

2. Samset. Winch and Cabl Systems. Martinus Nijhoff/ Bx.W. Junk Publishers Bordrecht, 1985. – 539 p.

3. Лютий Є.М., Мартинців М.П., Бадера Й.С. Стан та перспективи розвитку канатного транспорту лісу в регіоні Українських Карпат// Наук. вісник УкрДЛТУ: Лісовий комплекс напередодні ХХІ століття: освіта, наука, виробництво. – Львів: УкрДЛТУ. – 1999, вип. 9.6. – С. 63-67.

4. Ливанов А.П. Эксплуатация горных лесов. – М: Лесн. пром-сть, 1983. – 224 с.

5. Скобей В.В., Савицкий Ю.Г., Бадера Й.С., Литвинчук Е.Н. Канатные системы на лесозаготовках в горных условиях// Лесозексплуатация и лесосплав. Обзорная информация. – М., 1984, вып. 10. – 48 с.

УДК 630.37

Доц. Л.О. Тисовський, канд. фіз.-мат. наук;
аспір. І.М. Рудько – НЛТУ України

РОЗРАХУНОК ЗАВАНТАЖЕНОГО НЕСУЧОГО КАНАТУ ТРАНСПОРТНОЇ УСТАНОВКИ

Зроблено постановку задачі про визначення форми прогину завантаженого канату транспортної установки. Отримано у замкнутому вигляді рівняння кривих прогину. Зроблено числовий розрахунок геометричних характеристик та силових факторів для конкретного випадку.

Doc. L.O. Tysovskiy; doctorate I.M. Rud'ko – NUFWT of Ukraine

Calculation of the Loaded Carrying Cable of Transport Plant

It is made the statement of a problem about definitions of the form of a deflection of the loaded cable of transport plant as floppy string. The equation of curves of deflection is received in the closed kind. It is carried out numerical calculation of geometrical characteristics and power factors for a concrete case.

У лісовій промисловості України підвісні дороги знайшли застосування порівняно недавно. Перші системи сучасного типу були побудовані тільки у другій половині ХІХ ст. Паралельно з канатними установками розвивалось й виробництво кабельних кранів для обслуговування лісових складів. Інтенсивне впровадження підвісних систем вимагало від дослідників рішення цілого ряду задач.

Вагомий внесок у розробку загальної теорії розрахунку гнучких ниток зробили А.І. Дукельський [1], Д.А. Абрамов, В.К. Качурін та ін. У галузі дослідження канатів напівпідвісних і підвісних трельовальних установок відомі наукові роботи Б.Г. Гулісашвілі, Н.М. Белої, А.Г. Прохоренка [2], М.П. Мартинціва [3]. Проте й сьогодні залишається актуальною проблема уточнення існуючих та створення універсальних методик розрахунку несучих канатів з урахуванням особливостей їх експлуатації.

Метою роботи є визначення зміни напруженого стану і форми прогину канату довжиною L , закріпленого в точках A і B , що знаходиться в рівновазі, при його завантаженні в точці C з абсцисою x_0 , зосередженою силою G , напрямленою вертикально вниз (рис. 1). При цьому довжина ділянки канату AC дорівнює L_1 , а ділянки BC – L_2 .

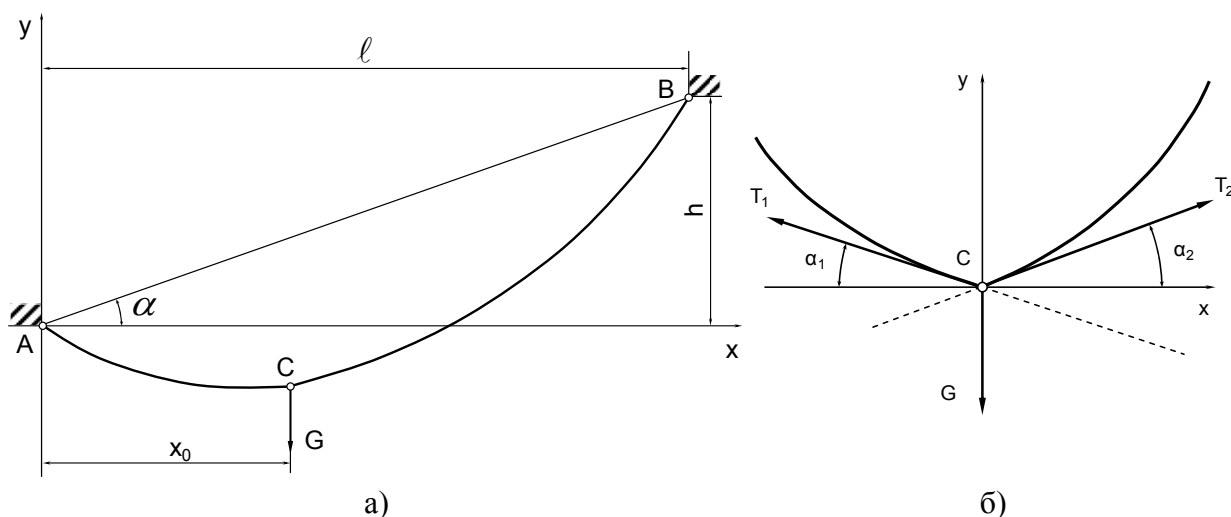


Рис. 1. Несучий канат у прямокутній системі координат:
а) розрахункова схема; б) сили, що діють на канат у точці С

Задачу розв'язуємо методом, суть якого полягає в наступному. На ділянки канату AC і CB діють рівномірно розподілені по довжині вертикально спрямовані сили. Тому кожна ділянка канату збігається з відрізком відповідної ланцюгової лінії [4], рівняння яких запишемо у наступному виді, до того ж перше рівняння відповідає ділянці канату AC , а друге – ділянці CB .

$$y_1 = C_1 \operatorname{ch}(x - C_2) / C_1 - C_3; \quad y_2 = C_4 \operatorname{ch}(x - C_5) / C_4 - C_6. \quad (1)$$

Запишемо граничні умови (рис. 1) і складемо відповідні рівняння рівноваги:

$$y_1|_{x=0} = 0; \quad \operatorname{ch} C_2 / C_1 = C_3 / C_1. \quad (2)$$

$$y_2|_{x=\ell} = h; \quad \operatorname{ch}(\ell - C_5) / C_4 = (h + C_6) / C_4. \quad (3)$$

$$y_1|_{x=x_0} = y_2|_{x=x_0}; \quad C_1 \operatorname{ch}(x_0 - C_2) / C_1 - C_3 = C_4 \operatorname{ch}(x_0 - C_5) / C_4 - C_6. \quad (4)$$

$$\sum F_{x(C)} = 0; \quad C_1 = C_4. \quad (5)$$

$$\sum F_{y(C)} = 0; \quad \operatorname{sh}(x_0 - C_5) / C_4 - \operatorname{sh}(x_0 - C_2) / C_1 = G / H. \quad (6)$$

$$L_1 + L_2 = L; \quad C_1 \left(\operatorname{sh} \frac{x_0 - C_2}{C_1} + \operatorname{sh} \frac{C_2}{C_1} \right) + C_4 \left(\operatorname{sh} \frac{\ell - C_5}{C_4} - \operatorname{sh} \frac{x_0 - C_5}{C_4} \right) = L. \quad (7)$$

У результаті перетворень із співвідношень (2)-(7) можна отримати систему трьох рівнянь з трьома невідомими

$$\begin{cases} \operatorname{sh} \frac{x_0 - C_5}{C_1} - \operatorname{sh} \frac{x_0 - C_2}{C_1} = \frac{G}{H}; \\ \operatorname{sh} \frac{x_0 - C_2}{C_1} + \operatorname{sh} \frac{C_2}{C_1} + \operatorname{sh} \frac{\ell - C_5}{C_1} - \operatorname{sh} \frac{x_0 - C_5}{C_1} = \frac{L}{C_1}; \\ \operatorname{ch} \frac{x_0 - C_2}{C_1} - \operatorname{ch} \frac{C_2}{C_1} - \operatorname{ch} \frac{x_0 - C_5}{C_1} + \operatorname{ch} \frac{\ell - C_5}{C_1} = \frac{h}{C_1}. \end{cases} \quad (8)$$

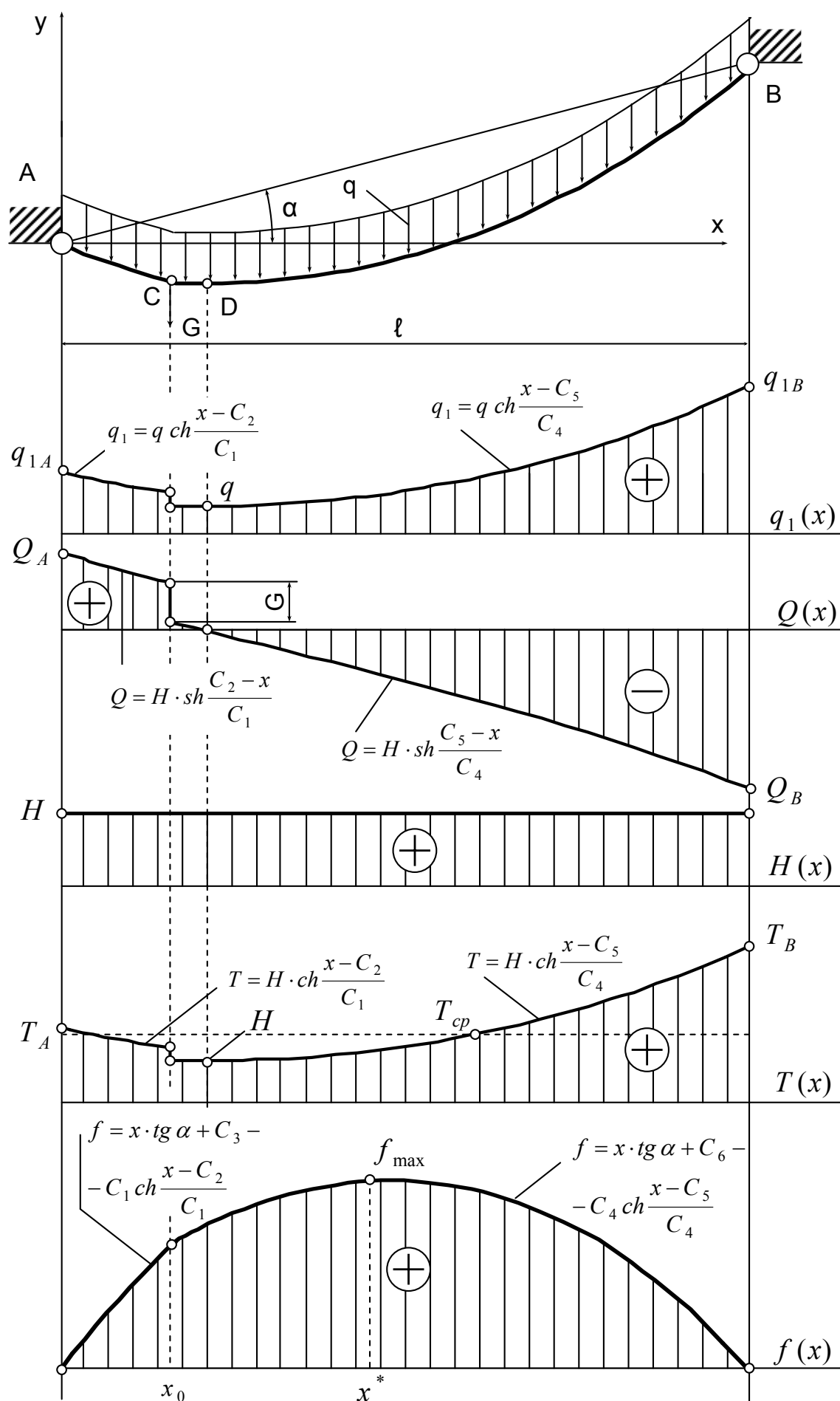


Рис. 2. Епюри навантаження, натягів та прогину

Розв'язати систему трансцендентних рівнянь (8) у замкнутому вигляді не вдається. Тому для знаходження розв'язку необхідно використовувати наближені методи. Ефективним у даному випадку є застосування методу послідовних наближень на основі багатofункціональних табличних процесорів (рис. 4, а). Систему рівнянь (8) можна розв'язати й графічно-аналітичним методом (рис. 4, б), суть якого полягає у зведенні даної системи до одного трансцендентного рівняння відносно невідомої величини C_1 . Даний метод є дещо складнішим у математичному плані, однак має ряд істотних переваг, зокрема дає змогу встановити, що отриманий розв'язок задачі є єдиним, та дає можливість перевірити правильність обчислення параметрів ланцюгових ліній.

Величина прогину, відрахованого від хорди прольоту, в будь-якій точці кривої визначається на основі залежності

$$f = \begin{cases} x \cdot \operatorname{tg} \alpha - C_1 \cdot \operatorname{ch}(x - C_2) / C_1 + C_3, & \text{при } 0 \leq x \leq x_0; \\ x \cdot \operatorname{tg} \alpha - C_4 \cdot \operatorname{ch}(x - C_5) / C_4 + C_6, & \text{при } x_0 < x \leq \ell. \end{cases} \quad (9)$$

Абсцису x^* (рис. 2), при якій прогин канату буде максимальним, знаходимо з умови $df/dx = 0$

$$x^* = C_{2(5)} + C_{1(4)} \cdot \operatorname{arsh}(\operatorname{tg} \alpha). \quad (10)$$

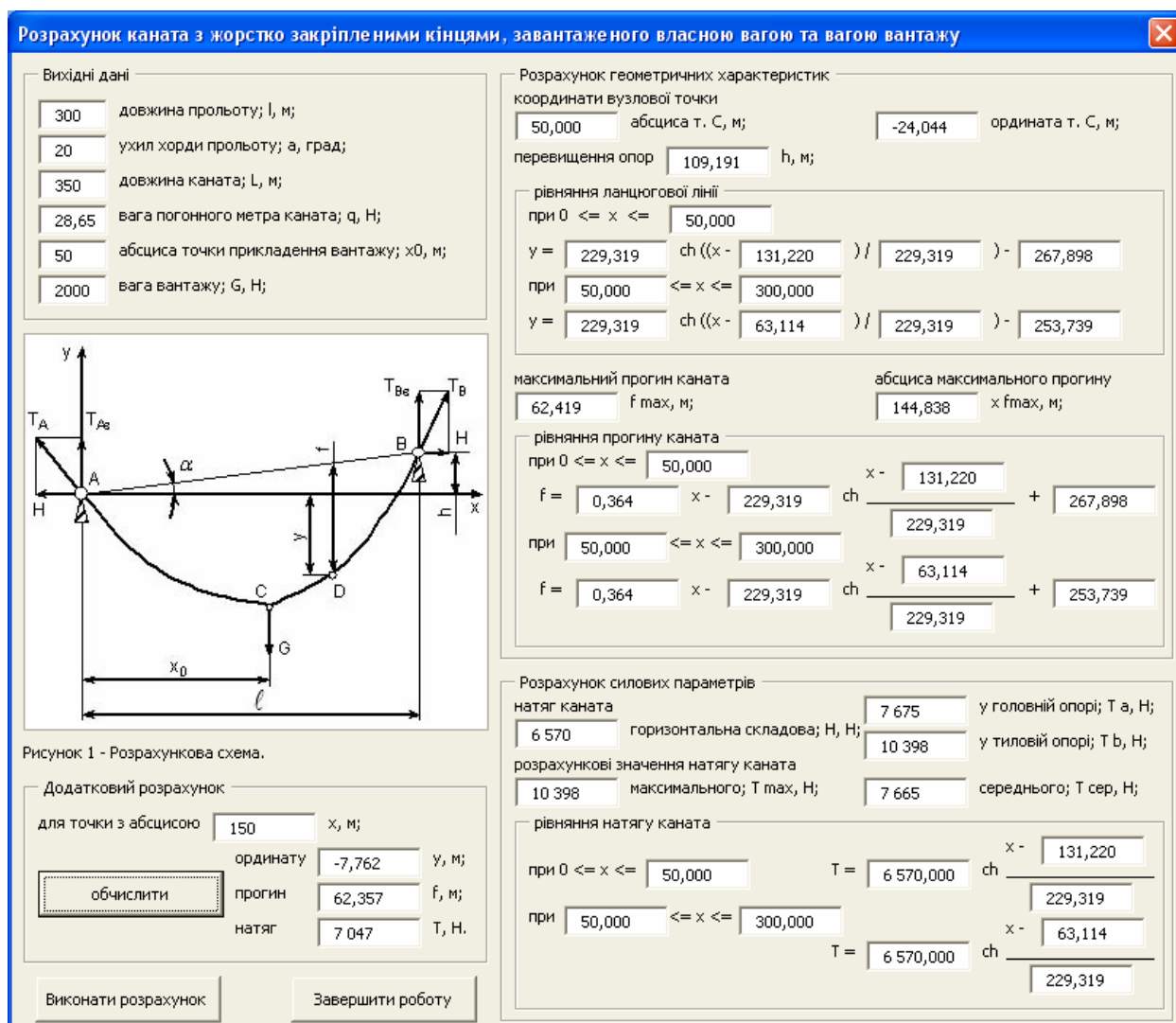
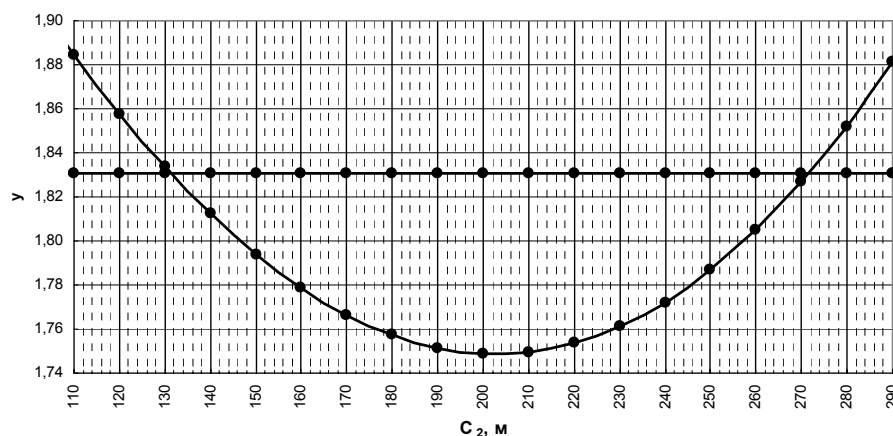


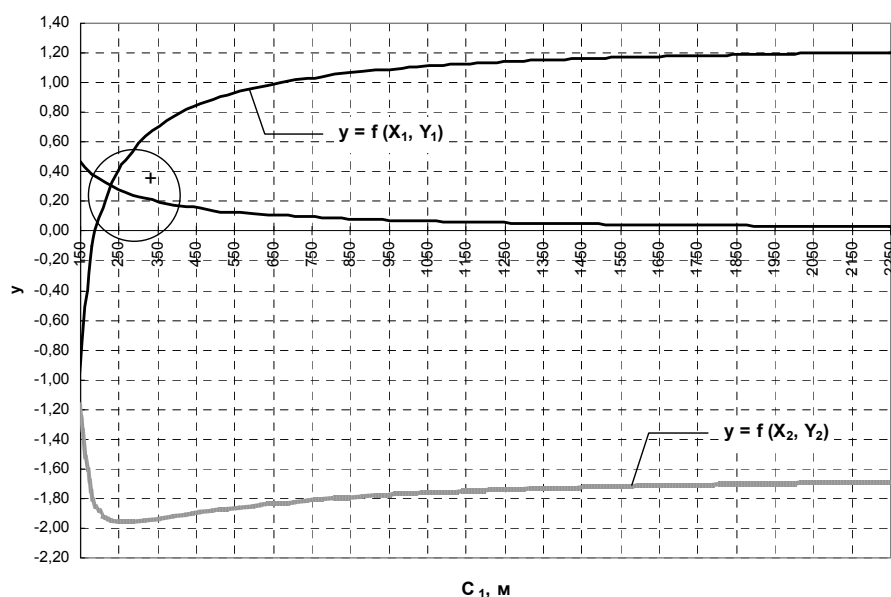
Рис. 3. Результати числового розрахунку



а)

Вихідні дані:

$L = 350 \text{ м}$,
 $\alpha = 20^\circ$,
 $q = 28,65 \text{ Н/м}$,
 $L = 350 \text{ м}$,
 $x_0 = 50 \text{ м}$,
 $G = 2000 \text{ Н}$.



б)

Результати
розрахунку:

$C_1 = 229,319 \text{ м}$,
 $C_2 = 131,220 \text{ м}$,
 $C_3 = 267,898 \text{ м}$,
 $C_4 = 229,319 \text{ м}$,
 $C_5 = 63,114 \text{ м}$,
 $C_6 = 253,739 \text{ м}$.

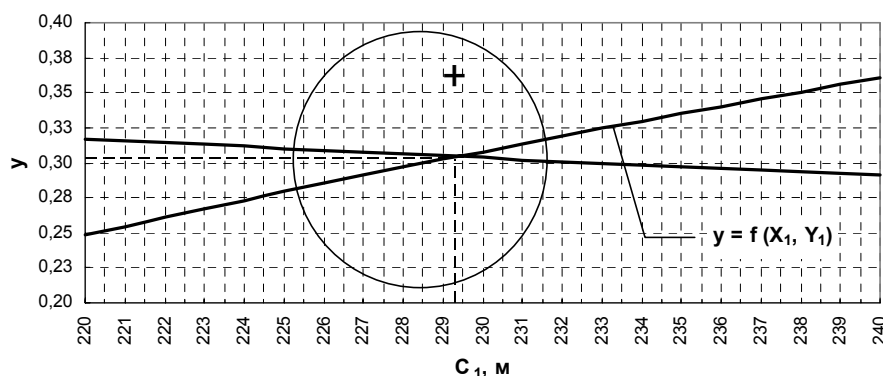


Рис. 4. Визначення параметрів кривих прогину несучого канату трельовальної установки за допомогою методу послідовних наближень (а) та графічно-аналітичного методу (б)

Використовуючи вже відому формулу $T = H \cdot \text{ch}(x/C_1)$ [4], визначаємо натяги в характерних точках для кожної з ділянок та величини середніх натягів (рис. 2):

- для ділянки канату AC

$$T_A = H \cdot \text{ch} \frac{C_2}{C_1}; T_C = H \cdot \text{ch} \frac{C_2 - x_0}{C_1}; T_{cp1} = \frac{H^2}{x_0 \cdot q} \left(\text{sh} \frac{C_2}{C_1} - \text{sh} \frac{C_2 - x_0}{C_1} \right);$$

- для ділянки канату CB

$$T_C = H \cdot ch \frac{C_5 - x_0}{C_4}; T_B = H \cdot ch \frac{\ell - C_5}{C_4}; T_{cp2} = \frac{H^2}{(\ell - x_0) \cdot q} \left(sh \frac{\ell - C_5}{C_4} - sh \frac{x_0 - C_5}{C_4} \right).$$

Середній натяг канату на довжині усього прольоту можна визначати за формулою

$$T_{cp} = (x_0 \cdot T_{cp1} + (\ell - x_0) \cdot T_{cp2}) / \ell. \quad (11)$$

Характер розподілу основних геометричних та силових характеристик канату представлено на рис. 2.

Використовуючи розроблений пакет прикладних програм, виконано числовий розрахунок несучого канату конкретної трелювальної установки (рис. 3-5).

Зазначимо, що ідентичність результатів числового аналізу в обох випадках свідчить про правильність обчислення шуканих параметрів.

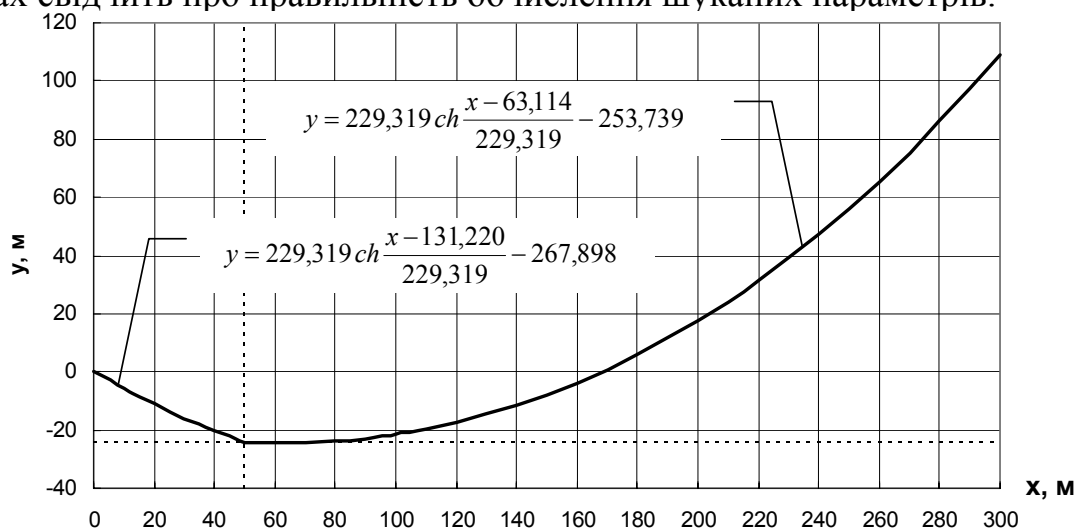


Рис. 5. Криві прогину канату

Висновки і перспективи подальшого розвитку. Створена методика визначення геометричних характеристик кривих прогину і силових параметрів несучого канату з урахуванням його ваги та ваги підвішеного вантажу. На цій основі розроблено пакет прикладних програм для розрахунку екстремальних та проміжних значень геометричних та силових факторів. Проведено числовий розрахунок несучого канату конкретної трелювальної установки.

Запропонована методика може бути використана при автоматизованому проектуванні підвісних транспортних систем.

Література

1. Дукельский А.И. Подвесные канатные дороги и кабельные краны. – М.-Л.: Машиностроение, 1966. – 484 с.
2. Белая Н.М., Прохоренко А.Г. Канатные лесотранспортные установки. – М.: Лесн. пром-сть, 1964. – 299 с.
3. Мартинців М.П. Розрахунок основних елементів підвісних канатних лісотransпортних установок. – К.: Ясмина, 1996. – 175 с.
4. Лютий Є.М., Тисовський Л.О., Рудько І.М. Визначення силових параметрів і геометричних характеристик кривої прогину канату у виді ланцюгової лінії// Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. Володимира Даля. – Луганськ. – 2003, № 12 (70). – С. 184-192.