

УДК 625.711.84

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ФОРВАРДЕРОВ С РАЗЛИЧНЫМ ТИПОМ ДВИЖИТЕЛЯ  
НА ЗАБОЛОЧЕННЫХ ГРУНТАХ**  
COMPARATIVE EVALUATION OF EFFICIENCY OF OPERATION OF  
FORWARDERS WITH VARIOUS TYPE OF MOVER ON SURFACED SOILS

Мисуно Ю.И.

Мисуно Ю.И., аспирантка кафедры Misuno Yu.I., postgraduate student of лесных машин, дорог и технологий the Department of Forest Machines, лесопромышленного производства Roads and Technologies of Timber УО «Белорусский государственный Industry Production, EI «Belarusian технологический университет», State Technological University», Республика Беларусь, Минск Republic of Belarus, Minsk

**Аннотация:** для повышения эффективности освоения заболоченного лесосечного фонда могут применяться лесные машины с комбинированным колесно-гусеничным типом движителя. Использование съемных гусениц позволяет увеличить тягово-сцепные свойства и снизить удельное давление движителя на лесной почвогрунт. Поэтому целесообразность использования съемных гусениц требует учета эксплуатационных условий, лесоводственно-экологических требований и экономического обоснования.

В данной работе выполнена оценка эффективности применения форвардера Амкодор-2661-01 с комбинированным типом движителя при выполнении операции трелевки (подвозки) на заболоченных лесосеках. Для этого выполнено сравнение различных вариантов использования форвардера с колесным и комбинированным типами движителя. Для их сравнения использовались следующие технико-экономические показатели: производительность, расход топлива, затраты на техническое обслуживание, затраты на восстановление и ремонт шин.

Выполненные расчеты и их анализ показал, что использование форвардеров с комбинированным типом движителя позволяет увеличить возможности их работы на слабых почвогрунтах и увеличить производительности форвардера почти в 2 раза. Несмотря на увеличение эксплуатационных затрат, экономическая целесообразность использования съемных гусениц заключается в увеличении диапазона природно-производственных условий применения колесных машин. Это позволит отказаться от покупки специальной техники для работы на заболоченных участках и повысить годовой объем заготовок за счет освоения лесфонда на труднодоступных участках.

**Summary:** To improve the efficiency of the development of a swampy logging fund, forest machines with a combined mover type of propulsion can be used. The use of removable tracks allows to increase the traction-coupling properties and to

reduce the specific pressure of the propulsion device on the forest soil. Therefore, the expediency of using removable tracks requires consideration of operational conditions, silvicultural and ecological requirements and economic justification.

In this paper evaluated the efficiency of the application of the forwarder Amkodor-2661-01 with combined mover type of propulsion during the operation of skidding (haulage) on swamped logging areas. To do this, a comparison is made between the different options for using the forwarder with the wheel and combined propulsion types. To compare them, the following technical and economic indicators were used: productivity, fuel consumption, maintenance costs, tire repair and repair costs.

The performed calculations and their analysis showed that the use of forwarder with a combined type of propulsion allows increasing the possibility of their work on weak soils and increase the productivity of the forwarder by almost 2 times. Despite the increase in operating costs, the economic feasibility of using removable tracks is to increase the range of natural-production conditions for the use of wheeled vehicles. This will allow refusing the purchase of special equipment for work in wetlands and increasing the annual volume of logging due to the development of the forest fund in wetlands.

**Ключевые слова:** форвардер, движитель, съемные гусеницы, почвогрунт, эффективность

**Key words:** forwarder, mover, removable tracks, soil, efficiency

#### **Введение**

Одним из основных факторов, оказывающих влияние на эффективность работы форвардера при выполнении операций по трелевке (подвозке) сортиментов с лесосеки на погрузочный пункт являются почвенно-грунтовые условия [14, 15, 4, 6]. В Республике Беларусь в соответствии с принятой классификацией лесные территории подразделяются на 4 типа местности [11]. Наиболее сложными для лесозаготовительной техники, в особенности колесной, являются III и IV типы местности, которые характеризуются повышенным переувлажнением земель, в результате чего резко снижаются показатели проходимости лесной техники и их тягово-сцепные свойства [9, 1, 13, 3]. В условиях Республики Беларусь широкое применение получила тракторная трелевка лесоматериалов. При этом используются, как правило, либо трелевочные трактора с канатно-чокерной оснасткой (ТТР-401 на базе трактора «Беларус-82.2») или форвардеры (специализированные или прицепные) с колесным типом движителя. Основной объем лесоматериалов трелюется

форвардерами с колесным или комбинированным (колесно-гусеничным) типом двигателя.

#### Объекты и методы исследования

Объектом исследования является колесный форвардер Амкодор-2661-01 с колесной формулой 6К6 и грузоподъемностью – 12 т. На передних колесах установлены шины 30,5L-32LS, на заднем тандеме – 700/50-26,5 [12].

Оценка экономической эффективности применения форвардера произведена путем сравнения следующих вариантов:

– форвардер с номинальным внутренним давлением воздуха в шинах. Для шин передних колес – 140 кПа, для шин заднего тандема – 300 кПа.

– форвардер с минимально допустимым внутренним давлением воздуха в шине. Минимально допустимое внутреннее давление воздуха в шинах составляет: для передних колес – 110 кПа, для заднего тандема – 220 кПа [10].

– форвардер с установкой съемных гусениц на колеса тандемной тележки типа Clark Tracks Terra85 [2].

Для сравнения данных вариантов использовались следующие технико-экономические показатели: производительность, расход топлива, затраты на ТО, затраты на восстановление и ремонт шин. Во всех рассматриваемых вариантах предусмотрено движение форвардера по армированному порубочными остатками трелевочному волоку. Среднее расстояние трелевки (в границах лесосеки) для условий Беларусь составляет порядка 150–300 м. Цены указаны в белорусских рублях.

Сменная производительность форвардера определяется по формуле [5]:

$$\Pi_{\text{см}} = \frac{(T - t_{\text{п-3}}) \cdot V_{\text{н}} \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2}{L \cdot T_1 + T_2}, \quad (1)$$

где  $T$  – продолжительность смены:  $T=480$  мин.;  $t_{\text{п-3}}$  – время на проведение подготовительно-заключительных операций:  $t_{\text{п-3}}=30$  мин.;  $V_{\text{н}}$  – объем древесины, который будет вывезен форвардером за один рейс,  $\text{м}^3$ ;  $\varphi_1$  – коэффициент использования рабочего времени:  $\varphi_1=0,7$ ;  $\varphi_2$  – коэффициент загрузки форвардера:  $\varphi_2=0,65$ ;  $L$  – расстояние трелевки, км:  $L=0,15$  км;  $T_1$  –

время пробега одного км в обоих направлениях;  $T_2$  – время на погрузочно-разгрузочные работы:  $T_2=21$  мин.

Расход топлива форвардера принимается в соответствии с установленными Министерством лесного хозяйства Республики Беларусь нормами расхода топлива на многооперационную лесозаготовительную технику [7].

Затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт  $Z_{\text{рем}}$ , руб. форвардера, приходящиеся на одну машино-смену в работе, определяются по формуле:

$$Z_{\text{рем}} = \frac{K \cdot N_r \cdot T_p}{100}, \quad (2)$$

где  $K$  – количество техники, приходящейся на одну машино-смену, шт.;  $N_r$  – норматив затрат на техническое обслуживание и текущий ремонт на 100 моточасов (для Амкодор-2661-01  $N_r = 52,40$  руб.);  $T_p$  – продолжительность работы техники в течение смены.

Затраты на восстановление износа и ремонт шин  $Z_{\text{ш}}$ , руб. на машино-смену определяются по формуле [8]:

$$Z_{\text{ш}} = \frac{N_{\text{ш}} \cdot \Pi_{\text{ш}} \cdot K \cdot N \cdot L}{100 \cdot 1000}, \quad (3)$$

где  $N_{\text{ш}}$  – норма затрат на восстановление износа и ремонт шин в процентах к стоимости комплекта на 1000 км пробега,  $N_{\text{ш}}=1,64$ ;  $\Pi_{\text{ш}}$  – оптовая цена одного комплекта по действующим ценам:  $\Pi_{\text{ш}}=2000$  руб.;  $K$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы,  $K=1,1$ ;  $N$  – количество шин, смонтированных на колесах машин, шт.;  $L$  – сменный пробег, км.

Сменный пробег определяется следующим образом:

$$L = 2 \cdot L_r \cdot K_p \cdot k, \quad (4)$$

где  $L_r$  – среднее расстояние трелевки:  $L_r=0,15$  км;  $K_p$  – количество рейсов за смену: для всех вариантов будет равен  $K_p=9$ ;  $k$  – коэффициент, учитывающий маневровые работы на лесосеке:  $k=1,3$ .

Затраты на восстановление износа и ремонт гусениц определяются по следующей формуле:

$$Z_r = \frac{Ц_r}{D_p \cdot K_{см} \cdot K_{исп} \cdot n_{сез}}, \quad (5)$$

где  $D_p$  – количество рабочих дней в году:  $D_p=260$  дней;  $K_{см}$  – количество смен:  $K_{см}=2$ ;  $K_{исп}$  – коэффициент использования гусениц в течение года:  $K_{исп}=0,75$ ;  $n_{сез}$  – количество сезонов использования гусениц:  $n_{сез}=2$ ;  $Ц_r$  – стоимость восстановления комплекта гусениц:  $Ц_r=10000$  руб.

#### Результаты исследования

Результаты выполненных расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследований

Показатель	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Технико-эксплуатационные затраты			
Объем трелюемой пачки, м <sup>3</sup>	7	10	13
Скорость движения загрузенного форвардера, км/ч	4,2	3,6	4,0
Расход топлива, л/м <sup>3</sup>	0,397	0,417	0,437
Производительность, м <sup>3</sup> /см	61,9	87,1	114,5
Экономические показатели			
Затраты на ТО и ТР, руб./маш.-см.	4,20	4,62	4,83
Затраты на восстановление и ремонт, руб./маш.-см.:			
– шин	0,76	0,87	0,84
– съемных гусениц	–	–	12,82

Связь между почвенно-грунтовыми условиями и сменной производительностью форвардера прослеживается через объем трелюемой пачки и скорость движения форвардера. В соответствии с техническими характеристиками, максимально возможный объем трелюемой пачки составляет 13 м<sup>3</sup>. Данная загрузка форвардера при движении по слабым почвогрунтам возможна при использовании съемных гусениц. В других случаях необходимо рейсовую нагрузку снижать: для первого варианта объем пачки составит – 7 м<sup>3</sup>, для второго – 10 м<sup>3</sup>.



Средняя скорость движения загруженного форвардера с номинальным давлением воздуха в шинах по лесосеке с III типом местности по армированному волоку составляет в среднем 4,2 км/ч. При снижении внутреннего давления воздуха в шине скорость движения необходимо снижать до 2,5–3 км/ч для предотвращения быстрого износа шин. Максимальная скорость движения форвардера с гусеницами никогда не должна превышать 12 км/ч, даже на ровных поверхностях или лесных дорогах. Скорость надо существенно снижать при работе загруженного форвардера в экстремальных условиях до 4–6 км/ч [7].

Расход топлива форвардера для первого варианта принимаем согласно [5] равным 0,397 л/м<sup>3</sup>. Для второго и третьего вариантов ввиду большего сопротивления движения данный показатель возрастает соответственно на 5 и 10%.

Затраты на техническое обслуживание и ремонт форвардера для первого варианта составляют 4,20 руб. Для второго и третьего вариантов данный показатель будет выше на 10–15% из-за повышения затрат на текущий ремонт.

Затраты на восстановление износа и ремонт шин для первого варианта определяем по формуле (5). Для второго и третьего вариантов значение данного показателя на 10–15% выше.

При определении затрат на восстановление износа шин и их ремонт на машино-смену не учитывается характеристика условий движения форвардера, т.е. различие износа шин при движении загруженного и порожнего форвардера, движение по лесосеке и лесной грунтовой дороге и т.д.

Также при установке съемных гусениц, даже при их правильной эксплуатации наблюдается увеличение износа шин примерно на 10%.

#### **Заключение**

Анализ проведенных исследований показал эффективность и целесообразность применения комбинированного (колесно-гусеничного) движителя на слабых почвогрунтах. Так, в соответствии с проведенными расчетами за счет использования съемных гусениц сменная производительность форвардера на трелевке сортиментов увеличивается почти

в 2 раза. Кроме того, несмотря на увеличение эксплуатационных затрат, экономическая целесообразность использования съемных гусениц заключается в увеличении диапазона природно-производственных условий применения специализированных колесных форвардеров. Это позволит отказаться от покупки специальной техники для работы на заболоченных участках и повысить годовой объем заготовок за счет освоения лесфонда на труднодоступных участках.

#### Список литературы

1. Галактионов, О.Н. Исследование взаимосвязи технологической проходимости лесозаготовительных машин с параметрами лесной среды / О.Н. Галактионов, А.В. Кузнецов // Инженерный вестник Дона: электрон. журнал. – 2012. – т. 22. – № 4–1. – URL: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4t1y2012/1145>.
2. Гусеницы Clark Tracks: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.clarktracks.com/ru/o-kompanii/nashi-gusenitsy.html>. (Дата доступа: 15.04.2018).
3. Кондратюк, Д.В. Совершенствование технологических процессов лесосечных работ и обоснование выбора системы гусеничных лесозаготовительных машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Д.В. Кондратюк. – Москва, 2013. – 187 с.
4. Матвейко, А. П. Технология и машины лесосечных работ: учеб. для вузов / А. П. Матвейко, А. С. Федоренчик. – Минск: Технопринт, 2002. – 480 с.
5. Матвейко, А. П. Технология и оборудование лесозаготовительного производства. Практикум: учебное пособие / А.П. Матвейко, Д.В. Клоков, П.А. Протас. – Минск: БГТУ, 2005. – 159 с.
6. Мохирев, А.П. Методика выбора лесозаготовительных машин под природно-климатические условия / А.П. Мохирев // Лесотехнический журнал. – 2016. – №4. – С. 208–215.
7. Нормы выработки на многооперационную лесозаготовительную технику в организациях министерства лесного хозяйства и рекомендации по их

применению // Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь. – Минск, 2011. – 53 с.

8. Организация производства и управление предприятием: учеб.-метод. пособие / сост. И.И. Корзун. – Мн.: БГТУ, 2006. – 54 с.

9. Пищов, С.Н. Применение движителя комбинированного типа для повышения тягово-сцепных свойств лесных погрузочно-транспортных машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / С.Н. Пищев. – Минск, 2008. – 156 с.

10. Протас, П.А. Исследование давления колесного движителя форвардера «Амкодор-2661-01» на опорную поверхность / П.А. Протас, Ю.И. Мисуно // Труды БГТУ. – 2017. – №2. – С. 251–258.

11. Федоренчик, А.С. Лесные машины «Амкодор»: учеб.-метод. пособие / А.С. Федоренчик, А.А. Герман, П.А. Протас. – Минск: БГТУ, 2013. – 240 с.

12. Форвардер Амкодор-2661-01: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://amkodor.by/catalog/lesopromyshlennyu/forwardery/amkodor\\_2661\\_01/](http://amkodor.by/catalog/lesopromyshlennyu/forwardery/amkodor_2661_01/). (Дата доступа: 15.04.2018).

13. Hittenbeck, J. Estimation of trafficable grades from traction performance of a forwarder / J. Hittenbeck // Croatian Journal of Forest Engineering : Journal for Theory and Application of Forestry Engineering. – 2013. – Vol.34. – № 1. – P. 71–81.

14. Rozītis, G. Evaluation of productivity and impact on soil of tracked ProSilva F2/2 forwarder in forest thinning / G. Rozītis, A. Zimelis, A. Lazdiņš // Research for rural development. – 2017. – Vol. 1. – P. 94–100.

15. Stankić, I. Productivity models for operational planning of timber forwarding in Croatia / I. Stankić [et al.] // Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering. – 2012. – Vol.33. – № 1. – P. 61–78.