

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО КУТА ПРИКЛАДАННЯ ТЯГОВОГО ЗУСИЛЛЯ ТРЕЛЮВАЛЬНОГО ЗАСОБУ «КРОКУЮЧІ САНИ»

Магура Б. О.¹, Бакай Б. Я.¹, Білоус О. В.², Каратник І. Р.¹, Кий В. В.¹

¹Національний лісотехнічний університет України,

²Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація. У статті подано результати експериментальних досліджень застосування розробленого в НЛТУ України малогабаритного трелювального засобу типу «крокуючі сани», що поєднує в собі як переваги рушій ковзного типу, так і рушій колісного типу [1]. Такий засіб призначений для використання в складних умовах лісоексплуатації, а саме на заболочених лісосіках. Рушій візка, за наявності переешкоди або в разі «вгрузання» його в болото, прокручується та здійснює крок. На запропонований засіб отримано патент на корисну модель № 109011 [2]. За результатами проведених експериментальних досліджень визначено оптимальний кут прикладання тягового зусилля для переміщення трелювального засобу «крокуючі сани» під час руху лісосікою за наявності переешкод, який лежить в діапазоні 15°...19°. Здобуті експериментальним способом результати підтвердили достовірність проведених теоретичних досліджень. Визначено вплив величини зусилля затягування регулювальної гайки адаптивної крокової муфти на величину тягового зусилля. Запропонований трелювальний засіб «крокуючі сани» довів ефективність роботи під час використання в умовах, наближених до реальних.

Ключові слова: трелювання, рушій, лісосіка, трелювальний засіб «крокуючі сани», тягове зусилля, адаптивна муфта.

Вступ

Операція трелювання деревної сировини є однією з найважливіших під час проведення лісосічних робіт. Оскільки на лісосіках, як правило, відсутні підготовлені транспортні шляхи, то до засобів первинного транспортування висуваються особливі вимоги, зокрема щодо їх прохідності, забезпечення необхідної продуктивності та одночасно мінімізації негативного впливу на лісову екосистему. Якщо в рівнинних умовах, на сухих, добре дренованих ґрунтах це питання на сьогодні здебільшого вирішується задовільно, то в умовах підвищеної складності лісоексплуатації доводиться стикатися з проблемами, які часто змушують навіть залишати певну частину деревини на лісосіках через неможливість здійснення трелювальних робіт. Під час трелювання можуть використовуватися різноманітні засоби, на вибір яких впливає низка факторів: рельєф місцевості, тримальна здатність опорної поверхні, вид рубок, об'єми робіт, середній об'єм стовбура, пора року тощо. Такі засоби первинного транспортування, як трелювальні трактори, канатні установки, засоби малої механізації (візки, причепи, сани) є придатними для трелювання в конкретних умовах лісозаготівлі, але здебільшого на твердих ґрунтах.

Щодо сильнозволожених і перезволожених ґрунтів, то наявні засоби трелювання

мають недоліки, які дуже часто унеможливають їх застосування з погляду техніки безпеки чи конструктивної придатності, або ж їх використання є економічно не вигідним. Зокрема це стосується стаціонарних канатних установок, конструкція яких передбачає їх застосування в болотистій місцевості. Однак їх вартість та втрати часу на монтаж-демонтажні роботи часто унеможливають використання канатних установок, особливо якщо йдеться про підприємства із малими обсягами лісозаготівель або ж незначною кількістю деревини, яка підлягає трелюванню та зберігається на перезволожених ділянках. Дуже часто, особливо під час проведення рубок формування та оздоровлення лісів (РФОЛ), на рубках доглядового характеру, доводиться застосовувати засоби малої механізації, зокрема і з кінною тягою [3]. Така практика відома, виправдала себе й широко застосовується не тільки в Україні, а й набула значного поширення в європейських і скандинавських країнах. Для ефективного використання кінної тяги доцільно застосовувати спеціальні засоби, які б полегшували роботу тварин і давали змогу досягати відповідної продуктивності праці на операції трелювання. Замість кінної тяги на заболочених лісосіках з метою зменшення питомого тиску на ґрунт можна використовувати квадроцикли, як це відбувається в багатьох країнах.

Найбільш відомими й численними допоміжними пристроями для кінного трелювання деревини є різноманітні візки, конструкція яких постійно вдосконалюється науковцями галузі. Однак візки добре себе зарекомендували на ґрунтах із високою несною здатністю. На зволжених і перезволжених ґрунтах під час переміщення таких візків із вантажем виникає значний опір коченню (переміщенню) коліс візка, через значне просідання коліс у ґрунт і виникнення попереду коліс, за напрямом руху, призми ґрунту. Ще більші ускладнення з'являються в разі перешкоди – каменя, пенька тощо. Тоді рух колеса, залежно від перешкоди, є неможливим або ж потребує значного збільшення величини тягового зусилля. Тому розроблення еколого-безпечних і енергозберігальних технологій та устаткування для лісозаготівель у складних, зокрема заболочених, умовах лісоексплуатації є важливим завданням для науковців лісової галузі.

Аналіз публікацій

Первинне транспортування (трелювання) деревної сировини з допомогою важкої лісозаготівельної техніки спричиняє пошкодження як життєздатного підросту цінних порід, так і безпосередньо самих лісових ґрунтів, особливо їх верхнього родючого шару.

У роботі [3] наводяться порівняльні дослідження трелювання деревини з допомогою різних видів лісозаготівельної техніки й обладнання, а саме двома трелювальними тракторами з гумовими шинами (скідерами), гусеничним трелювальним трактором і мулом. Незалежно від типу трелювання, найбільш серйозні порушення ґрунту спостерігалися на ділянках, де рух обладнання був найбільш інтенсивним і на стрімкіших схилах. Використання різного трелювального обладнання спричиняло різний ступінь порушень ділянок ґрунту, що коливалися від 61,5 % площі лісосіки в разі застосування мулів до 70,3 % за умови трелювання гусеничним трактором, 76,6 % під час використання колісного скідера *Timberjack 450C* і 87,1 % – для трелювання з допомогою скідера *TAF E655*. Окрім цього, під час трелювання деревини гусеничним трелювальним трактором або мулом не спостерігалось утворення колійності, на відміну від застосування колісних скідерів. Результати показали, що тип обладнання, інтенсивність руху та крутизна схилу мали значний вплив на фізичні властивості ґрунту.

У публікації [4] наводиться кілька переваг застосування технології заготівлі деревини на базі гужового транспорту з урахуванням принципів сталого ведення лісового господарства, а саме екологічні, економічні й соціальні чинники. Щодо екологічного складника, то, на думку авторів, кінний волок, особливо в разі застосування одного коня, дає змогу зменшити площу пошкодженої ґрунтової поверхні удвічі-втричі порівняно з іншими трелювальними засобами. Крім цього, використання кінної тяги значно зменшує пошкоджуваність залишених дерев на лісосіці, оскільки зазвичай трелюються коротші лісоматеріали, на відміну від використання трелювальних тракторів. Даються також конкретні пропозиції та рекомендації щодо використання гужового транспорту під час проведення різних видів рубок. Т. Шкіря [5], зокрема, наголошує на необхідності й доцільності застосування кінного трелювання деревної сировини в умовах крутосхилих лісосік.

В Українських Карпатах, понад у 80 % трелювання використовують трактори – гусеничні або колісні скідери. На гужовий транспорт (кінний) припадає близько 10 % трелювання, на канатні та гравітаційні системи – по 5 % заготовленої деревини [6, 7].

Однак в умовах використання кінної тяги, як правило, застосовується трелювання волоком, що спричиняє руйнування верхнього родючого шару ґрунту, або колісні візки, які ефективні на сухих, добре дренованих ґрунтах. Тому існує потреба у створенні універсального трелювального засобу для гужового трелювання, що працював би однаково ефективно як на сухих, так і на перезволжених ґрунтах.

Мета та постановка завдання

Метою проведення досліджень є підтвердження ефективності роботи трелювального засобу «крокуючі сани» (отримане теоретичним шляхом), а саме визначення оптимального кута прикладання тягового зусилля для переміщення засобу за наявності перешкод.

Для досягнення поставленої мети було проведено дослідження впливу різних факторів (кут прикладання тягової сили, зусилля затягування регульовальної гайки адаптивної крокової муфти, висота перешкоди, маса пачки деревини) на тягові зусилля переміщення трелювального засобу.

Методика проведення досліджень

Дослідження впливу різних факторів (кут прикладання тягової сили, зусилля затягування регулювальної гайки адаптивної крокової муфти, висота перешкоди, маса пакета деревини) на тягові зусилля проводились у лабораторних умовах, а саме в лабораторії кафедри лісопромислового виробництва та лісових доріг (ЛПВ ЛД) на території Національного лісотехнічного університету України у Львові. Під час досліджень використовувалися малогабаритні трелювальні установки з рушієм кроково-ковзного типу («крокуючі сани») та низки вимірювальних засобів. Схема переміщення рушія малогабаритного трелювального засобу «крокуючі сани» зображена на рис. 1.

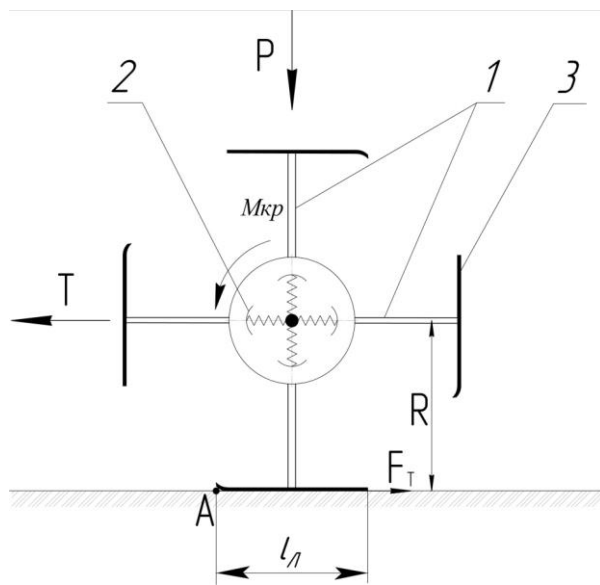


Рис. 1. Схема загального вигляду малогабаритного трелювального засобу «крокуючі сани»: 1 – опорні кронштейни; 2 – адаптивна крокова муфта; 3 – лижа; P – навантаження на вісь; R – довжина опорного кронштейна; T – тягове зусилля; F_T – сила тертя; $l_{л}$ – довжина лижі

Дослідження проводились у декілька етапів:

- вимірювання тягового зусилля під час трелювання деревини залежно від кута прикладання тягового зусилля (у лабораторних умовах, з трьома різними масами пакета деревини – 30,4 кг; 54,0 кг; 73,2 кг);

- визначення оптимального кута прикладання тягової сили до трелювального візка (діапазон 5° – 30°), за умови якого це зусилля найменше;

- вимірювання тягового зусилля під час трелювання деревини залежно від зусилля затягування регулювальної гайки адаптивної крокової муфти (у лабораторних умовах, з трьома різними масами пакета деревини);

- визначення оптимального зусилля затягування регулювальної гайки адаптивної крокової муфти, з огляду на ряд у 5,0 Н·м, 7,5 Н·м, 10,0 Н·м, коли витрачається найменше тягове зусилля на трелювання вантажу;

- вимірювання тягового зусилля на трелюванні деревини за наявності перешкоди (у лабораторних умовах, з трьома різними масами пакета деревини).

Вимірювання маси пакета деревини й тягових зусиль, що виникають під час трелювання, проводились за допомогою вагдинамометра ВКЕ-01-05 з ціною поділки динамометра 0,2 кг. Під час вимірювання тягових зусиль динамометр одним кінцем кріпився до тягового ланцюга, який зі свого боку кріпився до осі трелювального засобу.

Для визначення оптимального кута прикладання тягового зусилля до трелювального засобу використовували спеціально виготовлений «транспортир» з нульовою позначкою, яка збігалася з віссю прикладання зусилля до осі візка.

Дослідження проводились в лабораторних умовах з трьома різними масами пакета деревини, на поверхнях із різними коефіцієнтами опору руху ковзання, а саме на поверхні з низьким коефіцієнтом опору руху (ДСП), на поверхні з високим коефіцієнтом опору руху (бетонна плита) та сніговому покриві, що імітує реальні умови використання трелювальної установки. Переміщення трелювального візка відбувалось за наявності перешкоди й без неї. Основне завдання – визначити оптимальний кут прикладання тягового зусилля до трелювального візка в діапазоні 5° – 30° за наявності перешкоди на шляху, коли це зусилля буде найменшим. Також для визначення тягового зусилля проводились його заміри з різним зусиллям затягування регулювальної гайки адаптивної крокової муфти.

На рис. 2 і 3 зображено деякі фрагменти проведення досліджень з визначення тягових зусиль під час трелювання пакета деревини різної маси з урахуванням: кута прикладання тягового зусилля, зусилля затягування регулювальної гайки адаптивної крокової муфти, наявності перешкоди, що виникає перед рушієм.



Рис. 2. Визначення тягового зусилля в процесі трелювання вантажу масою 54,0 кг (на вісь) за допомогою малогабаритного трелювального засобу «крокуючі сани» на поверхні з високим коефіцієнтом опору руху

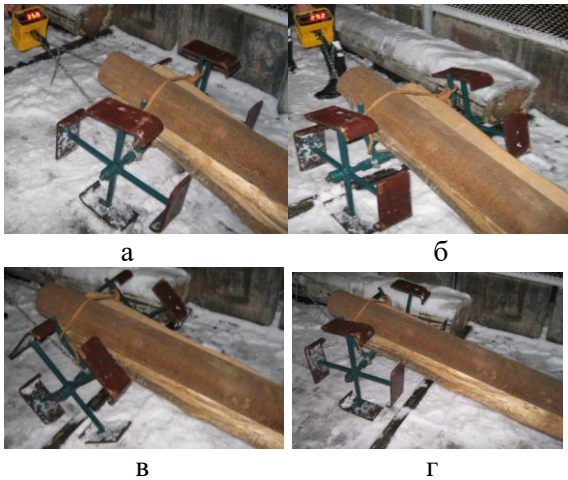


Рис. 3. Визначення тягового зусилля під час трелювання вантажу на сніговому покритті: а – ковзання візка по снігу; б – момент контакту рушія з перешкодою; в – спрацювання крокової муфти – крок через перешкоду; г – ковзний рух трелювального засобу

Щоразу після збільшення маси пакета деревини визначали навантаження на візок, який він створює. Результати всіх проведених вимірювань додавалися в журнал досліджень.

Результати проведення досліджень

Оптимальним кутом прикладання тягового зусилля до трелювального засобу вважається такий кут, за умови якого витрачається найменше зусилля на його переміщення. Значення цього кута необхідне для розроблення рекомендацій щодо виготовлення тягового пристрою (у разі з конем – збруя) для раціонального використання гужового транспорту чи моторизованих малогабаритних транспортних засобів (квадроциклів).

На першому етапі розглядався випадок для виконання операції трелювання ковзним рухом, тобто коли тягова сила, прикладена

до осі візка, є меншою за осьову силу, яка з допомогою пружини стримує адаптивну крокову муфту від виконання кроку.

Умова ковзного руху трелювального візка «крокуючі сани»:

$$T \leq Q, \quad (1)$$

де T – тягове зусилля, прикладене до осі візка, H ; Q – осьове зусилля, створене пружиною адаптивної крокової муфти, H .

З огляду на вищенаведені умови та результати, здобуті під час попередніх досліджень, можна зробити висновок про те, що в процесі виконання ковзного руху на величину тягового зусилля практично не впливає зусилля затягування регулювальної гайки адаптивної крокової муфти.

У табл. 1 подано результати досліджень тягового зусилля на різних типах покриття (навантаження на вісь – 30,4 кг, зусилля затягування регулювальної гайки адаптивної крокової муфти – 5 Н·м).

Таблиця 1 – Залежність тягового зусилля від кута прикладання β та зусилля затягування регулювальної гайки адаптивної крокової муфти 5 Н·м

Кут β № з/п	5	10	15	20	25	30
Тягове зусилля на покритті з низьким коефіцієнтом опору руху ковзання (ДСП), H						
1	112	120	128	142	152	164
2	110	122	132	138	156	168
3	114	118	134	140	154	166
Середнє значення	112	120	132	140	154	166
Тягове зусилля на покритті з високим коефіцієнтом опору руху ковзання (бетонна плита), H						
1	208	214	224	230	242	258
2	206	216	220	234	244	260
3	204	212	222	232	240	256
Середнє значення	206	214	222	232	242	258
Тягове зусилля на сніговому покритті, що імітує реальні умови використання трелювального засобу, H						
1	140	158	170	176	182	200
2	136	154	166	178	184	196
3	138	156	168	174	186	198
Середнє значення	138	156	168	176	184	198
Тягове зусилля за наявності перешкоди перед трелювальним візком, H						
1	448	424	390	414	442	478
2	444	420	394	412	438	480
3	446	422	392	410	440	476
Середнє значення	446	422	392	414	440	478

Нижче наведено графіки залежності тягового зусилля від кута прикладання тягового зусилля за умови навантаження на вісь 30,4 кг і 73,2 кг. Для побудови графіків використовуємо середні значення отриманих величин тягового зусилля, які визначались із трьох замірних у процесі трелювання на різних поверхнях без перешкоди. У цьому разі розглядаємо ковзний рух, тому зусилля зтягування муфти великого значення не має, оскільки в цьому випадку вона не спрацює. За умови різних зусиль зтягування регульовальної гайки адаптивної крокової муфти зміна величини тягового зусилля знаходиться в межах 15 Н, тобто 1,5 кг, для трелювання певної маси деревини, що не суттєво.

На зображеному на рис. 4 графіку використано значення тягових зусиль, отриманих у процесі трелювання деревини масою 30,4 кг та зусиллям зтягування регульовальної гайки адаптивної крокової муфти 5 Н·м.

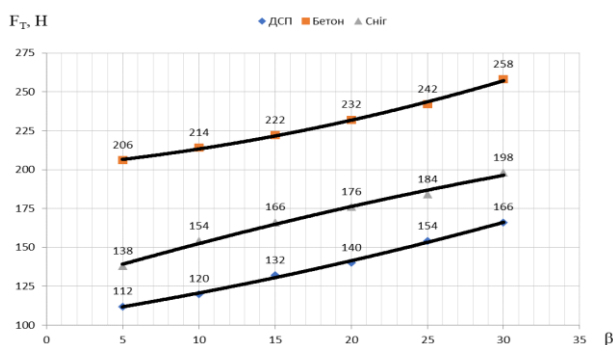


Рис. 4. Залежність тягового зусилля від кута його прикладання до візка під час трелювання вантажу без перешкоди (навантаження на вісь $P=30,4$ кг, зусилля зтягування регульовальної гайки адаптивної крокової муфти – 5 Н·м)

Аналогічно проводили дослідження залежності тягового зусилля від кута його прикладання до візка на різних типах опорних поверхонь під час трелювання вантажу без перешкоди за умови навантаження на вісь 54,0 кг і 73,2 кг, із зусиллям зтягування регульовальної гайки адаптивної крокової муфти 7,5 і 10 Н·м відповідно (рис. 5).

З отриманих залежностей тягового зусилля від кута його прикладання для різних трелюваних мас вантажу можна зробити висновок про те, що під час трелювання без перешкод (незалежно від типу поверхні) оптимальний кут прикладання тягового зусилля наближається до 0° , тобто практично збігається з горизонтальним складником прикла-

дання тягового зусилля. Це викликано відсутністю вертикального складника сили, яка потрібна для того, щоб трохи підняти візок на деяку висоту, навколо т. А (рис. 1), для виконання рушієм крокуючого руху.

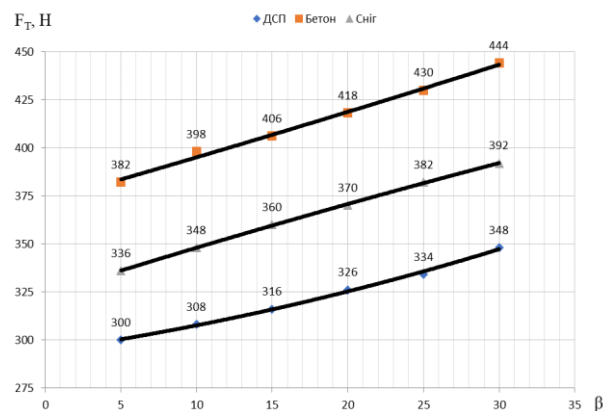


Рис. 5. Графік залежності тягового зусилля від кута його прикладання до візка під час трелювання вантажу без перешкоди (навантаження на вісь $P = 73,2$ кг, зусилля зтягування регульовальної гайки адаптивної крокової муфти в 5 Н·м)

З наведених вище результатів досліджень також можна дійти висновку, що величина зусилля зтягування регульовальної гайки адаптивної крокової муфти не впливає на величину тягового зусилля переміщення візка в разі руху на рівній поверхні без перешкод.

У нашому випадку малогабаритний трелювальний засіб виконує функцію саней, тобто реалізується умова (1), а саме $F_T \leq Q$. Це означає, що тягове зусилля, прикладене до осі візка, є меншим за осьову силу муфти, яка створена пружиною, що тисне на штифт, через шайбу. Це підтверджує функціональну ефективність запропонованого трелювального засобу «крокуючі сани», оснащеного адаптивною кроковою муфтою. Однак за наявності перешкоди зусилля зтягування регульовальної гайки муфти має суттєве значення.

Вищенаведені графіки підтверджують, що тягове зусилля зростає із збільшенням кута його прикладання до осі візка в разі ковзання рушія на опорній поверхні. Проведені дослідження на сніговому покриві, тобто на поверхні з низьким коефіцієнтом опору руху ковзання в рівнинних умовах, показали, що тягове зусилля також зростає за умови появи нерівностей і збільшення сили тертя з поверхнею. У цьому разі рушій трелювального засобу намагається зробити крок. Для цього

необхідно, щоб тягове зусилля було більшим за осьову силу, яку створює пружина під впливом затягування регулювальної гайки адаптивної крокової муфти.

Розглянемо залежність тягового зусилля від кута його прикладання до осі візка під час здійснення крокуючого руху, тобто руху через перешкоду.

Із рис. 6 видно, що під час переміщення крокуючого рушія, у разі виконання ним «кроку», його вісь, тобто т. О, спочатку піднімається на певну висоту, а потім опускається на величину h_2 , займаючи найнижче положення, далі знову піднімається і т. д. Рух т. О показаний штрих-пунктирною лінією. Отже, тягове зусилля зростає внаслідок опору, що створює адаптивна крокуюча муфта, а також через те, що потрібно трохи підняти на певну висоту візок із вантажем, а саме ту частину вантажу, яка створює навантаження на вісь.

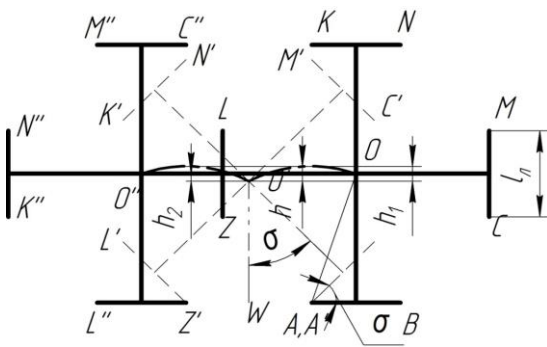


Рис. 6. Схема руху кроково-ковзного рушія малогабаритного трельовального засобу «крокуючі сани»

Здобуті результати подано у вигляді графіків (рис. 7–9) з урахуванням одного з основних факторів, що впливає на величину тягового зусилля – зусилля затягування регулювальної гайки адаптивної крокової муфти.

З наведених графіків можна зробити висновки, що оптимальний кут прикладання тягового зусилля, незалежно від величини навантаження на вісь і зусилля затягування регулювальної гайки адаптивної муфти, лежить в діапазоні 15° – 19° .

Це зумовлено тим, що для виконання рушієм кроку сила тяги розкладається на два складники: горизонтальний і вертикальний. Перший потрібний для того, щоб візок виконував поступальний рух, а другий – для підняття візка з вантажем навколо т. А, яка в цьому разі є його віссю обертання (рис. 6).

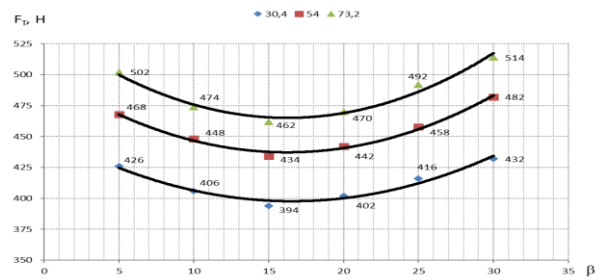


Рис. 7. Залежність тягового зусилля від кута його прикладання за умови змінного навантаження на вісь (30,4 кг, 54,0 кг, 73,2 кг) за наявності перешкоди (зусилля затягування муфти $F_{3,м} = 5 \text{ Н}\cdot\text{м}$)

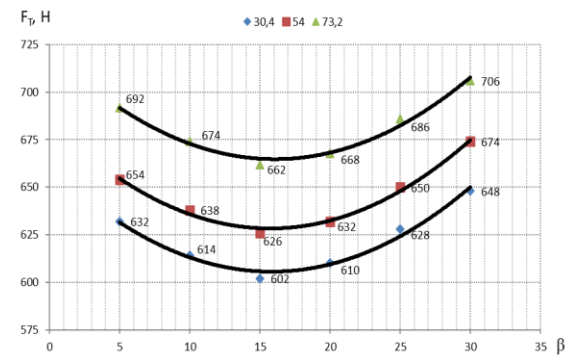


Рис. 8. Залежність тягового зусилля від кута його прикладання за умови змінного навантаження на вісь (30,4 кг, 54,0 кг, 73,2 кг) за наявності перешкоди (зусилля затягування муфти $F_{3,м} = 7,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$)

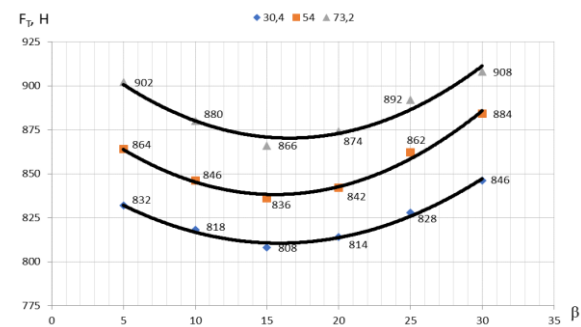


Рис. 9. Залежність тягового зусилля від кута його прикладання за умови змінного навантаження на вісь (30,4 кг, 54,0 кг, 73,2 кг) за наявності перешкоди (зусилля затягування муфти $F_{3,м} = 10 \text{ Н}\cdot\text{м}$)

Точка О, що збігається з віссю візка і є центром мас рушія, має піднятися на висоту h_1 та опуститися на висоту h_2 , що в сумі утворює величину h . Хоча загальна висота зміщення т. О є незначною, можна спостерігати, що за умови збільшення кута прикладання тягового зусилля на 5° тягове зусилля

змінюється досить суттєво – від 10 до 25 Н. Із збільшенням навантаження на вісь (маси трельованої пачки) тягове зусилля також зростатиме.

У разі, якщо кут прикладання тягового зусилля наближається до 0°, тобто вертикальний складник є незначним, необхідно прикласти набагато більше зусиль для подолання осевої сили затягування регулювальної гайки на кроковій муфті.

Якщо ж кут є більшим ніж 19°, потрібно прикласти додаткові зусилля, щоб трохи підняти трельовальний візок та досягнути такої величини тягового зусилля, яка задовільнила б умову виконання рушієм кроку через перешкоду.

Висновки

Установлено, що запропонований трельовальний засіб «крокуючі сани» показав ефективність роботи в умовах, наближених до реальних. Експериментально доведено, що під час ковзного руху малогабаритного трельовального засобу (без перешкод) кут прикладання сили тяги, у разі якого буде витрачатися найменше тягове зусилля для переміщення, наближається до 0° щодо горизонтального складника. Експериментально визначено оптимальний кут прикладання тягового зусилля для переміщення трельовального засобу «крокуючі сани» за наявності перешкоди, що лежить у діапазоні 15°–19°. Це підтверджує достовірність проведених теоретичних досліджень. Якщо кут прикладання тягового зусилля лежить поза межами цього діапазону – тягове зусилля зростає.

Література

1. Магура Б. О. Обґрунтування конструкції малогабаритного трельовального засобу для первинного транспортування деревини на заболочених лісосіках. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка*. Харків. 2014. Вип. 155 «Інноваційні технології деревообробної промисловості та механізації процесів у лісовому комплексі». С. 37–44.
2. Патент на корисну модель UA 109011, МПК B60P 3/41 (2006.01), B62D 63/08 (2006.01). Малогабаритний трельовальний засіб «Крокуючі сани» / Б. О. Магура, В. В. Кий; заявник і власник патенту Національний лісотехнічний університет України. № у 2016 00976; заявл. 08.02.2016; опубл. 10.08.2016. Бюл. № 15.
3. Ramin Naghdi, Ahmad Solgi, Eric K. Zenner. Soil disturbance caused by different skidding methods in mountainous forests of Northern Iran. *International Journal of Forest*

Engineering. 2015. 26:3. P. 212–224. DOI: 10.1080/14942119.2015.1099814

4. Рекомендації з удосконалення технології лісозаготівлі при різних способах рубок в гірських лісах Українських Карпат / В. Л. Коржов та ін. Івано-Франківськ: Просвіта, 2017. 52 с.
5. Шкіря Т. М. Щодо кінного трельовання деревинної сировини в умовах крутосхилих лісосік. *Наук. вісник Укр ДЛТУ*. Львів: Укр ДЛТУ, 1999. Вип. 9.6. С. 115–119.
6. Mahura B., Bihun Y., Deyneka A. Opportunities and challenges in promoting sustainable timber harvesting in the Ukrainian Carpathians / W. S. Keeton, I. P. Soloviy (eds). *Ecological economics and sustainable forest management: developing a transdisciplinary approach for the Carpathian Mountains*. Lviv: Ukrainian National Forestry University Press, 2009.
7. Библюк Н. І. Екологічна сумісність наявних технологій лісозаготівлі з природнім середовищем: європейський досвід і українські реалії. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. Львів, 2004. Вип. 3. С. 118–132.

References

1. Mahura, B. O. (2014) Substantiation of construction design of small-sized skidding mean for timber primary transportation on waterlogged cutting areas. *Bulletin of the Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petro Vasylenko*, Kharkiv, issue 155 "Innovative technologies of the woodworking industry and mechanization of processes in the forest complex", pp. 37–44. [in Ukrainian].
2. Utility model patent UA 109011, IPC B60P 3/41 (2006.01), B62D 63/08 (2006.01). Small-sized skidding device "Walking sledge" / B. O. Mahura, V. V. Kiy; the applicant and the owner of the patent is the National Forestry University of Ukraine, no. u 2016 00976; statement 08.02.2016; published 10.08.2016. Bull. no. 15. [in Ukrainian].
3. Ramin Naghdi, Ahmad Solgi, Eric K. Zenner (2015) Soil disturbance caused by different skidding methods in mountainous forests of Northern Iran. *International Journal of Forest Engineering*, 26:3, pp. 212–224. DOI: 10.1080/14942119.2015.1099814
4. Korzhov, V. L., Kudra, V. S., Kuzyk, P. M., Tymchuk, B. I., Kokots, S. Yu., Pukman, V. V., Styranivskyi, Yu. O. (2017) Recommendations for improvement of logging technology with different felling methods in the mountain forests of the Ukrainian Carpathians. Ivano-Frankivsk, 52 p. [in Ukrainian].
5. Shkirya, T. M. (1999) Concerning the horse skidding of wood raw materials in the conditions of steep slope cutting areas. *Scientific Bulletin of Ukr DLTU*, Lviv, issue 9.6, pp. 115–119. [in Ukrainian].
6. Mahura, B., Bihun, Y., Deyneka, A. (2009) Opportunities and challenges in promoting

sustainable timber harvesting in the Ukrainian Carpathians / W. S. Keeton, I. P. Soloviy (eds). *Ecological economics and sustainable forest management: developing a transdisciplinary approach for the Carpathian Mountains*. Lviv: Ukrainian National Forestry University Press.

7. Bybljuk, N. (2004) Ecological compatibility of present technologies of the timber cutting with the Environment: European experience and Ukrainian realities. *Scientific Works*, Lviv, vol. 3, pp. 118–132. [in Ukrainian].

Магура Богдан Олексійович, канд. техн. наук, доцент кафедри лісопромислового виробництва та лісових доріг, Національний лісотехнічний університет України, magbogdan@yahoo.com, тел. +38 067-664-19-18.

Бакай Борис Ярославович, канд. техн. наук, доцент кафедри лісопромислового виробництва та лісових доріг, Національний лісотехнічний університет України, bakay_b@yahoo.com, тел. +38 096-444-87-30.

Білоус Олексій Володимирович, канд. техн. наук, доцент кафедри матеріалознавства та інженерії матеріалів, Національний університет «Львівська політехніка», volod_11@ukr.net, тел. +38 097-353-13-72.

Каратник Ігор Романович, канд. техн. наук, доцент кафедри лісопромислового виробництва та лісових доріг, Національний лісотехнічний університет України, igor.karatnyk@gmail.com, тел. +380-95-713-50-41.

Кий Володимир Васильович, канд. техн. наук, доцент кафедри лісопромислового виробництва та лісових доріг, Національний лісотехнічний університет України, kiy_vv01@yahoo.com, тел. +38 098-489-52-18.

Determining the optimal angle of traction force application of a "walking sledge" skidding device

Abstract. Problem. Rounwood skidding is one of the most important operations during a timber harvesting. Often, especially during the shelterwood and improvement felling, it is necessary to use small-sized means of mechanization, including horse traction. For the effective use of horse traction, it is advisable to use special means that would facilitate the work of animals and allow to achieve appropriate labor productivity on skidding operation. The most famous and numerous auxiliary devices for horse timber skidding are various carriages whose design is constantly being improved. However, the carriages have proven themselves well on soils with high bearing capacity. On moistened and overmoistened soils, during the movement of such carriages with load, significant resistance to the rolling (movement) of the carriage's wheels occurs, due to the significant wheels' subsidence in the soil and the appearance of soil prisms in front of the wheels in the direction of movement. Even greater complications arise, when an obstacle appears – a stone, stump, etc. Then the movement of the wheel, depending on the obstacle, is impossible or requires a significant increase in the

traction force. Therefore, the development of environmentally safe and energy-saving technologies and equipment for timber logging in complicated, particularly swampy, forest usage conditions is an important task for forestry scientists. **Goal.** The purpose of the research is to confirm the effectiveness of the skidding device "walking sledge" (obtained theoretically), namely to determine the optimal angle of traction force application for moving the device in the presence of obstacles. **Methodology.** Experimental studies were carried out with the use of a small-sized skidding device "walking sledge" in laboratory conditions with three different weights of the wood package (load), on surfaces with different sliding resistance coefficients, namely on a surface with a low coefficient of movement resistance (chipboard), on a surface with a high coefficient of movement resistance (concrete) and snow cover, which simulates the real conditions of the skidding device usage. The movement of the skidding carriage was carried out with and without an obstacle. **Results.** As a result of the conducted experimental studies, the optimal angle of traction force application for moving the skidding device "walking sledge" during its movement in a cutting area in the presence of obstacles has been determined, which lies in the range of 15°–19°. **Originality.** The small-sized skidding device "walking sledge" has been developed at the Ukrainian National Forestry University, which combines the advantages of both a sliding-type mover and a wheeled-type mover [1]. Such device is intended for use in a complicated conditions of forest usage, namely on swampy cutting areas. The carriage mover, when it meets with an obstacle or when it is "immersed" in the swamp, scrolls and makes a step. The proposed device received a utility model patent № 109011 [2]. **Practical value.** The proposed skidding device "walking sledge" has shown its effectiveness when used in conditions closed to real ones and is recommended for usage during logging operations in moistened and waterlogged plots of forest cutting areas.

Key words: skidding, mover, cutting area, skidding device "walking sledge", traction force, adaptive clutch.

Mahura Bohdan, Ph.D., Assoc. Professor, Department of Forest Engineering, Ukrainian National Forestry University (UNFU), magbogdan@yahoo.com, тел. +38 067-664-19-18.

Bakay Borys, Ph.D., Assoc. Professor, Department of Forest Engineering, UNFU, bakay_b@yahoo.com, тел. +38 096-444-87-30.

Bilous Oleksiy, Ph.D., Assoc. Professor, Department of Materials Science and Engineering, National University "Lviv Polytechnic", volod_11@ukr.net, тел. +38 097-353-13-72.

Karatnyk Ihor, Ph.D., Assoc. Professor, Department of Forest Engineering, UNFU, igor.karatnyk@gmail.com, тел. +380-95-713-50-41.

Kiy Volodymyr, Ph.D., Assoc. Professor, Department of Forest Engineering, UNFU, kiy_vv01@yahoo.com, тел. +38 098-489-52-18.