

УДК (UDC) 625.1/5

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ГРУЗОВЫХ МОБИЛЬНЫХ КАНАТНЫХ ДОРОГ  
НА БАЗЕ СОПРЯЖЕННЫХ МОБИЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ  
КАНАТНЫХ КОМПЛЕКСОВPRODUCTIVITY OF CARGO MOBILE ROPEWAYS BASED ON COUPLED  
MOBILE TRANSPORT AND OVERLOADING ROPE COMPLEXESЛагереv А.В.<sup>1</sup>, Таричко В.И.<sup>2</sup>, Лагереv И.А.<sup>1</sup>  
Lagerev A.V.<sup>1</sup>, Tarichko V.I.<sup>2</sup>, Lagerev I.A.<sup>1</sup><sup>1</sup> – Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского (Брянск, Россия)<sup>2</sup> – АО «Конструкторское бюро специального машиностроения» (Санкт-Петербург, Россия)<sup>1</sup> – Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University (Bryansk, Russian Federation)<sup>2</sup> – Open Joint Stock Company «Special Design Bureau of machine building» (Saint Petersburg, Russian Federation)

**Аннотация.** Однопролетные мобильные канатные дороги маятникового типа, формируемые двумя сопряженными самоходными колесными шасси высокой грузоподъемности и производительности, являются перспективным видом транспортно-перегрузочного оборудования при сложных условиях эксплуатации. В данной статье рассматривается задача оценки весовой производительности таких мобильных дорог при различных технологических вариантах и режимах их эксплуатации. Представлена расчетная методика определения производительности в пределах области возможного использования мобильных канатных дорог, характеризующейся величиной пролета и угла наклона линии несущего каната между конечными точками трассы, а также весом транспортируемого груза. Показано, что весовая производительность значительно зависит от длительности погрузочно-разгрузочных операций и поэтому является переменной характеристикой мобильной канатной дороги, зависящей от конкретных условий эксплуатации (используемого грузоподъемного оборудования и такелажных средств, квалификации обслуживающего персонала, веса и конфигурации транспортируемого груза, доступности складских площадок и др.).

**Ключевые слова:** мобильная канатная дорога, самоходное шасси, весовая производительность.

**Дата принятия к публикации:** 10.10.2022  
**Дата публикации:** 10.03.2023

**Сведения об авторах:**

**Лагереv Александр Валерьевич** – доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе НИИ фундаментальных и прикладных исследований ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», e-mail: [bsu-avl@yandex.ru](mailto:bsu-avl@yandex.ru).

ORCID: 0000-0003-0380-5456

**Таричко Вадим Игоревич** – кандидат технических наук, заместитель генерального конструктора, АО «Конструкторское бюро специального машино-

**Abstract.** Single-span mobile pendulum-type ropeways formed by two coupled self-propelled wheeled chassis of high load capacity and cross-country capability are a promising type of transport and reloading equipment under difficult operating conditions. This article discusses the problem of assessing the weight productivity of such mobile ropeways under various technological options and modes of their operation. A computational method for determining the productivity within the area of the possible use of mobile ropeways is presented, characterized by the magnitude of the span and the angle of inclination of the line of the carrying-traction rope between the terminal points of the route, as well as the weight of the transported cargo. It is shown that the weight productivity significantly depends on the duration of loading and reloading operations and therefore is a variable characteristic of a mobile ropeway, depending on the specific operating conditions (used lifting and rigging equipment, the qualifications of the service personnel, the weight and configuration of the transported cargo, the availability of storage sites, etc.).

**Keywords:** mobile ropeway, self-propelled chassis, weight productivity.

**Date of acceptance for publication:** 10.10.2022  
**Date of publication:** 12.03.2023

**Authors' information:**

**Alexander V. Lagerev** - Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice director of Research Institute of Fundamental and Applied Research, Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, e-mail: [bsu-avl@yandex.ru](mailto:bsu-avl@yandex.ru).

ORCID: 0000-0003-0380-5456

**Vadim I. Tarichko** – Candidate of Technical Sciences, Deputy general designer, OJSC Special Design Bureau of machine building, e-mail: [32.6909@mail.ru](mailto:32.6909@mail.ru).

строения», e-mail: 32.6909@mail.ru

**Лагереv Игорь Александрович** – доктор технических наук, доцент, проректор по инновационной работе ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», e-mail: lagerev-bgu@yandex.ru.  
ORCID: 0000-0002-0921-6831

†  
†  
†  
†  
†  
†  
†  
†  
†

**Igor A. Lagerev** - Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Vice rector for Innovations, Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, e-mail: lagerev-bgu@yandex.ru.  
ORCID: 0000-0002-0921-6831

### Благодарности

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-29-00798)

### Acknowledgements

The study was supported by the grant of Russian science Foundation (project No. 22-29-00798)

## 1. Введение

В настоящее время научные исследования функциональных возможностей мобильных канатных дорог являются актуальными и представляют не только научный, но и практический интерес [1]. Это обусловлено рядом технико-экономических причин, связанных с возможностью эффективного использования мобильных подвесных канатных дорог на основе мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов при проведении погрузочно-разгрузочных, транспортных и перегрузочно-переправочных операций в заранее не обустроенных или труднодоступных местностях со сложным природным рельефом, обеспечивая при этом оперативное развертывание необходимых технологических средств [2]. В настоящее время они рассматриваются в качестве перспективного вида подъемно-транспортной техники [1 - 3]. Высокая мобильность данного типа грузовых канатных транспортных систем обусловлена их размещением на специальных многоосных шасси высокой грузоподъемности и проходимости базовых колесных или гусеничных машин многоцелевого назначения, выпускаемых как отечественной (КАМАЗ, Брянский и Уральский автомобильные заводы), так и зарубежной (Беларусь, Германия, Италия, Китай, Нидерланды, США, Франция, Швеция, Япония) промышленностью [3, 4].

Общий вид типичной однопролетной мобильной канатной дороги маятникового типа на основе мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов на базе самоходных колесных шасси или прицепов (полуприцепов) показан на рис. 1 [5]. Возмож-

ные варианты конструктивного исполнения мобильных канатных комплексов, их классификация, их достоинства и недостатки, а также основы компоновки и проектирования рассмотрены в [3].

Для эксплуатирующихся в настоящее время подвесных канатных дорог характерна стационарность размещения опорных конструкций вдоль трассы канатной дороги. Применительно к таким стационарным канатным дорогам, функциональной обязанностью которых является транспортное обслуживание какого-либо конкретного технологического производства или технологического процесса (например, работы горнорудного или энергетического предприятия, предприятия строительных материалов или агропромышленного производства [6 - 13]), первостепенной технической характеристикой является весовая производительность канатной дороги  $C_{rv}$ . Методики расчета и расчетные зависимости для оценки весовой производительности стационарных грузовых канатных дорог разработаны в ряде исследований, например, в [6]. Они основаны на общих подходах к оценке производительности машин непрерывного транспорта, в частности, конвейеров различных типов [14 - 16], и машин циклического действия, в частности, строительных и дорожных машин [17, 18].

## 2. Методика расчета

В основу разработки методики расчета производительности мобильных канатных дорог также целесообразно положить подходы, уже апробированные для оценки производительности стационарных грузовых подвесных канатных дорог, но учитывающие

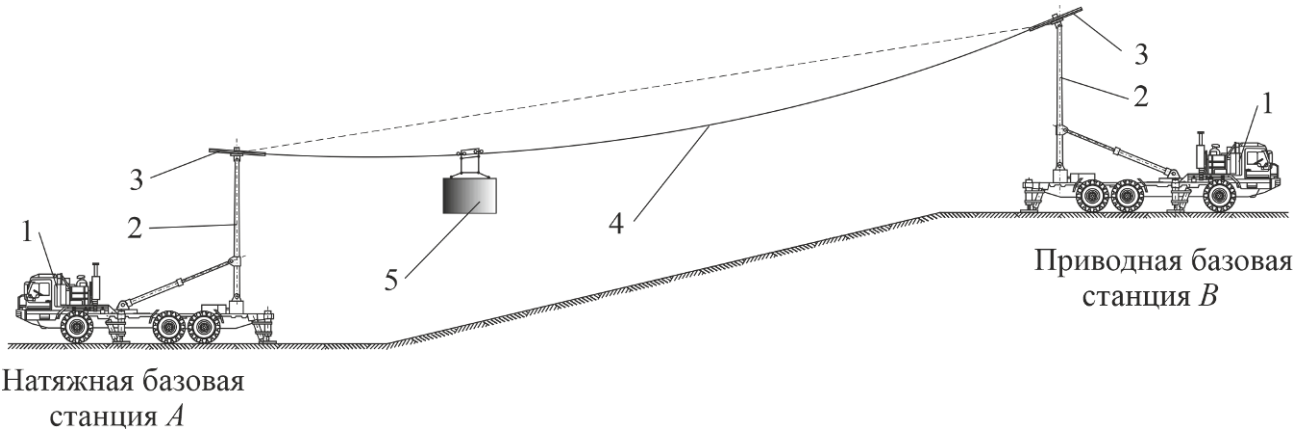


Рис. 1. Общий вид однопролетной мобильной канатной дороги маятникового типа на базе двух сопряженных мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов [5] (1 – базовая станция; 2 – концевая опора; 3 – канатный шкив; 4 – несущее-тяговый канат; 5 – транспортируемый груз)

специфику конструкции, условий и режимов функционирования именно однопролетных мобильных канатных дорог маятникового типа.

Учитывая установленный в [19] факт отличия кинематических характеристик перемещения груза в зависимости от его направления (от натяжной базовой станции к приводной или от приводной базовой станции к натяжной), расчетная зависимость для оценки весовой производительности (в т/ч) однопролетной мобильной канатной дороги маятникового типа может быть выражена следующими соотношениями:

- при перемещении грузов разного веса в обоих направлениях

$$C_{rw} = \frac{3,6(G_{c,AB} + G_{c,BA})}{\tau_{mov,AB} + \tau_{mov,BA} + 2\tau_{lu}}; \quad (1)$$

- при перемещении груза в направлении от натяжной базовой станции А до приводной базовой станции В

$$C_{rw,AB} = \frac{3,6G_{c,AB}}{\tau_{mov,AB} + \tau_{0mov} + \tau_{lu}}; \quad (2)$$

- при перемещении груза в направлении от приводной базовой станции В до натяжной базовой станции А

$$C_{rw,BA} = \frac{3,6G_{c,BA}}{\tau_{0mov} + \tau_{mov,BA} + \tau_{lu}}, \quad (3)$$

где  $G_{c,AB}$ ,  $G_{c,BA}$  - вес груза, транспортируемого в направлении от А к В и от В к А;  $\tau_{mov,AB}$ ,  $\tau_{mov,BA}$  - продолжительность транс-

портирования груза  $G_{c,AB}$  в направлении от А к В и груза  $G_{c,BA}$  в направлении от В к А;  $\tau_{0mov}$  - продолжительность возвратного перемещения грузозахватного устройства без транспортируемого груза ( $G_{c,AB} = G_{c,BA} = 0$ ).

Продолжительности  $\tau_{mov,AB}$  и  $\tau_{mov,BA}$  транспортирования груза  $G_{c,AB}$  в направлении от А к В и груза  $G_{c,BA}$  в направлении от В к А могут быть определены с помощью следующих зависимостей:

$$\tau_{mov,AB} = \frac{\xi_k L_{rp}}{v_{kW,AB} \cos \alpha_{sl}} + \frac{v_{kW,AB}}{2} \left( \frac{1}{a_{k,su}} - \frac{1}{a_{k,br}} \right);$$

$$\tau_{mov,BA} = \frac{\xi_k L_{rp}}{v_{kW,BA} \cos \alpha_{sl}} + \frac{v_{kW,BA}}{2} \left( \frac{1}{a_{k,su}} - \frac{1}{a_{k,br}} \right),$$

где  $v_{kW,AB}$ ,  $v_{kW,BA}$  - расчетные наибольшие возможные скорости перемещения несущего-тягового каната при транспортировании груза в направлении от А к В и в направлении от В к А, определенные при тяговом расчете мобильной канатной дороги с помощью компьютерной программы [20] в соответствии с расчетной методикой, разработанной в [19].

Не учитывая длительность стадий нестационарного движения транспортируемого груза (в случае большого пролета  $L_{rp}$  или значительных величин ускорений  $a_{k,su}$  и  $a_{k,br}$ , а также малых значений линейной ско-

рости несущего-тягового каната  $v_k$ ), продолжительности  $\tau_{mov,AB}$  и  $\tau_{mov,BA}$  приближенно определяются как:

$$\tau_{mov,AB} \approx \frac{\xi_k L_{rp}}{v_{kW,AB} \cos \alpha_{sl}};$$

$$\tau_{mov,BA} \approx \frac{\xi_k L_{rp}}{v_{kW,BA} \cos \alpha_{sl}}.$$

В связи с небольшим собственным весом грузозахватного устройства его возвратное перемещение может производиться с предельно допустимой линейной скоростью  $[v_k]_{\max}$ , вследствие чего продолжительность  $\tau_{0mov}$  может быть определена с помощью следующей зависимости:

$$\tau_{0mov} = \frac{\xi_k L_{rp}}{[v_k]_{\max} \cos \alpha_{sl}} + \frac{[v_k]_{\max}}{2} \left( \frac{1}{a_{0k,su}} - \frac{1}{a_{0k,br}} \right),$$

где  $a_{0k,su}$ ,  $a_{0k,br}$  - линейное ускорение несущего-тягового каната на стадии разгона и стадии торможения при возвратном перемещении грузозахватного устройства без транспортируемого груза.

Не учитывая длительность стадий нестационарного движения при перемещении грузозахватного устройства, продолжительность  $\tau_{0mov}$  приближенно составляет:

$$\tau_{0mov} \approx \frac{\xi_k L_{rp}}{[v_k]_{\max} \cos \alpha_{sl}}.$$

Таким образом, расчетные зависимости (1) – (3) для оценки весовой производительности (в т/ч) однопролетной мобильной канатной дороги маятникового типа могут быть выражены следующими соотношениями:

- при перемещении грузов разного веса в обоих направлениях

$$C_{rw} = \frac{3,6(G_{c,AB} + G_{c,BA})}{\frac{\xi_k L_{rp}}{\cos \alpha_{sl}} \left( \frac{1}{v_{kW,AB}} + \frac{1}{v_{kW,BA}} \right) + \frac{v_{kW,AB} + v_{kW,BA}}{2} \left( \frac{1}{a_{k,su}} - \frac{1}{a_{k,br}} \right) + 2\tau_{lu}}$$

или приближенно

$$C_{rw} \approx \frac{3,6(G_{c,AB} + G_{c,BA})}{\frac{\xi_k L_{rp}}{\cos \alpha_{sl}} \left( \frac{1}{v_{kW,AB}} + \frac{1}{v_{kW,BA}} \right) + 2\tau_{lu}};$$

- при перемещении груза в направлении от натяжной базовой станции А до приводной базовой станции В

$$C_{rw,AB} = 3,6G_{c,AB} \left[ \frac{\xi_k L_{rp}}{v_{kW,AB} \cos \alpha_{sl}} \left( \frac{1}{v_{kW,AB}} + \frac{1}{[v_k]_{\max}} \right) + \frac{v_{kW,AB}}{2} \left( \frac{1}{a_{k,su}} - \frac{1}{a_{k,br}} \right) + \frac{[v_k]_{\max}}{2} \left( \frac{1}{a_{0k,su}} - \frac{1}{a_{0k,br}} \right) + \tau_{lu} \right]^{-1}$$

или приближенно

$$C_{rw,AB} \approx \frac{3,6G_{c,AB}}{\frac{\xi_k L_{rp}}{\cos \alpha_{sl}} \left( \frac{1}{v_{kW,AB}} + \frac{1}{[v_k]_{\max}} \right) + \tau_{lu}};$$

- при перемещении груза в направлении от приводной базовой станции В до натяжной базовой станции А

$$C_{rw,BA} = 3,6G_{c,BA} \left[ \frac{\xi_k L_{rp}}{v_{kW,BA} \cos \alpha_{sl}} \left( \frac{1}{v_{kW,BA}} + \frac{1}{[v_k]_{\max}} \right) + \right.$$



$$\left. + \frac{v_{kW,BA}}{2} \left( \frac{1}{a_{k,su}} - \frac{1}{a_{k,br}} \right) + \frac{[v_k]_{\max}}{2} \left( \frac{1}{a_{0k,su}} - \frac{1}{a_{0k,br}} \right) + \tau_{lu} \right]^{-1}$$

или приближенно

$$C_{rw,BA} \approx \frac{3,6G_{c,BA}}{\frac{\xi_k L_{rp}}{\cos \alpha_{sl}} \left( \frac{1}{v_{kW,BA}} + \frac{1}{[v_k]_{\max}} \right) + \tau_{lu}}$$

Расчет по приближенным соотношениям дает завышенные оценки весовой производительности мобильной канатной дороги  $C_{rw}$ ,  $C_{rw,AB}$  и  $C_{rw,BA}$ .

Расчет по точным соотношениям, учитывающий длительность стадий нестационарного движения при перемещении груза и грузозахватного устройства, может выполняться, если величина пролета мобильной канатной дороги удовлетворяет следующим условиям:

- при перемещении грузов в обоих направлениях

$$L_{rp} \geq \max \left\{ \frac{v_{k,AB}^2 \cos \alpha_{sl}}{2} \left( \frac{1}{a_{k,su}} - \frac{1}{a_{k,br}} \right); \frac{v_{k,BA}^2 \cos \alpha_{sl}}{2} \left( \frac{1}{a_{k,su}} - \frac{1}{a_{k,br}} \right) \right\};$$

- при перемещении груза в направлении от натяжной базовой станции А до приводной базовой станции В

$$L_{rp} \geq \max \left\{ \frac{v_{k,AB}^2 \cos \alpha_{sl}}{2} \left( \frac{1}{a_{k,su}} - \frac{1}{a_{k,br}} \right); \frac{[v_k]_{\max}^2 \cos \alpha_{sl}}{2} \left( \frac{1}{a_{0k,su}} - \frac{1}{a_{0k,br}} \right) \right\};$$

- при перемещении груза в направлении от приводной базовой станции В до натяжной базовой станции А

$$L_{rp} \geq \max \left\{ \frac{v_{k,BA}^2 \cos \alpha_{sl}}{2} \left( \frac{1}{a_{k,su}} - \frac{1}{a_{k,br}} \right); \frac{[v_k]_{\max}^2 \cos \alpha_{sl}}{2} \left( \frac{1}{a_{0k,su}} - \frac{1}{a_{0k,br}} \right) \right\}.$$

На рис. 2 применительно к случаю перемещения грузов в обоих направлениях представлены результаты расчета минимального пролета  $L_{rp}$ , при превышении которого

можно использовать точные соотношения для определения весовой производительности мобильной канатной дороги  $C_{rw}$ ,  $C_{rw,AB}$  и  $C_{rw,BA}$ .

### 3. Обсуждение результатов

Для мобильной канатной дороги маятникового типа рассматриваемая техническая характеристика - весовая производительность - не имеет такого практического значения как для стационарных канатных дорог. Это обусловлено тем, что мобильные канатные дороги являются транспортными системами с ограниченным сроком использования на одном месте разворачивания и предназначены для выполнения специальных транспортных задач, для которых первостепенное значение имеет сам факт доставки необходимого груза потребителю. Кроме того, специфика эксплуатации мобильной канатной дороги маятникового типа заключается также и в том, что ее весовая производительность определяется не только временем перемещения транспортируемого груза  $\tau_{mov}$  или возвратного перемещения незагруженного грузозахватного устройства  $\tau_{0mov}$ , но и в значительной степени она определяется длительностью погрузочно-разгрузочных операций  $\tau_{lu}$ , затрачиваемой на обслуживание одного груза в конечных точках трассы канатной дороги.

Длительность  $\tau_{lu}$  зависит от ряда разнообразных условий, которые исходно не могут быть однозначно определены. В частности, на величину  $\tau_{lu}$  оказывают влияние географические и климатические условия, состав и квалификация обслуживающего персонала, состав средств механизации погрузочно-разгрузочных процессов и количественные значения их технических характеристик, габаритные параметры и физико-механические свойства перемещаемых ГРУ

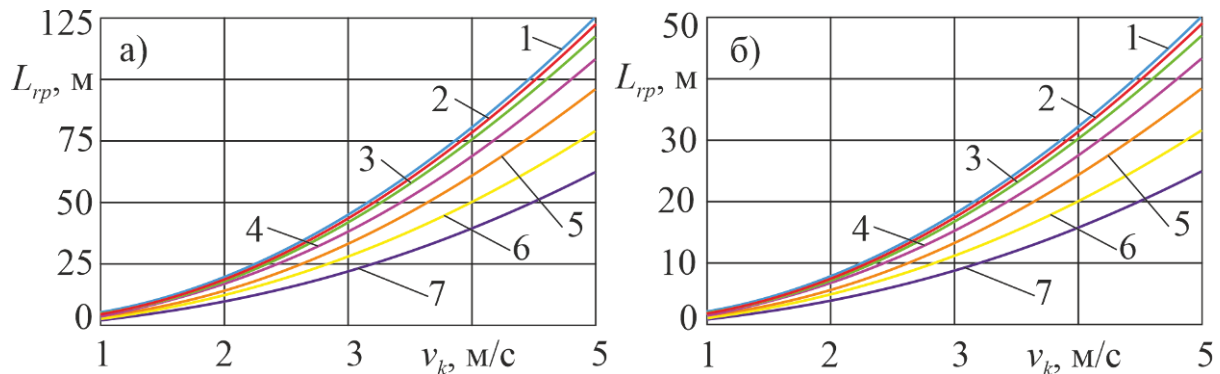


Рис. 2. Минимальный пролет при использовании точных соотношений для определения весовой производительности мобильной канатной дороги: а –  $a_{0k,su} = |a_{0k,br}| = 0,2 \text{ м/с}^2$ ; б –  $a_{0k,su} = |a_{0k,br}| = 0,5 \text{ м/с}^2$  (1 –  $\alpha_{sl} = 5^\circ$ ; 2 –  $\alpha_{sl} = 10^\circ$ ; 3 –  $\alpha_{sl} = 20^\circ$ ; 4 –  $\alpha_{sl} = 30^\circ$ ; 5 –  $\alpha_{sl} = 40^\circ$ )

зов, технические характеристики складских площадок и их доступность и др. Поэтому на этапе проектирования невозможно определить фактическую производительность мобильной канатной дороги, так как фактическое значение  $C_{rw}$ ,  $C_{rw,AB}$  или  $C_{rw,BA}$  определяется в каждом конкретном случае, исходя из конкретных условий эксплуатации и их влияния на длительность погрузочно-разгрузочных операций  $\tau_{lu}$ .

Таким образом, фактическое значение  $C_{rw}$  для конкретной мобильной канатной дороги может принимать различные значения в широком диапазоне. Поэтому на этапе проектирования мобильной канатной дороги для оценки ее весовой производительности целесообразно выполнять несколько расчетов для нескольких различных значений длительности погрузочно-разгрузочных операций  $\tau_{lu}$ .

Теоретическая (максимальная) производительность мобильной канатной дороги достигается в том случае, когда длительность погрузочно-разгрузочных операций  $\tau_{lu} = 0$ . В этом случае, учитывая выражения (1) – (3), теоретическая весовая производительность мобильной канатной дороги вычисляется с помощью следующих зависимостей:

- при перемещении грузов разного веса в обоих направлениях

$$C_{rw}^t = \frac{3,6(G_{c,AB} + G_{c,BA})}{\tau_{mov,AB} + \tau_{mov,BA}};$$

- при перемещении груза в направлении от натяжной базовой станции А до приводной базовой станции В

$$C_{rw,AB}^t = \frac{3,6G_{c,AB}}{\tau_{mov,AB} + \tau_{0mov}};$$

- при перемещении груза в направлении от приводной базовой станции В до натяжной базовой станции А

$$C_{rw,BA}^t = \frac{3,6G_{c,BA}}{\tau_{0mov} + \tau_{mov,BA}}.$$

С увеличением длительности погрузочно-разгрузочных операций весовая производительность мобильной канатной дороги быстро уменьшается от наибольшего значения, соответствующего  $C_{rw}^t$  (рис. 3). Одновременно наблюдается сближение графиков  $C_{rw}(L_{rp})$  для различных величин углов наклона  $\alpha_{sl}$ , причем при меньших значениях веса транспортируемого груза указанное сближение происходит при меньших продолжительностях  $\tau_{lu}$ .

На рис. 4 показаны линии равных значений весовой производительности  $C_{rw}^t = const$  и  $C_{rw,\tau_{lu}=300s}$  (в т/ч) в пределах областей возможного использования базового варианта мобильной канатной дороги. Оценка конфигурации и размеров областей возможного использования базового варианта мобильной канатной дороги в пространстве параметров  $(L_{rp} - \alpha_{sl})$  при различных значениях веса транспортируемого груза  $G_c$  была выполнена с помощью компьютерной программы [21].

Наблюдается снижение величины производительности в направлении роста пролета  $L_{rp}$  и увеличения угла наклона  $\alpha_{sl}$ . Наиболее

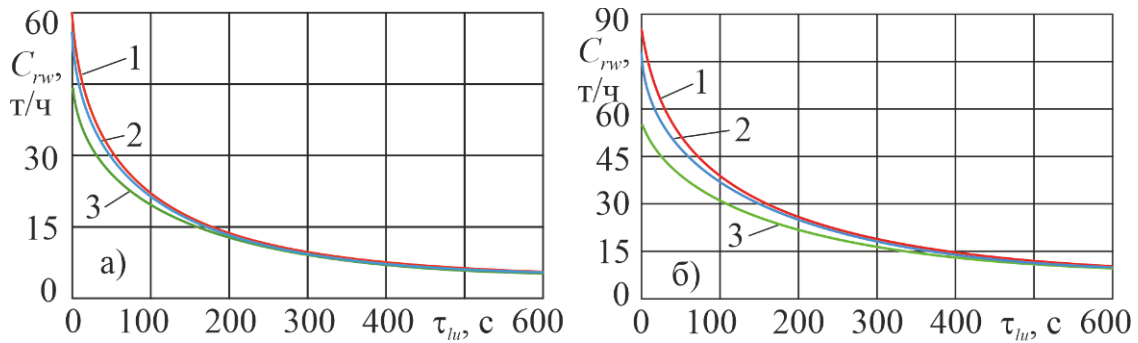


Рис. 3. Зависимость весовой производительности мобильной канатной дороги от длительности погрузочно-разгрузочных операций (для  $L_{rp} = 150$  м):  
 а –  $G_c = 10$  кН; б –  $G_c = 20$  кН (1 –  $\alpha_{sl} = 10^\circ$ ; 2 –  $\alpha_{sl} = 30^\circ$ ; 3 –  $\alpha_{sl} = 50^\circ$ )

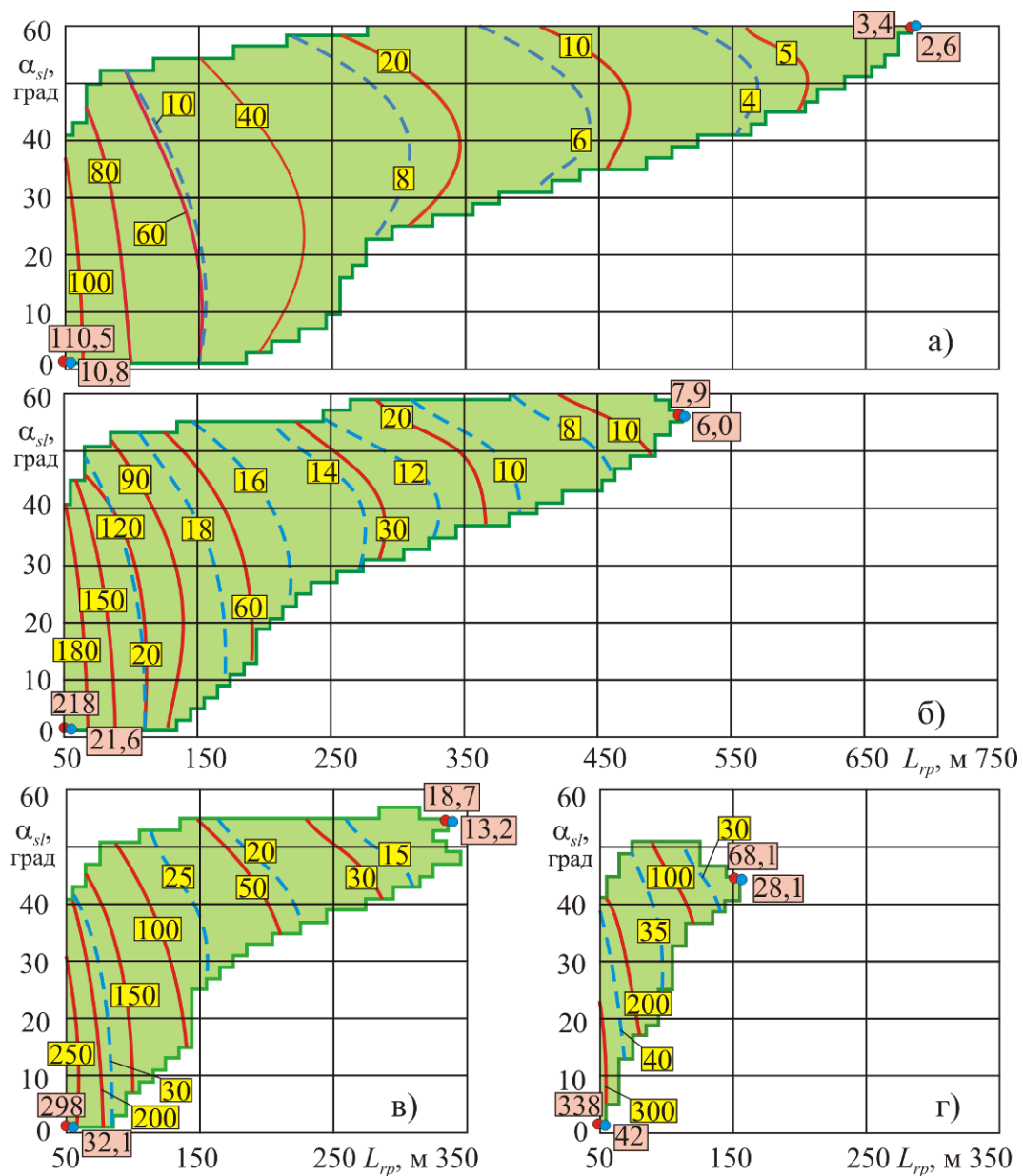


Рис. 4. Линии равных значений весовой производительности канатной дороги (в т/ч) для базового варианта мобильной канатной дороги: а –  $G_c = 10$  кН; б –  $G_c = 20$  кН; в –  $G_c = 30$  кН; г –  $G_c = 40$  кН (— —  $C_{rw}^t$ ; - - - -  $C_{rw, \tau_{lu} = 300s}$ )

интенсивное снижение  $C_{rw}^t$  наблюдается в зоне меньших значений  $L_{rp}$  и  $\alpha_{sl}$  (рис. 5, а, б), тогда как учет длительности погрузочно-разгрузочных операций приводит к искажению графика зависимости  $C_{rw}(L_{rp})$  по сравнению с графиком зависимости  $C_{rw}^t(L_{rp})$ : наиболее интенсивное снижение  $C_{rw}$  может наблюдаться в

зоне больших значений  $L_{rp}$  (рис. 5, в, г), причем трансформация графика  $C_{rw}^t(L_{rp})$  вогнутой формы в график вида  $C_{rw}(L_{rp})$  выпуклой формы проходит через стадию линейной зависимости  $C_{rw}(L_{rp})$  (рис. 5, г).

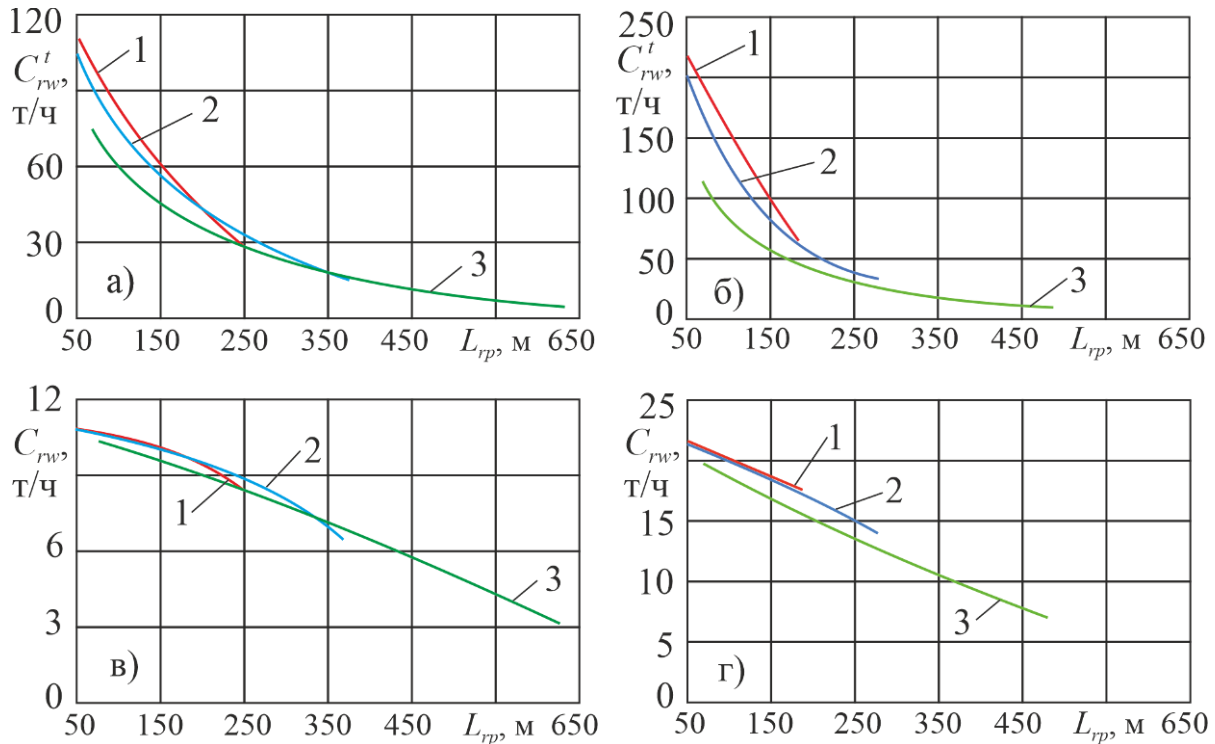


Рис. 5. Изменение весовой производительности канатной дороги  $C_{rw}^t$  и  $C_{rw, \tau_{lu}=300s}$

в зависимости от длины трассы базового варианта мобильной канатной дороги:

- а –  $C_{rw}^t$ ,  $G_c = 10$  кН; б –  $C_{rw}^t$ ,  $G_c = 20$  кН; в –  $C_{rw, \tau_{lu}=300s}$ ,  $G_c = 10$  кН; г –  $C_{rw, \tau_{lu}=300s}$ ,  $G_c = 20$  кН  
 (1 –  $\alpha_{sl} = 10^\circ$ ; 2 –  $\alpha_{sl} = 30^\circ$ ; 3 –  $\alpha_{sl} = 50^\circ$ )

Анализ рис. 3 показывает, что при  $\tau_{lu} > 500 \dots 600$  с различие весовой производительности мобильной канатной дороги с различными углами наклона  $\alpha_{sl}$  оказывается практически незначимым. При этом график  $C_{rw}(L_{rp})$  приобретает весьма пологую форму с малым уменьшением величины  $C_{rw}$  при дальнейшем увеличении продолжительности  $\tau_{lu}$ . Поэтому значение  $C_{rw, \tau_{lu}=600s}(L_{rp})$  можно использовать в качестве расчетной минимальной весовой производительности мобильной канатной дороги для заданного про-

лета  $L_{rp}$  и веса транспортируемого груза  $G_c$ . На рис. 6 приведены графики  $C_{rw, \tau_{lu}=600s}(L_{rp})$  для базового варианта мобильной канатной дороги.

#### 4. Заключение

Методика расчета весовой производительности однопролетных мобильных канатных дорог маятникового типа на основе мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов на базе самоходных колесных шасси или прицепов (полуприцепов) ба-



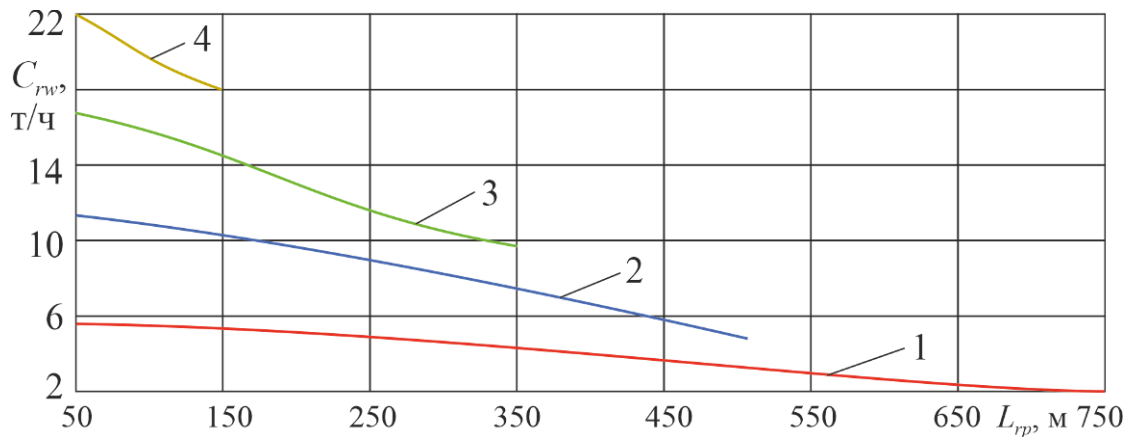


Рис. 6. Расчетная минимальная весовая производительность при транспортировке грузов различного веса для базового варианта мобильной канатной дороги (1 –  $G_c = 10$  кН; 2 –  $G_c = 20$  кН; 3 –  $G_c = 30$  кН; 4 –  $G_c = 40$  кН)

зовых колесных или гусеничных машин многоцелевого назначения высокой грузоподъемности и проходимости базируется на общих подходах к оценке производительности стационарных грузовых подвесных канатных дорог и шире – на общих подходах к оценке производительности транспортирующих машин и оборудования непрерывного и циклического действия. Тем не менее, она учитывает те специфические особенности конструкции, условий и режимов функционирования, которые характерны именно для однопролетных мобильных канатных дорог маятникового типа.

Весовая производительность, как техническая характеристика транспортирующего оборудования, для мобильных канатных до-

рог маятникового типа не представляет столь значительного интереса как в случае грузовых стационарных канатных дорог, долговременно обслуживающих редко меняющиеся технологические процессы. Весовая производительность мобильных канатных дорог в значительной степени определяется продолжительностью погрузочно-разгрузочных операций, вследствие чего один и тот же комплект мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов может иметь в различных условиях эксплуатации различную, зачастую значительно отличающуюся весовую производительность при транспортировке различных грузов и использовании различных типов погрузочно-разгрузочного оборудования и такелажных средств.

### Список литературы

1. Степченко Т.А., Бабич О.В. Результаты научных исследований Брянского государственного университета в сфере мобильных транспортно-перегрузочных канатных систем и комплексов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2021. № 1. С. 9-29. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-01-09-29

2. Степченко Т.А., Бабич О.В. Результаты научных исследований Брянского государственного университета в 2021 году в сфере проектирования и моделирования рабочих процессов в мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексах // Научно-технический вестник Брян-

### References

1. Stepchenko T.A., Babich O.V. Results of scientific research of Bryansk State University in the sphere of mobile transportation and handling rope systems and ropeways. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2021, No.1, pp. 9-29. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-01-09-29. (In Russian)

2. Stepchenko T.A., Babich O.V. The results of scientific research of Bryansk State University in 2021 in the field of design and modeling of work processes in mobile transport and overloading rope complexes. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2022, No.1,

ского государственного университета. 2022. № 1. С. 7-26. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-01-07-26

3. Лагерев А.В., Лагерев И.А., Таричко В.И. Конструкции и основы проектирования мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов. Брянск: РИСО БГУ, 2020. 207 с.

4. Кочнев Е.Д. Энциклопедия военных автомобилей 1769-2006. М.: За рулем, 2006. 640 с.

5. Лагерев А.В., Лагерев И.А. Общий подход к созданию цифровых двойников мобильных канатных дорог на основе мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2022. № 1. С. 38-60. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-01-38-60

6. Дукельский А.И. Подвесные канатные дороги и кабельные краны. М.-Л.: Машиностроение, 1966. 484 с.

7. Walker S.C. Mine Winding and Transport. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V., 1988. 546 p.

8. Земсков А.Н., Оверин А.А., Бехер А.В. Вторая жизнь грузовых подвесных канатных дорог в горнодобывающей промышленности России и Средней Азии // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 3. С. 175–183. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-175-183.

9. Fruhstuck H. Die Anwendung des RopeCon® Systems fur den Transport von Bauxit // Berg- und Hüttenmännische Monatshefte. 2013. Vol. 158. № 8. P. 339–342. DOI 10.1007/s00501-013-0173-5

10. Gromov E.V., Bilin A.L., Belogorodtsev O.V., and Nagovitsyn G.O. Substantiation of Mining-and-Transportation System Type and Parameters for Mining of Ore Deposits in the Conditions of the on the Kola Peninsula // Journal of Mining Science. 2018. Vol. 54. № 4. P. 591–598. DOI: 10.1134/S1062739118044051

11. Yadav S.N., Khura T.K. Techno-Economic Feasibility Study of Low Cost Gravity Ropeway for Carrying Agricultural Produce in Hilly Terrain // Agricultural Engineering Today. 2015. Vol.39. №4. P. 1-8.

pp. 7-26. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-01-07-26. (In Russian)

3. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tarichko V.I. *Konstruktsii i osnovy proektirovaniya mobilnykh transportno-peregruzochnykh kanatnykh kompleksov* [Structures and design fundamentals of mobile transporting and overloading rope facilities]. Bryansk, RISO BGU, 2020. 207 p. (In Russian)

4. Kochnev E.D. *Entsiklopediya voennykh avtomobiley 1769-2006* [Encyclopedia of Military Vehicles 1769-2006]. Moscow, OOO Knizhnoe izdatelstvo Za rulem, 2006. 640 p. (In Russian)

5. Lagerev A.V., Lagerev I.A. A general approach to the creation of digital twins of mobile ropeways based on mobile transport and reloading rope units. *Nauchno-tehnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2022, No.1, pp. 38-60. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-01-38-60 (In Russian)

6. Dukelskiy A.I. *Podvesnye kanatnye dorogi i kabelnye krany* [Overhead cableways and cable cranes]. Moscow-Leningrad, Mashinostroenie, 1966. 484 p. (In Russian)

7. Walker S.C. Mine Winding and Transport. Amsterdam, Elsevier Science Publishers B.V., 1988. 546 p.

8. Zemskov A.N., Overin A.A., Bekher A.V. Vtoraya zhizn gruzovykh podvesnykh kanatnykh dorog v gornodobyvayushchey promyshlennosti Rossii i Sredney Azii. *Gornyy informtsionno-analiticheskiiy byulleten*, 2019, No.3, pp. 175–183. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-175-183. (In Russian)

9. Fruhstuck H. Die Anwendung des RopeCon® Systems fur den Transport von Bauxit. *Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 2013, Vol. 158, No.8, pp. 339–342. DOI 10.1007/s00501-013-0173-5

10. Gromov E.V., Bilin A.L., Belogorodtsev O.V., Nagovitsyn G.O. Substantiation of Mining-and-Transportation System Type and Parameters for Mining of Ore Deposits in the Conditions of the on the Kola Peninsula. *Journal of Mining Science*, 2018, Vol. 54, No. 4, pp. 591–598. DOI: 10.1134/S1062739118044051

11. Yadav S.N., Khura T.K. Techno-

12. Bonde U.G., Porate K.B., Dhawale D.D. Performance Analysis of VFD Fed Aerial Ropeway System in Coal Handling Plant at CSTPS, Chandrapur - A Case Study // *Int. Journal of Engineering Research and Application*. 2016. Vol. 6. №7. P. 38-42.
13. Baral L.B., Nakarmi J.J., Poudyal K.N., Karki N.R., Nalmpantis D. Gravity and muscle force operated surface ropeway: an efficient, cheap, and eco-friendly transport mode for mountainous countries // *The European physical journal plus*. 2019. Vol.134. №55. DOI 10.1140/epjp/i2019-12438-0
14. Зенков Р.Л., Ивашков И.И., Колобов Л.Н. Машины непрерывного транспорта. М.: Машиностроение, 1987. 432 с.
15. Лагереv А.В., Толкачев Е.Н. Математическая модель конвейера с подвесной лентой, распределенным приводом и вертикально замкнутой трассой // *Вестник Брянского государственного технического университета*. 2014. № 3(43). С. 44-52. DOI: 10.5281/zenodo.1302231
16. McGuire P.M. *Conveyors. Application, Selection, and Integration*. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2010. 182 p.
17. Недорезов И.А., Савельев А.Г. Машины строительного производства. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 119 с.
18. Баловнев В.И. Определение оптимальных параметров и выбор землеройных машин в зависимости от условий эксплуатации. М.: МАДИ (ГТУ), 2010. 134 с.
19. Лагереv А.В., Лагереv И.А., Таричко В.И. Определение усилий натяжения канатов при эксплуатации мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов // *Научно-технический вестник Брянского государственного университета*. 2022. № 3. С. 194-210. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-03-194-210
20. Лагереv А.В., Лагереv И.А. Тяговый расчет мобильной канатной дороги на базе самоходных шасси. - Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022667507. - Зарегистрир. в Реестре программ для ЭВМ 21.09.2022. Бюл. № 10.
21. Лагереv А.В., Лагереv И.А. Определение области возможного использования мобильной канатной дороги на базе само-
- Economic Feasibility Study of Low Cost Gravity Ropeway for Carrying Agricultural Produce in Hilly Terrain. *Agricultural Engineering Today*, 2015, Vol. 39, No. 4, pp. 1-8.
12. Bonde U.G., Porate K.B., Dhawale D.D. Performance Analysis of VFD Fed Aerial Ropeway System in Coal Handling Plant at CSTPS, Chandrapur - A Case Study. *Int. Journal of Engineering Research and Application*, 2016. Vol.6, No.7, pp. 38-42.
13. Baral L.B., Nakarmi J.J., Poudyal K.N., Karki N.R., Nalmpantis D. Gravity and muscle force operated surface ropeway: an efficient, cheap, and eco-friendly transport mode for mountainous countries. *The European physical journal plus*, 2019, Vol.134, No.55. DOI 10.1140/epjp/i2019-12438-0
14. Zenkov R.L., Ivashkov I.I., Kolobov L.N. *Mashiny nepreryvnogo transporta* [Continuous Transport Machines]. Moscow, Mashinostroenie, 1987. 432 p. (In Russian)
15. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Mathematical model of a special conveyor with suspended belt and distributed drive. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, No.3, pp. 44-52. DOI: 10.5281/zenodo.1302231 (In Russian)
16. McGuire P.M. *Conveyors. Application, Selection, and Integration*. Boca Raton, Taylor & Francis Group, 2010. 182 p.
17. Nedorezov I.A., Savelev A.G. *Mashiny stroitel'nogo proizvodstva* [Construction production machines]. Moscow, Izdatelstvo MG TU im. N.E. Bauman, 2012. 119 p.
18. Balovnev V.I. *Opređenje optimalnykh parametrov i vybor zemleroynykh mashin v zavisimosti ot usloviy ekspluatatsii* [Determination of optimal parameters and selection of earthmoving machines depending on operating conditions]. Moscow, MADI (GTU), 2010. 134 p.
19. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tarichko V.I. Determination of tension forces of ropes during the operation of mobile transport and reloading rope complexes. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2022, No.3, pp. 194-210. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-03-194-210 (In Russian)
20. Lagerev A.V., Lagerev I.A. *Tyagovyy*

ходных шасси. - Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022680690. - Зарегистрир. в Реестре программ для ЭВМ 03.11.2022. Бюл. № 11.

† *raschet mobilnoy kanatnoy dorogi na baze samokhodnykh shassi. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM* [Traction calculation of a mobile ropeway based on self-propelled chassis. The Certificate on official registration of the computer program]. No. 2022667507, 2022. (In Russian)

† 21. Lagerev A.V., Lagerev I.A. *Opredelenie oblasti vozmozhnogo ispolzovaniya mobilnoy kanatnoy dorogi na baze samokhodnykh shassi. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM* [Determination of the area of possible use of a mobile ropeway based on self-propelled chassis. The Certificate on official registration of the computer program]. No. 2022680690, 2022. (In Russian)