

## ОБҐРУНТУВАННЯ ДОВЖИНИ ТРЕЛЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ КРУГЛОГО ЛІСОМАТЕРІАЛУ В ПОВНІСТЮ ЗАВАНТАЖЕНОМУ СТАНІ ПІД НАМЕТОМ ЛІСУ

Ю.І. Цимбалюк, асистент

(Національний лісотехнічний університет України, м. Львів.)

*Побудована математична модель повороту повно поворотного чотириколісного трелювального причепа при транспортуванні круглого лісоматеріалу під наметом штучно створеного лісового насадження з метою визначення максимально допустимої довжини трелювальної системи, виходячи з умови вільного її проходження між ростучими деревами. Виконана чисельна реалізація отриманої математичної моделі з відповідними графічними відображеннями результатів розрахунків для конкретних вихідних параметрів.*

**Актуальність.** Однією з основних лісівничих вимог, які ставляться до трелювальних систем, що застосовуються на рубках догляду – мінімізація кількості пошкоджених дерев, що залишаються на лісосіці. Досягнути цього можна шляхом підвищення маневровості трелювальної системи і мінімізацією її габаритів. У випадку застосування міні техніки, довжина трелювальної системи в завантаженому стані, буде визначатися переважно довжиною вантажу, тобто лісоматеріалу. В зв'язку з тим, що найбільше механічних пошкоджень дерев відбувається саме вантажем – довжина лісоматеріалів, які транспортуються під наметом лісу має бути обмежена з врахуванням середньої відстані між деревами.

**Аналіз літературних джерел.** Специфічні умови проведення рубок догляду вимагають застосування високоманеврових машин, якомога меншої маси і розмірів [1], які б не завдавали шкоди лісовим насадженням і не порушували рівновагу екосистеми [2]. В цьому напрямку проводилися дослідження показників машинної доступності дерев в лісовому насадженні, при роботі багатоопераційної машини під наметом лісу, з врахуванням показника мінімальної пошкоджуваності дерев, що залишаються на лісосіці [3]. Є розроблені математичні моделі деревостанів, які дозволяють, виходячи із конкретних таксаційних характеристик і прийнятих технологічних параметрів, визначати кількість і важкість пошкоджень дерев, що залишаються на лісосіці після рубки догляду [4]. На основі аналізу приведених вище джерел, можна зробити висновок про доцільність застосування міні техніки в поєднанні з причіпними малогабаритними трелювальними засобами для трелювання круглих лісоматеріалів під наметом лісу.

**Мета дослідження** – розробити математичну модель визначення максимально допустимої довжини трелювальної системи, при транспортуванні

лісоматеріалу під наметом лісу в повністю завантаженому стані за допомогою причіпного малогабаритного повно поворотного трелювального засобу та виконати її чисельну реалізацію.

**Основний матеріал.** Трелювання лісоматеріалу в повністю завантаженому стані є найбільш досконалим. При цьому способі наноситься мінімальна шкода лісовому середовищу, особливо лісовим ґрунтам і ростучим деревам. Найбільш типовим випадком при транспортуванні лісоматеріалу під наметом лісу є поворот трелювальної системи при зміні напрямку руху. Саме в цьому випадку, важливе значення має довжина трелювальної системи, яка впливатиме на її маневровість. Ця довжина має бути такою щоб забезпечити її безперешкодний поворот не зачіпаючи при цьому ростучі дерева, які ростуть обабіч смуги транспортування. З метою підвищення маневровості чотириколісного трелювального причепа приймемо, що передні і задні його колеса є поворотними і спеціальний механізм дає можливість повертати їх в різні сторони під час повороту. Обґрунтування будемо проводити для випадку транспортування лісоматеріалу в штучно створеному лісовому насадженні з наперед відомою схемою розміщення дерев.

Нехай лісоматеріал  $M_1M_2$ , розміщений на повноповоротному трелювальному причепі так, що точка  $M_1$  вершини лісоматеріалу знаходиться на передній поворотній осі, а точка  $M_2$ , кінця лісоматеріалу на задній поворотній осі, необхідно транспортувати так, щоб його точка  $M_1$  рухалась вздовж прямої  $OD$ , а точка  $M_2$  вздовж прямої  $KO$ , яка проходить паралельно до вибраного ряду дерев (рис. 1.).

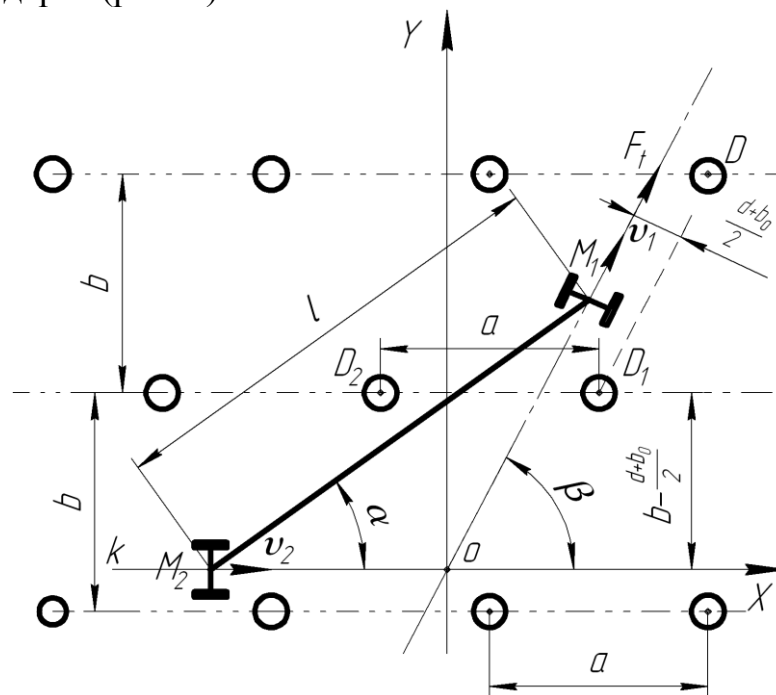


Рисунок 1 - Розрахункова схема зміни напрямку руху трелювальної системи в штучно створеному лісовому масиві.

Сумістимо з прямою  $KO$  вісь  $OX$ , а пряму транспортування  $OD$  розмістимо так, щоб передня колісна пара з точкою  $M_1$  вершини лісоматеріалу, рухаючись вздовж  $OD$ , проходила зліва від дерева  $D_1$  не зачіпаючи його, тобто, точка  $M_1$ , пройдётиме на відстані  $\frac{d+b_0}{2}$  від центра дерева  $D_1$ . Вважаємо, що лінія транспортування  $OD$  проходить через точку  $O$ , складаючи з віссю  $OX$  кут  $\beta$ . Отже, рівняння лінії  $OD$  буде:

$$y = \operatorname{tg} \beta \cdot x \quad (1) \quad \text{або} \quad \sin \beta \cdot x - y \cdot \cos \beta = 0 \quad (1')$$

Враховуючи, що  $y_{D_1} = b - \frac{d+b_0}{2}$  із (1') знайдемо абсцису  $x_{D_1}$  центра дерева  $D_1$ :

$$x_{D_1} = \frac{d+b_0}{2 \sin \beta} + \left(b - \frac{d+b_0}{2}\right) \cdot \operatorname{ctg} \beta \quad (2)$$

Тепер знаходимо координати дерева  $D_2$ , яке необхідно обминути при повороті:

$$x_{D_2} = x_{D_1} - a = \left(b - \frac{d+b_0}{2}\right) \cdot \operatorname{ctg} \beta + \frac{d+b_0}{2 \sin \beta} - a \quad (3) \quad y_{D_2} = y_{D_1} = b - \frac{d+b_0}{2} \quad (4)$$

Запишемо рівняння прямої, яка проходить через центр дерева  $D_2$  складаючи кут  $\alpha$  з віссю  $OX$  і на якій розміщується транспортований лісоматеріал  $M_1M_2$ .

$$y - y_{D_2} = \operatorname{tg} \alpha \cdot (x - x_{D_2}) \quad (5)$$

Оскільки точка  $M_2$  лежить і на осі  $OX$ , то із (5) знаходимо абсцису точки  $M_2$  (при  $y_{M_2} = 0$ ).

$$x_{M_2} = x_{D_2} - y_{D_2} \cdot \operatorname{ctg} \alpha \quad (6)$$

Тепер знаходимо координати точки  $M_1$ , як точки перетину прямих. Із рівнянь (1) і (5), маємо:

$$\begin{cases} y_{M_1} = \operatorname{tg} \beta \cdot x_{M_1} \\ y_{M_1} - y_{D_2} = \operatorname{tg} \alpha \cdot (x_{M_1} - x_{D_2}) \end{cases} \quad (7)$$

Із отриманої системи рівнянь (7), знаходимо:

$$x_{M_1} = \frac{y_{D_2} - x_{D_2} \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \alpha} \quad (8)$$

$$y_{M_1} = \frac{y_{D_2} - x_{D_2} \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \alpha} \cdot \operatorname{tg} \beta \quad (9)$$

Тепер враховуючи, що відстань від точки  $M_1$  до точки  $M_2$  є довжина  $l$  лісоматеріалу  $M_1M_2$ , знаходимо:

$$y_{M_1} - y_{M_2} = \frac{y_{D_2} \cdot \operatorname{ctg} \alpha - x_{D_2}}{\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \alpha} \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta \quad (10)$$

$$x_{M_1} - x_{M_2} = \frac{y_{D_2} - x_{D_2} \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \alpha} - (x_{D_2} - y_{D_2} \cdot \operatorname{ctg} \alpha) = \frac{y_{D_2} \cdot \operatorname{ctg} \alpha - x_{D_2}}{\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \alpha} \cdot \operatorname{tg} \beta \quad (11)$$

Отже, довжина транспортованого лісоматеріалу  $M_1M_2$  буде:

$$l = \sqrt{(x_{M_1} - x_{M_2})^2 + (y_{M_1} - y_{M_2})^2} = \frac{y_{D_2} \cdot \operatorname{ctg} \alpha - x_{D_2}}{\cos \alpha \cdot (\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \alpha)} \cdot \operatorname{tg} \beta \quad (12)$$

Розкриємо чисельник співвідношення (12), враховуючи (3) і (4).

$$y_{D_2} \cdot \operatorname{ctg} \alpha - x_{D_2} = \left(b - \frac{d+b_0}{2}\right) \cdot \frac{\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta} + a - \frac{d+b_0}{2 \sin \beta} \quad (13)$$

Тепер із рівняння (12), будемо мати:

$$l = \left( \frac{b - \frac{d+b_0}{2}}{\operatorname{tg} \beta \cdot \sin \alpha} + \frac{a - \frac{d+b_0}{2 \sin \beta}}{(\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \alpha) \cdot \cos \alpha} \right) \cdot \operatorname{tg} \beta \quad (14)$$

Із залежності (14), зрозуміло, що при  $0 \leq \alpha \leq \beta$ , значення довжини  $l$  лісоматеріалу змінюється від:

$$l_1 = \left( \frac{b - \frac{d+b_0}{2}}{\operatorname{tg} \beta \cdot \sin \alpha_0} + \frac{a - \frac{d+b_0}{2 \sin \beta}}{(\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \alpha_0) \cdot \cos \alpha_0} \right) \cdot \operatorname{tg} \beta \quad (14')$$

(при цьому  $\alpha_0 \neq 0$ ), до значення  $l_2 \rightarrow \infty$ , яке прямує до нескінченності, оскільки другий доданок в рівнянні (14) прямує до нескінченності.

Для визначення значення кута  $\alpha$ , при якому  $l = l_{\min}$ , знайдемо похідну:

$$\frac{dl}{d\alpha} = -\frac{\operatorname{tg}\beta}{\operatorname{tg}\alpha \cdot \sin \alpha} \cdot \left( \frac{b - \frac{d+b_0}{2}}{\operatorname{tg}\beta} - \frac{(a - \frac{d+b_0}{2\sin \beta}) \cdot (1 + \operatorname{tg}\alpha \cdot \operatorname{tg}\beta)}{(\frac{\operatorname{tg}\beta}{\operatorname{tg}\alpha} - 1)^2} \right) \quad (15)$$

Умова  $\frac{dl}{d\alpha} = 0$  дає (впливає із рівняння (15)):

$$\frac{b - \frac{d+b_0}{2}}{\operatorname{tg}\beta} - \frac{(a - \frac{d+b_0}{2\sin \beta}) \cdot (1 + \operatorname{tg}\alpha \cdot \operatorname{tg}\beta)}{(\frac{\operatorname{tg}\beta}{\operatorname{tg}\alpha} - 1)^2} = 0 \quad (16)$$

Із цього рівняння для конкретних значень  $b$  - ширини між рядами дере,  $d$  - середній діаметр дерев,  $b_0$  - ширини трелювального причепу,  $a$  - відстані між деревами в ряду і кута  $\beta$  - кут, який визначає напрямок транспортування, можна визначити відповідне значення кута  $\alpha$ , при якому значення  $l$ , довжини лісоматеріалу буде найменшим. Це знайдене значення  $l$  буде максимально допустимою довжиною  $l$ , транспортованого лісоматеріалу, який пройде справа від дерева  $D_2$  не зачіпаючи його.

Для розв'язку даного рівняння, тобто встановлення значень кута  $\alpha$ , яке має бути коренем цього рівняння, було використано метод Ньютона [6].

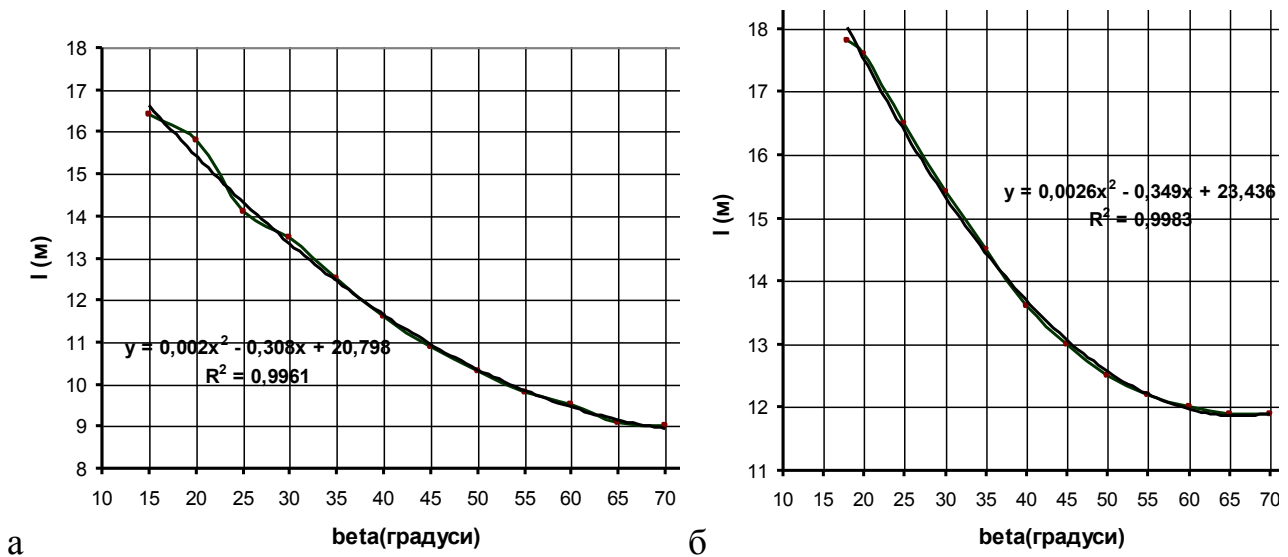


Рисунок 1 - Залежність довжини трелювальної системи від ширини трелювального засобу і таксаційних даних насадження при:

а)  $a=3,0$  м;  $b = 4,0$  м;  $d = 0,4$  м;  $b_0 = 1,4$  м; б)  $a=4,0$  м;  $b = 4,0$  м;  $d = 0,4$  м;  $b_0 = 1,4$  м.

## **Висновки**

- отримана математична модель не враховує довжини тягача до якого приєднується чотириколісний, малогабаритний, трелювальний причіп;
- у випадку використання в якості тягача міні скідера, типу «залізний кінь» або «ручних» міні тракторів, можна вважати, що довжина трелювальної системи є рівна довжині транспортованого вантажу (лісоматеріалу) тому, що тягач майже повністю розміщується під вантажем;
- аналіз отриманої графічної залежності показує, що із зростанням кута напрямку транспортування, зменшується гранично допустима довжина трелювальної системи;
- дана модель дозволяє прогнозувати максимально допустиму довжину трелювальної системи в залежності від схеми розміщення дерев в лісовому масиві; може бути основою для комп'ютерного моделювання трелювання лісоматеріалу під наметом лісу і подальшого планування рубок догляду.

## **Список літератури**

1. Ф.В. Пошарников, А.С. Черных, А.С. Полухин. Сортиментная заготовка древесины в малолесных районах. Повышение эффективности лесозаготовок малолесных районов России. Межвузовский сборник научных трудов (по материалам международной конференции в г. Воронеже 23-25 октября 2001 г.). Воронеж: 2002 – с.163-166.
2. А.В. Жуков, С.Ф. Козьмин. Исследование динамики лесохозяйственных колесных тракторов класса тяги 6-9 кН. Лесной журнал. Выпуск 4. Архангельск: ИВУЗ, «Лесной журнал», 1982 – с.49-52.
3. Савельев А.Г. Разработка технологии рубок ухода на основе исследования доступности деревьев при машинном способе заготовки (на примере лесов I группы Прибалтики). Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Минск, 1989 – 25 с.
4. Гусман Б.Л.А. Технологии рубок ухода – как объекты оптимального управления лесосечными работами. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Воронеж, 1994 – 23 с.
5. Фельдман Л.П. Чисельні методи в інформатиці /Л.П. Фельдман, А.І. Петренко, О.А. Дмитрієва. – К.: Вид-ча група ВНУ, 2006. – 480с.

## **Аннотация**

**ОБОСНОВАНИЕ ДЛИНЫ ТРЕЛЕВОЧНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ КРУГЛОГО ЛЕСОМАТЕРИАЛА В ПОЛНОСТЬЮ ПОГРУЖЕННОМ СОСТОЯНИИ ПОД ПОЛОГОМ ЛЕСА**  
Цимбалюк Ю.И.

*Построена математическая модель поворота полноповоротного четырехколесного трелевочного прицепа при транспортировке круглого лесоматериала под пологом искусственно созданного лесного насаждения с*

*целью определения максимально допустимой длины трелевочной системы, исходя из условия свободного ее движения между растущими деревьями. Произведена числовая реализация полученной математической модели с соответствующими графическими отображениями результатов расчетов для конкретных исходных данных.*

## **Abstract**

### **JUSTIFICATION LENGTH LOGGING SYSTEMS FOR THE TRANSPORTATION OF ROUND TIMBER IN THE FULLY LOADED CONDITION UNDER THE CANOPY OF THE FOREST**

Tsymbalyuk Yu.I.

*A mathematical model rotation of four-wheel forestry trailer during transport of round timber under the canopy of the man-made forest plantations to determine the maximum length logging system, based on the conditions of free passage between growing trees is constructed. Numerical implementation of the resulting mathematical model with the appropriate graphical display of the results of calculations for specific output parameters is received.*