



2. ЛІСО- ЕКСПЛУАТАЦІЯ

УДК 630*377.2

*Проф. М.П. Мартинців, д-р техн. наук;
доц. Й.С. Бадера, канд. техн. наук; студ. О.Т. Ковальчик – НЛТУ України*

ВИБІР СХЕМ ТА РОЗРАХУНОК СИСТЕМ З ТЯГОВИМ КАНАТОМ ДЛЯ ОСВОЄННЯ ЛІСОВИХ МАСИВІВ

Розроблено методику розрахунку зусилля в тяговому канаті лісотransпортних систем і запропоновано залежність для визначення потужності приводу таких установок.

*Prof. M.P. Martynciv; doc. Yo.S. Badera;
stud. O.T. Kovalchik – NUFWT of Ukraine*

Choice of Charts and Calculation of Systems with Hauling Rope for Mastering of Forest Arrays

The method of calculation of effort is developed in the hauling rope of the forest transport systems and offered dependence for determination of power of occasion of such options.

Канатні лісотransпортні системи для освоєння лісових масивів набули визнання, як в нашій країні, так і за кордоном [1-3]. Системи з тяговим канатом є найбільш простими, такими що потребують мінімальних затрат на монтажно-демонтажні роботи. Вони можуть використовуватися для освоєння лісів у гірській та болотній місцевості.

У ЦНДІМЕ було розроблено системи з тяговим канатом із зворотно-поступальним рухом, рис. 1, [4, 5] для трелювання хлестів волоком, та навантаженням на лісовозний транспорт. Розроблено системи двох типів: ТПУ-3С – працює на довжині прольоту 350 м з вантажопідймальністю 32 кН, і ТПУ-6С при тому ж прольоті з вантажопідймальністю 63 кН. При роботі такі системи трелювали хлести або дерева волоком, що призводило до частих зачепів вантажу за пні й полумки стовбурів дерев, при цьому значно пошкоджувався ґрунтовий покрив. Це призводило до ерозії ґрунту. Тому в такому вигляді установки з тяговим канатом не отримали належного поширення.

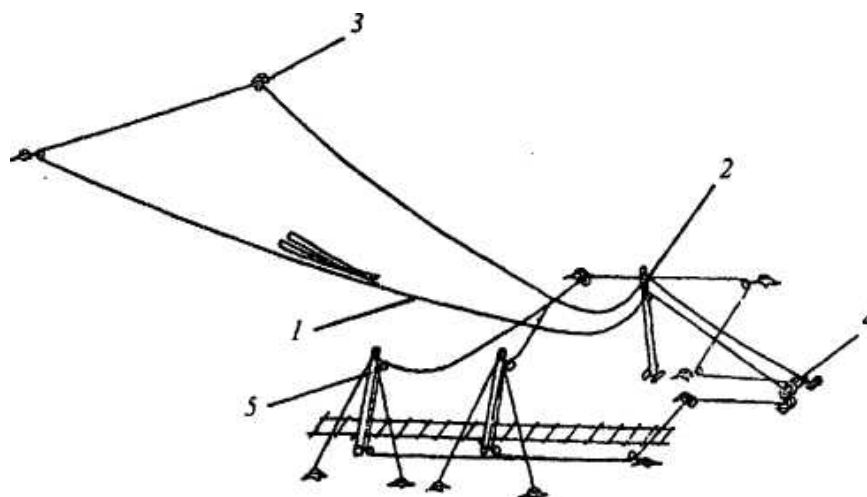


Рис. 1. Системи з тяговим канатом конструкції ЦНИИМЭ: 1 – тяговий канат; 2 – головна опора; 3 – поворотні блоки; 4 – лебідка; 5 – навантажувальна система

Більш ефективною виявилася система з нескінченно замкнутим тяговим канатом, рис. 2., яка відома як в нашій країні, так і за кордоном.

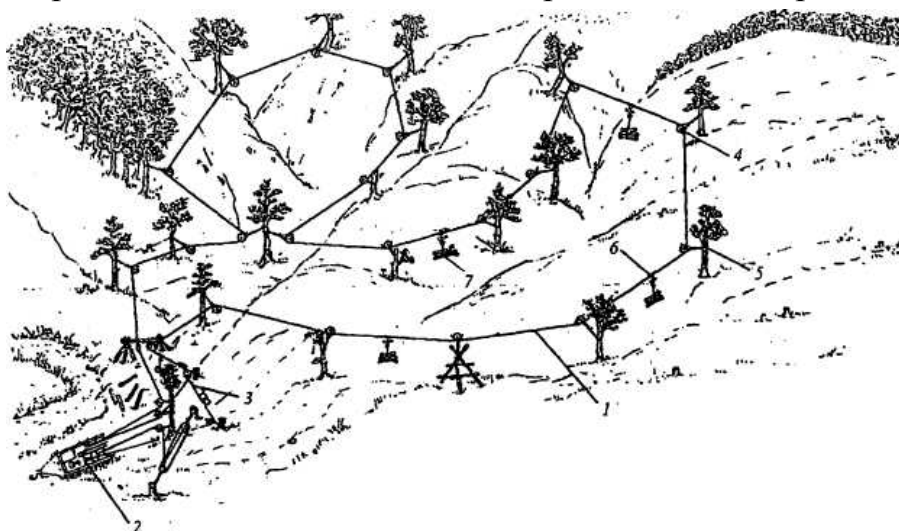


Рис. 2. Канатна система з нескінченно-замкнутим тяговим канатом:
1 – тяговий канат; 2 – лебідка з канатоведучим шківом; 3 – система натягу тягового канату; 4 – направляючі блоки; 5 – опорні дерева; 6 – вантажні ролики; 7 – пачка сортиментів

Установка складається з замкнутого нескінченного канату, підтримуваного опорами, що приводиться в безперервний рух лебідкою з канатоведучим шківом. Установка застосовується тоді, коли невеликі, однакові за розміром вантажі розміщуються на однакових відстанях, завантажуються та розвантажуються без зупинки канату. Оскільки виникають ускладнення із причепленням вантажу, використання такої установки обмежується переміщенням балансів, дров або рудникової стійки.

Установка включає привод, канат, замкнутий у кільце, канатоблокове устаткування, що підтримує кронштейни з напрямними роликами (блоками). Замкнутий у кільце канат простягається вздовж лісосіки, та підтримується окремими трубчастими кронштейнами, які, як правило, прикріплюються до ростучих дерев на відстані 30-40 м один від одного на такій висоті, щоб вантажі, що транспортуються, не торкалися землі. Кронштейни дають змогу змі-

нювати напрямок канату в плані, що створює сприятливі умови для освоєння всієї площі лісосіки. Вантаж за допомогою ланцюга і спеціального гака підвішується до канату на навантажувальному пункті та відчіплюється в пункті розвантаження. Канат рухається зі швидкістю $0,8 \div 1$ м/с і вантажі розміщуються на відстані $5 \div 6$ м один від іншого. Операція причеплення, що включає підймання вантажу, трудомістка і виконується, як правило, вручну.

У таких канатних системах тяговий канат працює у двох режимах:

- при напівпідвісному трелюванні деревини канат переміщує вантаж волочінням, а при підвісному транспортуванні вантажу переборює опір переміщенню вантажного візка. Відповідно до умов роботи розраховуються зусилля, що виникають у тяговому канаті, і необхідна потужність для переміщення вантажу;
- під час визначення максимального розрахункового тягового зусилля в канаті тягової лебідки необхідно скласти схему руху канату, встановити місця, де необхідні опори, а потім, послідовно підсумовуючи сили опору від початкової точки руху до точки набігання канату на барабані, обчислити розрахункове зусилля S .

Подолання опору тяговими лебідками так само, як і вантажопідіймальними, може вестися через поліспаст; однак у більшості випадків, як наприклад при трелюванні деревини, лебідки працюють без поліспаста, з однією віткою канату, що направляється обвідними блоками. Вантаж і тяговий канат можуть рухатися по горизонтальній або похилій площині.

Величина тягових зусиль у канаті залежить також від способу повернення канату у вихідне положення. Так, при трелюванні деревини можна повернути канат на лісосіку як вручну, так і за допомогою спеціальної лебідки або другого барабана тягової лебідки.

Після доставки вантажу до розвантажувальної площадки на відстань l і його відчеплення кінці канатів з'єднують і зворотним барабаном переміщують канат у вихідне положення. У загальному випадку можна представити наступні види опорів, які повинні бути переборені тяговим канатом лебідки.

Опір переміщенню вантажу:

- на горизонтальній площині:

$$W_1 = Q\omega; \quad (1)$$

- на похилій площині:

- уверх

$$W_1 = Q(\sin \alpha + \omega \cos \alpha), \quad (2)$$

- вниз

$$W_1 = Q(\omega \cos \alpha - \sin \alpha), \quad (3)$$

Опір переміщенню тягового канату по площині, якщо канат лежить на площині:

- при горизонтальній площині:

$$W_2 = q_1 L_1 \omega_1; \quad (4)$$

- при похилій площині:

- уверх

$$W_2 = q_1 L_1 (\sin \alpha + \omega_1 \cos \alpha), \quad (5)$$

■ ВНИЗ

$$W_2 = q_1 L_1 (\omega_1 \cos \alpha - \sin \alpha), \quad (6)$$

де: Q – вага переміщуваного вантажу; α – кут нахилу площини переміщення; ω – коефіцієнт опору переміщенню вантажу; при переміщенні деревини по ґрунтовій поверхні; L_1 – максимальна вільна довжина тягового канату в m ; q_1 – вага 1 погонного метра тягового канату; ω_1 – коефіцієнт опору переміщенню канату.

При трелюванні деревини необхідно враховувати зміни ω залежно від пори року й способу підвішування вантажу до тягового канату (наземне, напівпідвісне й підвісне трелювання). Значення ω при наземному трелюванні деревини можна приймати: узимку по снігу – 0,35-0,45 і влітку по лісовому ґрунті – 0,7-0,8. Коефіцієнт опору переміщенню канату при переміщенні сталевих канатів по дерев'яному настилі $\omega_1 = 0.25$, по ґрунті – $\omega_1 = 0.2$.

Опір при огинанні канатом напрямних блоків

$$W_3 = S_{HAB} \omega_2, \quad (7)$$

де: S_{HAB} – зусилля в вітці канату, що набігає на блок; ω_2 – коефіцієнт опору в блоці, що залежить від жорсткості, (виникає внаслідок жорсткості канату й тертя в опорах блоку); при опорах тертя ковзання, приймають $\omega_2 = 0.1$.

Опір, що виникає в момент рухання з місця вантажу внаслідок його інерції,

$$W_4 = m \cdot a = \frac{Q}{g} \cdot \frac{v}{t}, \quad (8)$$

де: m – маса вантажу, kg ; a – прискорення, m/s^2 ; v – швидкість руху вантажу, m/s ; t – час, за який вантаж розвине кінцеву швидкість тягового канату. При цьому:

$$v = v_{кін} - v_{поч}, \quad (9)$$

де $v_{кін}$ і $v_{поч}$ – відповідно кінцева та початкова швидкості вантажів.

Якщо $v_{поч} = 0$, тоді:

$$W_4 = \frac{Q v_{кін}}{g t}. \quad (10)$$

Якщо вантаж захоплюється під час руху канату зі швидкістю $v_{кін}$, то час t , за який вантаж Q розвиває швидкість $v_{кін}$, може бути дуже малим; у цьому випадку значення W_4 може досягти значної величини.

У схемах з механічним поверненням канату при підтягуванні вантажу також повинні бути переборені опір розмотуванню зворотної галузі канату з барабана та опір переміщенню зворотної вітки по площині переміщення. Ці опори можуть бути визначені за формулою:

$$W_5 = W_5^I + W_5^{II} + W_5^{III}, \quad (11)$$

де: W_5^I – опір обертанню зворотного барабана; W_5^{II} – опір, що виникає внаслідок інерції зворотного барабана і канату, намотаного на нього; W_5^{III} – опір переміщенню зворотного канату.

Отже:

$$W_5^I = j^I G_\delta f_0 \frac{d_B}{D_{\delta(B)}}; \quad W_5^{II} = \frac{0.7 G_\delta D_{\delta(B)}^2 \pi n}{R_{cp} 4g30t}; \quad (12)$$

$$W_5^{III} = G_2 L_2 \omega_1;$$

$$\bullet \text{ при русі вверх} \quad W_5^{III} = q_2 L_2 (\sin \alpha + \omega_1 \cos \alpha);$$

$$\bullet \text{ при русі вниз} \quad W_5^{III} = q_2 L_2 (\omega_1 \cos \alpha - \sin \alpha),$$

де: j^I – коефіцієнт, що враховує підгальмовування на фрикційній муфті та гальмі лебідки; при стрічковій фрикційній муфті $j^I = 1,3$, при конічній $j^I = 1,2$; G_δ – вага зворотного барабана з канатом; f_0 – коефіцієнт тертя в опорах барабана; d_B – діаметр осі зворотного барабана; $D_{\delta(B)}$ – діаметр зворотного барабана на середньому шарі навивки канату; n – число обертів барабана за хв.у; R_{cp} – радіус барабана на середньому шарі навивки; t – час розгону барабана до швидкості, рівної швидкості тягового канату (у середньому $3 \div 4$ с); q_2 – вага 1 пог. м зворотного канату; L_2 – довжина переміщуваної частини зворотного канату.

Для канатно-блочної схеми, де вантаж переноситься в горизонтальній площині, і канати лежать на тій же площині, розрахункове зусилля в тяговому канаті визначають послідовно, починаючи з точки I – місця сходження зворотного канату з барабана до точки X – місця набігання тягового канату на робочий барабан.

Зусилля S_1 у точці I дорівнює:

$$S_1 = W_5^I + W_5^{II} = j^I G_\delta f_0 \frac{d_B}{D_{\delta(B)}} + \frac{0.7 G_\delta D_{\delta(B)}^2 \pi n}{R_{cp} 4g30t}. \quad (13)$$

При усталеному русі зусилля в точках буде наступне:

$$\left. \begin{aligned} I - S_1 &= W_5; \\ II - S_{II} &= S_I + W_5 = S_I + G_2 L_{I-II} \omega_1; \\ III - S_{III} &= S_{II} + W_3 = S_{II} + S_{II} \omega_2 = S_{II} (1 + \omega_2); \\ IV - S_{IV} &= S_{III} + W_5 = S_{III} + G_2 L_{III-IV} \omega_1; \\ V - S_V &= S_{IV} + W_3 = S_{IV} (1 + \omega_2); \\ VI - S_{VI} &= S_V + W_5 = S_V + G_2 L_{V-VI} \omega_1; \\ VII - S_{VII} &= S_{VI} + W_1 + W_4 = S_{VI} + Q\omega + Qv \setminus gt; \\ VIII - S_{VIII} &= S_{VII} + W_2 = S_{VII} + G_1 L_{VII-VIII} \omega_1; \\ IX - S_{IX} &= S_{VIII} + W_3 = S_{VIII} (1 + \omega_2); \\ X - S_X &= S_{IX} + W_2 = S_{IX} G_1 L_{IX-X} \omega_1 \end{aligned} \right\}, \quad (14)$$

де: L_{I-II} – відстань між точками I – II; L_{III-IV} – відстань між точками III і IV; L_{V-VI} – відстань між точками V і VI; $L_{VII-VIII}$ – відстань між точками VII і VIII; L_{IX-X} – відстань між точками IX і X.

Зусилля в точці X і буде максимальним розрахунковим зусиллям S , за яким розраховують канат і визначають потужність двигуна.

З урахуванням втрат у ланках лебідки (від барабана до двигуна) максимальна потужність двигуна буде:

$$N = \frac{S_V}{75\eta_{MEX}}, \quad (15)$$

де η_{MEX} – ККД всіх ланок передач від барабана до двигуна.

Максимальне тягове зусилля у зворотному канаті визначають у зворотному порядку. У цьому випадку вихідним є опір розмотуванню канату з робочого барабана, тобто зусилля в точці X .

$$S_X = j^I G_{\sigma(p)} f_0 \frac{d_{(p)}}{D_{\sigma(p)}} + \frac{0.7 G_{\sigma(p)} D_{\sigma(p)}^2 \pi n_1}{R_{CP} 4g30t}, \quad (16)$$

де: $G_{\sigma(p)}$ – вага робочого (тягового) барабана з канатом, що на ньому намотаний; $d_{(p)}$ – діаметр осі робочого барабана; f_0 – коефіцієнт тертя в опорах барабана; $D_{\sigma(p)}$ – діаметр робочого барабана на середньому шарі навивки канату; n_1 – число обертів робочого барабана; $R_{сер}$ – радіус робочого барабана на середньому шарі навивки канату; t – час розгону барабана до швидкості, рівної швидкості зворотного канату.

Зусилля в точках:

$$\left. \begin{aligned} IX - S_{IX} &= S_X + W_2 = S_X + G_1 L_{X-IX} \omega_1; \\ VIII - S_{VIII} &= S_{IX} + W_3 = S_{IX} (1 + \omega_2); \\ V - S_V &= S_{VIII} + W_2 = S_{VIII} + G_1 L_{VIII-V} \omega_1; \\ IV - S_{IV} &= S_V + W_3 = S_V (1 + \omega_2); \\ III - S_{III} &= S_{IV} + W_2 = S_{IV} + G_1 L_{IV-III} \omega_1; \\ II - S_{II} &= S_{III} + W_3 = S_{III} (1 + \omega_2); \\ I - S_I &= S_{II} + W_2 = S_{II} + G_1 L_{II-I} \omega_1; \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Отже, потужність двигуна лебідки для повернення канату в період переміщення зворотного і вантажного канатів без корисного навантаження дорівнює:

$$N = \frac{S_I v_B}{75\eta_{MEX}}, \quad (18)$$

де v_B – колова швидкість на зворотному барабані.

У канатно-блочних системах зі зворотним канатом, переміщуваним другим барабаном тягової лебідки, потужність двигуна цієї лебідки встановлюють, виходячи з еквівалентної потужності за цикл роботи лебідки.

Тривалість циклу роботи лебідки в секундах визначається за формулою:

$$T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6, \quad (19)$$

де: t_1 – час рушання вантажу з місця; t_2 – час переміщення вантажу; t_3 – час для відчеплення вантажу (барабани відключені; потужність двигуна витрачається на обертання в холосту передач привода); t_4 – час переміщення тяго-

вого канату холостим канатом; t_5 – час для причеплення вантажу (барабани вантажного й холостого канатів відключені; потужність двигуна витрачається на обертання, в холосту, передач привода обох барабанів; t_6 – час вибору слабину вантажного канату.

Еквівалентна потужність двигуна визначається за наступною формулою:

$$N_{ДВ} = \sqrt{\frac{N_1^2 t_1 + N_2^2 t_2 + N_3^2 t_3 + N_4^2 t_4 + N_5^2 t_5 + N_6^2 t_6}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6}}, \quad (20)$$

де $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6$ - потужність двигуна у відповідні періоди.

Електродвигун вибирають за обчисленою потужністю $N_{об}$.

Натяг тягового канату складається з монтажного натягу канату t_0 , опору пересуванню вантажного візка W_1 і опору обертанню напрямних блоків W_2 .

$$t_{\max} = t_0 + W_1 + W_2, \quad (21)$$

Монтажний натяг канату визначається з умов:

- а) щоб стрілка прогину канату під час опирання на опори не перевищувала 0,8-1 % від відстані між опорами, тобто:

$$f = \frac{q a_n^2}{8 t_0} \leq (0.008 \div 0.01) a_n, \quad (22)$$

де: q – погонна вага тягового канату; a_n – відстань між опорами.

Відстань a_n вибирається так, щоб монтажний натяг зворотної вітки тягового канату був достатнім для вільного розміщення канату (без його стикання іншими канатами й без опирання на опори);

- б) щоб монтажний натяг t_0 канату при застосуванні для пересування вантажного візка лебідки з канатоведучими шківками задовольняв співвідношенням:

$$1.25 \frac{t_{\max}}{t_0} < e^{\mu \alpha}, \quad (23)$$

і
$$t_{\max} - t_0 = W_1 + W_2. \quad (24)$$

де: α – кут охоплення канатом барабана або канатоведучого шківки, *рад*; μ – коефіцієнт тертя канату по шківках; $\mu = 0,1$ при нефутерованих канавках (струмках); $\mu = 0,16$ при дерев'яній або шкіряній футеровці; $\mu = 0,3$ при спеціальній футеровці.

Початковий натяг тягового канату може створюватися натяжним вантажем або натягом канату при монтажі.

Скориставшись наведеною методикою, залежно від умов роботи (ухилу траси лісосіки, довжини замкненого канату, діаметра хлиста), можна вибрати тип приводу, його потужність та схему навішування канату, а також назначити діаметр канату.

Література

1. Адамовський М.Г., Мартинців М.П., Бадера Й.С. Підвісні канатні лісотранспортні системи. – К.: ІЗМН, 1997. – 156 с.

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 .