценочный показатель экологического ущерба может быть приведен либо к одному гектару лесосеки, либо к 1 м^3 заготавливаемой древесины.

«Ближний» экономический эффект от применения высокопроизводительных сортиментовозов, отвечающих лесоводственно-экологическим требованиям при их эксплуатации на рубках ухода, складывается из двух составляющих: от реализации сортиментов и эффективной эксплуатации новой техники.

«Ближний» эффект от проведения рубок ухода, образующийся при реализации продукции и выражаемый через прибыль, зависит от многих факторов, действующих в сфере техники, технологии, лесоводства и организации производства, таких как структура технологического процесса по операциям, объем выборки в

кубических метрах с одного гектара лесной площади, расстояние трелевки сортиментов, соблюдение лесовод-ственных требований. Данный эффект определяется исключительно в интересах лесозаготовителей и диктуется стремлением: отобрать в рубку качественные по таксационным характеристикам деревья; увеличить выборки (m^3) с гектара площади, пройденной рубками; назначить в рубку древостои, имеющие преимущества в технологическом и транспортном освоении. Только в этом случае по уровню затрат и качеству получаемых сортиментов продукция от рубок ухода становится конкурентоспособной с лесоматериалами, заготовленными в порядке главного пользования.

При оценке эффективности эксплуатации высокопроизводительных сортиментовозов, оборудованных шинами повышенной проходимости, необходимо определять косвенный экологический ущерб (прямой экологический ущерб определяется лишь при сплошных рубках), затрачиваемый на мероприятия профилактического плана, направленные на обеспечение допустимых нагрузок колесного движителя на лесную почву. Таким образом, экологический ущерб должен учитываться при оценке эффективности мероприятий по ускорению научно-технического прогресса при разработке лесозаготовительной техники.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования сортиментовозов показали, что применение шин высокой проходимости и экологически щадящего привода колес приводит к повышению проходимости и тягово-сцепных качеств при снижении динамической нагруженности трансмиссии и низкочастотных колебаний на сидении оператора. Это позволяет увеличить среднюю техническую скорость движения, во-первых, исходя из допустимого времени работы по условию утомляемости оператора, во-вторых, из-за снижения буксования движителей.

При выполнении транспортно-технологических операций колебания на сидении оператора являются основным показателем, ограничивающим скорость движения агрегатных машин [16, 17], так как колебания остова и крутильные колебания трансмиссии взаимосвязаны, а возникающие в трансмиссии знакопеременные динамические нагрузки приводят к снижению срока службы трансмиссии. Поэтому экономический эффект от применения форвардера с экологически щадящим движителем и шинами высокой проходимости определяется за счет повышения долговечности сортиментовоза, уменьшения ремонтных

затрат на трансмиссию и повышения производительности агрегатных машин за счет возросшей средней технической скорости движения. Также при применении колесных сортиментовозов на рубках ухода необходимо дополнительно учитывать социальные факторы, поскольку последние являются, по сравнению с рубками главного пользования, более трудоемкими. Социальный эффект сводится: к экономии капиталовложений в развитие социально-бытовой инфраструктуры за счет уменьшения потребности в рабочей силе при внедрении высокопроизводительной техники; к снижению потерь рабочего времени в силу улучшения социально-бытовых условий работников, сокращению их текучести; к уменьшению выплат из фондов социального страхования на оплату больничных листов; к повышению квалификации работников и престижности их профессии при полной механизации труда на базе сортиментной технологии, отвечающей экологическим требованиям.

Однако применение экологически щадящего привода ведущих колес и шин высокой проходимости обуславливает изменение затрат, определяемых, в первую очередь, увеличением балансовой стоимости сортиментовоза. Критерием сравнительной экономической эффективности новой техники является годовой экономический эффект

$$\mathcal{E}_Г = B_3 (П_Б - П_Н + \mathcal{E}), \quad (10)$$

где $П_Б, П_Н$ – приведенные затраты на единицу наработки по базовой и новой машинам;

B_3 – годовая наработка новой машины;

\mathcal{E} – экономический эффект от высвобождения рабочей силы, количества и качества продукции на единицу наработки.

Приведенные затраты на единицу наработки определяются по формуле [9]

$$П = И + К \cdot E, \quad (11)$$

где $И$ – прямые эксплуатационные затраты на единицу наработки;

$К$ – капитальные вложения на единицу наработки;

E – нормативный коэффициент капитальных вложений.

Прямые эксплуатационные затраты на единицу наработки в рублях определяются по формуле

$$И = З + Г + P + A + \Phi, \quad (12)$$

где $З$ – затраты на оплату труда обслуживающего

персонала;

Γ – затраты на горюче-смазочные материалы;

P – затраты на техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонт;

A – затраты на реновацию;

Φ – прочие прямые расходы на основные и вспомогательные материалы.

Затраты на оплату обслуживающего персонала в рублях на единицу наработки определяются по формуле

$$З = \frac{1}{W_{CM}} \cdot Л \cdot \tau \cdot K_D, \quad (13)$$

где W_{CM} – производительность агрегата за один час сменного времени;

τ – часовая тарифная ставка оплаты труда обслуживающего персонала;

K_D – коэффициент, учитывающий доплаты;

$Л$ – количество персонала.

Затраты на горюче-смазочные материалы в рублях на единицу наработки определяются по формуле

$$\Gamma = q \cdot Ц, \quad (14)$$

где q – расход горюче-смазочных материалов;

$Ц$ – цена 1 кг топлива.

Затраты на техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонты согласно определяли по формуле

$$P = \frac{B(r_T + r_K)}{W_{ЭК} \cdot T_ч}, \quad (15)$$

где B – балансовая цена машины;

$W_{ЭК}$ – производительность агрегата за 1 час эксплуатационного времени;

r_T – коэффициент отчислений на текущий ремонт и техническое обслуживание;

r_K – коэффициент отчислений на капитальный ремонт;

$T_ч$ – нормативная годовая загрузка.

Затраты на реновацию в рублях на единицу наработки определяются по формуле

$$A = \frac{B \cdot a}{W_{ЭК} \cdot T_з}, \quad (16)$$

где a – коэффициент отчислений на реновацию.

Капитальные вложения на сортиментовоз в

рублях на единицу наработки определяются по формуле

$$K = \frac{B}{W_{ЭК} \cdot T_з}, \quad (17)$$

где $T_з$ – зональная годовая загрузка.

Зональная годовая наработка новой машины в единицах наработки определяется по формуле

$$B_з = W_{ЭК} \cdot T_з. \quad (18)$$

Для планирования и активного регулирования экологических последствий при полной механизации технологического процесса заготовки древесины на базе машин харвестер-форвардер необходимо проведение органически связанного анализа обоих эффектов – как дальнего, так и ближнего. Дополнительные капитальные вложения, направленные на повышение экологической совместимости сортиментовоза с лесной средой при проведении рубок ухода, позволяют обеспечить меньший экологический ущерб при сплошных рубках.

Проведенные расчеты суммарных абсолютных потерь продуктивности древесины в зоне воздействия ходовых систем на лесную почву и корневую систему, а также потери от повреждений стволовой части деревьев при выполнении рубок ухода системой машин «харвестер – форвардер» приведены в табл. 2, из которой видно, что наибольшие потери для «дальнего» эффекта связаны с уплотнением почвы ходовым аппаратом и механическим повреждением корневой системы деревьев лесосечных машин. Следовательно, с целью повышения экологической совместимости агрегатных машин с окружающей лесной средой необходимо в первую очередь направить усилия на совершенствование ходового аппарата этих машин.

На основании расчетов, приведенных в табл. 2, суммарный минимальный экологический ущерб при применении сортиментной технологии заготовки древесины на рубках ухода составляет около 37 582 р./га (в ценах 2018 года).

Заключение

Таким образом, получив стоимостную оценку, экологический ущерб может быть соотнесен с экономическим эффектом, который следует корректировать в зависимости от того, какое негативное воздействие оказывает технология на окружающую лесную среду.

Составляющие экологического ущерба от воздействия лесозаготовительных машин на почву и древостой

№	Причины потерь	Объем потерь, м ³
1	Уплотнение лесной почвы ходовым аппаратом (при давлении колес на почву 90 кПа)	10,3
2	Механическое повреждение корневой системы деревьев ходовым аппаратом (при 25 % повреждении в зоне технологического коридора)	6,88
3	Механическое повреждение стволовой части деревьев (не превышает 3 % древостоя)	2,6
4	Суммарные потери	19,78

Библиографический список

1. Бартенев, И. М. Состояние и направления развития тракторостроения для лесного комплекса России [Текст] / И. М. Бартенев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2012. – № 11. – С. 3-7.
2. Бартенев, И. М. Проходимость тракторов и агрегатных машин при работе под пологом леса [Текст] / И. М. Бартенев // Лесное хозяйство. – 2013. – № 2. – С. 46-47.
3. Бартенев, И. М. Оценка распределения давлений широкопрофильной шины 600/50-22,5 на почву [Текст] / И. М. Бартенев, В. И. Прядкин // Лесное хозяйство. – 2012. – № 2. – С. 46-48.
4. Прядкин, В. И. Проходимость колесных транспортно-технологических агрегатов лесного комплекса [Текст] : моногр. / В. И. Прядкин. – Воронеж, 2000. – 323 с.
5. Заготовка сортиментов на лесосеке. Технология и машины [Текст] / А. В. Жуков [и др.]. – М. : Экология, 1993. – 311 с.
6. Калинин, М. И. Формирование корневой системы деревьев [Текст] / М. И. Калинин. – М. : Лесн. пром-сть, 1983. – 152 с.
7. Герасимов, Ю. Ю. Экологическая оптимизация технологических процессов и машин для лесозаготовок [Текст] / Ю. Ю. Герасимов, В. С. Сюнев. – Йёнсуу : Издательство университета Йёнсуу, Финляндия, 1998. – 178 с.
8. Кононов, А. М. Исследование реализации тягово-сцепных качеств и агротехнической проходимости колесных тракторов на суглинистых почвах Белоруссии [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / А. М. Кононов. – Горки : БСХА, 1974. – 41 с.
9. Петров, А. П. Экологические факторы и эффективность лесозаготовок [Текст] / А. П. Петров // Лесная промышленность. – 1988. – № 4. – С. 24-27.
10. Петров, А. П. Экономические аспекты проведения рубок ухода [Текст] / А. П. Петров // Проблемы рубок ухода. – М. : Лесн. пром-сть, 1987. – С. 259-265.
11. Основы теории и расчета трактора и автомобиля [Текст] / В. А. Скотников, А. А. Машенский, А. С. Солонский ; под ред. В. А. Скотникова. – М. : Агропромиздат, 1986. – 383 с.
12. Перспективные мобильные энергетические средства для сельскохозяйственного производства [Текст] / В. В. Кацыгин [и др.] ; под ред. М. М. Севернева. – Минск : Наука и техника, 1982. – 272 с.
13. Ксеневич, И. П. Ходовая система-почва-урожай [Текст] / И. П. Ксеневич, В. А. Скотников, М. И. Ляско. – М. : Агропромиздат, 1985. – 304 с.
14. Русанов, В. А. Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути её решения [Текст] / В. А. Русанов. – М. : Изд-во ВИМ, 1998. – 366 с.
15. Войтиков, А. В. О влиянии ширины и наружного диаметра шины на тягово-сцепные качества колеса [Текст] / А. В. Войтиков, В. П. Бойков, А. М. Кривицкий // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1986. – № 1. – С. 5-6.
16. Памфилов, Д. В. Повышение боковой динамической устойчивости и плавности хода колесной трелевочной системы [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д. В. Памфилов. – Л., 1985. – 18 с.
17. Сергеев, В. П. Обоснование оптимальных параметров гидромеханической трансмиссии лесопромышленных тракторов [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. П. Сергеев. – Л., 1990. – 20 с.

References

1. Bartenev I. M. *Sostojanie i napravlenija razvitija traktorostroenija dlja lesnogo kompleksa Rossii* [State and directions of development of tractor construction for the forestry complex of Russia] *Traktory i sel'skohozjajstvennye mashiny* [Tractors and agricultural machines]. 2012, no 11, pp. 3-7. (In Russian)
2. Bartenev I. M. *Prohodimost' traktorov i agregatnyh mashin pri rabote pod pologom lesa* [Passability of tractors and aggregate machines when working under the forest canopy] *Lesnoe hozjajstvo* [Forestry]. 2013, no 2, pp. 46-47. (In Russian)
3. Bartenev I. M., Pryadkin V. I. *Ocenka raspredelenija davlenij širokoprofil'noj shiny 600/50-22,5 na pochvu* [Estimation of pressure distribution of wide-profile tires 600 / 50-22.5 for soil] *Lesnoe hozjajstvo* [Forestry]. 2012, no 2, pp. 46-48. (In Russian)
4. Pryadkin V.I. *Prohodimost' kolesnyh transportno-tehnologicheskikh agregatov lesnogo kompleksa* [Patency of wheeled transport-technological units of the forest complex]. Voronezh, 2000, 323 p. (In Russian)
5. Zhukov A. V. [et al.]. *Zagotovka sortimentov na leseške. Tehnologija i mashiny* [Harvesting assortments in the cutting area. Technology and machines]. Moscow, 1993, 311 p. (In Russian)
6. Kalinin M. I. *Formirovanie kornevoj sistemy derev'ev* [Formation of the root system of trees] Moscow, 1983, 152 p. (In Russian)
7. Gerasimov Yu. Yu., Syunev V.S. *Jekologicheskaja optimizacija tehnologicheskikh processov i mashin dlja lesozagotovok* [Ecological optimization of technological processes and machines for forestry]. Finland, 1998, 178 p.
8. Kononov A.M. *Issledovanie realizacii tjavovo-scepnyh kachestv i agrotehnicheskoi prohodimosti kolesnyh traktorov na suglinistyh pochvah Belorussii: avtoref. dis. d-ra tehn. nauk* [Investigation of the implementation of traction-coupling qualities and agrotechnical patency of wheeled tractors on loamy soils of Belarus: author. dis. DSc in Engineering]. Gorki, 1974, 41 p. (In Russian)
9. Petrov A. P. *Jekologicheskie faktory i jeffektivnost' lesozagotovok* [Environmental factors and the efficiency of logging] *Lesnaja promyshlennost'* [Forest industry]. 1988, no. 4, pp. 24-27. (In Russian)
10. Petrov A. P. *Jekonomicheskie aspekty provedenija rubok uhoda* [Economic Aspects of Thinning] *Problemy rubok uhoda* [Problems of Thinning]. Moscow, 1987, pp. 259-265. (In Russian)
11. Skotnikov V. A., Mashchensky A. A., Solonsky A. S. *Osnovy teorii i rascheta traktora i avtomobilja* [Fundamentals of the theory and calculation of the tractor and automobile] Moscow, 1986, 383 p. (In Russian)
12. Katsygin V. V. [et all.] *Perspektivnye mobil'nye jenergeticheskie sredstva dlja sel'skohozjajstvennogo proizvodstva* [Promising mobile energy resources for agricultural production]. Minsk, 1982, 272 p.
13. Ksenevich I. P., Skotnikov V. A., Lyasko M. I. *Hodovaja sistema-pochva-urozhaj* [Chassis system – soil-harvest [Text] Moscow, 1985, 304 p. (In Russian)
14. Rusanov V. A. *Problema pereuplotnenija pochv dvizhiteľjami i jeffektivnye puti ejo reshenija* [The problem of soil over-compaction by movers and effective ways to solve it] Moscow, 1998, 366 p. (In Russian)
15. Voitkov A. V., Boykov V. P., Krivitsky A. M. *O vlijanii shiriny i naruzhnogo diametra shiny na tjavovo-scepnye kachestva kolesa* [On the influence of the width and outer diameter of a tire on the traction-coupling qualities of a wheel] *Traktory i sel'skohozjajstvennye mashiny* [Tractors and agricultural machines]. 1986, no. 1, pp. 5-6. (In Russian)
16. Pamfilov, D.V. *Povyshenie bokovoj dinamicheskoi ustojchivosti i plavnosti hoda kolesnoj trevechojnoj sistemy: avtoref. dis. kand. tehn. nauk* [Increasing the lateral dynamic stability and smoothness of the course of the wheeled tracker system: author. dis. PhD in Engineering]. Leningrad, 1985, 18 p. (In Russian)
17. Sergeev V.P. *Obosnovanie optimal'nyh parametrov gidromehaničeskoi transmissii lesopromyshlennyh traktorov: avtoref. dis. kand. tehn. nauk* [Justification of the optimal parameters of hydromechanical transmission of forestry tractors: author. dis. PhD in Engineering]. Leningrad, 1990, 20 p. (In Russian)

Сведения об авторах

Прядкин Владимир Ильич – профессор кафедры автомобилей и сервиса ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», доктор технических наук, профессор, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: sorkol@mail.ru.

Бартенев Иван Михайлович – профессор кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», доктор технических наук, профессор, г. Воронеж, Российская Федерация, e-mail: kafedramehaniza@mail.ru

Information about authors

Pryadkin Vladimir Ilyich – Professor Department of Machines and Service, FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», DSc (Engineering), Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: sorkol@mail.ru.

Bartenev Ivan Mikhailovich – Professor of Forestry Mechanization department, FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», DSc in Engineering, Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: kafedramehaniza@mail.ru.

DOI: 10.12737/article_5c1a320a64e545.77850234

УДК 630*4

ПОЛОЖЕНИЯ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ФРЕЗЕРНЫХ МАШИН ОТ ПЕРЕГРУЗОК С УПРУГИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

кандидат технических наук **П. Н. Щерблыкин¹**

кандидат технических наук **Р. Г. Боровиков¹**

1 – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация

В статье представлены основные положения, на которые следует опираться при разработке конструктивных решений приводных узлов лесохозяйственных машин включающих в свою конструкцию предохранительные устройства позволяющих защищать их по крутящему моменту. Отмечено, что особое внимание при конструировании необходимо уделять снижению динамических нагрузок, возникающих в процессе нормальной эксплуатации в течение всего времени работы ротационной лесохозяйственной машины и возникающих при перегрузках в результате срабатывания их предохранительных устройств. Показано, что предохранительные устройства необходимо устанавливать как можно ближе к рабочему органу или непосредственно в нем, без изменения кинетической энергии движущих масс фрезерного барабана. Так же представлены и описаны основные характеристики и виды неметаллических упругих элементов, которые в совокупности с фрикционными элементами, представляющими собой отдельные вкладыши, позволяют преобразовывать обычные предохранительные устройства в упругопредохранительные, и следовательно в дальнейшем применяться при создании новых конструктивных решений ротационных лесохозяйственных машин с активными рабочими органами и их предохранительными устройствами позволяющими уменьшать жесткость и диссипацию системы с достаточной простотой и наименьшими затратами.

Ключевые слова: предохранительное устройство, упругий элемент, перегрузка, конструкция.

PROVISIONS AND REQUIREMENTS FORMED DURING DEVELOPMENT OF SECURITY FACILITIES WITH ELASTIC ELEMENTS TO PROTECT MILLING MACHINES FROM OVERLOADS

PhD (Engineering) **P. N. Shcheblykin¹**

PhD (Engineering) **R. G. Borovikov¹**

1 – Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russian Federation

Abstract

The article presents the main provisions on which to rely in the development of design solutions for drive units of forestry machines incorporating safety devices in their construction that allow them to be protected by torque. It is noted that, in designing, it is necessary to pay special attention to reducing the dynamic loads that occur during normal