

УДК 630*377.4

В. С. Исаченков, В. А. Симанович

Белорусский государственный технологический университет

**К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ КОЛЕСНЫХ ТРЕЛЕВОЧНЫХ МАШИН**

В настоящее время встал вопрос повышения производительности колесных трелевочных машин при выполнении лесосечных работ в конкретных природно-климатических условиях на грунтах со слабой несущей способностью. Поставленная задача может быть достигнута совершенствованием конструкции как самой машины, так и технологического оборудования. В статье проведен анализ основных проблемных моментов существующих технологических схем заготовки древесного сырья при рубках главного и промежуточного пользования с применением колесных трелевочных машин, оснащенных канатно-чokerным технологическим оборудованием.

Для решения поставленной задачи авторами проделаны эксплуатационно-технологические испытания колесной трелевочной машины, в основу которых положен метод фотохронометрирования операций рабочего процесса. Обоснован наиболее рациональный вариант конструкции технологического оборудования для увеличения производительности колесной трелевочной машины в конкретных природно-климатических условиях. На основе результатов проделанных испытаний авторами была получена регрессионная зависимость сменной производительности колесной трелевочной машины от объема трелеваемой пачки хлыстов и длины трелевочного волока. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и изготовлении колесных трелевочных машин для лесозаготовок на предприятиях Республики Беларусь.

Ключевые слова: производительность, колесная трелевочная машина, технологическое оборудование.

V. S. Isachenkov, V. A. Simanovich

Belarusian State Technological University

**TO THE QUESTION OF THE INFLUENCE OF NATURAL-CLIMATIC
CONDITIONS ON THE PRODUCTIVITY OF SKIDDERS**

At present, the question has arisen of increasing the productivity of wheeled skidders when performing logging operations in specific climatic conditions on soils with weak bearing capacity. The task can be achieved by improving the design of both the machine itself and technological equipment.

The article analyzes the main problem points of the existing technological schemes for the procurement of wood raw materials for cutting primary and intermediate use with the use of wheeled skidders equipped with cable-choker technological equipment.

To solve this problem, the authors performed operational and technological tests of a skidding wheel machine, which are based on the method of photo-timing of workflow operations. The most rational version of the design of technological equipment for increasing the performance of a wheel skidder in specific climatic conditions is substantiated. Based on the results of the tests, the authors obtained a regression dependence of the interchangeable performance of the wheel skidder on the volume of the skid bundle of whips and the length of the skid. The results can be used in the design and manufacture of forest logging machines for logging at enterprises of the Republic of Belarus.

Key words: productivity, skidder, technological equipment.

Введение. Сменная производительность колесных трелевочных машин зависит как от конструкции самой машины, так и от природно-климатических условий лесозаготовки, которая включает в себя взаимосвязанные последовательные операции: валка деревьев; обрезка сучьев; при необходимости раскряжевка на том или ином этапе; трелевка; последующая вывозка древесного сырья потребителям.

На сегодняшний момент большинство операций выполняются комплексами машин и меха-

низмов, однако для значительной части лесосечного фонда, расположенного в особых природно-климатических условиях на грунтах со слабой несущей способностью, остается открытым вопрос целесообразного способа трелевки [1–9].

В трелевку включаются холостой ход трелевочного трактора, формирование пачки деревьев или хлыстов, их подъем, рабочий ход и разгрузка на погрузочном пункте [10, 11].

На заготовке древесного сырья в Республике Беларусь в указанных природно-климатических

условиях работы в настоящее время используются колесные трелевочные тракторы с канатно-чokerным технологическим оборудованием, в частности ТТР-401. Для преодоления указанных участков трелевочных или магистральных волоков со слабой несущей способностью почвогрунта при буксовании для этих машин во время рабочего цикла используется прием сброса пачки с последующим ее подтаскиванием.

На наш взгляд, одним из основных путей дальнейшего повышения производительности труда колесных трелевочных тракторов при работе на почвогрунтах с низкой несущей способностью является усовершенствование технологического оборудования.

В качестве решения данной задачи предлагается изменить конструкцию технологического оборудования установкой дополнительной опорной оси, что позволяет использовать его в качестве как навесного, так и прицепного варианта. В начальный момент буксования технологического оборудования переводится из навесного положения в прицепное, и колесный трелевочный трактор преодолевает проблемный участок, не теряя темпа работы. После преодоления указанного участка технологическое оборудование переводится в навесное положение. Это позволит существенно повысить производительность труда указанных машин в конкретных природно-климатических условиях.

Цель работы – проведение эксплуатационно-технологических испытаний и определение влияния природно-климатических условий на производительность колесной трелевочной машины, оснащенной различным по конструктивным особенностям технологическим оборудованием [12].

Основная часть. Для проведения эксплуатационно-технологических испытаний в качестве колесной трелевочной машины использовался трелевочный трактор ТТР-401, на котором устанавливалось как стандартное, так и усовершенствованное технологическое оборудование, разработанное на основе проведенных ранее исследований. Технологическая схема испытаний предусматривала использование бензиномоторных пил на валке, обрезке сучьев и трелевочного трактора на сборе и трелевке хлыстов на погрузочный пункт.

В основу испытаний положен метод фотохронометрирования операций рабочего процесса. Данные заносились в таблицу технологического цикла работы машины с указанием наименования груза, его характеристики, технологической схемы работы машины, среднего расстояния трелевки, длины участков со слабой несущей способностью почвогрунтов, условий сбора и разгрузки хлыстов, характеристики ле-

сосеки, состояния рельефа местности и дороги, способов валки деревьев и пр.

Расстояние трелевки и всех вспомогательных перемещений определялось путем замера пути движения с использованием шагомера. Время фиксировалось с помощью секундомера и часов. Продолжительность испытаний была определена в объеме не менее 3 контрольных смен работы. Установлено не менее 15 контрольных наблюдений (рейсов) в каждой смене. Разница в продолжительности для определения зачетности получаемых результатов составляла не более 10%. Согласно правилам таксации леса объем пачки хлыстов определялся по результатам замера длины хлыстов и их диаметров в комлевой части.

Эксплуатационно-технологические испытания проводились на рубках главного пользования на различных режимах работы в процессе трелевки (тип местности согласно СТБ 1342-2002 – 3; породный состав – 5Б10с1С3Е+Олч; средний запас леса на га, м³ – 236; средний объем хлыста, м³ – 0,24; тип леса – 1а кисличный, плотность – 0,7; средний возраст леса – 70 лет). Длина пасечного волока составляла от 150 до 300 м, а величина проблемных участков на пасечных волоках колебалась в пределах 50 м. Объем трелеваемой пачки хлыстов варьировался от 0,2 до 2,0 м³. Скорость перемещения трактора – от 4,57 до 8,53 км/ч с использованием четырех передач.

Производительность трелевочного трактора ТТР-401 определялась по выражению

$$P_{\text{см}} = \frac{(T - t_{\text{пз}}) \cdot V_{\text{п}} \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_{\text{к}}}{t_{\text{ц}}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{см}}$ – сменная производительность, м³; T – продолжительность смены, с; $t_{\text{пз}}$ – время на подготовительно-заключительные операции, с; $V_{\text{п}}$ – объем трелеваемой пачки, м³; Φ_1 – коэффициент использования рабочего времени; $\Phi_{\text{к}}$ – коэффициент природно-климатических условий; $t_{\text{ц}}$ – время рабочего цикла, с.

В свою очередь время рабочего цикла было найдено расчетным путем:

$$t_{\text{ц}} = t_0 + t_{\text{рхо}} + t_{\text{хх}} + t_{\text{пр}}, \quad (2)$$

где t_0 – время на сброс пачки и маневрирования, с; $t_{\text{рхо}}$ – общее время на движение машины в грузовом направлении, с; $t_{\text{хх}}$ – время на движение машины в порожнем направлении, с; $t_{\text{пр}}$ – время на сбор пачки, с.

Значение общего времени движения в грузовом направлении определялось из выражения:

$$t_{\text{рхо}} = t_{\text{рх}} \cdot n_{\text{рх}} + t_{\text{сп}} \cdot n_{\text{сп}}, \quad (3)$$

где $t_{рх}$ – время на движение машины в грузовом направлении, с; $n_{рх}$ – количество участков движения машины в грузовом направлении; $t_{сп}$ – время на сброс пачки с последующим ее подтаскиванием; $n_{сп}$ – количество участков со слабой несущей способностью почвогрунта.

Таблица 1

Средние значения временных величин рабочего цикла для трелевочного трактора ТТР-401 со стандартным технологическим оборудованием при длине трелевки 150 м

Среднее значение, с	Объем пачки, м ³		
	0,2–0,8	0,8–1,4	1,4–2,0
t_0	89 с / 16,4%	94 с / 16,9%	96 с / 15,7%
$t_{рхо}$	231 с / 42,5%	233 с / 41,9%	243 с / 39,7%
$t_{хх}$	104 с / 19,2%	99 с / 17,8%	102 с / 16,7%
$t_{пр}$	119 с / 21,9%	130 с / 23,4%	171 с / 27,9%

В табл. 1 и 2 представлены средние значения и процентное соотношение временных величин рабочего цикла, указанные в уравнениях (1)–(3), при использовании стандартного и усовершенствованного технологического оборудования на участках со слабой несущей способностью при длине трелевки 150 м.

Таблица 2

Средние значения временных величин рабочего цикла для трелевочного трактора ТТР-401 с усовершенствованным технологическим оборудованием при длине трелевки 150 м

Среднее значение, с	Объем пачки, м ³		
	0,2–0,8	0,8–1,4	1,4–2,0
t_0	91 с / 21,5%	93 с / 21,0%	97 с / 19,9%
$t_{рхо}$	111 с / 26,2%	116 с / 26,2%	119 с / 24,4%
$t_{хх}$	102 с / 24,0%	101 с / 22,9%	102 с / 20,9%
$t_{пр}$	120 с / 28,3%	132 с / 29,9%	170 с / 34,8%

Значения и процентное соотношение временных величин рабочего цикла при использовании стандартного и усовершенствованного технологического оборудования на участках со слабой несущей способностью при длине трелевки 300 м представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Средние значения временных величин рабочего цикла для трелевочного трактора ТТР-401 со стандартным технологическим оборудованием при длине трелевки 300 м

Среднее значение, с	Объем пачки, м ³		
	0,2–0,8	0,8–1,4	1,4–2,0
t_0	72 с / 9,4%	79 с / 9,9%	84 с / 10,0%
$t_{рхо}$	364 с / 47,6%	377 с / 46,1%	391 с / 47,7%
$t_{хх}$	214 с / 28,1%	213 с / 25,4%	216 с / 26,9%
$t_{пр}$	114 с / 14,9%	122 с / 18,6%	158 с / 15,4%

Таблица 4

Средние значения временных величин рабочего цикла для трелевочного трактора ТТР-401 с усовершенствованным технологическим оборудованием при длине трелевки 300 м

Среднее значение, с	Объем пачки, м ³		
	0,2–0,8	0,8–1,4	1,4–2,0
t_0	73 с / 11,2%	78 с / 11,6%	85 с / 11,7%
$t_{рхо}$	245 с / 37,7%	254 с / 37,9%	274 с / 37,6%
$t_{хх}$	217 с / 33,4%	214 с / 31,9%	215 с / 29,5%
$t_{пр}$	115 с / 17,7%	125 с / 18,6%	155 с / 21,2%

Полученные значения фотохронометрирования операций рабочего цикла ТТР-401 позволили убедиться в том, что наибольшие потери времени происходят во время движения в грузовом направлении для трактора с серийным технологическим оборудованием.

В дальнейшем при обработке результатов, полученных по формуле (1), методами математической статистики в системе высокоуровневого программирования MATLAB 7.11.0 (R2010b) была получена регрессионная зависимость сменной производительности от $V_{п}$ и длины трелевочного волокна L_T (м):

$$P_{см} = P_{00} + P_{10} \cdot V_{п} + P_{01} \cdot L_T + P_{20} \cdot V_{п}^2 + P_{11} \cdot V_{п} \cdot L_T + P_{02} \cdot L_T^2. \quad (4)$$

Коэффициенты регрессии, использованные в формуле (4) для конкретных природно-климатических условий, рассматриваемых нами, представлены в табл. 5.

Коэффициенты регрессии

Технологическое оборудование	Коэффициенты регрессии					
	$P_{00}, \text{м}^3 \cdot \text{см}^{-1}$	$P_{10}, \text{см}^{-1}$	$P_{01}, \text{м}^2 \cdot \text{см}^{-1}$	$P_{20}, \text{см}^{-1} \cdot \text{м}^{-3}$	$P_{11}, \text{м}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$	$P_{00}, \text{м} \cdot \text{см}^{-1}$
Стандартное	3,935	45,86	$-5.072 \cdot 10^{-2}$	-1,08	$-6,587 \cdot 10^{-2}$	$1,346 \cdot 10^{-4}$
Усовершенствованное	12,13	75,17	$1,562 \cdot 10^{-1}$	-2,807	$-1,346 \cdot 10^{-1}$	$4,111 \cdot 10^{-4}$

На основе изложенного и выполненных ранее работ можно сделать вывод о целесообразности выбора усовершенствованного технологического оборудования для колесных трелевочных машин при работе в конкретных природно-климатических условиях эксплуатации.

Заключение. Представленными результатами проведенных производственных испытаний установлено, что природно-климатические условия существенным образом влияют на произ-

водительность работы колесных трелевочных машин, которая может быть существенно повышена за счет усовершенствования технологического оборудования.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и изготовлении технологического оборудования колесных трелевочных машин для лесозаготовок на машиностроительных предприятиях Республики Беларусь.

Список литературы

1. Кононов А. М. Исследование реализации тягово-сцепных качеств и агротехнической проходимости колесных тракторов на суглинистых почвах Беларуси: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Горки: Беларус. с.-х. акад., 1974. 41 с.
2. Гапоненко В. С. О путях снижения уплотняющего воздействия машинно-тракторных агрегатов на почву // Влияние сельскохозяйственной техники на почву: труды Почвенного ин-та им. В. В. Докучаева. М., 1981. С. 56–61.
3. Соколова В. А., Петров И. П. Исследование взаимодействия арочного колеса с опорной поверхностью // Труды НАМИ. 1962. Вып. 54. С. 64–72.
4. Хайлис Г. А. К теории качения пневматического колеса // Тракторы и сельхозмашины. 1963. № 3. С. 5–7.
5. Симанович В. А., Демидов В. А., Клоков Д. В. Колеса и шины лесных и лесотранспортных машин. Минск: БГТУ, 2005. 84 с.
6. Симанович В. А., Исаченков В. С. Оценка тягово-сцепных свойств трелевочных тракторов с усовершенствованной конструкцией несущей системы // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревооб- раб. пром-сть. 2009. Вып. XVII. С. 116–119.
7. Протас П. А., Клоков Д. В. Аналитическое исследование процесса взаимодействия колесных трелевочных машин с пачкой хлыстов и волоком // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2, № 5–4. С. 256–260.
8. Исаченков В. С., Симанович В. А. Обоснование параметров канатно-чokerного технологиче- ского оборудования // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревооб- раб. пром-сть. С. 39–42.
9. Лесной фонд [Электронный ресурс] // Сайт Министерства лесного хозяйства. URL: <http://www.mlh.by/ru/forestry/resources.html> (дата обращения: 18.02.2019).
10. Вырко Н. П. Сухопутный транспорт леса. Минск: БГТУ, 2003. 438 с.
11. Матвейко А. П., Клоков Д. В., Протас П. А. Технология и оборудование лесосечных и лесо- складских работ. Практикум. Минск: БГТУ, 2013. 199 с.
12. Исаченков В. С., Симанович В. А. К вопросу оценки эффективности работы колесной тре- левочной машины на почвогрунтах со слабой несущей способностью // Труды БГТУ. Сер. I, Лес- ное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2019. № 2 (222). С. 191–196.

References

1. Kononov A. M. *Issledovaniye realizatsii tyagovo-stsepynykh kachestv i agrotekhnicheskoy prokhozimosti kolesnykh traktorov na suglinistykh pochvakh Belarusi: aftoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Investigation of the realization of traction-coupling qualities and agrotechnical patency of wheeled tractors on loamy soils in Belarus. Abstract of thesis DSc (Engineering)]. Gorki, 1974. 41 p.
2. Gaponenko V. S. On ways to reduce the sealing effect of machine-tractor aggregates on the soil. *Trudy Pochvennogo institute im. V. V. Dokuchaeva "Vliyaniye sel'skokhozyaystvennoy tekhniki na pochvu"*

[Proceedings of Soil Institute named after V. V. Dokuchaev “Influence of agricultural machinery on soil”], 1981, p. 5661 (In Russian).

3. Sokolova V. A., Petrov I. P. Study of the interaction of an arched wheel with a supporting surface. *Trudy NAMI* [Proceedings of NAMI], 1962, issue 54, pp. 64–72 (In Russian).

4. Khaylis G. A. To the theory of the rolling of a pneumatic wheel. *Tractory i sel'khoz mashiny* [Tractors and agricultural machinery], 1963, no. 3, pp. 5–7 (In Russian).

5. Simanovich V. A., Demidov V. A., Klokov D. V. *Kolesa i shiny lesnykh i lesotransportnykh mashin* [Wheels and tires forestry and transport machine]. Minsk, BGTU Publ., 2005. 84 p.

6. Simanovich V. A., Isachenkov V. S. Evaluation of traction characteristics skidders with advanced design support system. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 2, Forest and Woodworking Industry, 2009, issue 17, pp. 116–119 (In Russian).

7. Protas P. A., Klokov D. V. Analytical study of the interaction of wheel skidder with a bundle of stems and portage. *Recent research trends of the XXI century: theory and practice*, 2014, vol. 2, no. 5–4, pp. 256–260. DOI: 10.12737/7110.

8. Isachenkov V. S., Simanovich V. A. Rope-choker trailed implements determination of parameters. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 39–42 (In Russian).

9. *Lesnoy fond* [Forest estate]. Available at: <http://www.mlh.by/ru/forestry/resources.html> (accessed 18.02.2019).

10. Vyrko N. P. *Suhoputnyy transport lesa* [Forest land transport]. Minsk, BGTU Publ., 2003. 438 p.

11. Matveyko A. P., Klokov D. V., Protas P. A. *Tekhnologiya i oborudovanie lesosechnykh i lesoskladskikh rabot. Praktikum* [Technology and equipment for logging and landing works. Practical work]. Minsk, BGTU Publ., 2013. 199 p.

12. Isachenkov V. S., Simanovich V. A. To question of estimation of efficiency of work of the skidder on soils with weak bearing strength. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry, Nature Management and Processing of Renewable Resources, 2019, no. 2 (222), pp. 191–196 (In Russian).

Информация об авторах

Исаченков Владимир Сергеевич – старший преподаватель кафедры инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: v.isachenkov@belstu.by.

Симанович Василий Антонович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Imitlz@belstu.by.

Information about the authors

Isachenkov Vladimir Sergeevich – Senior Lecturer, the Department of Engineering Drawing, Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v.isachenkov@belstu.by

Simanovich Vasily Antonovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Imitlz@belstu.by

Поступила 05.03.2020