

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

УДК 625.574:621.311

Ю. К. ГОРЯЧЕВ¹, А. С. КУРОПЯТНИК^{2*}, М. Р. ИЗМАЙЛОВ^{3*}

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

^{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, ORCID 0000-0001-5581-3883

^{3*}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 izmailoff.memet@yandex.ru, ORCID 0000-0001-7885-9067

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗЕРВОВ ЭНЕРГИИ ПРИВОДОВ ПОДВЕСНЫХ КАНАТНЫХ ДОРОГ С УЧЕТОМ ДИАГРАММ ОКРУЖНЫХ УСИЛИЙ

Цель. В работе необходимо использовать формализацию подходов к определению резервов энергии приводов подвесных канатных дорог с учетом диаграмм окружных усилий. **Методика.** Для определения резервов энергии использовались диаграммы окружных усилий. Метод основан на сравнительном анализе участков тормозного и силового режимов работы привода канатной дороги. Их площадь зависит от профиля дороги (длина и перепад высот пролетов, провисание несущего каната) и расположения приводной станции (на нижней или верхней опорной точке). **Результаты.** Применение метода накапливания энергии в тормозном режиме с последующим её расходом в силовом режиме дает возможность использовать резервы энергии приводов. Зная рельеф местности, можно на этапе проектирования задать параметры профиля дороги, а также расположить приводную станцию таким образом, чтобы на диаграмме окружных усилий участки тормозного режима чередовались с участками силового режима и были приблизительно равными по величине. Это, в свою очередь, позволит экономить электроэнергию в процессе эксплуатации. **Научная новизна.** Предложен подход к определению резервов энергии приводов подвесных канатных дорог. **Практическая значимость.** Использование предложенного метода поможет (перед конструированием) рассчитать такой профиль дороги, при котором возможно увеличение участков тормозного режима, что, в свою очередь, положительно скажется на величине аккумулируемой энергии.

Ключевые слова: городской транспорт; подвесная канатная дорога; диаграмма окружных усилий; тормозной режим; силовой режим; аккумуляция

Введение

Развитие современных городов сопровождается увеличением их территории, миграцией населения в новые районы, удалением жилых массивов от мест труда. В связи с этим растет число горожан, пользующихся транспортом, а также количество городского транспорта, обслуживающего это население. Пропускной способно-

сти автомобильных дорог недостаточно для освоения пассажиропотока, сопутствующего такому развитию: образуются пробки, заторы на дорогах, что приводит к длительному проезду пассажиров. Это объясняется низкими скоростями основных видов городского транспорта (автобусов, троллейбусов, трамваев, маршрутных такси), необходимостью совершать пере-

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

садки из-за не совершенства маршрутной сети и потеря времени пассажиров на подходы к остановкам. Не редко поездки совершаются в дискомфортных условиях с нарушениями установленных норм наполнения транспортных средств. Все эти факторы указывают на то, что существующий городской транспорт не справляется с поставленной перед ним задачей. А если учесть, что он – не всегда исправен, дорог и экологически вреден, то целесообразной представляется возможность задействовать альтернативные виды транспорта. Одним из таких является подвесная канатная дорога (ПКД). Как вид городского транспорта и с целью разгрузки пассажирского потока ПКД используется во многих городах и странах мира. Осуществляя перевозки населения в пределах территории города, канатные дороги играют неоспоримую социальную роль в обеспечении мобильности граждан. ПКД – комфортный, быстрый, экологически чистый, экономически выгодный вид транспорта, не зависящий от ландшафта, так как находится на определенной высоте от земли и застроек. Кроме того, ПКД открыты для внедрения различных ресурсосберегающих технологий. На данный момент из альтернативных источников энергии используются энергия ветра (ветрогенераторы) и энергия солнца (солнечные батареи) [4].

Методики проектного расчета ПКД с учетом влияния различных факторов изложены в работах [1, 2, 5–13].

Исследуя диаграммы окружных усилий (рис. 1), построенные для приводов канатных дорог, при различных режимах нагружения, можно увидеть неиспользованные резервы энергии. Эта энергия заключена в тормозном режиме работы привода (заштрихованная область диаграммы). Произведя анализ работ [3, 6], связанных с построением таких диаграмм, получаем, что при движении вагона от верхней опоры к нижней привод притормаживает его, переходя из силового режима в тормозной, а значит, не потребляет энергию. Часть энергии торможения преобразуется в тепловую, а остальная – отдается в сеть. Поэтому целесообразней было бы аккумулировать энергию и использовать ее в последующих силовых режимах. Произведя расчет площадей участков диаграммы окружных усилий привода, можно предварительно оценить процент экономии энергии. Таким образом, разработка методик, позволяющих определить величину резервов, способы их формирования и использования, является актуальной задачей.

Цель

Формализация подходов к определению резервов энергии приводов подвесных канатных дорог с учетом диаграмм окружных усилий.

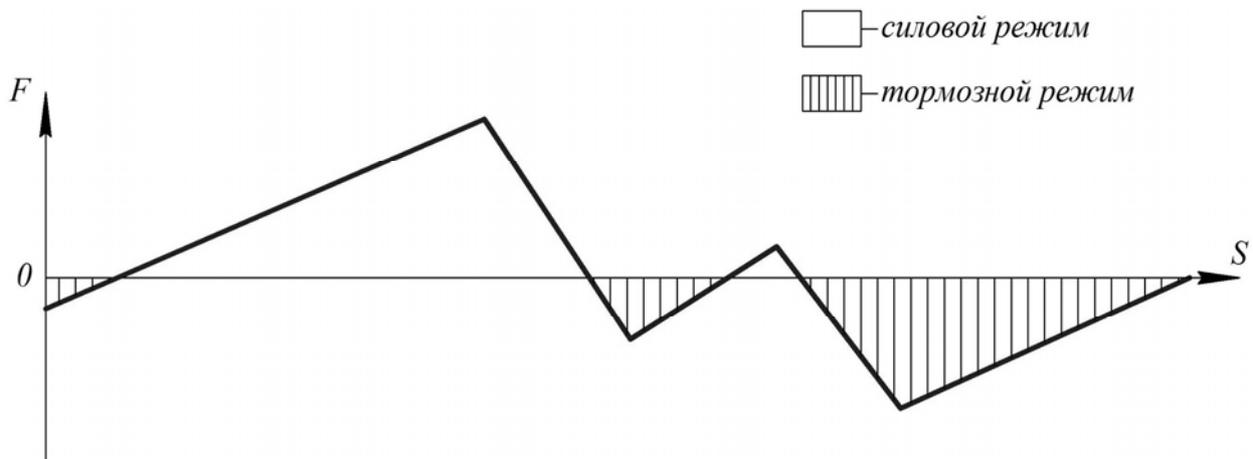


Рис. 1. Диаграмма окружных усилий канатной дороги «Мисхор – Ай Петри»: F – окружное усилие; S – перемещение вагона

Fig. 1. Diagram of twisting forces of the rope way «Miskhor – Ay-Petri»: F – twisting force; S – car movement

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

Методика

Для определения резервов энергии использовались диаграммы окружных усилий. Метод основан на сравнительном анализе участков тормозного и силового режимов работы привода канатной дороги. Их площадь зависит от профиля дороги (длина и перепад высот пролетов, провисание несущего каната) и расположения приводной станции (на нижней или верхней опорной точке).

Учитывая кольцевой тип подвесной канатной дороги, знаем, что одна ветвь тягового каната набегает на приводной шкив (набегающая), а вторая – сбегает (сбегающая). Кроме того, примем во внимание, что в зависимости от расположения приводной станции (на верхней опоре «а» или нижней «б»), вагон будет двигаться на подъем или спуск.

Рассмотрим три основные схемы расположения опор (рис. 2):

- левая опора выше правой;
- опоры расположены на одной высоте;
- левая опора ниже правой.

В каждом случае один из вагонов движется вверх, а другой – вниз.

Первый случай. Привод расположен на левой опорной точке, а это значит, что вагон (1) движется вниз, придерживаемый сбегающей ветвью тягового каната. В результате чего уси-

лие в тяговом канате T_1 отрицательно, канат свободно провисает, т. е. привод притормаживает вагон, тем самым не затрачивая энергию. При этом отрицательное значение натяжения каната (а далее – и окружного усилия) компенсируется работой привода в режиме генератора с отдачей энергии в сеть (тормозной режим). Доходя до точки «X» (точка перехода), вагон (1) начинает подъем, при этом усилие в тяговом канате возрастает.

Второй случай. Вагон (2) движется по несущему канату под действием силы тяги привода, которая передается через тяговый канат. При этом реализуется движение, аналогичное первому случаю (спуск – подъем), но усилие в набегающей ветви тягового каната равно T_2 .

Зная усилие в тяговом канате, можно определить окружное усилие и построить диаграммы (рис. 3). Формула для подсчета окружного усилия [2]:

$$F = T_{нб} - T_{сб},$$

где $T_{нб}$ – усилие в набегающей ветви каната; $T_{сб}$ – усилие в сбегающей ветви каната.

Если знать расположение приводной станции, можно сказать, какая из ветвей каната является сбегающей, а какая – набегающей. В результате чего можно определить окружное усилие.

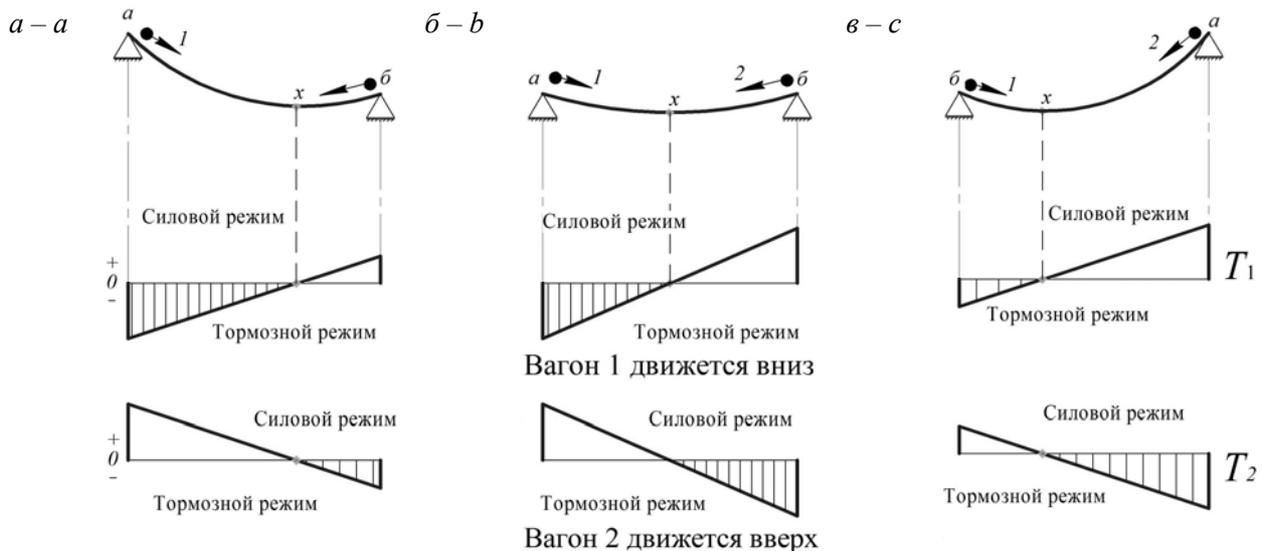
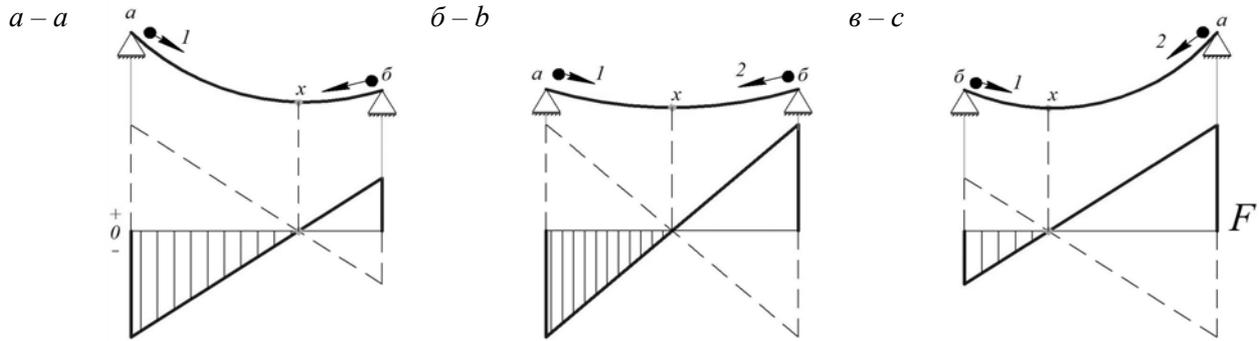


Рис. 2. Схемы расположения опор

Fig. 2. Diagram of the supports placement

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

Рис. 3. Диаграмма окружных усилий (a , b , $в$ – согласно рис. 2)Fig. 3. Diagram of twisting forces (a , b , c – according to the Fig. 2)

Если приводная станция расположена на верхней опорной точке профиля «а», окружное усилие будет равно

$$F = T_2 - T_1.$$

Получаем диаграмму окружных усилий (штриховая линия). А если расположить приводную станцию на нижней опорной точке профиля «б», то диаграмма имеет вид, отмеченный основной линией, величина окружных усилий будет рассчитана как

$$F = T_1 - T_2.$$

Расположив опоры таким образом, чтобы использовались три существующие схемы (см. рис. 3) с учетом расположения приводной станции, можно создать такой профиль дороги, при котором экономия энергии в тормозном режиме будет максимальна.

Результаты

Реализацию сформулированных подходов к определению резервов энергии привода рассмотрим на примере городской ПКД, теоретический маршрут которого представлен на рис. 4. Маршрут проложен через сложный рельеф (перепад высот – 61 м; рис. 5). Между двумя этими условными точками (A и B) курсируют маршрутные транспортные средства. Чтобы добраться из пункта A в пункт B , необходимы пересадки по маршруту, а значит потери времени. Длина пути от A до B в прямом направлении (штрихпунктирная линия) – 4,7 км, а в обратном (сплошная тонкая линия) – 5,5 км. Длина маршрута канатной дороги (сплошная толстая линия) составляет 1,83 км.

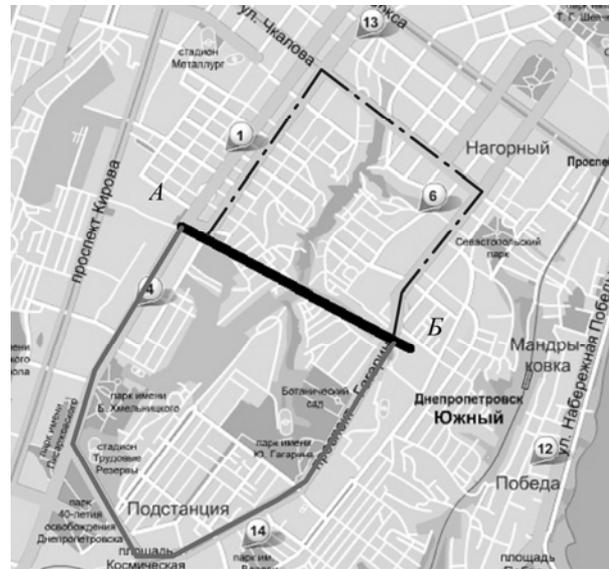


Рис. 4. Теоретический маршрут ПКД

Fig. 4. Theoretical route of aerial ropeway

Используем вышеизложенные схемы расположения опор к предложенной канатной дороге (рис. 6). Расположив приводную станцию на опорной точке A , получаем, что участок движения от A до x (на спуск) больше участка от x до A_1 (на подъем), а значит тормозной режим больше силового. Это дает возможность аккумулировать большое количество энергии, а значит применение этих схем очень эффективно. Но обратим внимание, что расположив приводную станцию на опорной точке A , в третьем пролете тормозной режим будет меньше, чем тяговый.

Из рис. 6 видно, что применение метода накопления энергии в тормозном режиме с последующим ее расходом в силовом режиме, дает возможность использовать резервы энергии приводов. Зная рельеф местности, можно

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

на этапе проектирования задать параметры профиля дороги, а также расположение приводной станции таким образом, чтобы на диаграмме окружных усилий участки тормозного

режима чередовались с участками силового режима и были приблизительно равными по величине. Это, в свою очередь, позволит экономить электроэнергию в процессе эксплуатации.

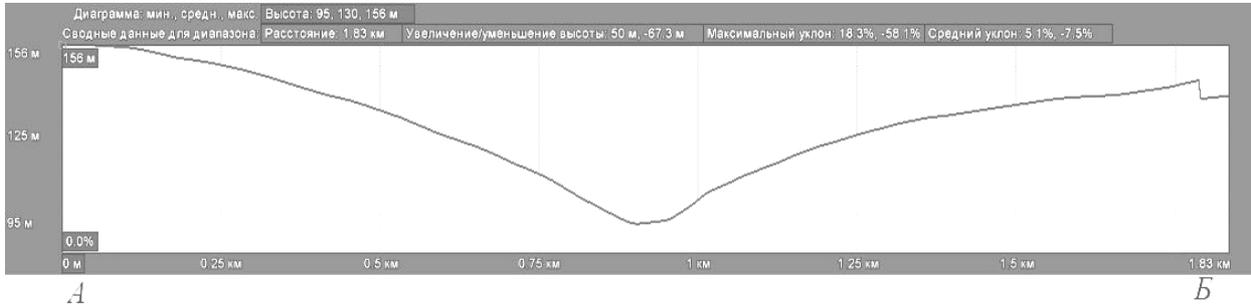


Рис. 5. Профиль рельефа проектируемой дороги

Fig. 5. Relief profile of the projected road

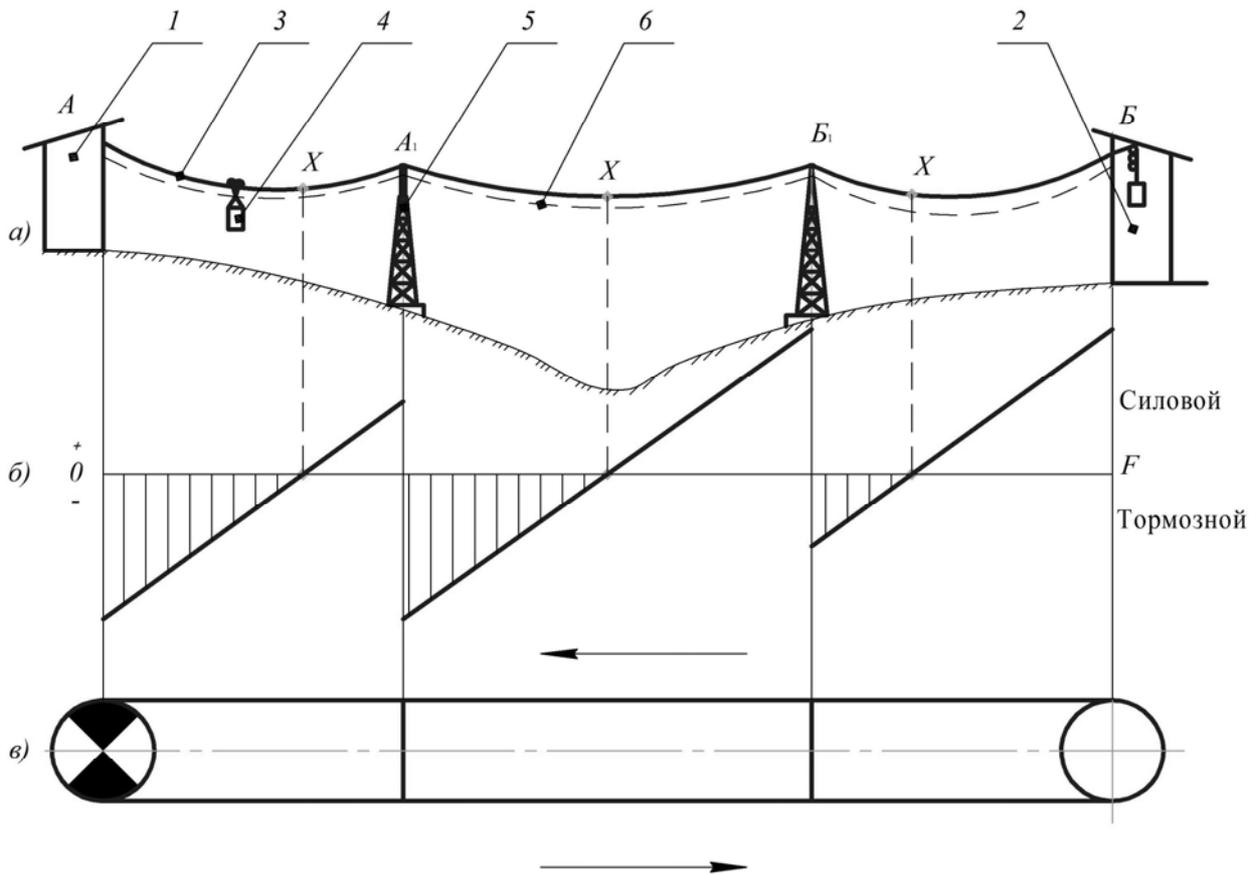


Рис. 6. Пример канатной дороги с использованием схем расположения опор:

a – схема пкд: 1 – приводная станция, 2 – обводная станция, 3 – несущий канат, 4 – вагон (гондола), 5 – опора, 6 – тяговый канат; *b* – диаграмма окружных усилий; *c* – схема расположения привода

Fig. 6. Rope way example with the use of support placement diagrams:

a – aerial ropeway scheme: 1 – power-drive station, 2 – bypass station, 3 – carrying rope, 4 – car (gondola), 5 – support, 6 – traction rope; *b* – diagram of twisting forces; *c* – scheme of drive location

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

Научная новизна и практическая значимость

Предложен подход к определению резервов энергии приводов подвесных канатных дорог.

Использование предложенного метода может (перед конструированием) рассчитать такой профиль дороги, при котором возможно увеличение участков тормозного режима, что в свою очередь положительно скажется на величине аккумулируемой энергии.

Выводы

Сформулированные в данной работе подходы позволяют проектировать подвесные канатные дороги с пониженным энергопотреблением. При этом параметры профиля дороги и место расположения привода играют определенную роль в формировании и обеспечении возможности использования резервов энергии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Беркман, М. Б. Подвесные канатные дороги / М. Б. Беркман. – М. : Машиностроение, 1984. – 264 с.
- Городские канатные дороги [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.isr.at/Gorodskie-kanatnye-dorogi.229+M50039cec051.0.html>. – Загл. с экрана.
- Горячев, Ю. К. Построение диаграмм окружных усилий привода маятниковой подвесной канатной дороги / Ю. К. Горячев // Подъемно-трансп. техника. – 2010. – № 4. – С. 56–63.
- Первая в мире канатная дорога на солнечных батареях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://alp.org.ua/?p=37815>. – Загл. с экрана.
- Ракша, С. В. Аналіз впливу пружних деформацій несучого каната на зусилля в тяговому канаті підвісної дороги / С. В. Ракша, Ю. К. Горячев, О. С. Куроп'ятник // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 6 (48). – С. 110–119.
- Сванидзе, Л. Г. Окружные усилия на шкивах канатных дорог / Л. Г. Сванидзе, В. Ф. Супрунов // Подъем. сооружения. Спец. техника. – 2008. – № 7. – С. 50–52.
- Сванидзе, Л. Г. Размещение опор маятниковой канатной дороги / Л. Г. Сванидзе, В. Ф. Супрунов // Подъем. сооружения. Спец. техника. – 2009. – № 4. – С. 47–49.
- Чунашвили, Б. М. Диаграмма нагрузки электроприводов маятниковых подвесных канатных дорог / Б. М. Чунашвили, М. И. Кобаля // Вестн. нац. техн. ун-та «ХПИ». – Х., 2002. – Вып. 12. – С. 85–86.
- 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.
- Kopanakis, G. A. Oscillations in ropeways / G. A. Kopanakis // Intern. Ropeway Review. Pt. 1. – 2011. – № 6. – P. 48–50.
- Kopanakis, G. A. Oscillations in ropeways / G. A. Kopanakis // Intern. Ropeway Review. Pt. 2, 3. – 2012. – № 1. – P. 46–49.
- Kopanakis, G. A. Oscillations in ropeways / G. A. Kopanakis // Intern. Ropeway Review. Pt. 4. – 2012. – № 3. – P. 63–66.
- Nejez, J. Cableway oscillation problems / J. Nejez // Intern. Ropeway Review. – 2011. – № 6. – P. 47.

Ю. К. ГОРЯЧЕВ¹, А. С. КУРОП'ЯТНИК^{2*}, М. Р. ИЗМАЙЛОВ^{3*}

¹Каф. «Прикладна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18

^{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.com, ORCID 0000-0001-5581-3883

^{3*}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 izmailoff.memet@yandex.ru, ORCID 0000-0001-7885-9067

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РЕЗЕРВІВ ЕНЕРГІЇ ПРИВОДІВ ПІДВІСНИХ КАНАТНИХ ДОРІГ ІЗ УРАХУВАННЯМ ДІАГРАМ ОКУРЖНИХ ЗУСИЛЬ

Мета. У роботі необхідно дослідити формалізацію підходів до визначення резервів енергії приводів підвісних канатних доріг із урахуванням діаграм окружних зусиль. **Методика.** Для визначення резервів енергії використовувалися діаграми окружних зусиль. Метод заснований на порівняльному аналізі ділянок гальмів-

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

ного й силового режимів роботи приводу канатної дороги. Їх площа залежить від профілю дороги (довжина та перепад висот прольотів, провисання несучого каната) і розташування приводної станції (на нижній або верхній опорній точці). **Результати.** Застосування методу накопичення енергії в гальмівному режимі з подальшою її витратою в силовому режимі дає можливість використовувати резерви енергії приводів. Знаючи рельєф місцевості, можна на етапі проектування задати параметри профілю дороги, а також розташувати приводну станцію таким чином, щоб на діаграмі окружних зусиль ділянки гальмівного режиму чергувалися з ділянками силового режиму та були приблизно рівними за величиною. Це, у свою чергу, дозволить економити електроенергію в процесі експлуатації. **Наукова новизна.** Запропоновано підхід до визначення резервів енергії приводів підвісних канатних доріг. **Практична значимість.** Використання запропонованого методу допоможе (перед конструюванням) розрахувати такий профіль дороги, при якому можливе збільшення ділянок гальмівного режиму, що, у свою чергу, позитивно позначиться на величині енергії, що акумулюється.

Ключові слова: міський транспорт; підвісна канатна дорога; діаграма окружних зусиль; гальмівний режим; силовий режим; акумуляція

YU. K. GORYACHEV¹, A. S. KUROPYATNIK^{2*}, M. R. IZMAYLOV^{3*}

¹Dep. «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

^{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.com, ORCID 0000-0001-5581-3883

^{3*}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 izmailoff.memet@yandex.ru, ORCID 0000-0001-7885-9067

POSSIBILITY RESEARCH OF THE USE OF ENERGY RESERVE OF AERIAL ROPEWAY DRIVES TAKING INTO ACCOUNT THE TWISTING FORCES DIAGRAMS

Purpose. It is necessary to study the formalization of approaches to determination of energy reserves of aerial ropeways drives taking into account the twisting forces diagrams. **Methodology.** To determine the energy reserves the twisting forces diagrams were used. A method is based on the comparative analysis of areas of braking and power operation modes of ropeway drive. Their area depends on the road profile (length and overfall of clearance heights, carrying rope deflection) and location of the drive station (on the lower or the upper supporting points). **Findings.** The application of the method of energy accumulation in the braking mode with its subsequent consumption in the power mode enables to use the energy reserves of drives. Taking into account the relief, it is possible on the stage of planning to set the parameters the road profile, as well as to locate the drive station so that on the twisting forces diagram the areas of braking mode alternated with the areas of the power mode and were approximately equal in size. This, in turn, will save the electric power in the process of operation. **Originality.** The approach to determination of energy reserves of the aerial ropeway drives is offered. **Practical value.** The use of the offered method will help (before the construction) to calculate such a road profile, which will increase the areas of braking mode. The latter in turn will positively affect the size of the accumulated energy.

Keywords: urban transport; aerial ropeway; twisting forces diagram; braking mode; power mode; accumulation

REFERENCES

1. Berkman M.B. *Podvesnyye kanatnyye dorogi* [Aerial ropeways]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1984. 264 p.
2. *Gorodskiye kanatnyye dorogi* (Urban ropeways). Available at: <http://www.isr.at/Gorodskie-kanatnyedorogi.229+M50039cec051.0.html> (Accessed 22 February 2014).
3. Goryachev Yu.K. Postroyeniye diagramm okruzhnykh usily privoda mayatnikovoy podvesnoy kanatnoy dorogi [Construction of diagram of driver twisting forces for pendulum ropeway]. *Podyemno-transportnaya tekhnika – Handling Machinery*, 2010, no. 4, pp. 56-63.
4. *Pervaya v mire kanatnaya doroga na solnechnykh batareyakh* (The first in the world solar powered ropeway). Available at: <http://alp.org.ua/?p=37815> (Accessed 22 February 2014).

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

5. Raksha S.V., Horiachev Yu.K., Kuropyatnyk O.S. Analiz vplyvu pruzhnykh deformatsii nesuchoho kanata na zusylylia v tiahovomu kanati pidvisnoi dorohy [Influence analysis of the elastic strains of carrying cable on the efforts in traction cable of the ropeway]. *Nauka ta prohres 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.
6. Svanidze L.G., Suprunov V.F. Okruzhnyye usiliya na shkivakh kanatnykh dorog [Twisting forces on pulleys of the ropeways]. *Podyemnyye sooruzheniya. Spetsialnaya tekhnika – Handling Equipment. Special Machinery*, 2008, no. 7, pp. 50-52.
7. Chunashvili B.M., Kobaliya M.I. Diagramma nagruzki elektroprivodov mayatnikovoykh podvesnykh kanatnykh dorog [Load diagram of electric drives of pendulum ropeways]. *Vestnik Natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta «Kharkovskiy Politekhnicheskij Institut» [Bulletin of National Technical University «Kharkiv Polytechnical University»]*, 2002, issue 12, pp. 85-86.
8. 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.
9. Kopanakis G.A. Oscillations in ropeways. *Intern. Ropeway Review. Part 1*, 2011, no. 6, pp. 48-50.
10. Kopanakis G.A. Oscillations in ropeways. *Intern. Ropeway Review. Part 2, 3*, 2012, no. 1, pp. 46-49.
11. Kopanakis G.A. Oscillations in ropeways. *Intern. Ropeway Review. Part 4*, 2012, no. 3, pp. 63-66.
12. Nejez J. Cableway oscillation problems. *Intern. Ropeway Review*, 2011, no. 6, p. 47.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. Ф. Семенюком (Украина); к.т.н., доц. К. Ц. Главацким (Украина)

Поступила в редколлегию 03.03.2014

Принята к печати 25.04.2014