

УДК 625.571

Горячев Ю. К., Куропятник А. С.

УЛУЧШЕНИЕ ПРОФИЛЯ МАЯТНИКОВОЙ ПОДВЕСНОЙ КАНАТНОЙ ДОРОГИ

При проектировании подвесных канатных дорог выполняется поиск оптимально-компромиссного решения, удовлетворяющего условиям экономической эффективности, технологичности и безопасности. Результатом является набор параметров, среди которых выделяют характеристики профиля дороги. Изменение этих величин может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на технико-экономические показатели.

В данной статье рассмотрено влияние смещения опор трехпролетной канатной дороги маятникового типа вдоль трассы на нагруженность элементов привода, которая оценивается по величине окружного усилия.

Ключевые слова: канатная дорога, окружное усилие, нагруженность элементов привода, смещение опор

Під час проектування підвісних канатних доріг здійснюється пошук оптимально-компрісного рішення, яке задовольняє умовам економічної ефективності, технологічності та безпеки. Результатом є набір параметрів, серед яких відокремлюють характеристики профілю дороги. Зміна цих величин може як позитивно, так і негативно впливати на техніко-економічні показники.

У даній статті розглянуто вплив зміщення опор трипрогонної канатної дороги маятникового типу вздовж траси на навантаженість елементів приводу, яка оцінюється за величиною окружного зусилля.

When designing ropeways to search optimally and compromise solution that satisfies the conditions of economic efficiency, technologically and safety. The result is a set of parameters, among which are the characteristics of the ropeway profile. Changing these variables can have both positive and negatively impact on the technical and economic indicators.

This article considers the influence of displacement of supports of the pendulum-type ropeway having three spans along the route to the loading of the elements of the drive, which was estimated by the drive traction.

Проектирование подвесных канатных дорог различного конструктивного исполнения и назначения предусматривает многовариантный расчет основных параметров дороги в различных комбинациях их значений с целью достижения максимального экономического эффекта. При этом одной из важнейших задач является поиск оптимально-компромиссного решения, сочетающего в себе экономическую целесообразность, технологичность и безопасность конструкции.

Одной из основных характеристик канатной дороги является производительность (для грузовых дорог) или пропускная способность (для пассажирских дорог). Этот параметр в сочетании с экономическими показателями и техническими характеристиками может быть определяющим при обосновании целесообразности проведения модернизации дороги. Однако при таком подходе вопросы нагруженности элементов конструкции учитываются наименьшим образом. Поэтому проведение исследований с целью формирования новых и гармонизации существующих методик проектного и проверочного (позволяющего оценить техническое состояние действующей дороги) расчетов является актуальной задачей с точки зрения обеспечения безопасности грузо- и пассажироперевозок.

Величина пропускной способности особенно важна для пассажирских канатных дорог, введенных в эксплуатацию десятки лет назад и являющихся одним из основных видов транспорта в месте их расположения. Примером таковой может служить пассажирская подвесная канатная дорога маятникового типа «Мисхор – Ай-Петри», основной задачей которой является доставка туристов и местных жителей от подножья к вершине горы с минимальными затратами времени за счет прямолинейности профиля трассы в плане.

Поскольку количество пассажиров с каждым годом увеличивается, возникла необходимость повышения пропускной способности дороги, которая, как известно [1], зависит от вместимости вагонов, продолжительности цикла транспортировки и прочих факторов, влияние которых мало, а учет сложен. При условии сохранения вместимости вагонов (что обеспечит неизменность рабочей нагрузки с достаточной степенью точности) возможным представляется снижение продолжительности транспортировки за счет модернизации конструкции дороги.

В работе [2] специалистами организации, осуществляющей эксплуатацию и обслуживание указанной дороги, предложен один из вариантов решения сформулированной выше проблемы, заключающийся в изменении размещения опор вдоль трассы с целью уменьшения количества циклов разгона и торможения, осуществляемых при проходе вагонами опор. Данное техническое решение позволяет увеличить расчетную пропускную способность дороги почти в 1,5 раза, что, безусловно, является весьма полезным. Тем не менее, учитывая указанные ранее соображения, необходимо также оценить влияние предлагаемой модернизации на нагруженность элементов конструкции дороги с целью сохранения запаса прочности и обеспечения безопасности эксплуатации.

Нагруженность элементов привода канатной дороги как при проектировании, так и в процессе эксплуатации можно оценить, основываясь на результатах анализа диаграмм окружных усилий [3], отражающих изменение соответствующей величины во времени, либо как функции положения вагонов на трассе. При этом приведенные в работе [4] методика и рекомендации позволяют построить диаграммы окружных усилий привода модернизированной дороги до внесения конструктивных изменений.

Целью данной работы является формирование математической модели, позволяющей построить диаграммы окружных усилий привода канатной дороги «Мисхор – Ай-Петри», выполнить анализ нагруженности элементов привода (по величине окружного усилия) и выдать рекомендации относительно целесообразности проведения предложенной в работе [2] модернизации с точки зрения минимизации нагруженности и улучшения условий работы привода.

При формировании математической модели будем руководствоваться принципами модульной компоновки [5], что позволит обобщить полученные результаты с возможностью применения при анализе аналогичных конструкций.

Результаты исследований [6] свидетельствуют о нецелесообразности размещения опоры двухпролетной маятниковой канатной дороги таким образом, чтобы вагоны проходили ее одновременно (равенство длин траекторий движения вагонов в обоих пролетах), так как это увеличивает (порой весьма существенно – в зависимости от технических характеристик дороги) нагруженность тягового каната и элементов привода. Поскольку данный принцип положен в основу предложенной в работе [2] модернизации, необходимо провести аналогичные исследования по следующим исходным данным:

- профиль – согласно рис. 1;
- полезная нагрузка $P = 32 \text{ кН}$ (40 пассажиров по 80 кг);
- вес пустого вагона $P_0 = 18 \text{ кН}$;
- погонный вес несущего каната $q_n = 0,1263 \text{ кН/м}$ (канат закрытый несущий по ГОСТ 7675-73 диаметром 47 мм);
- погонный вес тягового каната $q_t = 0,01635 \text{ кН/м}$ (канат двойной свивки по ГОСТ 2688-80 диаметром 21 мм; диаметры головного и хвостового канатов принимаем равными);
- рабочее усилие натяжного устройства, воспринимаемое одной ветвью тягового каната, $T_0 = 56,5 / 2 \text{ кН}$ (масса противовеса 5,65 т);
- длина каната на трассе $L_k = 1342 \text{ м}$.

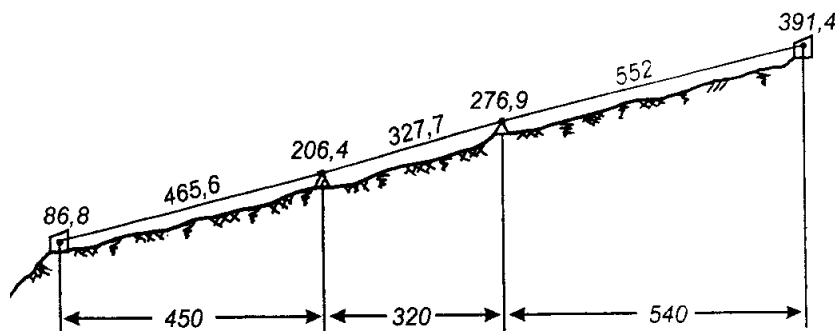


Рис. 1. Профиль канатной дороги «Мисхор – Ай-Петри»

Окружное усилие привода U может быть определено как разность натяжений набегающей на приводной шкив и сбегающей с него ветвей тягового каната ($T_{нб}$ и $T_{сб}$ соответственно). При этом величины натяжений определяются по формулам [4]:

$$T_{нб} = P_n C_p \cos \gamma_n + P_n \sin \gamma_n + W_n; \quad (1)$$

$$T_{сб} = -P_v C_p \cos \gamma_v + P_v \sin \gamma_v + W_v, \quad (2)$$

где P_n , P_v – составляющие веса нижнего и верхнего вагонов соответственно, воспринимаемые одним тяговым канатом (в рассматриваемой дороге два тяговых каната; под нижним следует понимать вагон, движущийся от нижней станции к верхней, верхний вагон – во встречном направлении);

γ_n , γ_v – углы подъема нижнего и верхнего вагонов соответственно;

W_n , W_v – составляющие натяжения ветвей тягового каната от собственного веса со стороны нижнего и верхнего вагонов соответственно;

C_p – коэффициент сопротивления движению вагона.

Величины P_n и P_v для двух случаев, характеризующих максимальную нагруженность элементов привода, могут быть определены следующим образом:

- нижний вагон полный, верхний – пустой

$$P_{\text{н}} = 0,5(P + P_0); P_{\text{в}} = 0,5P_0; \quad (3)$$

– нижний вагон пустой, верхний – полный

$$P_{\text{н}} = 0,5P_0; P_{\text{в}} = 0,5(P + P_0). \quad (4)$$

Значения углов подъема могут быть определены из таких выражений:

$$\operatorname{tg} \gamma_{\text{н}} = \operatorname{tg} \beta + \frac{P_{\text{н}} \cos \beta + (q_{\text{н}} + q_{\text{т}})l}{2H \cos \beta} \left(1 - 2 \frac{x_{\text{н}}}{l}\right); \quad (5)$$

$$\operatorname{tg} \gamma_{\text{в}} = \operatorname{tg} \beta + \frac{P_{\text{в}} \cos \beta + (q_{\text{н}} + q_{\text{т}})l}{2H \cos \beta} \left(1 - 2 \frac{x_{\text{в}}}{l}\right), \quad (6)$$

где β , l – угол наклона хорды и длина пролета соответственно;

H – горизонтальная составляющая натяжения несущего каната

$x_{\text{н}}$, $x_{\text{в}}$ – координаты, определяющие положение нижнего и верхнего вагонов по горизонтали относительно верхних опор соответствующих пролетов.

Составляющие натяжения ветвей тягового каната от собственного веса могут быть определены по формулам:

$$W_{\text{н}} = T_0 + q_{\text{т}}(h_{\text{с}} + fl_{\text{с}}); \quad (7)$$

$$W_{\text{в}} = T_0 - q_{\text{т}}(h_{\text{с}} + fl_{\text{с}}), \quad (8)$$

где f – коэффициент сопротивления движению тягового каната;

$h_{\text{с}}$ – перепад высот по конечным станциям;

$l_{\text{с}}$ – длина дороги по горизонтали.

Используя приведенную в работе [4] методику определения величины H и указанные формулы, строим диаграммы окружных усилий привода до и после модернизации дороги (рис. 2). При этом смещение пиковых значений вдоль оси абсцисс объясняется сутью модернизации – смещением опор вдоль трассы [2].

Из диаграмм следует, что изменение пиковых (максимальных и минимальных) значений окружного усилия находится в пределах 10 %, что может считаться допустимым, учитывая нормативный запас прочности и прогнозируемый экономический эффект модернизации. Однако изменение амплитуды колебаний (разности значений пиков одного всплеска величины окружного усилия) превышает 30 % в сторону увеличения таковой для привода модернизированной дороги, что безусловно негативно отразится на нагруженности элементов привода при динамических нагрузках, сопровождающих процессы разгона и торможения при прохождении вагонами опор. В подобных случаях рекомендуется производить более глубокий технико-экономический анализ для обоснования целесообразности введения предложенной модернизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беркман, М. Б. Подвесные канатные дороги / М. Б. Беркман [и др.]. – М.: Машиностроение, 1984. – 264 с.

2. Сванидзе, Л. Г. Размещение опор маятниковой канатной дороги / Л. Г. Сванидзе, В. Ф. Супрунов // Подъемные сооружения. Специальная техника. – 2009. – № 4.
3. Сванидзе, Л. Г. Окружные усилия на шкивах канатных дорог / Л. Г. Сванидзе, В. Ф. Супрунов // Подъемные сооружения. Специальная техника. – 2008. – № 7. – С. 48-50.
4. Горячев, Ю. К. Построение диаграмм окружных усилий привода маятниковой подвесной канатной дороги / Ю. К. Горячев, Л. Г. Сванидзе, А. С. Куропятник, В. Ф. Супрунов // Подъемно-транспортная техника. – 2010. – № 4.
5. Горячев, Ю. К. Применение принципа модульной компоновки к математическому моделированию нагруженности несущего каната маятниковой подвесной дороги / Ю. К. Горячев, А. С. Куропятник // Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава. – 2010. – № 2(27). – С. 205-214.
6. Горячев, Ю. К. Рациональное размещение опоры двухпролетной маятниковой подвесной канатной дороги / Ю. К. Горячев, А. С. Куропятник // Подъемно-транспортная техника. – 2010. – № 2.

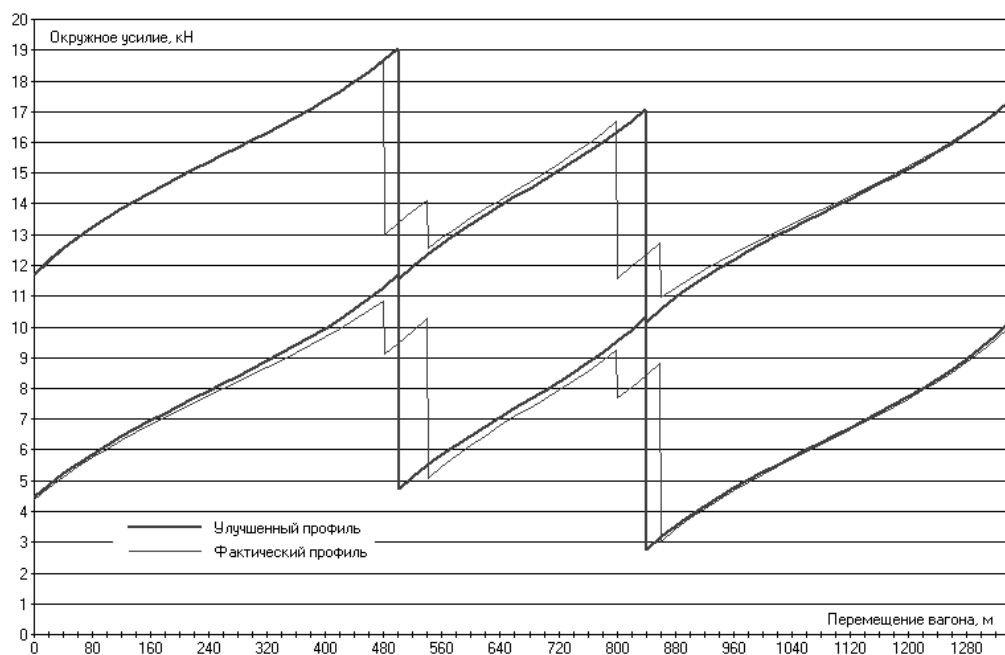


Рис. 2. Диаграммы окружных усилий

© Горячев Ю. К., Куропятник А. С., 2011