

УДК 630*372/375

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ ФОРВАРДЕРОВ

Куницкая Ольга Анатольевна*доктор технических наук, профессор, Арктический государственный
агротехнологический университет, г. Якутск, Россия, ola.ola07@mail.ru***Просужих Алексей Анатольевич***Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Россия***Каляшов Виталий Анатольевич***Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г.
Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. Колесные лесные машины доминируют в настоящее время в лесозаготовительном производстве в России и в мире. Ежегодно в России увеличивается доля заготовки древесины по скандинавской технологии. Основной трелевочной машиной в этом случае является форвардер.

Ключевые слова: лесозаготовки, сортиментная технология, трелевка, форвардеры, почвогрунты, колееобразование, производительность.

ECOLOGICAL AND ECONOMIC OPERATION EFFICIENCY OF FORWARDERS

Kunickaya Ol'ga Anatol'evna*Doctor of Technical Sciences, Professor, Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk,
Russia, ola.ola07@mail.ru***Prosuzhikh Alexey Anatolyevich***Ukhta State Technical University, Ukhta, Russia***Kalyashov Vitaly Anatolyevich***Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russia*

Abstract. Wheeled forestry machines currently dominate the forestry industry in Russia and in the world. The share of timber harvesting using Scandinavian technology is increasing annually in Russia. The main skidder in this case is the forwarder.

Keywords: logging, cut-to-length technology, skidding, forwarders, soil, rutting, productivity

Введение. По данным Росстата в 2020 году в России было заготовлено 242 млн м³ древесины. Из них около 90% приходится на сортиментную заготовку, предусматривающую вывозку из леса сортиментов - это 217,8 млн м³. Около 30% из них приходится на «канадский» вариант: Валочно-пакетирующая машина (ВПМ)+трактор с пачковым захватом (скиддер)+ сучкорезно-раскряжевочная машина (процессор) – это 65,34 млн м³. Так сейчас работают в ряде предприятий Сибири. Хотя отметим, что и в этой схеме есть вариации, ее перевода из Канадской в Скандинавскую технологию, например, когда после ВПМ процессор работает на пасеке и полученные на пасеке сортименты трелюются форвардером. В последние три года эта схема становится все более популярной [1].

Оставшиеся 152,46 млн м³ заготовленной в год древесины приходится на классическую «скандинавскую технологию» - харвестер + форвадер или бензиномоторная пила + форвардер [2, 3]. Это позволяет говорить о том, что в 2020 г. в РФ при помощи форвардеров было стреловано более 150 млн м³.

Надо также отметить, что харвардеры, и валочно-трелевочно-процессорные машины в России сейчас не используются, а комби-машины, известные как форвестеры, при выполнении транспортных операций работают как обычный форвардер.

Кроме того, на базе форвардеров также изготавливают и бесчокерные трелевочные тракторы.

По данным Рослесхоза, в 2030 г. в Российской Федерации планируется заготавливать 286 млн м³ древесины, а это значит, что даже при сохранении тех же пропорций на трелевку форвардерами будет приходиться уже более 180 млн м³. Но можно уверенно прогнозировать, что пропорции в заготовке древесины будут сдвигаться в сторону скандинавской заготовки, поскольку продажи ВПМ, скиддеров и процессоров в России ежегодно падают, а значит уверенно можно говорить, что к 2030 г. объем трелевки форвардерами в нашей стране будет превышать 200 млн. м³ в год.

Материалы и методы исследования. К сожалению, в России лесные машины, включая форвардеры, практически не производятся, если не считать продукцию Белорусского концерна Амкадор, который выкупил производственную площадку Онежского тракторного завода в г. Петрозаводске. Но надо сказать, что большой популярностью эти машины у отечественных лесозаготовителей пока не пользуются.

В России доминируют форвардеры четырех ведущих компаний-производителей. Если брать по степени распространенности, это машины следующих компаний: Джон Дир, Понссе, Комацу, Роттне [4]. Машины

остальных производителей присутствуют в единичных экземплярах, если не считать форвардеров на базе тракторов МТЗ, которые распространены в лесничествах и на малообъемных лесозаготовках.

По массе и грузоподъемности в России доминируют форвардеры тяжелые и средние, легкие практически в нашей стране не покупают, опять же если не считать форвардеров на базе МТЗ. Это связано с плохим развитием дорожной сети, и тем, что лесозаготовители часто предпочитают удлинять расстояние трелевки, чем строить к каждой лесосеке дорогу. Удельная энергоемкость при таком варианте оказывается меньше у тяжелых форвардеров с большой грузоподъемностью. Для таких условий работы в 2019 г. компания Понссе даже выпустила особый форвардер «Понссе Бизон» с гидравлической и механической трансмиссией, которая включается при перемещении форвардера на дальние расстояния. По идее классический форвардер с гидравлической трансмиссией на дальние расстояния перемещаться не должен.

Для тяжелых условий работы на слабых почвогрунтах также компания Понссе выпустила десяти-колесный форвардер. Обычно, средние и тяжелые форвардеры имеют 8 колес, реже 6.

Надо отметить, что форвардеры в лесном комплексе используются не только для трелевки сортиментов и их укладки в штабели на погрузочных пунктах. Они часто служат основой для различных транспортно-технологических комплексов, таких как пожарные машины, доставщики и укладчики сборно-разборных покрытий на временные лесовозные дороги, служат для доставки самоходных лебедок, цистерн с топливом, и так далее. Это еще более увеличивает объем грузовой работы, выполняемой форвардерами.

Уже упомянутая финская компания Понссе в прошлом году представила на российском рынке противопожарный форвардер [5].

Помимо серийных форвардеров, мелкими сериями, в основном за рубежом, выпускаются легкие форвардеры [6]. Можно прогнозировать, что по мере внедрения в лесах России интенсивной модели ведения лесного хозяйства, основанной прежде всего на широком проведении коммерческих рубок ухода, эти машины будут находить применение и в наших лесах.

В России у лесозаготовительного производства есть несколько специфических моментов, отличающих его, например от европейских и американских коллег, в том числе очень слабо развитая дорожная сеть, и преобладание слабонесущих почвогрунтов [7, 8]. В результате, как уже было отмечено, часто форвардеры на лесосечных работах вынуждены совершать очень длинные рейсы с полной нагрузкой, что нехарактерно для стран Европы, а также США и Канады.

Но что объединяет сейчас отечественных и иностранных лесозаготовителей, помимо одинаковых используемых машин ведущих компаний-производителей – это процессы очевидного потепления климата, приведшие к существенному сокращению зимнего сезона заготовок. Кроме того, необходимость равномерных платежей по лизингу или кредиту заставляет лесозаготовителей практически выравнивать объемы заготовок в течение года [9].

В результате работы на переувлажненных почвогрунтах в теплый период года снижаются транспортные скорости, объемы перевозимых пачек сортиментов, а, следовательно, производительность форвардеров, увеличивается расход топлива, повышается износ трансмиссии, т.е. увеличивается удельная себестоимость кубометра заготовленной древесины [10, 11]. Кроме этого, интенсивное колееобразование приводит к негативному экологическому воздействию на леса, в результате чего замедляются лесовосстановительные процессы, проявляются признаки водной эрозии на трелевочных волоках, угнетение корней, замедление роста, ослабление оставляемых на доращивание деревьев, вблизи трасс движения. Поскольку по известной фразе проф. Г.Ф. Морозова «Лесопользование и лесовосстановление - синонимы», и согласно действующему лесному законодательству Российской Федерации лесопользователи обязаны обеспечивать лесовосстановление после проведения рубок спелых и перестойных насаждений, негативное воздействие форвардеров на экосистему леса, в конечном итоге, удорожает весь процесс лесопользования, а значит и себестоимость заготовленной древесины.

Основные составляющие для комплексной оценки эффективности работы форвардеров включают экономический, экологический и социальный аспекты. На практике, составляющие эффективности работы форвардеров часто не сходятся: желание операторов больше заработать приводит к экологическому ущербу и экономическим потерям от поломок машины. Безусловно, негативные экологические факторы работы форвардеров необходимо учитывать, но технико-экономические показатели их работы, в конечном итоге, всегда выходят на первый план в производственном процессе лесозаготовок [12, 13].

В настоящее время ведущие позиции в исследуемом вопросе занимает научная школа «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» Арктического государственного агротехнологического университета. В последние годы, в рамках данной научной школы, подготовлены и защищены более десятка кандидатских и докторских диссертаций, посвященных вопросам эффективности эксплуатации и снижения негативного воздействия колесных и гусеничных лесных машин на почвы лесосек. Вместе с тем, ряд вопросов нуждается в дальнейшей проработке. Прежде

всего, прогнозирование производительности форвардера с учетом его эксплуатационных характеристик, параметров лесосеки и физико-механических свойств почвогрунта; аналитическое определение допустимых режимов работы форвардера (скорость, объем трелюемой пачки сортиментов) исходя из эксплуатационных характеристик и почвенно-грунтовых условий.

Результаты. В работе [14] предложена математическая модель, предназначенная для прогнозирования производительности форвардеров в зависимости от их эксплуатационных характеристик и природно-производственных условий. Несмотря на кажущуюся простоту формулировок, реализация математической модели и получение практических рекомендаций потребовали отдельных теоретических и экспериментальных исследований. Так, составляющие затрат времени по отдельным операциям зависят от характеристик лесосеки и форвардера. До настоящего времени нет единого мнения о структуре таких функций, тем более, не установлены доверительные границы варьирования их коэффициентов. Получение данных сведений явилось одной из задач эксперимента.

Кроме того, в уравнениях для расчета производительности важнейшим фактором является объем трелюемых лесоматериалов. Этот объем определяется как грузоподъемностью форвардера, так и допустимой нагрузкой со стороны движителя на лесной почвогрунт.

Экспериментальные исследования [15] были выполнены с целью:

1. Установить общий вид регрессионных зависимостей, объясняющих с достаточной точностью зависимости:
 - среднего объема хлыста на делянке и среднего объема сортимента;
 - среднего объема сортимента и числа сортиментов, загружаемых в кузов форвардера;
 - затрат времени на загрузку кузова форвардера John Deere 1210G, связанных с работой манипулятора, и числа сортиментов;
 - затрат времени на загрузку кузова форвардера, связанных с маневрированием машины, и запаса древесины на единицу площади.
2. Определить доверительные границ варьирования коэффициентов регрессионных зависимостей.
3. Изучить:
 - затраты времени на разгрузку кузова форвардера, связанных с работой манипулятора;

- затраты времени, связанных с движением форвардера по отдельным участкам маршрута;
- увеличение времени цикла трелевки в связи с простоями машины.

Эксперименты были проведены в производственных условиях, на лесосеках, расположенных на территории Прилузского и Сыктывдинского муниципальных районов Республики Коми летом 2019-2020 гг.

При проведении экспериментов проводилось зондирование почвогрунта на лесосеке, в результате установлено, что почвенно-грунтовые условия следует отнести ко II категории прочности (средней прочности).

Древостой на делянках смешанный, состав 3С3Е2Б2Ос, объем хлыста и объем сортимента определяли по методике. Составляющие затрат времени по отдельным операциям фиксировали путем хронометража. В результате были получены сведения, необходимые для реализации математической модели. В качестве инструмента реализации был выбран имитационный подход. Это связано с вариативностью природно-производственных условий.

Результаты расчетов наглядно показали существенное влияние среднего объема хлыста, длин пасечных и магистральных волоков, на часовую производительность трелевки. Важно отметить: установлено, что зависимость производительности от расстояния трелевки при его увеличении до 1 км приобретает выраженный нелинейный характер. При этом производительность среднего форвардера (15 м³) достаточно близка к производительности тяжелого (20 м³). Производительность легкого форвардера (10 м³) отличается ориентировочно на 20% в меньшую сторону.

При разработке рекомендаций по наиболее оптимальным техническим решениям, повышающим эффективность работы форвардеров на слабонесущих почвогрунтах, в первую очередь, было обращено внимание на внедрение систем автоматического контроля давления в шинах и центральной накачки шин. Схожие системы сейчас устанавливаются на сельскохозяйственных тракторах. В работе [16] представлена принципиальная компоновка такой системы и схема ее установки на трактор, а также техническое решение, позволяющее удешевить используемый в сельском хозяйстве импортный вариант. Технический анализ показал, что для целей контроля можно использовать достаточно надежные и дешёвые емкостные или индукционные датчики, а также датчики Холла. Доработка в этом случае будет заключаться в том, что на вращающийся элемент (вал) необходимо добавить зубчатое колесо и датчик, который будет реагировать на зубцы этой шестерни. Импульсы со всех датчиков необходимо подать на контроллер, который будет подсчитывать и сравнивать количество импульсов за определенный промежуток времени. С этой задачей легко справиться

микроконтроллер, например Atmel или PIC. Результат измерений можно вывести, в самом простом случае – на сигнальную лампу. Так же для индикации можно рассмотреть дисплей. Такая система будет проста в реализации, будет иметь достаточно простую программную часть, имеющую возможность настройки и калибровки с панели управления.

Надо сказать, что автоматическая оптимизация давления в колесах форвардера, особенно при его перемещении на достаточно длинные дистанции, характеризующиеся разными несущими способностями почвогрунта на одной трассе, позволит существенно повысить как экологическую, так и экономическую эффективность работы машин. Ведь при давлениях выше или ниже оптимального шина намного быстрее выходит из строя, а стоят они достаточно дорого, ввиду сложной конструкции и больших размеров.

Еще одним перспективным вариантом оптимизации работы форвардера в различных условиях эксплуатации является оптимизация его рейсовой нагрузки. Понятно, что на слабых почвогрунтах надо снижать объем веза, чтобы форвардер не тонул и не нарезал колею. Но операторы, часто этим пренебрегают, поскольку у них сдельная зарплата. С другой стороны, на хороших почвогрунтах объем веза можно увеличивать. Для этого хорошо служит вариант кузова форвардера с изменяемой геометрией. Можно привести такой простой экономический расчет на год, на 1 форвардер: В рабочем году 200 рабочих дней. Рабочий день – это 2 смены по 10 часов. 1 рейс форвардера – примем = 1 час. В смене 10 рейсов, 20 рейсов в рабочий день. Активный грузовой отсек добавляет минимум 1 м^3 . 20 рейсов в день $\times 1 \text{ м}^3 = 20 \text{ м}^3$ в день дополнительно. За рабочий год – 200 дней $\times 20 \text{ м}^3 = 4\,000 \text{ м}^3$. 1 обезличенный м^3 принимаем равным 3 000 руб. В год добавка $4\,000 \text{ м}^3 \times 3\,000 \text{ р.} = 12\,000\,000 \text{ руб!}$ Также для контроля нагрузки на форвардер и ее оптимизации хорошо подойдут автоматические весы грузового отсека [17, 18].

Заключение. Результаты реализации имитационного подхода к моделированию и расчету производительности форвардера раскрыли существенное влияние среднего объема хлыста, длин пасечных и магистральных волоков, на часовую производительность трелевки. Важно отметить, что зависимость производительности от расстояния трелевки при его увеличении до 1 км приобретает выраженный нелинейный характер. При этом производительность среднего форвардера (15 м^3) достаточна близка к производительности тяжелого (20 м^3). Производительность легкого форвардера (10 м^3) отличается ориентировочно на 20% в меньшую сторону.

Установка системы контроля давления и температуры в шинах на лесные машины позволяет получить следующие преимущества: сохранение

лесорастительных свойств почвогрунта лесосек за счет снижения давления шин на почву, и, соответственно, ее переуплотнения; максимизация тяговых усилий за счет правильного выбора и контроля давления в шинах; снижение затрат на шины за счёт их своевременного ремонта и увеличения пробега; сокращение простоев техники; снижение затрат на ремонт шин; помощь в предъявлении шин по рекламации; увеличение доли шин, пригодных к восстановлению; экономия топлива (от 3% до 10%); интеграция с ведущими провайдерами диспетчеризации и мониторинга; быстрое внедрение системы за счет простоты монтажа и эксплуатации.

Установка дополнительных технических опций, таких как камера заднего вида, регулируемый грузовой отсек, дополнительное освещение, и т.д. позволяют существенно повысить как эксплуатационную, так и экономическую эффективность использования колесных форвардеров.

Литература.

1. Тамби А.А., Григорьев И.В., Давтян А.Б., Помигуев А.В., Калита О.Н., Григорьев В.И. Технологическая интеграция лесопромышленных предприятий // Деревообрабатывающая промышленность. - 2021. - № 1. - С. 26-37.
2. Григорьев И.В. Направления совершенствования харвестерных головок // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Шестой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, - 2020. - С. 45-47.
3. Тамби А.А., Григорьев И.В. Повышение эффективности работы харвестера путем исключения потерь времени на подготовку режущего инструмента // Ремонт. Восстановление. Модернизация. - 2020. - № 4. - С. 12-16.
4. Григорьев И.В. Опыт сотрудничества Якутской ГСХА с производителями и дилерами машин и оборудования лесного комплекса // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Шестой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, - 2020. - С. 47-48.
5. Гринько О.И., Григорьева О.И., Григорьев И.В., Григорьев М.Ф., Григорьева А.И. Повышение эффективности тушения лесных пожаров на основе прогнозных моделей их возникновения // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе. Материалы международной научно-практической конференции. - 2020. - С. 242-246.
6. Григорьев И.В., Чураков А.А. Совершенствование конструкции активного полуприцепа форвардера на базе сельскохозяйственного колесного трактора

- // Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы Международной научно-технической конференции. Отв. ред. Н. С. Захаров. - 2018. - С. 84-88.
7. Рудов С.Е., Григорьев И.В., Григорьев М.Ф., Степанова Д.И. Повышение эффективности работы колесных лесных машин на оттаивающих почвогрунтах // Актуальные проблемы развития лесного комплекса. Материалы XVII Международной научно-технической конференции. Ответственный редактор Ю.М. Авдеев. - 2019. - С. 223-225.
 8. Дмитриева М.Н., Григорьев И.В., Рудов С.Е. Анализ исследований взаимодействия колёсного движителя лесных машин со слабонесущим почвогрунтом // Resources and Technology. - 2019. - Т. 16. - № 1. - С. 10-39. DOI: 10.15393/j2.art.2019.4402.
 9. Григорьев И.В. Сервисные контракты для современных лесных машин // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Пятой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. - 2019. - С. 26-28.
 10. Божбов В.Е., Григорьев И.В., Рудов С.Е., Тетеревлева Е.В., Чемшикова Ю.М. Анализ подходов к описанию процессов взаимодействия движителей лесных машин с почвогрунтами лесосек // Resources and Technology. - 2019. - Т. 16. - № 2. - С. 13-35. DOI: 10.15393/j2.art.2019.4482.
 11. Rudov S.E., Voronova A.M., Chemshikova J.M., Teterlevleva E.V., Kruchinin I.N., Dondokov Yu.Zh., Khaldeeva M.N., Burtseva I.A., Danilov V.V., Grigorev I.V. Theoretical approaches to logging trail network planning: increasing efficiency of forest machines and reducing their negative impact on soil and terrain // Asian Journal of Water, Environment and Pollution. - 2019. - Т. 16. - № 4. - С. 61-75.
 12. Григорьев И. В. Снижение отрицательного воздействия на почву колесных трелевочных тракторов обоснованием режимов их движения и технологического оборудования. СПб.: СПбГЛТА, - 2006. - 236 с.
 13. Григорьев И. В., Жукова А. И., Григорьева О. И., Иванов А. В. Средоадаптирующие технологии разработки лесосек в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации. СПб.: СПбГЛТА, - 2008. - 176 с.
 14. Бурмистрова О.Н., Просужих А.А., Хитров Е.Г., Рудов С.Е., Куницкая О.А., Калита О.Н. Влияние переменных коэффициентов сопротивления движению и сцепления на производительность форвардера // Деревообрабатывающая промышленность. - 2021. - № 1. - С. 3-16.
 15. Бурмистрова О.Н., Просужих А.А., Рудов С.Е., Куницкая О.А., Григорьев И.В. Экспериментальные исследования производительности форвардера с

- учетом его эксплуатационных характеристик, параметров лесосеки, и физико-механических свойств почвогрунта // Resources and Technology. - 2021. - Т. 18. - № 1. - С. 94-124. DOI: 10.15393/j2.art.2021.5583.
16. Григорьев И.В., Куницкая О.А., Ланских Ю.В., Сандаков С.Ю., Просужих А.А., Рудов С.Е. Модернизация системы контроля давления в шинах лесных и сельскохозяйственных машин // Ремонт. Восстановление. Модернизация. - 2021. - № 2. - С. 21-30. DOI: 10.31044/1684-2561-2021-0-2-21-30 .
 17. Григорьев И.В., Тихонов И.И., Григорьева О.И., Рудов М.Е. Поиск новых технических решений для повышения экологической совместимости лесных машин с лесной средой // Интенсификация формирования и охраны интеллектуальной собственности. Материалы республиканской научно-практической конференции, посвященной 75-летию ПетрГУ. Петрозаводский государственный университет. - 2015. - С. 9-11.
 18. Григорьев И.В., Тихонов И.И. Конструкции для учета веса и предотвращения перегруза грузовых автомобилей // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. - 2015. - Т. 3. - № 4-1 (15-1). - С. 36-39. DOI: 10.12737/13881.

© Куницкая О.А., Просужих А. А., Каляшов В. А. 2021