

УДК 624.5(23)

## **Дослідження навантажень на металеві конструкції буксирувальних канатних доріг**

**Пічугін С.Ф., д.т.н., Склярєнко С.О., аспірант**

Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка,  
Україна

**Анотація.** Розглядаються результати експериментального дослідження навантажень на конструкції буксирувальних канатних доріг та оптимізація їх проектування на основі аналізу експерименту та набутого досвіду практичного втілення отриманих результатів. Наведена методика визначення розрахункових параметрів підйомників буксирувальних канатних доріг.

**Аннотация.** Рассматриваются результаты экспериментального исследования нагрузок на конструкции буксировочных канатных дорог и оптимизация их проектирования на основе анализа эксперимента и приобретенного опыта практического воплощения полученных результатов. Приведена методика определения расчетных параметров подъемников буксируемых канатных дорог.

**Abstract.** The results of experimental research of constructional loads acting on towing rope-ways and their design optimization on the basis of experimental analysis and experience gained proceeding from practical application are considered. The specified method for determination of design parameters of towing rope-way lifting systems is given.

**Ключові слова:** буксирувальні канатні дороги, сталеві конструкції опор, несучо-тяговий трос, профілювання траси.

Розвиток гірськолижного спортивного та туристичного відпочинку в Україні та країнах СНД потребує вирішення проблем, пов'язаних із буксирувальними канатними дорогами (БКД) для лижників. Як відзначалось в [1–4], до них відносяться відсутність методик проектування, нормативного забезпечення, процес повторного встановлення обладнання, що вже експлуатувалось на схилах Західної Європи та ін.

Запропонована методика [1–5] проектування підйомників БКД представлена двома складовими:

- визначення впливу лижника на несучо-тяговий трос (НТТ) (рис. 1);
- моделювання підйомника БКД як системи, в якій всі впливи на НТТ представлені у вигляді розподіленого навантаження. При цьому було сформульовано ряд гіпотез, які стосувались кута передачі буксирувального зусилля як сталої величини (26–28°) та кутів ухилу НТТ та поверхні схилу як рівних між собою.

Проведені експериментальні натурні дослідження на підйомнику БКД "КОРЧАК" у с. Стасі, Диканського р-ну, Полтавської обл. мали за мету підтвердити достовірність розробленої теоретичної методики розрахунку несучих сталевих конструкцій БКД. Натурні та лабораторні експериментальні дослідження впливу значення коефіцієнта тертя лиж по снігу та зроблені відповідні уточнення дозволили знизити розходження теоретичних та фактичних даних до 13,5–15 %.

При спостереженні за взаємним розміщенням елементів у моделі "лижник – НТТ" були виявлені неточності основної розрахункової схеми (рис. 1) та залежність зусиль від вихідних параметрів: маси лижника –  $m$  та кута нахилу поверхні схилу –  $\beta$ . Тому паралельно з основними експериментальними дослідженнями було проведено фотозйомку лижників у процесі підйому на різних ділянках схилу.

За фото, переведеними у графічний редактор, були створені обриси основних напрямків зусиль (рис. 2).

З обрисів знімалися кути між основними осями: поверхнею схилу, несучо-тяговим тросом, відповідними нормаллями, нахилом лижника та тросиком буксирного приладу (рис. 3). На основі отриманих даних був проведений статистичний аналіз.

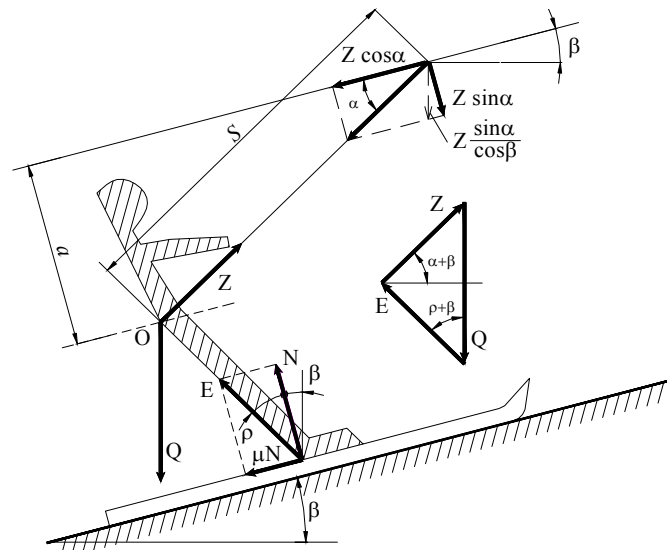


Рис. 1. Теоретична схема "лижник – несучо-тяговий трос"

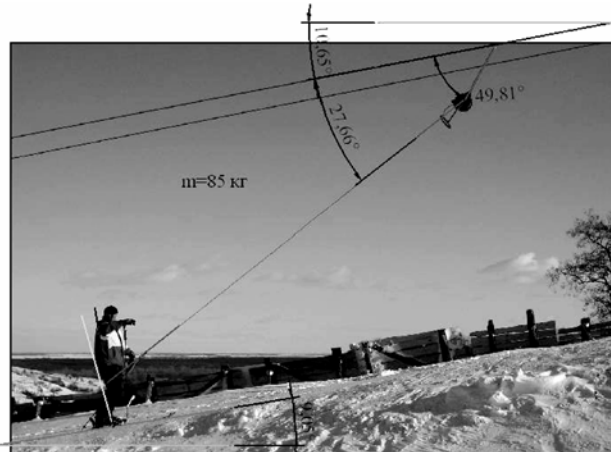


Рис. 2. Приклад обрисів результатів фотозйомки системи "лижник – НТТ"

У результаті були помічені залежності між кутами:  $\alpha_1$  – кут між НТТ та бугелем;  $\alpha_2$  – кут між НТТ та тросиком бугеля;  $\beta_1$  – кут між поверхнею схилу та горизонталлю;  $\beta_2$  – кут між НТТ та горизонталлю та масою лижника  $m$ .

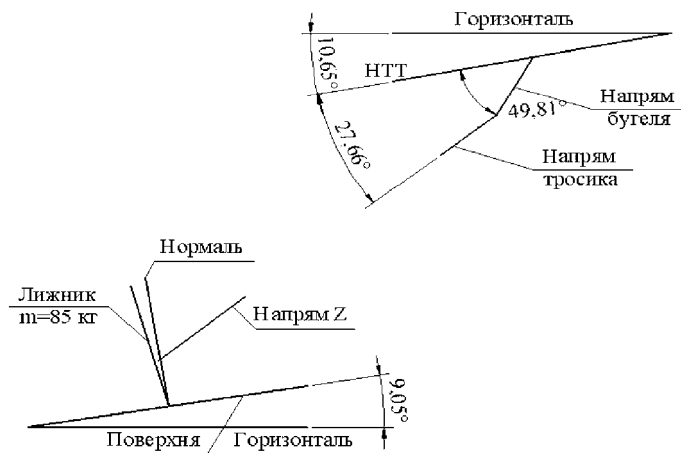


Рис. 3. Приклад зняття основних напрямів із обрисів системи "лижник – несучо-тяговий трос"

При цьому кути  $\beta_1$  та  $\beta_2$  в цілому співпадають (різниця не перевищує 5 %) та можуть бути прирівняні до значення середнього ухилу траси –  $\beta$ , що було прийнято у попередніх дослідженнях [1–4].

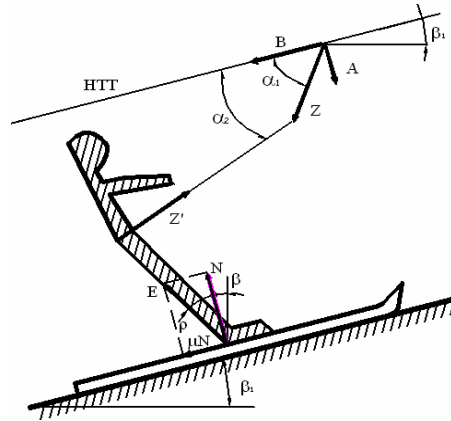


Рис. 4. Уточнена схема системи "лижник – несучо-тяговий трос":  
 $Z, Z'$  – зусилля буксирування;  $A$  – нормальна складова;  $B$  – поздовжня складова

Зазначені залежності спостерігались для лижників різної маси 35, 45, 55, 65, 75, 85 та 90 кг (відповідно до маси лижників у експерименті – рис. 5):

$$K_1 = \frac{\alpha_2}{\beta}; \quad K_2 = \frac{\alpha_1}{\alpha_2}; \quad (1)$$

$$\alpha_2 = K_1 \cdot \beta; \quad \alpha_1 = K_2 \cdot \alpha_2.$$

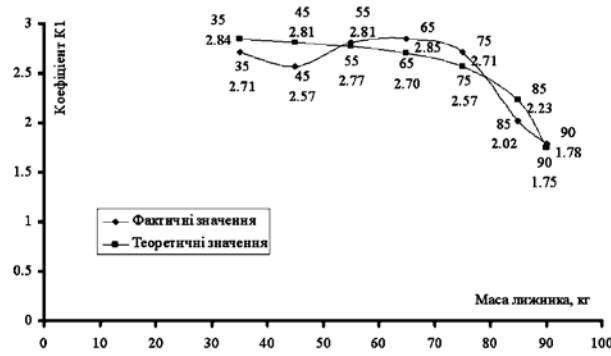
Підбір функцій, що найбільш точно описували експериментальні дані, дозволив знайти значення емпіричних коефіцієнтів  $K_1$  та  $K_2$ :

$$K_1 = \frac{10}{m-98} + 3; \quad K_2 = \frac{220}{m} + \frac{m}{13} - 6,5. \quad (2)$$

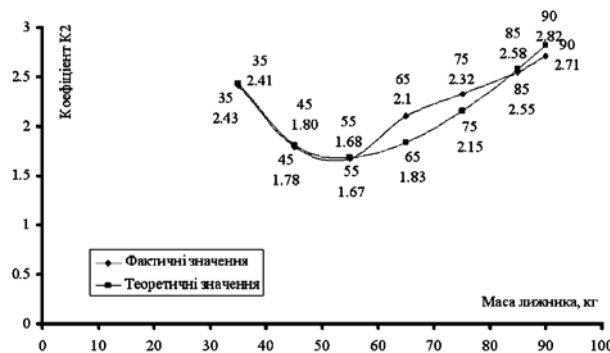
Після співставлення формул (1) та (2) отримаємо залежність кута передачі буксирувального зусилля від середньої маси лижника (до 98 кг) та середнього ухилу траси:

$$\alpha_1 = \beta \left( \frac{10}{m-98} + 3 \right) \left( \frac{220}{m} + \frac{m}{13} - 6,5 \right). \quad (3)$$

Отримані залежності були враховані для уточнення інженерної методики до фактичної роботи конструкції. До розрахунку були включені реальні коефіцієнти тертя, маси лижників та знайдені залежності кутів передачі буксирувального зусилля. Отримані результати (рис. 6) були меншими за фактичні, причому похибка в середньому залишається сталою і становить 7–8 %.



а



б

Рис. 5. Графіки залежностей емпіричних коефіцієнтів від маси лижника:  
а – коефіцієнта  $K_1$  від  $m$ ; б – коефіцієнта  $K_2$  від  $m$

Результати досліджень були впроваджені при проектуванні 10 реальних підйомників БКД та їх повторному обстеженні, що в середньому склало близько 90 ділянок реальних трас. Недоліки попередньої теоретичної моделі були виявлені на ранніх етапах проектування при повторному обстеженні канатних доріг та виправлені під час виконання пусконаладжувальних робіт.

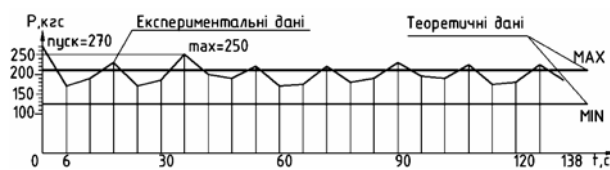


Рис. 6. Порівняння уточненої інженерної методики та експериментальних даних

Таблиця 1

Параметри запроєктованих трас БКД

№	Назва	Довжина траси, $L$ , м	Зусилля натягу, $G_0$ , кН	К-ть опор
1	Суми	201,8	30	5
2	Іршава	211,13	30	4
3	Німчич 2	257	29	5
4	Корчак	313,55	22	5
5	Німчич 1	365,54	30	6
6	Хуст	618,5	35	9
7	Квітка Карпат	622,91	43	9
8	Вершина Карпат	722,53	55	8
9	Драгобрат	889,46	40	11
10	Мігово	942,36	51	11

Підйомники БКД в основному влаштовуються в регіоні Карпат, 2 траси встановлені в Сумській та Полтавській областях. Все обладнання виробництва фірм "Leitner" та "Doppelmaier" раніше експлуатувалось на схилах країн Західної Європи.

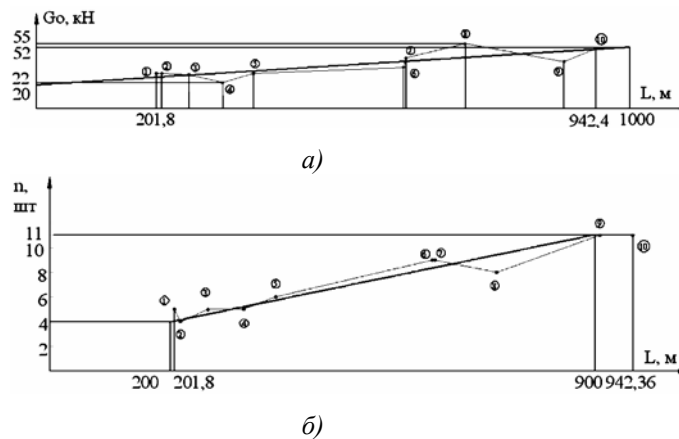


Рис. 7. Орієнтовні графіки експрес-оцінки траси БКД:  
а – залежність відтяжного зусилля від довжини схилу траси;  
б – залежність кількості проміжних опор від довжини схилу траси

У ході аналізу профілів траси та їх параметрів було виявлено ряд закономірностей, що ілюструються на рис. 7. Узагальнення досвіду проектування буксирувальних канатних доріг дозволило розробити

графіки експрес-оцінки кількості проміжних опор та величини відтяжного зусилля з урахуванням геометричних характеристик поверхні схилу. Особливо слід відмітити графік залежності кількості опор від довжини схилу. Незважаючи на лінійну залежність перепаду схилу від його закладення, графік має обмеження при довжині схилу до 200 м та після 900 м, що обумовлено конструктивною необхідністю та мінливим локальним рельєфом поверхонь схилу трас.

Слід зауважити, що значення, отримані за графіками, є лише орієнтовними і повинні бути уточнені відповідно до процесу профілювання кожної траси окремо.

У результаті проведеної роботи були одержані наступні результати.

1. Накопичено та проведено статистичну обробку значної кількості розрахункових параметрів підйомників БКД, що дає можливість виконати розрахунок надійності конструкцій.
2. Внесені пропозиції до вдосконалення проекту нормативного документа НПАОП 92.0-1-01-06 "Правила влаштування безпечної експлуатації витягів буксирувальних канатних для лижників" [6], що стосуються конструктивних вимог до процесу профілювання.
3. Проведений аналіз та розроблена класифікація дефектів буксирувальних канатних доріг, що має бути враховано при проведенні обстежень.
4. Аналіз реконструкцій та повторного встановлення БКД дозволяє прийняти до використання та оцінити розроблені методи виправлення нештатних змін у проекті БКД та помилок при їх будівництві.
5. Використовуючи досвід будівництва та експлуатації БКД, було розроблено нову, більш раціональну конструкцію проміжної опори БКД [1], що дозволяє швидко та без демонтажу стійок опори прилаштовувати підйомник відповідно до змін у навантаженні та застосовувати опори при повторному використанні на іншому схилі.

### **Висновки**

Проведення натурних експериментальних досліджень дозволило уточнити алгоритм розрахунку конструкцій буксирувальних канатних доріг та рекомендувати його як інженерну методикку. Накопичені теоретичні дослідження дали можливість окреслити необхідні технічні умови при проектуванні споруд БКД, оптимальні рішення та шляхи їх досягнення.

## **Література**

- [1] *Пічугін С.Ф., Семко О.В., Трусов Г.М., Склярєнко С.О.* Узагальнення досвіду проектування буксирувальних канатних доріг. // Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ, 2005. – Вип. 15 – С. 54–60.
- [2] *Пічугін С.Ф., Склярєнко С.О.* Дослідження дійсної роботи сталевих несучих конструкцій проміжних опор буксирувальних канатних доріг. // Збірник наукових праць "Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди" – Рівне: Національний університет водного господарства та природокористування, 2006. – № 14 – С. 284–293.
- [3] *Пічугін С.Ф., Склярєнко С.О.* Загальний підхід до визначення навантаження на сталеві несучі елементи буксирувальних канатних доріг. // Збірник "Автомобільні дороги і дорожнє будівництво" – Київ.: НТУ, 2006. – № 73 – С. 244–247.
- [4] *Пічугін С.Ф., Трусов Г.М., Склярєнко С.О.* Питання проектування буксирувальних канатних доріг // Вісник Донбаської державної академії будівництва та архітектури. Будівельні конструкції, будівлі та споруди. – Макіївка, 2004. – № 2 (44).
- [5] Подвесные канатные дороги / М.Б. Беркман, Г.Н. Бовский, Г.Г. Куйбида, Ю.С. Леонтьев. – М.: Машиностроение, 1984. – 264 с.
- [6] НПА ОП 92.0-1-01-06 "Правила влаштування безпечної експлуатації витягів буксирувальних канатних для лижників". Наказ МНС та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи 03.08.2006 № 499, Зареєстр.: в Мінюст 28.08.2006 р. за № 1014/1288.

*Надійшла до редколегії 20.07.2008 р.*