

3. ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ ЛІСОВИРОБНИЧОГО КОМПЛЕКСУ

*УДК 630*95 Проф. М.П. Мартинців, д-р техн. наук – НЛТУ України, м. Львів;
доц. Б.В. Сологуб, канд. техн. наук; доц. М.І. Климковський, канд. екон. наук
– НУ "Львівська політехніка"*

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ОСВОЄННЯ ГІРСЬКИХ ЛІСІВ ПІДВІСНИМИ КАНАТНИМИ СИСТЕМАМИ

Виконано аналіз роботи канатних установок та оцінено деревостан як об'єкт праці. Запропоновано вдосконалену схему канатної установки та методику вибору її основних параметрів. Наведено залежності, що дають змогу оцінити ефективність роботи канатних установок та врахувати затрати на ліквідацію екологічних збитків, завданих під час освоєння гірських лісів.

Гірські ліси є джерелом цінної деревини для різних галузей промисловості, а також одним з основних чинників збереження екосистем, що утворилися протягом багатьох століть. Вони захищають річки від висушування, роблять стійким і рівномірним їхній рівень, регулюють стік вод. Гірські ліси мають також важливе санітарно-гігієнічне та культурно-естетичне значення. Ліс як екологічний чинник позитивно впливає на клімат, відновлення рослинного і тваринного світу, а також розвиток промислового виробництва.

Лісозаготівельне виробництво в Карпатах є основою деревообробної, меблевої, целюлозно-паперової та інших галузей промисловості України. Але порівняно з лісами в рівнинних умовах, гірські ліси відрізняються винятково високою екологічною чутливістю, тому їх збереженню і відновленню потрібно приділити особливу увагу.

Багаторічні дослідження лісівників та лісозаготівельників показали, що найбільш ефективним видом первинного транспортування деревини є підвісні канатні установки [1-4]. Канатні системи також широко використовують для рекреаційного освоєння лісів – це крісельні та гондольні канатні дороги, лижні канатні витяги та ін. [5, 6]. Проаналізувати роботу канатної установки як складної системи можна, розглянувши роботу її основних елементів, а саме: канатного оснащення, приводів, опор, вантажних кареток, обвідних та напрямних блоків.

Згідно з прийнятими новими "Правилами рубань в гірських лісах Українських Карпат" [7], у лісах Українських Карпат заборонені суцільні рубання, що ускладнює використання високопродуктивної техніки на лісозаготівлях. Параметри канатних установок повинні давати змогу реалізовувати різні технологічні схеми освоєння лісосік, які залежать від способів рубань, рельєфу місцевості, типу деревостану та інших чинників.

Кількісну оцінку роботи окремих елементів канатних установок можна дати, здійснивши аналіз швидкісного та навантажувального режимів роботи. Основним предметом праці є дерево та стовбур, які характеризуються ці-

лою низкою параметрів. Їх можна визначити експериментально [2]. Параметри дерев та стовбурів є основою для визначення типу і вантажопідіймальності канатної установки [4].

Діаметри стовбурів на різних висотах можна виразити залежністю [2]:

$$d_g = c \cdot d_{1,3}, \quad (1)$$

де: d_g – діаметр відземка, (см); c – коефіцієнт, що залежить від породи дерева (для осики $c = 1,16$; берези $c = 1,21$; смереки $c = 1,25$; сосни $c = 1,27$).

Залежність між діаметрами стовбурів та їх довжинами можна представити у вигляді таких рівнянь [2]:

$$\left. \begin{array}{l} \text{для осики:} \\ \text{для смереки та берези:} \\ \text{для сосни:} \end{array} \right\} \begin{array}{l} l_c = a \cdot d_g - b \cdot d_g^2; \\ l_c = a \cdot d_g - b \cdot d_g + c_1; \\ l_c = a \cdot d_g + c_1. \end{array} \quad (2)$$

Відповідно коефіцієнти в кореляційних рівняннях приймають такі значення: для осики $a = 0,720$; $b = 0,0036$; смереки $a = 0,680$; $b = 0,0047$; $c_1 = 1,45$; берези $a = 1,00$; $b = 0,0134$; $c_1 = 0,40$; сосни $a = 0,246$; $c_1 = 9,20$.

Об'єм стовбура може бути знайдено за таксаційними таблицями або з залежності

$$q_c = \frac{\pi \cdot d_{1,3}^2}{4} \cdot l_c \cdot k_\phi, \quad (3)$$

де k_ϕ – коефіцієнт, що враховує форму стовбура (для осики, берези $k_\phi = 0,46$; сосни та смереки $k_\phi = 0,52$).

Багатоманітність виробничих умов і специфіка роботи канатних установок висуває різні вимоги до їхніх конструкцій. Установки відрізняються принциповими схемами, канатомісткістю барабанів, тягово-швидкісними параметрами, вагою і габаритами. Переміщення вантажу здійснюється за допомогою канатів значної довжини (100÷1000 м), за значного діапазону швидкостей руху. На кафедрі прикладної механіки НЛТУ України розроблено схеми канатних установок, впровадження яких дає змогу розробити технології лісосік, що відповідають сучасним вимогам "Правил рубань в гірських лісах Українських Карпат" [7]. Новизна установок захищена патентами України [8, 9, 10]. Схему однієї з таких установок наведено на рис. 1.

Канатну установку схематично показано на рис. 1, вона складається із несного каната 1, на якому навішено самохідну каретку 2. Несний канат 1 закріплений за тилову щоглу 3 і нижню щоглу 4. Для натягування несного каната 1 використовують поліспаст 5. Каретка 2 навішена на канаті 1 таким чином, що її ходові блоки 6; 7 і блок 8 перегинають канат 1 на величину "е" (рис. 1, б), яка регулюється, наприклад, колінчастою віссю 9 (рис. 1, в), чим більша величина "е" тим більший перегин несного каната 1. Каретка містить корпус 10, на якому закріплений двигун 11 з дистанційним керуванням, реверсивний редуктор 12, на вихідному валу 13 якого з можливістю вільного обертання навішені дві зірочки з півмуфтами, наприклад конічними чи зубчастими (чи шестірні) 14 і 15, а ведуча півмуфта 16, конічна або зубчаста, виконана шліцевою і обертається разом з валом 13 реверсивного редуктора 12.

У разі увімкнення півмуфти вліво вмикається зірочка 15, вправо – зірочка 14 (рис. 1 в). Якщо використати клинопасову передачу, замість зірочок будуть шківи. На валі 17 навішені зірочки 18 і 19, а зірочка 20 виконана заодно з барабаном 21, вони на валі 17 посаджені з можливістю вільного обертання відносно нього. На барабан 21 намотується канат 22 для підняття вантажів, наприклад, півхлестів, чи сортиментів 23. Обертовий момент від зірочки 15 до зірочки 18 передається за допомогою ланцюгової або клинопасової передачі 24; від зірочки 15 до зірочки 20 за допомогою ланцюгової передачі 25, а від зірочки 19 до обвідних зірочок 26 за допомогою ланцюгової передачі 27.

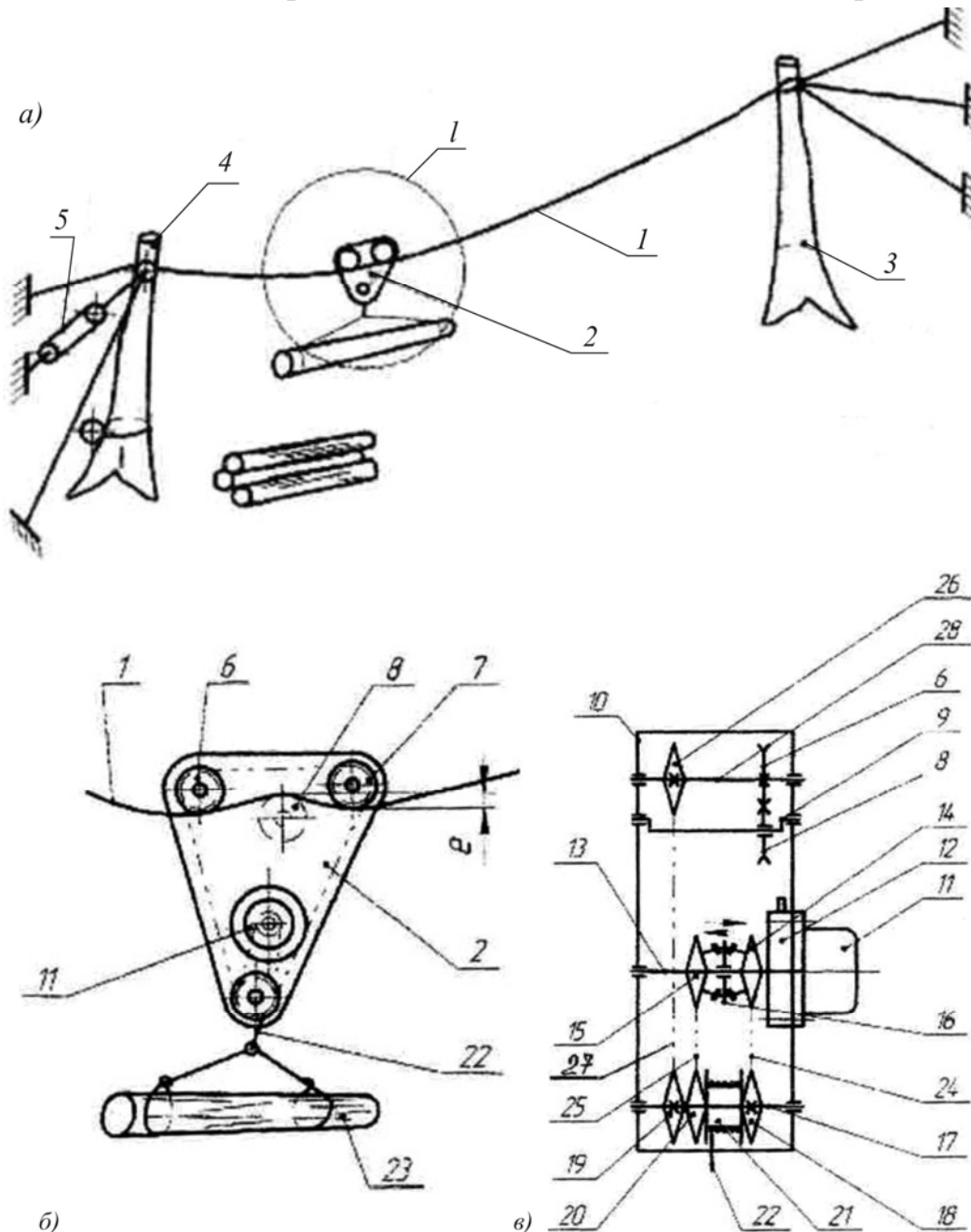


Рис. 1. Схема канатної установки:
а) загальна схема; б) вантажна каретка; в) привод

Ведучі зірочки 14 і 15 виконані з гальмами. Зірочки 26 та ходові блоки 6 і 7 обертаються за допомогою вала 28, на якому вони посаджені за допомогою, наприклад, шліців. Блок 8 може бути виконаний також приводним.

Працює канатна установка таким чином. Увімкненням двигуна 11 з дистанційним керуванням обертається вал 13, ведучу півмуфту 16 переміщують (дистанційним керуванням) (рис. 1, в) вмикається зірочка 14, зірочка 18 і за допомогою зірочки 19 та ланцюгової передачі 27 (або пасової передачі) зірочки 26 ходові блоки 6 і 7 приводяться в рух і за рахунок перегину каната 1 на блоці 8 каретка 2 переміщається "вверх" на лісосіку до місця причеплення вантажу. Далі ведучу півмуфту 16 переміщують вліво, вмикається ланцюгова передача 25, (а зірочка 14 вимикається) і барабан 21 видає вниз канат 22, здійснюють причеплення вантажу 23, тоді вмикають реверсивний редуктор і вантаж 23 за допомогою барабана 21 піднімають вгору. Переключають реверсивний редуктор 12, півмуфту 16 переміщують вправо і каретка 2 з вантажем 23 переміщується вниз до розвантажувального майданчика. Далі півмуфту 16 переводять вліво і вантаж 23 опускають на розвантажувальний майданчик, тоді вантаж відчіпляють. Переключенням реверсивного редуктора 12 канат 22 намотують на барабан 21, каретку 2 переміщують "вверх" на лісосіку. Цикл повторюється.

Переваги запропонованої конструкції в тому, що конструкція проста у виконанні та більш надійна. За рахунок привідної рухомої каретки вона може переміщуватися і за горизонтального навішування несного каната, тобто під час роботи в заболоченій місцевості. Для роботи канатної установки використовують тільки один канат, що підвищує ефективність роботи та спрощує керування.

Для визначення кінетичної енергії можна скористатися залежністю, [11]:

$$W = \frac{1}{2} \int_l q V_{\xi}^2 dl, \quad (4)$$

де: q – маса погонного метра каната; l – довжина канату; V_{ξ} – відстань в будь-якій точці на відстані ξ від початку координат.

Рівняння руху елементів установки можна подати в такому вигляді:

$$\left. \begin{aligned} I_1 \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} + C_1 (\varphi_1 - \varphi_2) - v_1 \frac{d \varphi_1}{dt} &= M_1; \\ I_2 \frac{d^2 \varphi_2}{dt^2} - C_1 (\varphi_1 - \varphi_2) + C_2 (\varphi_2 - \varphi_3) + C_3 (\varphi_2 - \varphi_4) &= 0; \\ I_3 \frac{d^2 \varphi_3}{dt^2} - C_2 (\varphi_2 - \varphi_3) - r_{\bar{o}_1} \cdot C_{\kappa} \cdot \delta \left(1 - \frac{\delta}{2l_{\kappa}} \right) - v_2 \frac{d \varphi_3}{dt} &= -M; \\ m \frac{d^2 x}{dt^2} + m \frac{d \delta}{dt} - 2C_{\kappa} \cdot \delta - v_3 \cdot \xi - v_3 \frac{d \delta}{dt} - I_5 \frac{d^2 v_3}{dt^2} + \frac{E_{\kappa} \cdot A_{\kappa} \cdot r_{\bar{o}} (\varphi_3 \cdot r_{\bar{o}} - x)^2}{2(l_{\kappa} - \varphi_2 \cdot r_{\bar{o}})^2} - (T(0, t) - T_0) &= 0; \\ I_4 \frac{d^2 \varphi_4}{dt^2} - C_3 (\varphi_3 - \varphi_4) - r'_{\bar{o}} \cdot C_{\kappa} \cdot \delta'' \left(1 - \frac{\delta'}{2l'_{\kappa}} \right) - v_3 \frac{d \varphi_4}{dt} &= -M_3; \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

де: I_1 – загальний момент інерції обертових мас двигуна; I_2 – момент інерції передачі; I_3 ; I_4 – зведені моменти інерції барабанів привода; I_5 – момент інерції напрямного блоку; M_1 – момент двигуна; M_2 ; M_3 – моменти опору на барабанах привода; C_1 ; C_2 ; C_3 – зведені крутильні жорсткості ліній передач;

C_k – зведена жорсткість каната; $\varphi_1; \varphi_2; \varphi_3; \varphi_4$; – кути закручування відповідних обертових мас; $\nu_1; \nu_2; \nu_3; \nu'_3$; – коефіцієнти, що характеризують розсіювання енергії у відповідних ланках; $r_b; r'_b$ – радіуси намотування каната на барабани та блоки; $l_k; l'_k$; – довжини віток канатів; $T(0, t)$; T_0 – натяг набігаючої і збігаючої віток каната; $E_k; A_k$ – відповідно модуль пружності та площа поперечного перерізу каната.

Розв'язок системи рівнянь (5) та їх аналіз за певних початкових і граничних умов дасть змогу обґрунтувати параметри основних елементів установки.

Ефективність роботи канатної установки залежить від довговічності та матеріаломісткості її основних елементів. Особливо небезпечним під час роботи таких систем є можливість виникнення резонансу. В процесі експлуатації параметри установки змінюються в широкому діапазоні, тому імовірність виникнення резонансу зберігається навіть за правильного вибору параметрів окремих елементів, особливо за перехідних режимів роботи. В таких випадках для уникнення аварійних ситуацій потрібно забезпечити відношення логарифмічного декременту коливання " δ " до власної частоти коливань системи " K " у межах:

$$\alpha = \frac{2\delta}{K} > 0,5. \quad (6)$$

За такого значення α динамічний коефіцієнт системи набуває мінімальних значень. Логарифмічний декремент системи можна визначити з залежності:

$$\delta = \ln \frac{A_m}{A_{m+1}}, \quad (7)$$

де $A_m; A_{m+1}$ – дві сусідні амплітуди вільних вщухальних коливань. Функція α може слугувати функцією мети під час вибору експлуатаційних параметрів.

Для розроблення нових та вдосконалення існуючих канатних систем потрібно вибрати раціональні схеми запропонованих варіантів. З метою пошуку екстремуму x_{ekst} і оптимальних значень $x_{i_{opt}}$ ($i = 1 \div n$), що забезпечують цей екстремум, можна скористатись методом невизначених множників Лагранжа. Для цього утворюють допоміжну функцію:

$$\Phi(x_i) = f(x_i) + \lambda [F(x_i) - C_i], \quad (8)$$

де: $F(x_i) \leq C_i$, ($i = 1 \div n$) – певні обмеження функції; $X = f(x_i)$ – узагальнений критерій; λ – невизначений множник.

Ефективність освоєння лісових масивів доцільно оцінювати коефіцієнтом використання лісових ресурсів [12].

Покращення збереження екосистем під час освоєння гірських лісів можна досягти шляхом удосконалення національної лісової політики України. При цьому підрахунок екологічних збитків при порушенні технології лісозаготівель і використанні неефективної техніки потрібно закласти під час визначення загальних затрат на заготівлю деревини та її собівартості. Для визначення загальних затрат запропоновану таку залежність:

$$C_p = \Pi_q + [Ц - P] \cdot k_d + C_{mp} + C_{ек}, \quad (9)$$

де: C_p – витрати на заготівлю деревини; Π_q – чистий прибуток від реалізації лісопродукції, яка буде заготовлена в процесі рубання лісу; $Ц$ – економічна оцінка насадження, пройденого рубанням; P – сума податку, яку буде сплачувати лісовласник за продаж лісового насадження; k_d – коефіцієнт дисконтування грошових потоків для періоду t ; C_{mp} – затрати на трелювання деревини; $C_{ек}$ – затрати на ліквідацію екологічних збитків, завданих під час заготівлі і транспортування деревини.

Коефіцієнт дисконтування можна визначити за формулою, [12]:

$$K_d = \frac{1}{(1 + E)^t}, \quad (10)$$

де: E – норма дисконту (норматив приведення різнотермінових ефектів); t – період приведення різнотермінових ефектів (дорівнює віку насадження, в якому здійснюється рубання);

$$E = \frac{P}{100}, \quad (11)$$

де P – ставка дисконту, %.

Економічну оцінку насадження, пройденого рубанням, можна визначити з залежності:

$$Ц = \sum_{i=1}^n C_i \cdot \alpha_i + \Pi_n + B, \quad (12)$$

де: i – час у роках, протягом якого здійснюється відтворення лісових ресурсів ($i = 1, 2, \dots, n$); C_i – поточні витрати на відтворення лісових ресурсів в i -му році; α_i – коефіцієнт дисконту для i -го року; Π_n – нормативний прибуток; B – оцінкова вартість деревини, що підлягає рубанню, залежно від якості деревостану та кон'юнктури ринку.

Оцінкову вартість деревостану можна визначити зі залежності:

$$B = k_p \left(Ц_n - C_n - \frac{K_o \cdot p}{100} \right), \quad (13)$$

де: k_p – коефіцієнт, що враховує кон'юнктуру ринку, $k_p > 1$; $Ц_n$ – ціна лісопродукції, яку можна виготовити з деревини в лісі; C_n – повна собівартість лісопродукції, яка буде виготовлена з деревини в лісі; K_o – основний і обіговий капітал, що потрібний на заготівлю лісопродукції в лісі та її транспортування в пункт реалізації; p – банківський відсоток.

Затрати на трелювання деревини канатними установками можуть бути визначені з залежності:

$$C_{tp} = [C_3 \cdot K_3 + C_0(1 - K_3)] + C_6 \cdot Q + C_e \cdot (1 - K_e) + C_{доо}, \quad (14)$$

де: C_3 і C_0 – затрати на утримання установки в робочому стані; C_6 – затрати на влаштування та утримання буферних навантажувальних і розвантажувальних майданчиків; Q – об'єм складів; C_e – затрати під час виконання наванта-

жувальних і розвантажувальних робіт; K_3 ; K_6 – відповідно коефіцієнти завантаження і відвантаження деревини.

Для підготовки траси канатної установки і волоків для підтрелювання необхідні додаткові затрати $C_{доd}$ для відновлення ушкоджень, завданих внаслідок нарізання волоків, пошкодження підросту та ґрунтового покриву, а після освоєння лісосіки – для укріплення ґрунтів і відновлення насаджень. Це може бути виражено формулою:

$$C_{доd} = \sum_{j=1}^n C_{kj} \cdot k_{zp} + \sum_{\xi=1}^m C_n \cdot Z_{\xi} \cdot K_3 + C_{від}, \quad (15)$$

де: C_k – приведені річні затрати на підготовку трас установки; k_{zp} – коефіцієнт, що враховує тип ґрунту; j – кількість волоків на ухилах траси одного класу [2]; C_n – економічна ціна пошкодженого насадження; K_3 – коефіцієнт дисконтування грошових потоків; Z – кількість пошкоджених насаджень; ξ – кількість ділянок, на яких пошкоджені насадження; $C_{від}$ – вартість робіт для укріплення ґрунтів і відновлення насаджень (визначається після експертної оцінки згідно з калькуляцією).

Затрати на ліквідацію екологічних збитків $C_{ек}$ можуть бути визначені з урахуванням нормативів плати за спеціальне використання рекреаційних, захисних, охоронних та інших властивостей лісу, який був пошкоджений, та на його відновлення [13]. Для визначення затрат запропоновано таку залежність:

$$C_{ек} = \left[\sum_{i=1}^j \sum_{t=T'}^T C_{it} \cdot M_{ij} \cdot \alpha_t \right] \cdot \frac{P}{100} + \sum_{t=T'}^T P_t + \Delta C + C_{відн}, \quad (16)$$

де: t – вік насадження i -тої деревної породи; T' ; T – відповідно, вік насадження, в якому здійснюється його рубання без врахування та з урахуванням екологічних властивостей; i – кількість ділянок, що підлягають освоєнню; C_{it} – екологічна оцінка деревини i -тої ділянки в t -му році; α_t – коефіцієнт дисконту для t -го року; P – еколого-економічна шкода, якої зазнає насадження під час освоєння лісосіки; ΔC – додаткові витрати на охорону і захист лісу, пов'язані з несвоєчасним рубанням стиглих лісових насаджень, які виконують екологічні функції; $C_{відн}$ – витрати на відновлення навколишнього середовища та соціальних об'єктів, пов'язані з вирубуванням без врахування рекреаційних, захисних, охоронних та інших корисних властивостей (встановлюють експерти).

Для визначення собівартості альтернативних варіантів за основу можна взяти залежність, запропоновану в роботі [12] і представити у вигляді:

$$C_6 = \frac{1}{k_{32}} \left(\sum_{i=1}^m C_{oci} + \sum_{j=1}^n C_{мexj} + \sum_{\xi=1}^p C_{p\xi} \right), \quad (17)$$

де: m – кількість основних машин, що мають аналоги; C_{oc} – собівартість роботи основної машини; n – кількість механізмів; $C_{мex}$ – собівартість роботи механізмів; p – кількість ручних інструментів; C_p – собівартість роботи руч-

них інструментів; k_{32} – коефіцієнт, що враховує загальні затрати на експлуатацію і технічне обслуговування машин, механізмів та ручних інструментів.

Визначення загальних витрат на заготівлю деревини для альтернативних варіантів дасть змогу обґрунтувати ефективну технологію і вибрати необхідні машини і механізми, які найбільшою мірою відповідають економічним та екологічним вимогам ведення лісового господарства і лісозаготівель.

Література

1. Генсирук С.А. Ліси України. – К. : Вид-во "Наук. думка", 1992. – 408 с.
2. Шкіря Т.М. Технологія і машини лісосічних робіт. – Львів : Вид-во "Тріада плюс", 2003. – 352 с.
3. Мартинців М.П. Розрахунок основних елементів підвісних канатних лісотранспортних установок / М.П. Мартинців. – К. : Вид-во "Ясмина", 1996. – 175 с.
4. Адамовський М.Г. Підвісні канатні лісотранспортні системи / М.Г. Адамовський, М.П. Мартинців, Й.С. Бадера. – К. : Вид-во ІЗМН, 1997. – 156 с.
5. Беркман М.Б. Подвесные канатные дороги / М.Б. Беркман, Г.И. Бовский, Ю.С. Леонтьев / под ред. Г.Г. Куйбиды. – М. : Изд-во "Машиностроение", 1984. – 264 с.
6. Голубець В.М. Розроблення методу аналізу роботи та обґрунтування основних параметрів машин для освоєння гірських лісів / В.М. Голубець, Є.М. Лютий, М.П. Мартинців // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2008. – Вип. 18.8. – С. 255÷262.
7. Правила рубань в гірських лісах Українських Карпат. – К. : Вид-во "Держком. лісов. госп.", 2003. – 24 с.
8. Деклараційний патент на корисну модель UA 2289 U, МПК 7 B61B7/00. Канатна установка з дистанційним керуванням / М.П. Мартинців, В.М. Мартинців, В.В. Бариляк, І.М. Рудько; заявник і власник патенту Український державний лісотехнічний університет, № 2003065905. – Заявл. 25.06.2003. – Опубл. 15.01.2004. – Бюл. № 1.
9. Бадера Й.С. Канатна установка / Й.С. Бадера, М.П. Мартинців, Б.В. Сологуб, А.В. Кий // Патент на корисну модель № 37299; B61 B12/00, зареєстровано 25.11.2008 р. Бюл. № 22.
10. Бадера Й.С. Канатна установка / Й.С. Бадера, В.В. Бариляк // Деклараційний патент. Заявка № u20060/763 від 20.02.2006 р., Патент № 17058; B61 B12/00. Опубл. 15.12.2006 р. Бюл. № 9; 3 с.
11. Мартинців М.П. Аналіз роботи рекреаційних канатних установок, як підвісних конвєсєрів / М.П. Мартинців, О.М. Удовиський, Б.В. Сологуб // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.7. – С. 90-97.
12. Синякевич І.М. Економіка лісокористування. – Львів : Вид-во ІЗМН, 2000. – 402 с.
13. Синякевич І.М. Лісова політика. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ, 2005. – 222 с.

Мартинців М.П., Сологуб Б.В., Климковский М.И. Оценка эффективности освоения горных лесов подвесными канатными системами

Выполнен анализ работы канатных установок и оценено деревостой как объект труда. Предложена усовершенствованная схема канатной установки и методика выбора ее основных параметров. Приведены зависимости, которые дают возможность оценить эффективность работы канатных установок и учесть затраты на ликвидацию экологических убытков, нанесенных во время освоения горных лесов.

Martinciv M.P., Solohub B.W., Klimkovskiy M.I. Mastering efficiency estimation of the mountain forests by the suspended rope systems

The analysis of work of haulers is executed and a tree is appraised the state, as an object of labour. The improved chart of hauler and method of choice of it is offered basic parameters. Dependences which enable to estimate efficiency of work of haulers and take into account expenses on liquidation of ecological losses of the mountain forests inflicted at mastering are resulted.