

## МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМИ КРИВОЇ, ЩО НАБУВАЄ РЯТУВАЛЬНА МОТУЗКА

Для проведення аварійно-рятувальних та евакуаційних робіт на висоті застосування похилої переправи значно полегшує завдання рятувальникам. Під час організації такої рятувальної системи рятувальники закріплюють мотузку під певним кутом та натягують її. Навантаження від натягу зумовлює певні пластичні деформації мотузки. Внаслідок цього відбувається візуальне провисання мотузки ще до спуску по ній потерпілого.

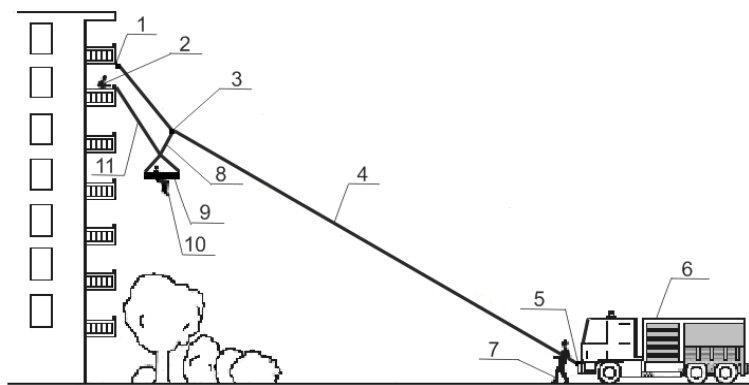
У даній статті змодельована форма кривої, яку набуває косо натягнута рятувальна мотузка, закріплена на двох опорах.

**Ключові слова:** рятувальна мотузка, похила переправа, спуск потерпілого, ланцюгова лінія.

**Вступ.** Під час виникнення надзвичайної ситуації у багатоповерховій будівлі основним завданням для рятувальників є евакуація людей з верхніх поверхів, які не змогли вчасно або самостійно покинути будівлю. Часто виконання такого завдання є можливим лише з використанням технічних елементів альпінізму, що потребує достатньої кваліфікації виконавців та надійності рятувального спорядження.

Аналіз великих пожеж, наприклад в готелях “Україна” (м. Київ, 2011р.), “SV” (м. Львів, 2010р.), “Україна” (м. Дніпропетровськ, 2011р.) показав, наскільки складне встановлення автодрабин і автопідіймачів, наскільки небезпечне і працемістке рятування потерпілих комбінованим методом та наскільки підвищується мобільність і ефективність проведення аварійно-рятувальних робіт на висоті із застосуванням методу масової евакуації потерпілих по похилій переправі. Суть методу полягає у контрольованому рятувальниками почерговому спуску потерпілих по косо-натягнутій здвоєній мотузці, яка є основним елементом рятувальної системи.

**Постановка проблеми.** Для організації похилої переправи рятувальникам необхідно розмістити мотузку між двома опорами. Один кінець мотузки закріпити на висоті до конструкції будівлі, а інший – внизу в безпечній зоні. Після цього мотузку натягують за допомогою автомобіля чи поліспасту (рис. 1). Навантаження від натягу зумовлює певні пластичні деформації мотузки. Внаслідок цього відбувається візуальне провисання мотузки ще до спуску по ній потерпілого. З метою забезпечення надійності похилої переправи постає нагальна потреба у проведенні дослідження динаміки спуску потерпілого по похилій переправі.



**Рис. 1.** Схема рятування потерпілого по навісній переправі:

- 1 – точка кріплення рятувальної мотузки до конструкції будівлі; 2 – рятувальник, який контролює швидкість спуску потерпілого; 3 – блок-ролик; 4 – основна здвоєна рятувальна мотузка; 5 – точка кріплення рятувальної мотузки до фаркопа автомобіля; 6 – рятувальний автомобіль; 7 – рятувальник, який приймає потерпілого; 8 – страхувальна стропа; 9 – рятувальні ноші із потерпілим; 10 – рятувальник, який супроводжує потерпілого; 11 – рятувальна мотузка, якою задають швидкість спуску

**Мета роботи.** Для подальшого дослідження динаміки спуску потерпілого по похилій переправі потрібно змодельувати форму кривої, якої набуде мотузка після закріплення на двох опорах.

**Виклад основного матеріалу.** Рятувальну мотузку, згідно з [1-3], можна розглядати як гнучку нерозтяжну нитку, розміщену між двома опорами  $A$  та  $B$  (рис. 2 а).

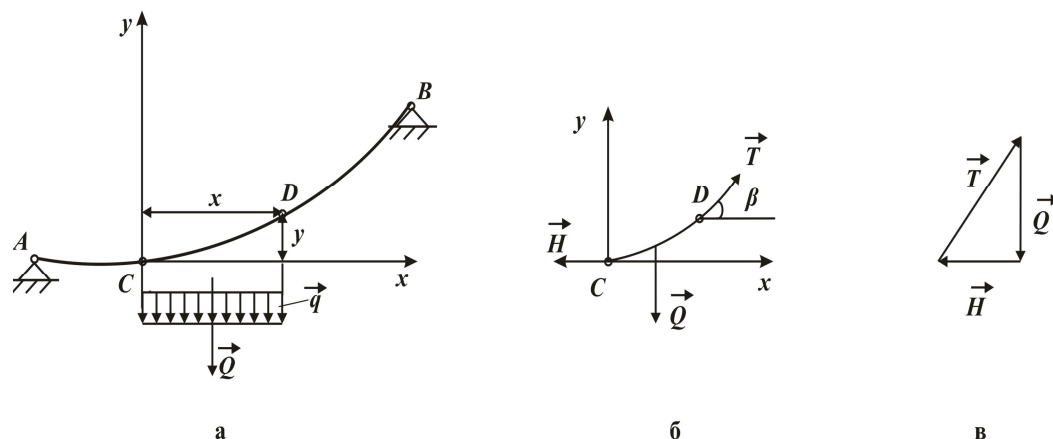


Рис. 2. Схема розрахунку гнучкої нитки

Двома близькими перерізами у точках  $C$  та  $D$  виділимо ділянку мотузки (рис. 2 б) та розглянемо рівновагу цієї ділянки. Точка  $C$  є найнижчою точкою кривої, форми якої набуде закріплена рятувальна мотузка, точка  $D$  – довільна точка кривої з координатами  $x$ ,  $y$ .

Виділену ділянку  $CD$  рятувальної мотузки, згідно з принципом затвердіння, можна розглядати як тверде тіло. Ця ділянка мотузки перебуває у рівновазі під дією трьох сил: вертикальної сили  $\vec{Q}$ , яка є рівнодійною розподіленого навантаження  $\vec{q}$  на ділянці  $CD$ , та двох зусиль розтягу  $\vec{H}$  та  $\vec{T}$ , які є реакціями з боку вилучених ділянок мотузки  $AC$  та  $DB$ . Сили  $\vec{H}$  і  $\vec{T}$  спрямовані вздовж дотичних до прямої у точках  $C$  та  $D$ . Вертикальна рівнодійна  $\vec{Q}$  проходить через центр тієї частини епюри розподіленого навантаження  $\vec{q}$ , яка розміщена між перерізами в точках  $C$  та  $D$ . У разі рівноваги ці сили утворюють замкнутий силовий трикутник (рис. 3 в). З цього трикутника маємо:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{Q}{H}.$$

Оскільки у вибраній системі координат  $\operatorname{tg} \beta = \frac{dy}{dx}$ , то попередній вираз набуває вигляду:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{Q}{H}. \quad (1)$$

Якщо вважати, що рятувальна мотузка навантажена у вертикальній площині  $Sxy$  розподіленим навантаженням  $\vec{q}$  від власної ваги, то приймаємо  $q = \text{const}$ . Рівнодійна цього навантаження дорівнює:

$$Q = q \cdot S, \quad (2)$$

де  $S$  – довжина ділянки мотузки між двома перерізами.

З урахуванням (2) вираз (1) набуває вигляду:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{q}{H} \cdot S. \quad (3)$$

Отримана залежність (3) є диференціальним рівнянням прогину гнучкої нерозтягнутої нитки [2].

Диференціал дуги кривої дорівнює

$$dS = \sqrt{dx^2 + dy^2}$$

або

$$dS = dx \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}. \quad (4)$$

Урахувавши у виразі (4) залежність (3), отримуємо:

$$dS = dx \sqrt{1 + \left(\frac{q}{H} \cdot S\right)^2}.$$

В отриманому виразі розділимо змінні

$$\frac{dS}{\sqrt{1 + \left(\frac{q}{H} \cdot S\right)^2}} = dx. \quad (5)$$

Уведемо в (5) позначення  $C_1 = \frac{H}{q}$  і проінтегруємо ліву та праву частини:

$$\int \frac{dS}{\sqrt{1 + \left(\frac{S}{C_1}\right)^2}} = \int dx + C_2,$$

де  $C_2$  – стала інтегрування.

Після інтегрування дістанемо:

$$C_1 \operatorname{arsh} \frac{S}{C_1} = x + C_2.$$

Звідси

$$S = C_1 \operatorname{sh} \frac{x + C_2}{C_1}. \quad (6)$$

Підставимо вираз (6) у диференціальне рівняння (3) і отримаємо:

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{sh} \frac{x + C_2}{C_1}. \quad (7)$$

Розділимо змінні у виразі (7)

$$dy = \operatorname{sh} \frac{x + C_2}{C_1} \cdot dx$$

та проінтегруємо

$$\int dy = \int \operatorname{sh} \frac{x + C_2}{C_1} \cdot dx + C_3,$$

де  $C_3$  – стала інтегрування. Після інтегрування маємо:

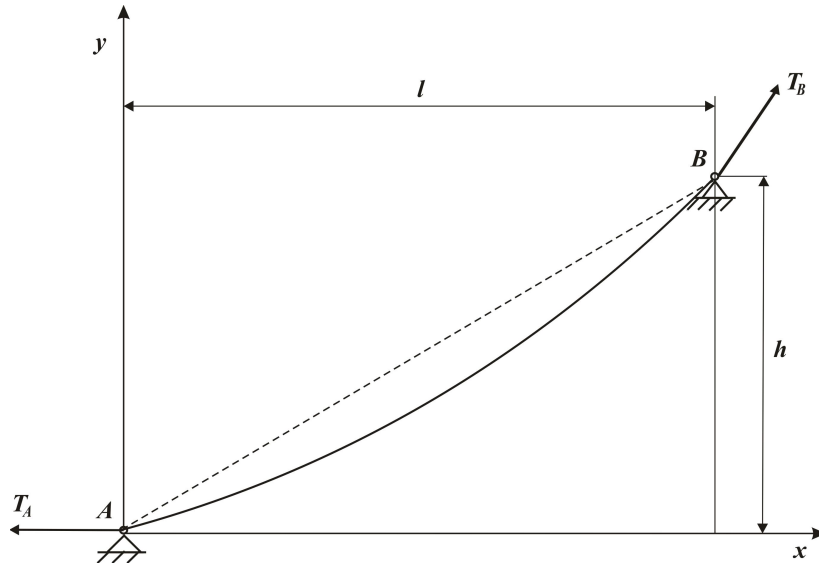
$$y = C_1 \operatorname{ch} \frac{x + C_2}{C_1} + C_3. \quad (8)$$

Отриманий вираз (8) є рівнянням ланцюгової лінії, а величини  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  – параметрами ланцюгової лінії [4, 5].

Параметр  $C_1$  визначаємо за умовою відомої довжини  $L$  мотузки:

$$L = \int_0^L \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx. \quad (9)$$

Параметри  $C_2$  та  $C_3$  визначаємо з граничних умов, тобто умов закріплених кінців рятувальної мотузки. Приймаємо, що кінці мотузки закріпленні шарнірно на верхній  $B$  та нижній  $A$  опорах (рис. 3).



**Рис. 3.** Розрахункова схема розміщення рятувальної мотузки

Якщо початок системи координат розмістити у точці  $A$ , то граничні умови мають вигляд: на опорі  $A$ :

$$x_A = 0; \quad y_A = 0;$$

на опорі  $B$ :

$$x_B = l; \quad y_B = h, \quad (10)$$

де  $l$  та  $h$  – відстань між опорами по горизонталі та вертикалі відповідно.

Після підстановки (9) та (10) у рівняння (8), отримаємо:

$$\begin{cases} C_1 \left( sh \frac{C_2 + l}{C_1} - sh \frac{C_3}{C_1} \right) = L; \\ C_1 ch \frac{C_2}{C_1} + C_3 = 0; \\ C_1 ch \frac{l + C_2}{C_1} + C_3 = h. \end{cases} \quad (11)$$

Систему трансцендентних рівнянь (11) розв'язано наближеним методом у математичному середовищі Maple 13 за таких даних:  $l = 32\text{м}$ ;  $h = 25\text{м}$ ;  $L = 41\text{м}$ . Ці дані відповідають реальній ситуації під час евакуації потерпілих з висоти 8-го поверху по похилій переправі, натягнутій автомобілем.

Значення параметрів ланцюгової лінії такі:

$$C_1 = 52,58;$$

$$C_2 = 21,25;$$

$$C_3 = -56,93.$$

За цих параметрів рівняння ланцюгової лінії, форму якої набуває рятувальна мотузка:

$$y = 52,58ch \frac{x + 21,25}{52,58} - 56,93. \quad (12)$$

Графік кривої, що відповідає рівнянню (12), показано на рис. 4.

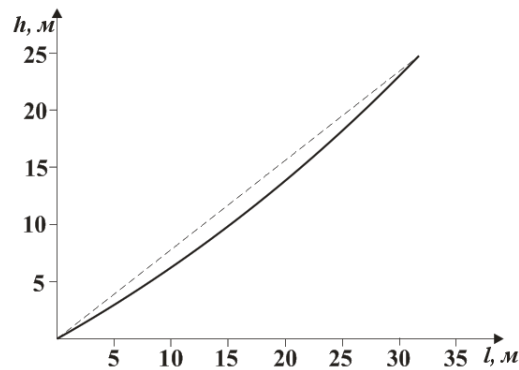


Рис. 4. Рятувальна мотузка у формі ланцюгової лінії

**Висновок.** При організації похилої переправи для евакуації потерпілих, косо натягнута рятувальна мотузка після закріплення на опорах та натягнення автомобілем набуде форми ланцюгової лінії. Визначені параметри ланцюгової лінії є необхідними для подальшого дослідження динаміки спуску потерпілого по похилій переправі.

#### Список літератури:

1. **Качурин В.К.** Теория висячих систем / В. К. Качурин. – Л. : Гостройиздат, 1962. – 224 с.
2. **Меркин Д.Р.** Введение в механику нити / Д. Р. Меркин. – М. : Наука, 1981. – 240 с.
3. **Бать М.И.** Теоретическая механика в примерах и задачах, т. III (специальные главы механики) : Учебное пособие / М.И. Бать, Г.Ю. Джанелидзе, А.С. Кельзон. – М.: Наука, 1973. – 488 с.
4. **Тисовський Л.О.** До визначення рівняння кривої прогину каната підвісної транспортної установки / Л.О. Тисовський, І.М. Рудько // Наук. вісник УкрДЛТУ : Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ, 2005. – № 15.1. – С. 137-142.
5. **Мартинців М.П.** Розрахунок основних елементів підвісних канатних лісотransпортних установок / М. П. Мартинців. – К. : Ясмина, 1996. – 175с.

*А.М. Петренко, Л.А. Кавецкий*

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМЫ КРИВОЙ, ЧТО ПРИОБРЕТАЕТ СПАСАТЕЛЬНАЯ ВЕРЕВКА

Для проведения аварийно-спасательных и эвакуационных работ на высоте применение наклонной переправы значительно облегчает задачу спасателям. При организации такой спасательной системы спасатели закрепляют веревку под определенным углом и натягивают ее. Нагрузка от натяжения вызывает определенные пластические деформации веревки. Вследствие этого происходит визуальное провисание веревки еще до спуска по ней пострадавшего.

В данной статье смоделирована форма кривой, которую приобретает косо натянутая спасательная веревка, закрепленная на двух опорах.

**Ключевые слова:** спасательная веревка, наклонная переправа, спуск пострадавшего, цепная линия

## **MODELLING OF CURVE SHAPE WHICH IS ACQUIRED BY RESQUE ROPE**

Application of inclined crossing considerably facilitates tasks of rescuers while conducting emergency rescue and evacuation works on height. During such rescue activities rescuers fasten rope and stretch it under a certain corner. Loading from a tension predetermines some plastic deformation of a rope. Consequently the visual sagging of rescue rope occurs before the descent of an injured person on it.

The article provides a model of curve shape which is obtained by obliquely stretched rescue rope fixed on two mainstays.

**Key words:** a rescue rope, inclined crossing, descent of an injured person, catenary.

