

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

УДК 625.57:621.311

С. В. РАКША¹, А. С. КУРОПЯТНИК^{2*}, А. А. КУРКА²

¹Каф. «Прикладная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, эл. почта raksha@ukr.net

^{2*}Каф. «Прикладная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, эл. почта kuropatnick@gmail.com

²Каф. «Прикладная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18

ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПОДВЕСНЫХ КАНАТНЫХ ДОРОГ

Цель. Формирование рекомендаций по рациональному профилированию подвесных канатных дорог с учетом энергосбережения. **Методика.** В качестве критерия энергопотребления принята удельная мощность привода как отношение потребляемой мощности к пропускной способности дороги. Цикл перемещения вагонов был условно разделен на три этапа, характерными особенностями каждого из которых являлись кинематические параметры дороги. Удельная мощность для всего цикла определялась как сумма соответствующих величин по этапам движения. **Результаты.** Проведенные исследования показали, что удельная мощность привода не зависит от кинематических параметров дороги. Предельное значение удельной мощности привода не зависит от длины дороги. С увеличением вместимости вагонов влияние длины пролета на удельную мощность снижается. Для дорог большой длины рекомендуется выполнять подбор высот опор в соответствии с особенностями рельефа для обеспечения минимально возможных уклонов пролетов. Целесообразным является использование вагонов большой вместимости при сооружении дороги на местности, рельеф которой характеризуется существенными перепадами высот. Длинные пролеты следует выполнять как можно более пологими, преодолевая перепады высот за счет пролетов малой длины. **Научная новизна.** Сформулирован новый критерий оценки энергопотребления подвесных канатных дорог. **Практическая значимость.** Использование полученных результатов и сформулированных рекомендаций позволит разрабатывать проекты подвесных канатных дорог с пониженным энергопотреблением.

Ключевые слова: подвесные канатные дороги; энергопотребление; энергосбережение; приводы; параметры профиля

Введение

С каждым годом уменьшаются запасы природного газа и нефти. Соответственно, цена на эти ресурсы растет, что сопровождается повышением стоимости перевозок пассажиров и грузов. Поэтому сейчас в поисках более дешевого вида топлива строят новые установки, перерабатывающие растения на биотопливо, ищут альтернативные источники энергии. Та-

кими источниками являются вода, ветер, солнце, энергию которых преобразуют в электрическую.

Электроэнергию широко применяют в быту, на предприятиях различных отраслей, ею питается электротранспорт (трамваи, троллейбусы, локомотивы), приводы подъемно-транспортных и других машин, в частности приводы подвесных канатных дорог (ПКД).

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

Развитие и внедрение ресурсосберегающих технологий всегда считалось одной из наиболее приоритетных задач, решаемых как на этапе проектирования, так и в процессе эксплуатации техники. Из приведенного выше видно, что на сегодняшний день энергия является критическим ресурсом, поэтому разработка способов снижения энергопотребления является весьма актуальной задачей.

Исследованиям способов улучшения ПКД за счет изменения их конструкций посвящен целый ряд работ [1–4, 12]. Результаты таких исследований реализованы в проектах дорог, эксплуатируемых в качестве средств пассажирского (как курортного, так и городского) транспорта [6, 7, 8]. В других работах рассматриваются возможности повышения точности расчетов ПКД за счет увеличения количества факторов, которые тем или иным образом влияют на надежность и безопасность эксплуатации [5, 9, 10, 11, 13–18]. Однако в них не затрагиваются вопросы снижения энергопотребления ПКД за счет улучшения их технико-экономических характеристик.

Цель

Цель работы – формирование рекомендаций по рациональному профилированию подвесных канатных дорог с учетом энергосбережения. Для достижения поставленной цели необходимо решить такие задачи:

- 1) выбор и обоснование критерия оценки энергопотребления;
- 2) оценка влияния различных параметров дороги на ее энергопотребление;
- 3) обоснование способов снижения энергопотребления ПКД.

Методика

Энергопотребление канатной дороги может быть оценено по величине удельной мощности привода

$$k = \frac{P_n}{\Pi} = \frac{P_n t}{N}, \quad (1)$$

где P_n – потребляемая мощность привода; Π – пропускная способность дороги; t – продолжительность цикла транспортировки; N – вместимость вагона.

Величина P_n характеризует реальное потребление электроэнергии и определяется по формуле

$$P_n = \frac{W v}{\eta}, \quad (2)$$

где W – окружное усилие привода; v – скорость движения вагона; η – коэффициент полезного действия привода.

Цикл транспортировки состоит из нескольких этапов: движение вагона в пределах станции, разгон/торможение вагона возле станций и опор, движение вагона в пролете. Рассмотрим особенности энергопотребления ПКД на каждом из этапов отдельно.

1. Движение вагона в пределах станции. В пределах станции вагон движется равномерно со скоростью v_0 , преодолевая путь s_0 (длина станционных путей), поэтому продолжительность движения на данном этапе

$$t_c = \frac{s_0}{v_0}. \quad (3)$$

Потребляемая мощность согласно формуле (2)

$$P_{n0} = \frac{W_0 v_0}{\eta}, \quad (4)$$

где W_0 – окружное усилие привода при движении вагона в пределах станции.

Тогда удельная мощность привода при движении вагона в пределах станции

$$k_c = \frac{P_{n0} t_c}{N} = \frac{W_0 s_0}{\eta N}. \quad (5)$$

Как видим, данная величина не зависит от скорости движения вагона.

2. Разгон/торможение вагона возле станций и опор. После выхода со станции вагон разгоняется, изменяя свою скорость от v_0 до v – скорости установившегося движения в пролете. Поэтому продолжительность разгона/торможения вагона

$$t_{p/\tau} = \frac{v - v_0}{a}, \quad (6)$$

где a – ускорение разгона/торможения.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

Потребляемая мощность согласно формуле (2)

$$P_{\text{пр/т}} = \frac{W_{\text{п/т}} v_{\text{ср}}}{\eta} = \frac{W_{\text{п/т}} (v + v_0)}{2\eta}, \quad (7)$$

где $W_{\text{п/т}}$ – окружное усилие привода в период разгона/торможения вагона; $v_{\text{ср}}$ – средняя скорость движения вагона.

Тогда удельная мощность привода в период разгона/торможения вагона

$$k_{\text{п/т}} = \frac{P_{\text{пр/т}} t_{\text{п/т}}}{N} = \frac{W_{\text{п/т}} s_{\text{п/т}}}{\eta N}, \quad (8)$$

где $s_{\text{п/т}} = (v^2 - v_0^2)/2a$ – путь разгона/торможения вагона.

Отметим, что удельная мощность привода на данном этапе зависит от скорости движения вагона лишь косвенно.

3. *Движение вагона в пролете.* Движение вагона в пролете происходит с постоянной (установившейся) скоростью v ; при этом преодолевается путь s , равный суммарной длине каната в пролете L . Таким образом, продолжительность движения

$$t_y = \frac{s}{v}. \quad (9)$$

Потребляемая мощность согласно формуле (2)

$$P_{\text{п/т}} = \frac{W_y v}{\eta}, \quad (10)$$

где W_y – окружное усилие привода при движении вагона в пролете.

Тогда удельная мощность привода при движении вагона в пролете

$$k_y = \frac{P_{\text{п/т}} t_y}{N} = \frac{W_y s}{\eta N}. \quad (11)$$

Как видим, данная величина не зависит от скорости движения вагона.

Суммируя значения удельной мощности привода по этапам движения вагона, получим:

$$k = k_c + k_{\text{п/т}} + k_y + k_{\text{п/т}} + k_c = \frac{1}{\eta N} (W_0 s_0 + W_{\text{п/т}} s_{\text{п/т}} + W_y s_y + W_{\text{п/т}} s_{\text{п/т}} + W_0 s_0) =$$

$$= \frac{1}{\eta N} \int_0^L W ds. \quad (12)$$

Из выражения (12) следует, что удельная мощность может быть определена как площадь фигуры, ограниченной диаграммой окружных усилий привода как функции перемещения вагона и осью абсцисс с учетом вместимости вагонов и коэффициента полезного действия привода. Также видим, что удельная мощность привода не зависит от его кинематических параметров (скорости, ускорения).

Результаты

Рассмотрим влияние различных параметров дороги на удельную мощность привода на примере пассажирской ПКД (рис. 1) с такими базовыми характеристиками:

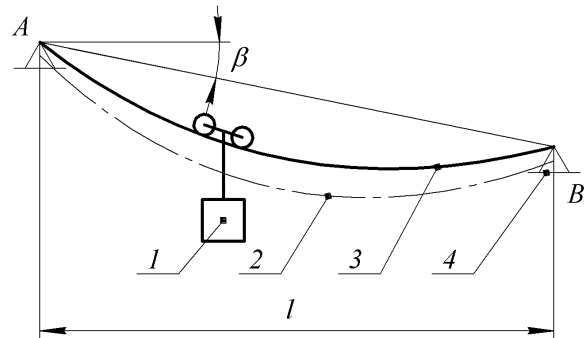


Рис. 1. Схема ПКД:

- 1 – вагон; 2 – тяговый канат; 3 – несущий канат; 4 – опора
- длина пролета $l = 200$ м;
- угол наклона хорды пролета $\beta = 15^\circ$;
- диаметры канатов: несущего – 47 мм; тягового – 21 мм;
- вес пустого вагона – 1,8 т;
- вместимость вагона – 40 чел.;
- коэффициент полезного действия привода $\eta = 0,8$.

В исследованиях, результаты которых представлены ниже, эти характеристики изменяются в определенных диапазонах с целью анализа их влияния на удельную мощность привода.

Зависимость удельной мощности привода от вместимости вагонов (рис. 2) имеет характер гиперболы, стремящейся к минимально достижимому значению

$$k_{\text{min}} = \lim_{N \rightarrow \infty} k(N). \quad (13)$$

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

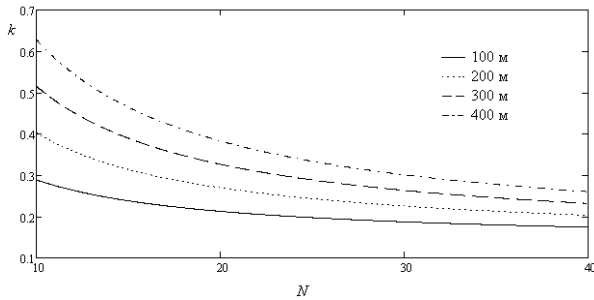


Рис. 2. Зависимость удельной мощности привода k (кВт·с/чел.) от вместимости вагонов N (чел.) при различных значениях длины пролета l (м)

Исследования показали, что величина k_{\min} не зависит от длины пролета, а при малых длинах пролета влияние вместимости вагонов на величину k снижается. Видим, что с увеличением вместимости вагонов влияние длины пролета на удельную мощность снижается.

Нижнюю границу N_{\min} диапазона вместимости вагона можно определить из условия снижения разности показателей k для смежных значений N , которые изменяются с определенным шагом (например, $\Delta N = 1$ пассажир). При увеличении количества пассажиров в вагоне от 0 до N_{\min} происходит стремительное снижение удельной мощности, а значит, и удельных энергозатрат. Выбрав условие ограничения вместимости вагона (например: дальнейшее увеличение количества пассажиров приводит к снижению показателя k менее, чем на 5 % от предельно достижимого значения k_{\min}), можно составить рекомендации к выбору вместимости вагонов в зависимости от длины пролета, исходя из условия снижения удельных энергозатрат.

Далее рассмотрим влияние угла наклона хорды пролета β (рис. 3).

В случае, когда $\beta = 0$, вместимость вагонов не влияет на удельную мощность привода. Таким образом, для дорог большой длины, рациональными следует считать горизонтальные пролеты, которые достигаются путем подбора высот опор в соответствии с перепадами высот рельефа в местах их установки.

Из рис. 3 следует, что с увеличением вместимости вагонов влияние угла наклона хорды пролета снижается. Следовательно, можно рекомендовать использование вагонов большой

вместимости при сооружении дороги на местности, рельеф которой характеризуется существенными перепадами высот.

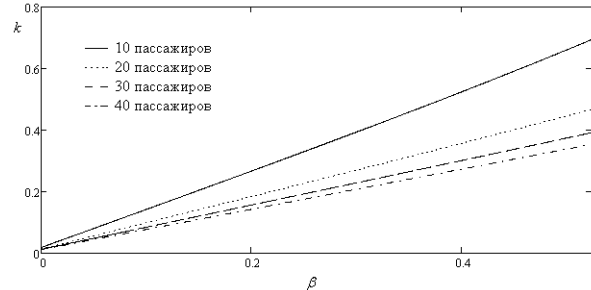


Рис. 3. Зависимость удельной мощности привода k (кВт·с/чел.) от угла наклона хорды пролета β (рад) при различных значениях вместимости вагонов N (чел.)

Зависимость удельной мощности от длины пролета (рис. 4) имеет линейный характер. При $\beta = 0$ длина пролета почти не влияет на величину k , следовательно, длинные пролеты следует выполнять как можно более пологими, преодолевая перепады высот за счет пролетов малой длины.

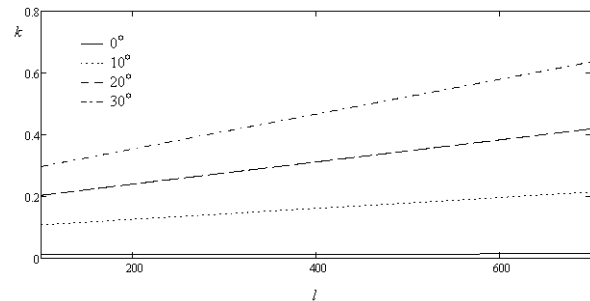


Рис. 4. Зависимость удельной мощности привода k (кВт·с/чел.) от длины пролета l (м) при различных значениях угла наклона хорды пролета β (град)

Научная новизна и практическая значимость

Сформулирован новый критерий оценки энергопотребления подвесных канатных дорог.

Использование полученных результатов и сформулированных рекомендаций позволит разрабатывать проекты подвесных канатных дорог с пониженным энергопотреблением.

Выводы

Рассмотрев все параметры, которые влияют на энергопотребление ПКД, можно сделать выводы:

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

– удельная мощность привода не зависит от кинематических параметров ПКД;

– предельное значение удельной мощности не зависит от длины пролета;

– с увеличением вместимости вагонов влияние длины пролета на удельную мощность снижается.

На основании полученных результатов можно сформулировать рекомендации по рациональному проектированию ПКД:

– для дорог большой длины рекомендуется выполнять подбор высот опор в соответствии с особенностями рельефа для обеспечения минимально возможных уклонов пролетов;

– рекомендуется использование вагонов большой вместимости при сооружении дороги на местности, рельеф которой характеризуется существенными перепадами высот;

– длинные пролеты следует выполнять как можно более пологими, преодолевая перепады высот за счет пролетов малой длины.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Беркман, М. Б. Подвесные канатные дороги / М. Б. Беркман. – М. : Машиностроение, 1984. – 264 с.
2. Горячев, Ю. К. Рациональное размещение опоры двухпролетной маятниковой подвесной дороги / Ю. К. Горячев, А. С. Куропятник // Подъемно-транспортная техника. – 2010. – № 2. – С. 87–93.
3. Горячев, Ю. К. Улучшение профиля маятниковой подвесной канатной дороги / Ю. К. Горячев, А. С. Куропятник // 36. наук. пр. ДЕТУТ «Трансп. системи і технології». – 2011. – № 18. – С. 24–28.
4. Дукельский, А. И. Подвесные канатные дороги и кабельные краны / А. И. Дукельский. – М.-Л. : Машиностроение, 1966. – 484 с.
5. Кинжибалов, А. В. Повышение безопасности пассажирских канатных дорог на основе оценки риска и резервирования привода : автореферат дис. ... канд. техн. наук : 05.05.04 / Кинжибалов Александр Владимирович ; Южно-Рос. госуниверситет. техн. ун-т, Новочеркасск, 2008. – 24 с.
6. Лизанчук, С. Канатним дорогам – безпечний європейський підхід / С. Лизанчук // Підъемные сооружения. Специальная техника. – 2010. – № 8. – С. 7.
7. Материалы интернет-сайтов производителей ПКД [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.doppelmayr.com; ww.skado.ru; www.poma.net; http://en.leitner-ropeways.com. – Загл. с экрана.
8. Международное обозрение по канатному транспорту. Русский спецвыпуск. – Вена : Bohmann Druck & Verlag GmbH & Co. KG, 2011. – 48 с.
9. Патарая, Д. И. Расчет и проектирование канатных систем на примере подвесных дорог / Д. И. Патарая. – Тбилиси : Мецниереба, 1991. – 103 с.
10. Ракша, С. В. Аналіз впливу пружних деформацій несучого каната на зусилля в тяговому канаті підвісної дороги / С. В. Ракша, Ю. К. Горячев, О. С. Куропятник // Наука та прогрес транспорту. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 6 (48). – С. 110–119.
11. Ракша, С. В. Моделювання навантаженості приводу канатної дороги з урахуванням зміщення несучого каната на опорах / С. В. Ракша, Ю. К. Горячев, О. С. Куропятник // Вестн. Харьк. нац. автомобильно-дорожного ун-та. – 2012. – Вып. 57. – С. 75–84.
12. Сванидзе, Л. Г. Размещение опор маятниковой канатной дороги / Л. Г. Сванидзе, В. Ф. Супрунов // Подъемные сооружения. Специальная техника. – 2009. – № 4. – С. 46–48
13. Knawa, M. Effects of dynamic loads acting on carrying cable in operating ropeway / M. Knawa, D. Bryja // Proc. in Applied Mathematics and Mechanics. – 2008. – Vol. 8. – Iss. 1. – P. 10297–10298.
14. Kopanakis, G. A. Oscillations in ropeways / G. A. Kopanakis // Part 1. Intern. Ropeway Review. – 2011. – № 6. – P. 48–50.
15. Kopanakis, G. A. Oscillations in ropeways / G. A. Kopanakis // Part 2, 3. Intern. Ropeway Review, 2012. – № 1. – P. 46–49.
16. Kopanakis, G. A. Oscillations in ropeways / G. A. Kopanakis // Part 4. Intern. Ropeway Review. – 2012. – № 3. – P. 63–66.
17. Kowal, J. Static and dynamic analysis of the cableway / J. Kowal // The Arch. of Mechanical Engineering. – 2008. – Vol. LV, № 4. – P. 357–368.
18. Nejez, J. Cableway oscillation problems / J. Nejez // Intern. Ropeway Review. – 2011. – № 6. – P. 47.

С. В. РАКША¹, О. С. КУРОПЯТНИК^{2*}, А. О. КУРКА²¹Каф. «Прикладна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, ел. пошта raksha@ukr.net^{2*}Каф. «Прикладна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, ел. пошта kuropyatnick@gmail.com²Каф. «Прикладна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18

ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБІВ ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПІДВІСНИХ КАНАТНИХ ДОРІГ

Мета. Формування рекомендацій щодо раціонального профілювання підвісних канатних доріг із урахуванням енергозбереження. **Методика.** Як критерій енергоспоживання була прийнята питома потужність приводу, яка є відношенням споживаної потужності до пропускної здатності дороги. Цикл переміщення вагонів було умовно поділено на три етапи, кожному з яких властиві певні кінематичні характеристики дороги. Питома потужність для всього циклу визначалася як сума відповідних величин за етапами руху. **Результати.** Проведені дослідження показали, що питома потужність приводу не залежить від кінематичних параметрів дороги. Граничне значення питомої потужності приводу не залежить від довжини дороги. Зі збільшенням місткості вагонів вплив довжини прогону на питому потужність зменшується. Для доріг великої довжини рекомендується виконувати підбір висот опор відповідно до особливостей рельєфу для забезпечення мінімально можливих ухилів прогонів. Доцільним є використання вагонів великої місткості під час спорудження дороги на місцевості, рельєф якої характеризується значними перепадами висот. Довгі прогони слід виконувати якомога пологішими, долаючи перепади висот за рахунок прогонів малої довжини. **Наукова новизна.** Сформульовано новий критерій оцінки енергоспоживання підвісних канатних доріг. **Практична значимість.** Використання отриманих результатів та сформульованих рекомендацій дозволить розробляти проекти підвісних канатних доріг зі зниженим енергоспоживанням.

Ключові слова: підвісні канатні дороги; енергоспоживання; енергозбереження; приводи; параметри профілю

S. V. RAKSHA¹, A. S. KUROPYATNIK^{2*}, A. A. KURKA²¹Dep. «Applied Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 18, e-mail raksha@ukr.net^{2*}Dep. «Applied Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 18, e-mail kuropyatnick@gmail.com²Dep. «Applied Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 18

SUBSTANTIATION OF WAYS OF DECREASE IN POWER CONSUMPTION OF ROPEWAYS

Purpose. Formation of recommendations about rational profiling of ropeways taking into account energy saving. **Methodology.** As criterion of power consumption the specific power of the drive as the relation of power consumption to ropeway carrying capacity is accepted. The cycle of movement of cars was conditionally divided into three stages, characteristics of each one were kinematic parameters of the ropeway. Specific power for all cycle was determined as the sum of the corresponding values by movement stages. **Findings.** The conducted researches showed that the specific power of the drive doesn't depend on kinematic parameters of the ropeway. Limit value of specific power of the drive doesn't depend on road length. With increase in capacity of cars influence of length of flight on specific power are decreased. For big length ropeways it is recommended to carry out selection of heights of supports according to features of a relief for providing minimum possible gradient of spans. Use of high-capacity cars is expedient at a ropeway construction on the district which relief is characterized by essential height differences. Long spans should be carried out as much as possible acclivous, overcoming height differences via small length spans. **Originality.** The new criterion of estimation of power consumption of ropeways was formulated.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

Practical value. The use of the received results and the formulated recommendations will allow designing ropeways with the lowered power consumption.

Keywords: ropeways; power consumption; energy saving; drives; profile parameters

REFERENCES

1. Berkman M.B. *Podvesnyye kanatnyye dorogi* [Aerial cablways]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1984. 264 p.
2. Dukelskiy A.I. *Podvesnyye kanatnyye dorogi i kabelnyye krany* [Aerial cablways and cable cranes]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1966. 484 p.
3. Goryachev Yu.K., Kuropyatnik A.S. Ratsionalnoye razmeshcheniye opory dvukhproletnoy mayatnikovoy podvesnoy dorogi [Rational placement of a support of the ropeway with two spans]. *Podyemno-transportnaya tekhnika – Handling equipment*, 2010, no. 2, pp. 87-93.
4. Goryachev Yu.K., Kuropyatnik A.S. Uluchsheniye profilya mayatnikovoy podvesnoy kanatnoy dorogi [Improvement of a profile of a pendulum ropeway]. *Zbirnyk naukovykh prats DETUT «Transportni systemy i tekhnolohii»* [Proc. of State Economical and Technological University of Transport «Transport systems and technologies»], 2011, no. 18, pp. 24-28.
5. Kinzhibalov A.V. *Povysheniye bezopasnosti passazhirskikh kanatnykh dorog na osnove otsenki riska i rezervirovaniya privoda*. Avtoreferat Diss. [Increase of safety of passenger ropeways on the basis of an assessment of risk and drive reservation. Author's abstract]. Novocheerkassk, 2008. 24 p.
6. Lyzanchuk S. Kanatnym doroham – bezpechnyi yevropeyskiy pidkhid [The safe European approach to ropeways]. *Podyemnyye sooruzheniya. Spetsialnaya tekhnika – Lifting constructions. Special equipment*, 2010, no. 8, p. 7.
7. *Materialy internet-saytov proizvoditeley PKD* [Materials of Internet sites of producers of ropeways]. Available at: www.doppelmayr.com; www.skado.ru; www.poma.net; <http://en.leitner-ropeways.com> (Accessed 27 December 2013).
8. *Mezhdunarodnoye obozreniye po kanatnomu transportu. Russkiy spetsvypusk* [International Review of the cable transport. Russian special issue]. Vena, Bohmann Druck & Verlag GmbH & Co. KG Publ., 2011, 48 p.
9. Pataraya D.I. *Raschet i proyektirovaniye kanatnykh sistem na primere podvesnykh dorog* [Calculation and design of rope systems on an example of aerial ropeway]. Tbilisi, Metsniyerba Publ., 1991. 103 p.
10. Raksha S.V., Goryachev Yu.K., Kuropyatnik A.S. Analiz vplyvu pruzhnykh deformatsii nesuchoho kanata na zusyillia v tiahovomu kanati pidvisnoi dorohy [Analysis of influence of elastic deformations of the track cable on efforts in the hauling rope of aerial ropeway]. *Nauka ta progres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 6 (48), pp. 110-119.
11. Raksha S.V., Goryachev Yu.K., Kuropyatnik A.S. Modeliuvannia navantazhenosti pryvodu kanatnoi dorohy z urakhuvanniam zmishchennia nesuchoho kanata na oporakh [Modelling of loading of the ropeway drive with taking into account the displacement of a track cable on a tower]. *Vestnik Kharkovskogo natsionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universytetu* [Bulletin of the Kharkov National Automobile and Road University], 2012, issue 57, pp. 75–84.
12. Svanidze L.G., Suprunov V.F. Razmeshcheniye opor mayatnikovoy kanatnoy dorogi [Placement of support of a ropeway]. *Podyemnyye sooruzheniya. Spetsialnaya tekhnika – Lifting constructions. Special equipment*, 2009, no. 4, pp. 46-48
13. Knawa M., Bryja D. Effects of dynamic loads acting on carrying cable in operating ropeway. Proc. in Applied Mathematics and Mechanics, 2008, vol. 8, issue 1, pp. 10297-10298.
14. Kopanakis G.A. Oscillations in ropeways. Part 1. *International Ropeway Review*, 2011, no. 6, pp. 48-50.
15. Kopanakis G.A. Oscillations in ropeways. Part 2, 3. *International Ropeway Review*, 2012, no. 1, pp. 46-49.
16. Kopanakis G.A. Oscillations in ropeways. Part 4. *International Ropeway Review*, 2012, no. 3, pp. 63-66.
17. Kowal J. Static and dynamic analysis of the cableway. *The Archive of Mechanical Engineering*, 2008, vol. LV, no. 4, pp. 357-368.
18. Nejez J. Cableway oscillation problems. *International Ropeway Review*, 2011, no. 6, p. 47.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. Л. А. Хмарой (Украина); к.т.н., доц. А. М. Афанасовым (Украина)

Поступила в редакцию 27.12.2013

Принята к печати 06.02.2014