



Научная статья

УДК 625.8:630

DOI: 10.37482/0536-1036-2023-5-115-125

## Применение канатно-рельсовых дорог для трелевки сортиментов

**Ф.В. Свойкин<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, доц.; *ResearcherID*: [AAC-4074-2020](https://orcid.org/0000-0002-8507-9584),

*ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-8507-9584>

**В.Ф. Свойкин<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, доц.; *ResearcherID*: [AAQ-8212-2020](https://orcid.org/0000-0001-8989-4626),

*ORCID*: <https://orcid.org/0000-0001-8989-4626>

**В.А. Соколова<sup>2</sup>**, канд. техн. наук, доц.; *ResearcherID*: [AAK-6062-2020](https://orcid.org/0000-0001-6880-445X),

*ORCID*: <https://orcid.org/0000-0001-6880-445X>

**С.А. Войнаш<sup>3</sup>**, мл. науч. сотр.; *ResearcherID*: [AAK-2987-2020](https://orcid.org/0000-0001-5239-9883),

*ORCID*: <https://orcid.org/0000-0001-5239-9883>

**С.Е. Арико<sup>4</sup>**, канд. техн. наук, доц.; *ResearcherID*: [AAK-2167-2020](https://orcid.org/0000-0001-6812-8842),

*ORCID*: <https://orcid.org/0000-0001-6812-8842>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021; [svoikin\\_fv@mail.ru](mailto:svoikin_fv@mail.ru), [svoikin\\_vf@mail.ru](mailto:svoikin_vf@mail.ru)

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, ул. Большая Морская, д. 18, Санкт-Петербург, Россия, 191186; [sokolova\\_vika@inbox.ru](mailto:sokolova_vika@inbox.ru)


<sup>3</sup>Казанский федеральный университет, ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, Россия, 420008; [sergey\\_voi@mail.ru](mailto:sergey_voi@mail.ru)

<sup>4</sup>Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, д. 13 а, Минск, Республика Беларусь, 220006; [sergeyariko@mail.ru](mailto:sergeyariko@mail.ru)

Поступила в редакцию 22.03.22 / Одобрена после рецензирования 26.06.22 / Принята к печати 29.06.22

**Аннотация.** В статье приведены сдерживающие факторы применения традиционных решений для трелевки древесины в зимний лесозаготовительный период в Северо-Западном федеральном округе Российской Федерации. На основе обзора научной литературы дана классификация канатно-рельсовых дорог, рассмотрены способы крепления платформы или вагона к тяговому тросу, особенности выбора троса. Описаны режимы работы канатно-рельсовых дорог (без двигателя – как лесоспуск, с двигателем без замыкающего троса, с двигателем с замыкающим тросом), рассмотрены основные требования к канатно-рельсовым дорогам и факторы, ограничивающие область применения таких дорог. Предложена методика определения движущих сил. Она учитывает вес движущегося по склону вагона, количество вагонов, угол наклона участка пути, сопротивление движению вагона, дополнительное сопротивление движению вагона при прохождении кривых участков, вес троса, его длину, трение троса о землю, шпалы и другие препятствия, которое зависит от состояния верхнего строения пути, густоты укладки шпал, выступающего на поверхность балласта, смазки троса и других факторов. Кроме

© Свойкин Ф.В., Свойкин В.Ф., Соколова В.А., Войнаш С.А., Арико С.Е., 2023

 Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

перечисленного принимались во внимание потери мощности от сопротивления путевых роликов при огибании их сбегающей ветвью троса, потери на трение в цапфах барабанов лебедки и на огибание тросом барабанов лебедки. В статье обсуждаются условия, при которых возможно передвижение вагона вниз по склону, исключаются пробуксовки и обеспечиваются торможения троса в канавках барабанов. Определены ограничения применения канатно-рельсовых дорог в зависимости от характера пути, подвижного состава, угла наклона трассы, среднего расстояния трелевки. Предложено техническое решение по усовершенствованию существующих канатно-рельсовых дорог с использованием шарнирно-сочлененной каретки, повышающей эксплуатационные свойства канатно-рельсовых дорог. Описанная в статье конструкция позволяет снизить износ канатов и организовать заготовку лесоматериала, в том числе на прямолинейных трелевочных волоках с углами поворота до 45°. При этом конструкция шарнирно-сочлененной каретки может эффективно применяться на уже находящихся в эксплуатации канатно-рельсовых дорогах.

**Ключевые слова:** трелевка, древесина, канатно-рельсовая дорога, каретка, методика, расчет, эксплуатация

**Для цитирования:** Свойкин Ф.В., Свойкин В.Ф., Соколова В.А., Войнаш С.А., Арико С.Е. Применение канатно-рельсовых дорог для трелевки сортиментов // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 5. С. 115–125. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-5-115-125>

Original article

### Application of Cable-Railways for Timber Skidding

**Fedor V. Svoikin<sup>1</sup>**, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.;

ResearcherID: [AAC-4074-2020](https://orcid.org/0000-0002-8507-9584), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8507-9584>

**Vladimir F. Svoikin<sup>1</sup>**, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.;

ResearcherID: [AAQ-8212-2020](https://orcid.org/0000-0001-8989-4626), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8989-4626>

**Viktoriiia A. Sokolova<sup>2</sup>**, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.;

ResearcherID: [AAK-6062-2020](https://orcid.org/0000-0001-6880-445X), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6880-445X>

**Sergey A. Voinash<sup>3</sup>**, Junior Research Assistant; ResearcherID: [AAK-2987-2020](https://orcid.org/0000-0001-5239-9883), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5239-9883>

**Sergey Ye. Ariko<sup>4</sup>**, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.;

ResearcherID: [AAK-2167-2020](https://orcid.org/0000-0001-6812-8842), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6812-8842>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, Institutskii per., 5, Saint-Petersburg, 194021, Russian Federation; [svoikin\\_fv@mail.ru](mailto:svoikin_fv@mail.ru), [svoikin\\_vf@mail.ru](mailto:svoikin_vf@mail.ru)

<sup>2</sup>Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Bolshaya Morskaya str., 18, Saint-Petersburg, 191186, Russian Federation; [sokolova\\_vika@inbox.ru](mailto:sokolova_vika@inbox.ru)

<sup>3</sup>Kazan Federal University, Kremlin str., 18, Republic of Tatarstan, Kazan, 420008, Russian Federation; [sergey\\_voi@mail.ru](mailto:sergey_voi@mail.ru)

<sup>4</sup>Belarusian State Technological University, Sverdlova str., 13a, Minsk, 220006, Republic of Belarus; [sergeyariko@mail.ru](mailto:sergeyariko@mail.ru)

Received on March 22, 2022 / Approved after reviewing on June 26, 2022 / Accepted on June 29, 2022



**Abstract.** The article presents constraining factors of the use of traditional approaches for timber skidding in the winter logging period in the North-West Federal District of the Russian Federation. Based on the study of scientific literature, the classification of cable-railways is given, methods of fastening the platform or cable car to the traction cable, the peculiarities of cable selection are considered. The modes of operation of cable-railways are described (without an engine – as a timber slide, with an engine without a trailing cable, with an engine with a trailing cable), the basic requirements for cable-railways and factors limiting the scope of application of such roads are considered. A methodology for determining the driving forces is proposed. It takes into account the weight of the car moving on the slope, the number of cars, the angle of inclination of the track section, the resistance to car movement, additional resistance to car movement when passing curves, the weight of the cable, its length, the friction of the cable on the ground, sleepers and other obstacles, which depends on the condition of the track structure, the density of sleeper laying, ballast protruding on the surface, cable lubrication and other factors. In addition to the above, power losses from the resistance of track rollers when they are enveloped by the running down branch of the cable, friction losses in the trunnions of the winch drums and friction losses from the cable enveloping the winch drums were considered. The article discusses the conditions under which it is possible to move the car down the slope, as well as prevent slipping and provide cable braking in the grooves of the drums. Limitations for the use of cable-railways, depending on the nature of the track, rolling stock, slope angle of the track, average skidding distance, are determined. A technical solution to improve the existing cable-railways using an articulated carriage that increases the operational properties of cable-railways, is proposed. The proposed design allows to reduce the wear of cables and to organize timber harvesting, including on non-straight skidding trails with rotation angles up to 45 degrees. At the same time, the design of the articulated carriage can be effectively applied on cable-railways already in operation.

**Keywords:** skidding, timber, cable-railways, carriage, methodology, calculation, operation

**For citation:** Svoynkin F.V., Svoynkin V.F., Sokolova V.A., Voinash S.A., Ariko S.Ye. Application of Cable-Railways for Timber Skidding. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2023, no. 5, pp. 115–125. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-5-115-125>

### *Введение*

В настоящее время остро стоит вопрос освоения расчетной лесосеки. Так, в 2019–2020 г. в Северо-Западном федеральном округе Российской Федерации (СЗФО РФ) лесозаготовители не смогли в полном объеме осуществить заготовку леса ввиду неблагоприятных погодных условий. Существующие пути совершенствования процесса заготовки древесины [1, 8, 9] становятся все затруднительнее к применению по ряду динамично изменяющихся факторов. В частности, высокие средние температуры воздуха в зимний период в СЗФО РФ усложняют или делают невозможной заготовку древесины на отведенных в рубку участках. Это приводит к уменьшению объема заготовки древесины на 20 % и более, прямым убыткам лесозаготовительных предприятий региона.

Все больше внимания уделяется исследованию возможности активного внедрения канатно-рельсовых дорог (КРД) и канатных трелевочных установок как в РФ, так и за рубежом [11, 19, 21]. Стоит отметить, что идея использования КРД для трелевки древесины не нова [2], а в связи с неэффективностью традиционных решений для трелевки древесины применение КРД становится все более актуальным [12].

*Объекты и методы исследования*

Одним из направлений решения проблемы вывоза заготовленной древесины является использование КРД с движущимися тросами. По характеру пути и подвижного состава КРД, часто являясь непосредственным продолжением узкоколейной железной дороги, недорогие, несложные по устройству и могут успешно использоваться для промежуточной транспортировки древесины на расстояния 1000–4000 м на холмисто-рядовых рельефах с уклонами до 25°, когда автомобили, тяжелая колесная и гусеничная агрегатная техника для хлыстовой и сортиментной заготовки неприменимы по разным причинам для условий эксплуатации [3].

Различают КРД с верхней и нижней тягой. В КРД с нижней тягой трос присоединяют к вагону под стержнем буфера на высоте головки рельса (или немного выше) при помощи несложного съемного приспособления – тросоводителя, который заводит трос в ролики на кривых участках, а также в прорези рельсов на разъездах. Дороги с нижней тягой лучше строить в местности с относительно неглубоким снежным покровом (до 0,8–1,0 м), где нет частых метелей и снегопадов, так как ролики затрудняют механизацию снегоочистки на путях. На дорогах с нижней тягой допустимы кривые малого радиуса и выпуклый профиль трассы; совмещение криволинейного пути и вогнутого профиля нежелательно, потому что в этом случае тяговый трос выходит из роликов, пересекает криволинейный участок пути по хорде и может стянуть вагон с рельсов.

На КРД с верхней тягой платформу или вагон прикрепляют чокером к тяговому тросу, а трос идет по верху трассы на мачтах со звездчатыми блоками. Верхнюю тягу обычно применяют на дорогах с непрерывным движением троса в одну сторону. Дороги с верхней тягой чаще всего строят двухпутными. Их целесообразно применять при значительных расстояниях трелевки древесины с лесосек к магистральным дорогам (свыше 2000 м). Такие дороги можно устраивать в местности с глубоким снежным покровом, частыми метелями и снегопадами, так как КРД с верхней тягой не мешает организации механизированной очистки путей. При этом КРД данного вида малочувствительны к кривизне дорожного полотна, не боятся выпуклого и вогнутого профиля трассы, но требуют сложной оснастки мачтами и звездчатыми блоками, что ограничивает их распространение.

В зависимости от движения тягового органа дороги бывают с колебательным, реверсивным движением троса или непрерывным в одну сторону. По роду движущей силы дороги подразделяются на дороги с механической тягой или с лесоспусками (бремсберги).

Применение двухбарабанных лебедок или лебедки с непрерывно движущимся тросом позволяет осуществлять не только спуск груженого вагона по однопутной дороге, но и его перемещение на ровном участке и подъем по склону. Применение барабанов с обычной навивкой троса (для работы колебательным способом) ограничивает длину дороги тросоемкостью грузового и холостого барабанов.

Основные требования к конструкции подвижного состава КРД следующие: не менее 50 % тормозных колес у вагона; однотипность вагонов и оснащение их приспособлениями для быстрого прикрепления и снятия тросоводителей; расположение всех деталей нижней части вагона на 0,10–0,12 м выше

уровня головок рельсов, чтобы они не задевали за ролики и не выламывали их, при этом все тросоводители прикрепляют к вагону на болтах вблизи пружины буфера со стороны основного подъема пути.

Ввиду отсутствия аналогов КРД в СЗФО РФ [6, 7] целесообразность строительства, схема и вид КРД для трелевки древесины в конкретной местности определяются посредством тягового расчета и сравнительного технико-экономического расчета на основании сопоставления экономического эффекта различных видов транспорта и определения технической возможности применения каждого из них. При этом следует учитывать продолжительность рабочего цикла (рейса), который включает время на погрузку вагона (40–60 мин), перемещение (зависит от длины дороги и скорости движения – 0,70–0,83 м/с), подготовительно-заключительное время смены (15–30 мин).

С учетом предложенных ранее технических решений [4, 10, 13–15, 17, 20, 22, 23] следует выделять 3 режима работы КРД:

1. Без двигателя – как лесоспуск, если движущая сила на всем протяжении дороги будет больше сил сопротивления или равна им, при этом составляющая силы тяжести движущегося вниз вагона обеспечивает его передвижение до заданного пункта. Для безопасной работы и предотвращения недопустимых ускорений должна быть обеспечена возможность торможения движущегося вниз вагона на любом участке дороги.

2. С двигателем без замыкающего троса, если движущая сила больше силы сопротивления, а составляющая силы тяжести обеспечивает перемещение вагона вниз до заданного пункта без подтягивания замыкающим тросом. При этом должны быть обеспечены возможность торможения сбегающего вагона за счет сцепления троса на барабане посредством натяжения набегающего троса и возможность подтаскивания порожнего вагона благодаря натяжению в сбегающей ветви за счет груженого вагона и сцепления на тяговом барабане.

3. С двигателем и замыкающим тросом, если движущая сила меньше силы сопротивления или движущие силы на сбегающей ветви не создают достаточного сцепления для подтаскивания вверх порожнего вагона, а также движущийся вниз вагон не преодолеет путевых сопротивлений без подтягивания его замыкающим тросом.

Выбор схемы дороги в окончательном виде уточняют расчетом, при котором определяют силы, действующие в сбегающей ветви троса, исходя из сопротивления движению вагона, поднимающегося по склону [5]. В связи с тем, что скорости на КРД обычно не превышают 1 м/с, ускорениями и силами инерции при расчетах можно пренебречь. Для нормальной работы дороги соотношение между движущимися силами (силы в сбегающей ветви) и силами сопротивления движению (силы в набегающей ветви) нужно обеспечить натяжение ветвей троса, его сцепление с барабанами лебедки и возможность торможения системы. Движущие силы могут создаваться не только гружеными вагонами, но и порожними. В общем случае данную величину определяют по формуле

$$V = \left[ Qb \left( \sin \alpha - f_1 \cos \alpha - \frac{425}{1000R} \right) + qL(\sin \alpha - f_2 \cos \alpha) \right] (1 - K_n) f_3,$$

где  $V$  – движущая сила вагона, Н;  $Q$  – вес вагона, движущегося по склону (вес груза и собственный вес вагона), Н;  $b$  – количество вагонов, движущихся по склону, шт.;  $\alpha$  – угол наклона участка пути, на котором находится вагон, ...°;

$f_1$  – коэффициент сопротивления движению вагона (для подвижного состава узкоколейной железной дороги может быть равен 0,005; при плохом состоянии верхнего строения увеличивается до 0,008);  $425/1000R$  – дополнительное сопротивление движению вагона при прохождении кривых ( $R$  – радиус кривой, м);  $q$  – вес 1 пог. м троса сбегающей ветви, Н;  $L$  – длина сбегающей ветви троса от лебедки до вагона, м;  $f_2$  – коэффициент трения троса о землю, шпалы и др. (в среднем может считаться равным 0,25 с колебаниями от 0,18 до 0,30 в зависимости от состояния верхнего строения пути, густоты укладки шпал, выступающего на поверхность балласта, влажности грунта, смазки троса и т. п.);  $K_n$  – коэффициент, учитывающий потери мощности от сопротивления путевых роликов при огибании их сбегающей ветвью троса (зависит от длины троса, количества и вида роликов, которые огибают трос, и от суммы углов охвата);  $f_3$  – коэффициент, учитывающий потери на трение в цапфах барабанов лебедки и на огибание тросом барабанов лебедки (колеблется от 0,84 до 0,92 в зависимости от диаметра барабана, диаметра и жесткости троса).

Силу сопротивления движению,  $H$ , определяют по формуле

$$W = \left[ Qb \left( \sin \alpha + f_1 \cos \alpha + \frac{425}{1000R} \right) + q_0 L_1 (\sin \alpha - f_2 \cos \alpha) \right] (1 + K_{n1}) f_3,$$

где  $q_0$  – вес 1 пог. м троса набегающей ветви, кг, равный весу 1 пог. м троса сбегающей ветви;  $L_1$  – длина набегающей ветви троса от лебедки до вагона, м;  $K_{n1}$  – коэффициент, учитывающий потери мощности от сопротивления путевых роликов при огибании их набегающей ветвью троса.

Далее осуществляется оценка возможности движения вагона вниз по склону.

Составляющая силы тяжести вагона (при работе без двигателя или с двигателем без замыкающего троса) должна обеспечить не только движение вагона, но и перемещение вслед за вагоном троса и преодоление сопротивления роликов, т. е. должно выполняться неравенство

$$0,84(Qb \sin \alpha + qL \sin \alpha)(1 - K_n) > Qb \cos \alpha \omega + Qb \cos \alpha + \frac{425}{1000R} + qL \cos \alpha f,$$

где  $\omega$  – коэффициент сопротивления движению вагона.

После определения движущей силы и силы сопротивления движению, а также установления условий, при которых возможно передвижение вагона вниз по склону, необходимо осуществить проверку условия сцепления троса в канавках барабанов во избежание пробуксовок и обеспечения торможения.

Сцепление троса с барабаном лебедки для подтягивания порожнего вагона силою двигателя без пробуксовки будет обеспечено в том случае, если натяжение в сбегающем конце троса равно натяжению в набегающем конце троса или больше его. То есть должно выполняться условие

$$\left[ f_3(Qb \sin \alpha + qL \sin \alpha)(1 - K_n) - (Qbf_1 \cos \alpha + Qb \cos \alpha + \frac{425}{1000R} + qLf_2 \cos \alpha) \right] \times \\ \times e^{k\alpha_1} K_3 \geq \left[ Qb(\sin \alpha + \frac{425}{1000R} + f_1 \cos \alpha) + q_0 L_1 (\sin \alpha + f_2 \cos \alpha)(1 + K_{n1}) \right],$$

где  $e$  – основание натуральных логарифмов;  $k$  – коэффициент трения троса в канавках ведущего барабана лебедки (зависит от смазки троса и профиля канавки: при круглых канавках без защемления троса и слабой смазке равен 0,18; в тех же условиях для обильно смазанного троса – 0,10; слегка смазанного – 0,20; полусухого – 0,25 и сухого – 0,30);  $\alpha_1$  – угол охвата тросом ведущего барабана, рад.);  $K_3$  – коэффициент запаса на сцепление канавок с тросом в барабанах лебедки (принимается равным 1,28).

Торможение сбегающего вагона без пробуксовки может быть обеспечено в том случае, если натяжение в сбегающем конце троса с груженым вагоном будет равно натяжению в набегающей ветви троса с порожним вагоном или меньше его, т. е. должно выполняться неравенство

$$f_3 \left[ (Qb \sin \alpha + qL \sin \alpha) - (Qbf_1 \cos \alpha + Qb \cos \alpha + \frac{425}{1000R} + qLf_2 \cos \alpha) \right] \times \\ \times (1 - K_n) \leq \left[ Qb(\sin \alpha + \frac{425}{1000R} + f_1 \cos \beta) + q_0 L_1(\sin \beta + f_2 \cos \beta)(1 + K_{n1}) \right] e^{k\alpha_1} K_3,$$

где  $\beta$  – угол наклона участка пути, на котором находится вагон, движущийся вверх, ...°.

В приведенных выше выражениях  $e^{k\alpha_1}$  учитывает соотношение между натяжениями сбегающей и набегающей ветвей троса на основании уравнения для гибкой нити по Эйлеру [16, 18]:

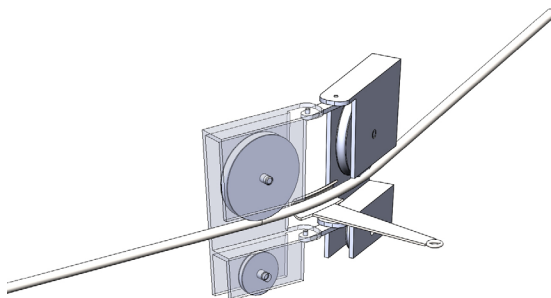
$$T_1 = T_2 e^{f_4 \alpha_1},$$

где  $T_1$  – натяжение набегающей ветви;  $T_2$  – натяжение сбегающей ветви;  $f_4$  – коэффициент трения троса в канавках ведущего барабана лебедки (зависит от смазки троса и профиля канавки; при круглых канавках без защемления троса и слабой смазке  $f_4$  составляет 0,18; в тех же условиях для обильно смазанного троса – 0,10; слегка смазанного – 0,20; в условиях полусухого и сухого трения – 0,25 и 0,30 соответственно).

Значение  $e^{f_4 \alpha_1}$  для различных случаев находят из таблиц в зависимости от коэффициента трения  $f_4$  и угла охвата тросом ведущего барабана  $\alpha_1$ .

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

В результате реализации приведенной методики предполагается конструктивное усовершенствование КРД на основе применения шарнирно-сочлененной каретки (ШСК) разработанной конструкции для непрямолинейных КРД. Данная конструкция обеспечивает прохождение поворотов кареткой с транспортируемыми лесоматериалами на криволинейной трассе. Предлагается использовать конструкции кареток, в которых соединение крепления опорных колесных пар осуществляется парой шарнирных сочленений. При этом формируются 2 независимые каретки, осуществляющие маневрирование по тяговому канату на одном ролике, благодаря которому вагоны без труда проходят повороты пути. Конструкция каретки показана на рисунке [24].



Шарнирно-сочлененная каретка для канатно-рельсовых дорог

Articulated carriage for cable-railways

Стоит отметить существенную конструктивную особенность современных КРД, значительно ограничивающую область применения таких дорог. При ситуации с жестко закрепленным роликом возможен поворот трассы (каната) в плане на очень ограниченный угол (до  $10^\circ$ ). При этом использование конструкции с дифференцированными от каретки роликами не представляется возможным, поскольку ось роликов должна быть фиксирована с двух сторон, в результате чего создается невозможность прохождения оттяжки в поворотной точке.

Преимуществом ШСК для КРД является то, что применение ШСК не требует внесения изменений в конструкции существующих КРД, любую существующую КРД возможно доукомплектовать кареткой предлагаемой конструкции.

Расчет конструктивных особенностей предложенной конструкции показывает, что применение КРД с ШСК позволит организовать трассы трелевки без существенного износа канатов с углами поворота до  $45^\circ$ .

#### Заключение

При выполнении расчета для определения схемы дороги грузный вагон размещают на характерных участках дороги сверху вниз, начиная от лебедки, и, соответственно, перемещают порожний вагон снизу вверх на таком же расстоянии от пункта отцепки вагонов. Дорога может эксплуатироваться по такой схеме, если гарантируется перемещение груза, торможение и сцепление на всех без исключения относительных позициях. Трос для канатно-рельсовой дороги выбирается в зависимости от максимального тягового усилия в набегающей или сбегаящей ветви. Такие ограничения затрудняют вывозку заготовленной древесины.

Использование уточненных режимов канатно-рельсовых дорог с движущимися тросами и шарнирно-сочлененной кареткой предложенной конструкции способствует решению задачи первичной вывозки древесины в условиях повышенных температур воздуха в зимний лесозаготовительный период в Северо-Западном федеральном округе Российской Федерации, непрямолинейных трелевочных волоков с углом поворота до  $45^\circ$ , а также существенно снижает износ канатов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Азаренок В.А., Герц Э.Ф., Залесов С.В., Мехренцев А.В. Сортиментная заготовка древесины. Екатеринбург: УГЛТУ, 2015. 140 с.

Azarenok V.A., Gerts E.F., Zalesov S.V., Mekhrentsev A.V. *Sorted Timber Harvesting*. Ekaterinburg, USFU Publ., 2015. 140 p. (In Russ.).



2. Беляя Н.М., Прохоренко А.Г. Канатные лесотранспортные установки. М.: Лесн. пром-сть, 1964. 300 с.

Belaya N.M., Prokhorenko A.G. *Rope Forest Transportation Installations*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1964. 300 p. (In Russ.).

3. Боярский В.С. Канатно-рельсовые дороги с движущимися тросами на лесозаготовках в горных условиях. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1960. 60 с.

Boyarskiy V.S. *Cable-railways with Moving Cables at Logging in Mountainous Conditions*. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1960. 60 p. (In Russ.).

4. Бирман А.Р., Свойкин Ф.В., Королько Н.С., Угрюмов С.А., Вохмянин Н.А., Соколова В.А., Кривоногова А.С. Освоение лесосек со слабонесущими грунтами путем использования канатных установок // Сб. ст. по материалам науч.-техн. конф. ин-та технол. машин и транспорта леса по итогам науч.-исслед. работ 2018 г. / отв. ред. В.А. Соколова. СПб.: СПбГЛТУ, 2019. С. 71–78.

Birman A.R., Svoikin F.V., Korol'ko N.S., Ugryumov S.A., Vokhmyanin N.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S. Development of Harvesting Areas with Poorly Bearing Soils Through the Use of Rope Installations. *Sbornik statey po materialam nauchno-tekhnicheskoy konferentsii instituta tekhnologicheskikh mashin i transporta lesa po itogam nauchno-issledovatel'skikh rabot 2018 goda* = Collection of Articles based on the Materials of the Scientific and Technical Conference of the Institute of Technological Machines and Forest Transport based on the Results of Research Work in 2018, Saint-Petersburg, SPbFTU, 2019, pp. 71–78. (In Russ.). <https://doi.org/10.21266/SPBFTU.2019.NTK.1>

5. Варданян Г.С., Андреев В.И., Атаров Н.М., Горшков А.А. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности. М.: АСВ, 1995. 568 с.

Vardanyan G.S., Andreyev V.I., Atarov N.M., Gorshkov A.A. *Resistance of Materials with the Basics of the Theory of Elasticity and Plasticity*. Moscow, Assotsiatsii stroitelnykh vuzov Publ., 1995. 568 p. (In Russ.).

6. Григорьев И.В., Свойкин Ф.В., Григорьева О.И. Транспортная система для сбора и трелевки древесины в условиях заболоченных лесосек // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Тюмень: ТюмГНГУ, 2016. С. 93–97.

Grigoryev I.V., Svoikin F.V., Grigorieva O.I. Transport System for Collecting and Skidding Timber in Wetland Logging Areas. *Transportnyye i transportno-tekhnologicheskiye sistemy* = Transport and transport-technological systems. Tumen. IUT Publ., 2016. pp. 93–97. (In Russ.).

7. Григорьев И.В., Свойкин Ф.В., Григорьева О.И., Никифорова А.И. Повышение эффективности освоения заболоченных лесосек в теплый период года // Повышение эффективности лесного комплекса: материалы Второй Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 65-летию высш. лесн. образования в Республике Карелия. Петрозаводск: ПетрГУ, 2016. С. 68–70.

Grigoryev I.V., Svoikin F.V., Grigoryeva O.I., Nikiforova A.I. Improving the Efficiency of the Development of Wetland Logging Areas in the Warm Season. *Povysheniye effektivnosti lesnogo kompleksa: Materialy Vtoroy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem, posvyashchennoy 65-letiyu vysshego lesnogo obrazovaniya v Respublike Kareliya* = Improving the efficiency of the forestry complex: Materials of the Second All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, dedicated to the 65th anniversary of higher forestry education in the Republic of Karelia. Petrozavodsk, PetrSU Publ., 2016. pp. 68–70. (In Russ.).

8. Дербин В.М., Дебин М.В. Совершенствование сортиментной заготовки древесины // Лесотехн. журн. 2015. Т. 5, № 1(17). С. 128–135.

Derbin V.M., Derbin M.V. Improvement of Assortment Logging. *Lesotekhnicheskii zhurnal* = Forestry journal, 2015, vol. 5, no. 1(17), pp. 128–135. (In Russ.). <https://doi.org/10.12737/11270>

9. Запруднов В.И., Карпачев С.П., Быковский М.А. Технологии и технические средства процессов лесосечных работ // Лесн. вестн. 2017. Т. 21, № 1. С. 108–117.

Zaprudnov V.I., Karpachev S.P., Bykovskiy M.A. Technologies and Technical Means of Logging Processes. *Lesnoy vestnik = Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no 1, pp. 108–117. (In Russ.).

10. Кацадзе В.А., Бирман А.Р., Свойкин Ф.В., Королько Н.С., Угрюмов С.А. Модернизация канатных трелевочных установок при разработке труднодоступных лесосек // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2019. № 6. С. 8–11.

Katsadze V.A., Birman A.R., Svoikin F.V., Korolko N.S., Ugryumov S.A. Modernization of Rope Skidding Installations in the Development of Inaccessible Logging Areas. *Remont. Vosstanovleniye. Modernizatsiya = Repairs. Recovery. Modernization*. 2019, no. 6, pp. 8–11. (In Russ.). <https://doi.org/10.31044/1684-2561-2019-0-6-8-11>

11. Кокорин И.И., Джиоев А.З. Некоторые возможные области применения подвесных канатных дорог в интересах МТО ВС РФ // Науч. проблемы материально-технич. обеспечения Вооруж. Сил Рос. Федерации. 2019. № 2(12). С. 174–184.

Kokorin I.I., Dzhioyev A.Z. Some Possible Areas of Application of Aerial Ropeways in the Interests of the Logistical Support of the Armed Forces of the Russian Federation. *Nauchnyye problemy material'no-tekhnicheskogo obespecheniya Vooruzhennykh Sil Rossiyskoy Federatsii = Scientific problems of material and technical support of the Armed Forces of the Russian Federation*. Saint-Petersburg, 2019, no. 2(12), pp. 174–184. (In Russ.).

12. Король С.А., Нехорошев Н.В. Применение канатных установок на трелевке лесоматериалов в горных районах и на грунтах с низкой несущей способностью // Актуал. направления науч. исслед. XXI в.: теория и практика. 2014. Т. 2, № 3-2(8-2). С. 95–98.

Korol S.A., Nekhoroshev N.V. The Use of Rope Systems for Skidding Timber in Mountainous Areas and on Soils with Low Bearing Capacity. *Aktualnyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika = Actual directions of scientific research in the XXI century: theory and practice*, 2014, vol. 2, no. 3-2(8-2), pp. 95–98. (In Russ.).

13. Патент РФ 113917 U1, МПК А01G 23/00 (2006.01) В61В 7/00 (2006.01). Канатно-рельсовая трелевочная установка: № 2011147547/13: заявл. 24.11.2011; опубл. 10.03.2012 / И.В. Григорьев, Ф.В. Свойкин, А.И. Никифорова, О.И. Григорьева, А.М. Хахина.

Grigoryev I.V., Svoikin F.V., Nikiforova A.I., Grigoryeva O.I., Khakhina A.M. *Kanatno-rel'sovaya trelevochnaya ustanovka* [Rope-rail installation for skidding timber]. Patent RF, no. RU 113917, 2012. (In Russ.).

14. Патент РФ 173954 U1, МПК А01G 23/00 (2006.01). Устройство для сбора древесины канатно-рельсовой трелевочной установки: № 2016124147: заявл. 17.06.2016; опубл. 21.09.2017 / В.М. Дербин, М.В. Дербин, И.В. Григорьев, О.И. Григорьева, Ф.В. Свойкин.

Derbin V.M., Derbin M.V., Grigor'yev I.V., Grigor'yeva O.I., Svoikin F.V. *Ustroystvo dlya sbora drevesiny kanatno-rel'sovoy trelevochnoy ustanovkoj* [A device for collecting wood of rope-rail skidding installation]. Patent RF, no. RU 173954, 2017. (In Russ.).

15. Свойкин Ф.В., Соколова В.А., Локиштанов Б.М. К вопросу о перспективном направлении развития и анализа разработки труднодоступных переувлажненных лесосек с помощью канатных трелевочных установок в СЗФО РФ // Системы. Методы. Технологии. 2020. № 2(46). С. 87–93.

Svoikin F.V., Sokolova V.A., Lokshtanov B.M. On the Issue of Perspective Direction of Development and Analysis of Development of Hard-to-reach Overwatered Forest Areas with the Help of Rope Skidders in the Northwestern Federal District of the Russian Federation. *Sistemy. Metody. Tekhnologii = Systems. Methods. Technologies*, 2020, iss. 2(46), pp. 87–93. (In Russ.). <https://doi.org/10.18324/2077-5415-2020-2-87-93>

16. Федоров С.В., Афанасьев Д.В. Теория ременных передач с учетом уравнения энергетического баланса трения // Изв. СамНЦ РАН. 2011. Т. 13, № 4(3). С. 892–895.

Fedorov S.V., Afanasyev D.V. Theory of Belt Transmissions Considering the Friction Energy Balance Equation. *Izvestiya Samarskogo Nauchnogo Tsentra Rossiyskoy Akademii Nauk* = Mechanics and mechanical engineering. Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences Bulletin, 2011, vol. 13, no. 4(3), pp. 892–895. (In Russ.).

17. Шошин А.О., Протас П.А., Мохов С.П., Гречко В.В. Исследование процесса трелевки хлыстов на заболоченных лесосеках канатными установками в зимний период // Лесозаготов. производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. памяти проф. А.С. Федоренчика, Минск, 26–28 апр. 2017 г. Минск: БГТУ, 2017. С. 72–76.

Shoshin A.O., Protas P.A., Mokhov S.P., Grechko V.V. Investigation of the Process of Skidding Logs on Swampy Logging Areas with Rope installations in Winter. *Materialy 1-oy Mezhdunarodnoy Nauchno-tekhnicheskoy Konferentsii "Lesozagotovitel'noye Proizvodstvo: Problemy i Resheniya"* = Materials of the 1st International Scientific and Technical Conference "Logging Production: Problems and Solutions". Minsk, BSFU Publ., 2017. pp. 72–76. (In Russ.).

18. Эттевей С. Механика трения и спасательные работы в альпинизме: докл. на междунар. спасат. симп. 1999 г. Режим доступа: [https://angara.net/upload/33/51/f\\_1383351.pdf](https://angara.net/upload/33/51/f_1383351.pdf) (дата обращения: 05.09.23).

Attaway S.W. Friction Mechanics and Rescue in Mountaineering. *Mezhdunarodnyy simpozium tekhnicheskikh spasateley* = International Technical Rescue Symposium (ITRS 99), 1999. pp. 22. (In Russ.).

19. Ackerman P., Pulkki R., Gleasure E. Modelling of Wander Ratios, Travel Speeds and Productivity of Cable and Grapple Skidders in Softwood Sawtimber Operations in South Africa. *Southern Forests*, 2014, vol. 76, iss. 2, pp. 101–110. <https://doi.org/10.2989/20702620.2014.917355>

20. Erber G., Spinelli R. Timber Extraction by Cable Yarding on Flat and Wet Terrain: a Survey of Cable Yarder Manufacturer's Experience. *Silva Fennica*, 2020, vol. 54, no. 2. <https://doi.org/10.14214/sf.10211>

21. Kellogg L.D. Planning and Operational Considerations for High Quality Forestry for Sleep Ground. *Special Thinning and Harvesting Planning for Skyline Operations Workshop*. Oregon State University, College of Forestry, Corvallis, Oregon, 1997. 33 p.

22. Munteanu C., Iordache E., Borz S.A., Ignea G., Yoshida M. Performance and Cost of Downhill Cable Yarding Operations in a Group Shelterwood System. *Journal of Forest Research*, 2019, vol. 24, no. 3, pp. 125–130. <https://doi.org/10.1080/13416979.2019.1603577>

23. Spinelli R., Magagnotti N., Visser R., Thees O., Sauter U.H., Krajnc N., Riond C. Cable Logging Contract Rates in the Alps the Effect of Regional Variability and Technical Constraints. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2015, vol. 36, no. 2, pp. 195–203.

24. Svoynkin F.V., Sokolova V.A., Korolko N.S., Shoshin A.O. Constructive Solutions to Improve Cable Haulers for Development of Hard-to-reach Cutting Areas. *E3S Web of Conferences*, 2020, vol. 193, no. 01048. Available at: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019301048> (accessed 05.09.23).

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest