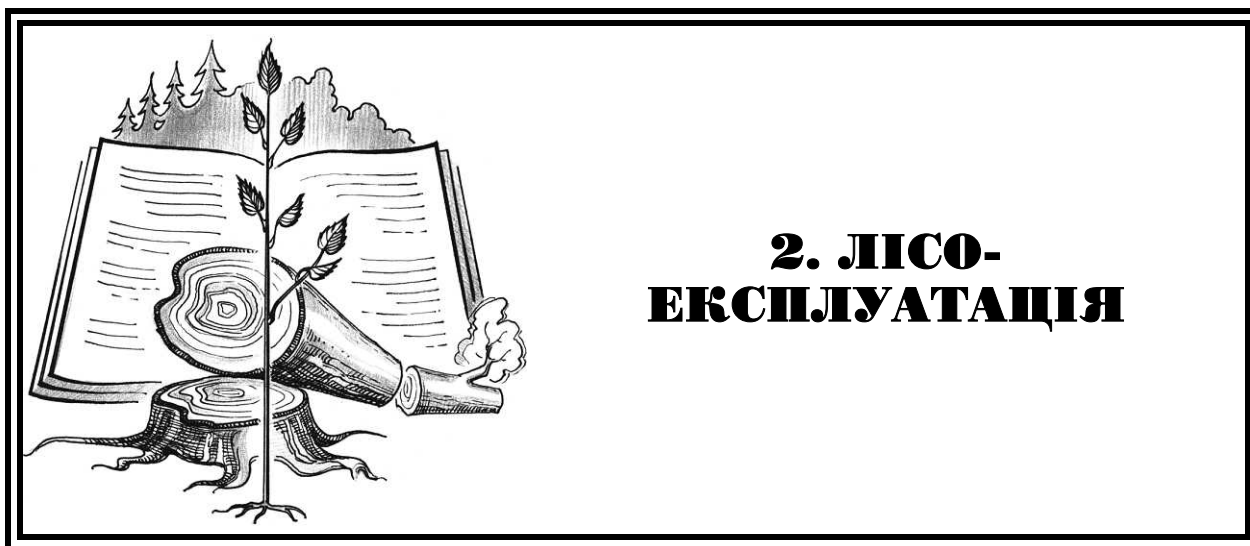




2. ЛІСО- ЕКСПЛУАТАЦІЯ

УДК 630.37

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

РОЗРАХУНОК НЕСУЧОГО КАНАТА, ЗАВАНТАЖЕНОГО ДОВІЛЬНО НАПРЯМЛЕНОЮ ЗОСЕРЕДЖЕНОЮ СИЛОЮ

Розроблено методику визначення параметрів ланцюгової лінії кривої прогину каната, завантаженого довільно напрямленою зосередженою силою. Отримано залежності для визначення силових та геометричних параметрів несучого каната. За допомогою створеної прикладної програми проведено числовий аналіз транспортної установки.

Doc. L.O. Tysovskyj; doctorate I.M. Rud'ko – NUFWTU

Calculation of the bearing cable loaded by any way directed concentrated force

The technique of definition of parameters of a chain line of a curve of a deflection of the cable loaded by any way directed concentrated force is developed. It is received dependences for definition of power and geometrical characteristics of a bearing cable. By means of the created applied program it is lead the numerical analysis of transport plant.

Несучий канат підвісної транспортної системи є її основним робочим елементом. У процесі експлуатації в ньому виникають значні напруження (розтягу, згину, контактні) від дії поздовжніх (монтажний натяг, дія тягового каната) та поперечних (власна вага, вага пакета деревини та вантажної каретки) навантажень. Від характеру та величини цих напружень залежить довговічність роботи каната, тому встановлення силових параметрів, що в основному визначають працездатність каната, та геометричних параметрів, що визначають працездатність канатної установки в цілому, має важливе практичне значення. Необхідно також відзначити, що отримані основні залежності розрахунку завантаженого каната будуть основою для розв'язання усіх прикладних питань, пов'язаних з розрахунком натягів канатів і їх прогинів. Тому задача є також актуальною і в теоретичному плані.

Для визначення розрахункових параметрів завантаженого каната розглянемо розрахункову схему, зображену на рис. 1. Така задача є статично невизначеною. Ряд вчених [1-4] подібну задачу розв'язувало шляхом синтезу

статичної, геометричної та фізичної сторін, використовуючи аналогію між прогинами гнучкої нитки і згинальними моментами простої балки з однаковими прольотами і навантаженням. Проте зроблені ними припущення значною мірою впливають на точність отриманих результатів навіть при малих стрілках прогину ($f/\ell \leq 1/20$) підвісної системи. У роботі [5] дана проблема виділена в окрему математичну задачу.

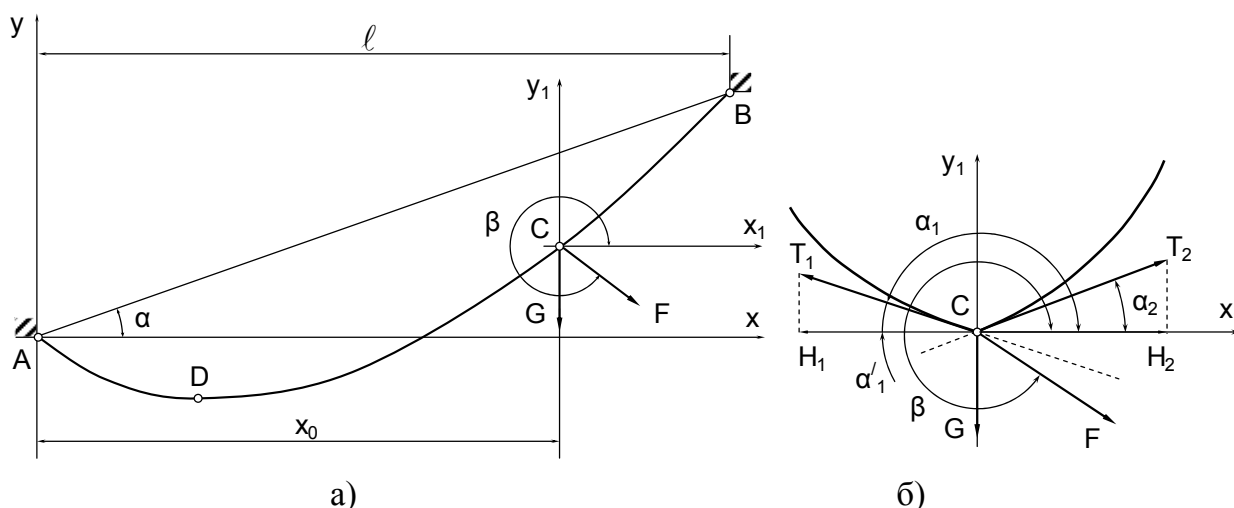


Рис. 1. Завантажений несучий канат у прямокутній системі координат:
а) розрахункова схема; б) сили, що діють на канат у т. С

Метою даної роботи є визначення силових і геометричних характеристик несучого каната, жорстко закріпленого в точках A і B , при його завантаженні в точці C з абсцисою x_0 зосередженим напрямленим вертикально вниз G та довільно напрямленим зусиллям F . При цьому довжина каната AB становить L , погонна вага каната – q .

Оскільки ділянки AC і CB завантажені лише власною вагою каната, рівномірно розподіленою по його довжині, то можна стверджувати, що кривими прогину каната на цих ділянках будуть ланцюгові лінії [6]. Рівняння кривих відповідно для ділянок AC і CB матимуть вигляд:

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

Запишемо граничні умови (рис. 1) і відповідні рівняння рівноваги каната в точці C :

$$\begin{cases} y_1|_{x=0} = 0; \\ y_2|_{x=\ell} = h; \\ y_1|_{x=x_0} = y_2|_{x=x_0}; \\ \sum F_{x(C)} = 0; \quad T_1 \cos \alpha_1 + T_2 \cos \alpha_2 + F \cos \beta = 0; \\ \sum F_{y(C)} = 0; \quad T_1 \sin \alpha_1 + T_2 \sin \alpha_2 - G + F \sin \beta = 0; \\ L_{\bar{AB}} = L. \end{cases} \quad (2)$$

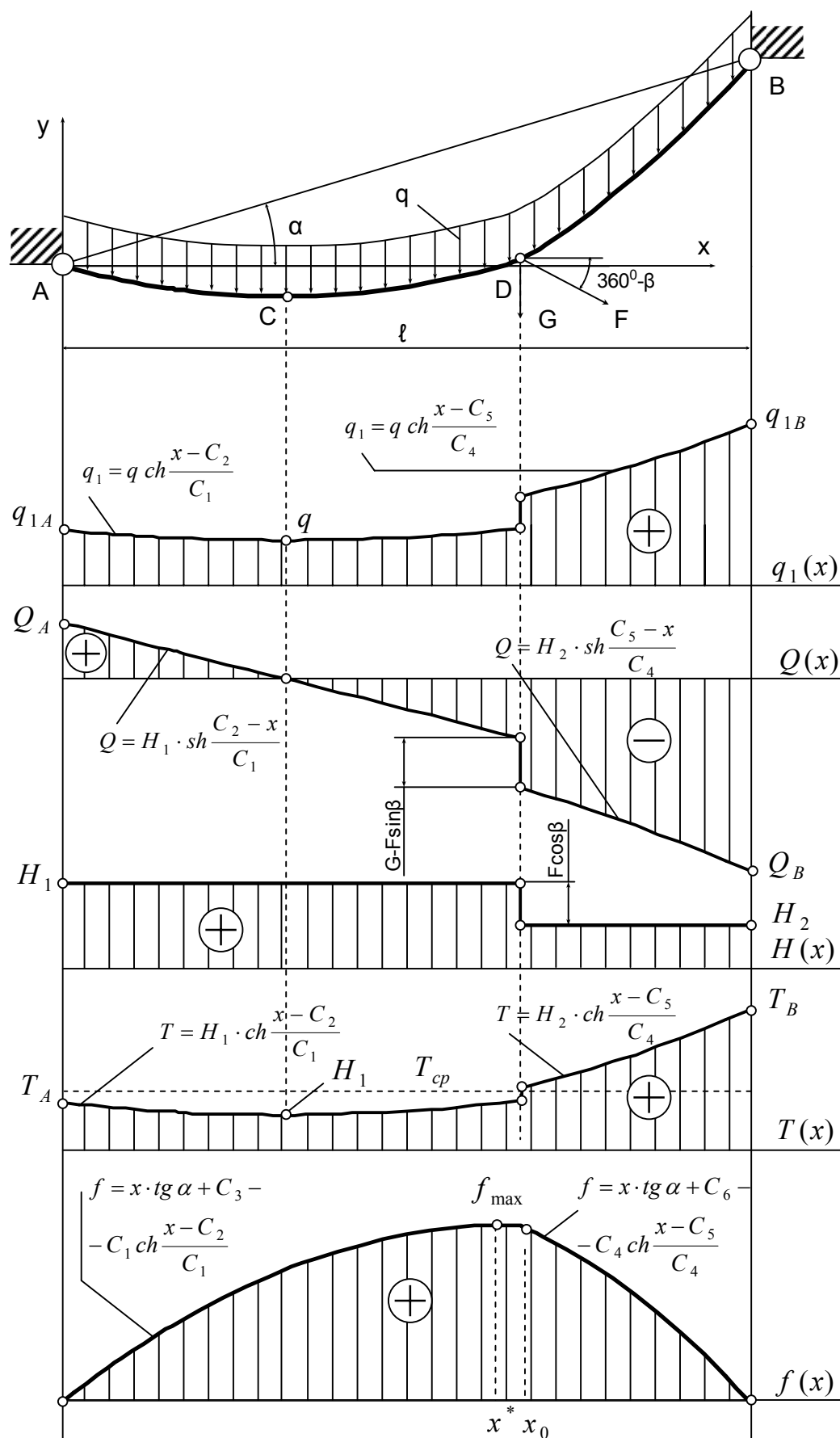


Рис. 2. Епюри навантаження, натягів та прогину

Після перетворень із співвідношень (2) для визначення невідомих параметрів $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$ отримано систему шести трансцендентних рівнянь (3).

$$\begin{cases} ch(C_2/C_1) = C_3/C_1; \\ ch(\ell - C_5)/C_4 = (h + C_6)/C_4; \\ C_1 ch(x_0 - C_2)/C_1 - C_3 = C_4 ch(x_0 - C_5)/C_4 - C_6; \\ C_1 - C_4 = (F \cos \beta)/q; \\ C_4 sh((x_0 - C_5)/C_4) - C_1 sh((x_0 - C_2)/C_1) = (G - F \sin \beta)/q; \\ C_1 \left(sh \frac{x_0 - C_2}{C_1} + sh \frac{C_2}{C_1} \right) + C_4 \left(sh \frac{\ell - C_5}{C_4} - sh \frac{x_0 - C_5}{C_4} \right) = L. \end{cases} \quad (3)$$

Використавши методику, запропоновану в [7], одержану систему шести рівнянь вдалося звести до одного трансцендентного рівняння відносно невідомої величини C_1 , яке розв'язується числовим способом, а далі послідовно визначаються всі інші константи C_i . Причому показано, що розв'язок системи (3) є єдиним.

Обчисливши значення шуканих параметрів, можна побудувати епюри відповідних величин (рис. 2).

Для прикладу, розглянемо розрахунок підвісної канатної системи з довжиною прольоту $\ell = 300$ м, ухилом хорди прольоту до горизонту $\alpha = 20^\circ$, погонною вагою каната $q = 28,65$ Н/м, довжиною каната $L = 350$ м. Установка завантажена на віддалі $x_0 = 200$ м від лівої опори вертикальним навантаженням $G = 2000$ Н (вага каретки та пакета деревини) та зусиллям $F = 1000$ Н (натяг тягового каната), напрямленим під кутом $\beta = 30^\circ$ до горизонту.

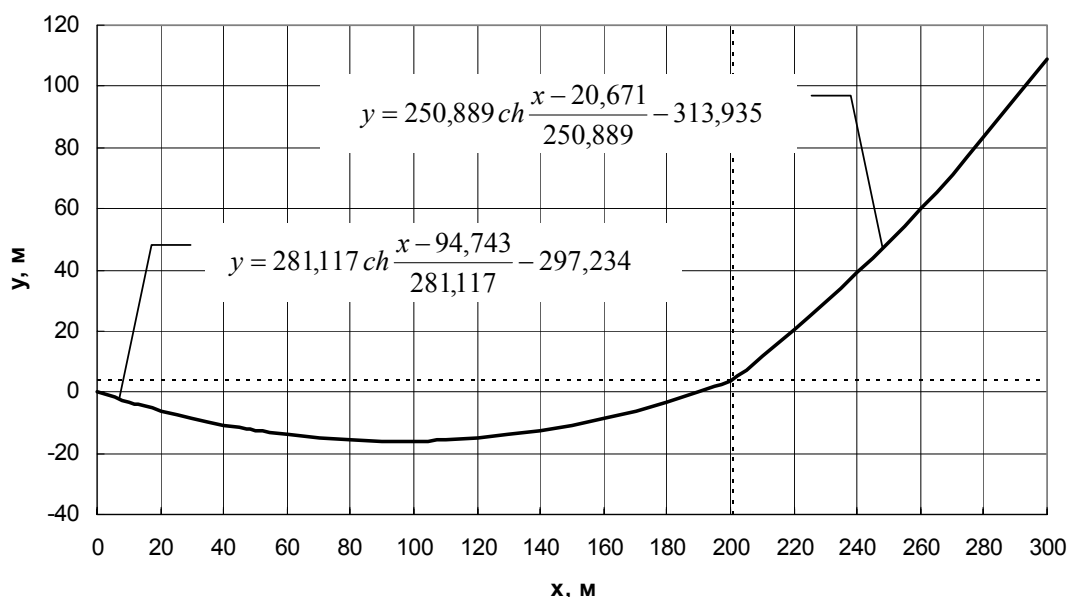


Рис. 3. Криві прогину каната у вигляді ланцюгових ліній з початком координат у нижній опорі

Визначивши параметри ланцюгових ліній шляхом розв'язання системи наведених трансцендентних рівнянь методом послідовних наближень [8] на основі багатofункціонального табличного процесора, знаходимо рівняння кривих прогину каната (рис. 3).

Використовуючи розроблену прикладну програму (VBA), визначаємо невідомі силові та геометричні параметри (рис. 4) кривих прогину каната.

Розрахунок каната з жорстко закріпленими кінцями, завантаженого власною вагою та вагою вантажу

Вихідні дані

300	довжина прольоту; l , м;
20	ухил хорди прольоту; α , град;
350	довжина каната; L , м;
28,65	вага погонного метра каната; q , Н;
200	абсциса точки прикладення вантажу; x_0 , м;
2000	вага вантажу; G , Н;
1000	тягове зусилля; F , Н;
330	кут прикладення тягового зусилля; β , град;

Розрахунок геометричних характеристик

координати вузлової точки
 200,000 абсциса т. С, м; 3,820 ордината т. С, м;
 перевищення опор 109,191 h , м;

рівняння ланцюгової лінії
 при $0 \leq x \leq 200,000$
 $y = 281,117 \cdot \text{ch}((x - 94,743) / 281,117) - 297,234$
 при $200,000 \leq x \leq 300,000$
 $y = 250,889 \cdot \text{ch}((x - 20,671) / 250,889) - 313,935$

максимальний прогин каната 69,023 $f_{\max}$, м; абсциса максимального прогину 194,927 $x_{f\max}$, м;

рівняння прогину каната
 при $0 \leq x \leq 200,000$
 $f = 0,364 \cdot x - 281,117 \cdot \text{ch} \frac{x - 94,743}{281,117} + 297,234$
 при $200,000 \leq x \leq 300,000$
 $f = 0,364 \cdot x - 250,889 \cdot \text{ch} \frac{x - 20,671}{250,889} + 313,935$

Розрахунок силових параметрів

натяг каната 8 516 у головній опорі; T_a , Н; 12 123 у тиловій опорі; T_b , Н;
 розрахункові значення натягу каната 12 123 максимального; $T_{\max}$, Н; 8 976 середнього; $T_{\text{сер}}$, Н;

рівняння натягу каната
 при $0 \leq x \leq 200,000$
 $T = 8 054,002 \cdot \text{ch} \frac{x - 94,743}{281,117}$
 при $200,000 \leq x \leq 300,000$
 $T = 7 187,970 \cdot \text{ch} \frac{x - 20,671}{250,889}$

Рисунок 1 - Розрахункова схема.

Додатковий розрахунок

для точки з абсцисою 150 x , м;
 ординату -10,669 y , м;
 прогин 65,264 f , м;
 натяг 8 210 T , Н.

Виконати розрахунок Завершити роботу

Рис. 4. Результати програмного розрахунку

Запропонована методика розрахунку завантаженого несучого каната може бути використана при проектуванні однопрольотних трельовальних установок та бути основою для розроблення методик розрахунку багатопрольотних та спарених підвісних систем. Розроблене програмне забезпечення дає змогу автоматизувати процес обчислень та значно підвищує точність розрахунків.

Література

1. Беляя Н.М., Прохоренко А.Г. Канатные лесотранспортные установки. – М.: Лесн. пром-сть, 1964. – 299 с.
2. Дукельский А.И. Подвесные канатные дороги и кабельные краны. – М.-Л.: Машиностроение, 1966. – 484 с.
3. Адамовський М.Г., Мартинців М.П., Бадера Й.С. Підвісні канатні лісотранспортні системи. – Київ: ІЗМН, 1997. – 156 с.
4. Качурин В.К. Теория висячих систем. – М., Л.: Гостехиздат, 1962. – 224 с.
5. Мартинців М.П. Розрахунок основних елементів підвісних канатних лісотранспортних установок. – Київ: Ясмина, 1996. – 175 с.
6. Тисовський Л.О., Рудько І.М. До визначення рівняння кривої прогину каната підвісної транспортної установки// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2005, вип. 15.1. – С. 137-142.
7. Тисовський Л.О., Рудько І.М. Моделирование работы канатів підвісних транспортних установок// Всеукраїнська наукова конференція "Сучасні проблеми механіки": Тези доповідей. – Львів. – 2004. – С. 49-50.
8. Шуп Т. Решение инженерных задач на ЭВМ: Практическое руководство/ Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 238 с.