

doi: 10.32620/oikit.2025.103.11

УДК 629.33:621.861.2

А. М. Григорович, Д. О. Мануйленко

Дослідження ефективності застосування поліспастих систем при витягуванні автомобіля, що застряг.

Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»

У статті розглядається питання застосування поліспастих систем під час витягування застряглих автомобілів. Досліджувався ступінь впливу сил тертя на практичне значення зусилля, що розвивається поліспастих системами різних схем. У роботі моделювалася ситуація, за якої необхідно витягнути на дорогу автомобіль, що з'їхав у кювет. При цьому необхідне зусилля витягування можливо забезпечити тільки із застосуванням поліспастих систем. Визначався практичний виграш у силі, по відношенню до теоретично очікуваного виграшу в силі. Для проведення дослідження було обрано три найпоширеніші схеми поліспастих систем, що мають кратність 2, 3 і 6. Теоретичні розрахунки і практичні дослідження проводилися виходячи з умов застосування одного і того ж набору елементів, що входять до поліспастих системи. Ефективність застосування кожної із запропонованих поліспастих схем перевірялася для трьох різних кутів охоплення тросом поліспастих системи. У роботі порівнювалися результати теоретичних розрахунків при застосуванні трьох різних розрахункових схем. Одна із застосованих розрахункових схем не враховує ККД елементів, що входять до системи, і не враховує сили тертя, які виникають у ній, друга розрахункова схема враховує ККД елементів, які входять до неї, без урахування впливу сил тертя., Пропонована у статті розрахункова методика враховує вплив сил тертя та ККД елементів, що входять до поліспастих системи. Отримані результати подано у вигляді відсотків. За 100 відсотків прийнято очікуване зусилля, отримане під час застосування розрахункової методики, яка не враховує вплив сил тертя і ККД застосовуваних елементів. Теоретичні результати застосування розрахункової моделі, запропонованої в роботі, порівнювалися з результатами фізичного моделювання. Отримані результати показують збіжність отриманих результатів. Це доводить можливість застосування розрахункової методики, яка запропонована в статті, на практиці. Визначено, що практичні значення ефективності поліспастих системи становлять 80 % до 25 % від теоретично очікуваного значення. Отримані дані можуть допомогти у виборі схеми поліспастих та виборі необхідного обладнання в практичній роботі.

Ключові слова: витягування автомобіля; поліспастих система; сила тертя; виграш у силі; кратність поліспастих системи

Постановка проблеми

У загальному випадку, під терміном евакуація автомобільної техніки прийнято приймати комплекс робіт, у якому передбачається проведення робіт з пошуку, приведення об'єкта евакуації в транспортабельний стан та транспортування пошкоджених машин до місця ремонту або місця передачі. Велика кількість випадків проведення евакуаційних робіт пов'язана з необхідністю витягування застряглих, перекинутих або потонулих автомобілів.

У залежності від ступеня застрягання автомобіля для його витягування в більшості випадків для його витягування застосовують такі способи витягування:

- пряме витягування автомобілем-тягачом
- самовитягування за допомогою лебідки, якою обладнано застряглий автомобіль
- витягування за допомогою лебідки, якою обладнано автомобіль-тягач

У багатьох випадках пряме зусилля, яке може розвинути автомобіль-тягач, або зусилля лебідки яку застосовують для витягування, недостатньо для

витягування об'єкта евакуації. Це диктує необхідність застосування поліспастичних систем, які дозволяють значно збільшувати тягове зусилля, яке необхідно задіяти для успішного витягування автомобіля що застряг.

У існуючій довідковій та методичній літературі наводиться велика кількість схем поліспастичних систем, що дозволяють отримати необхідний для вирішення задачі, виграш у силі [1].

Значну кількість застрягань становлять застрягання легкових автомобілів, які в силу конструктивних особливостей не оснащені лебідками з металевим тросом. У таких випадках для витягування автомобіля, що застряг, застосовуються троси або стропи, виготовлені з синтетичних матеріалів. Маючи ряд переваг перед металевим тросом, вони мають ряд особливостей, які вимагають більшої уваги при визначенні граничної величини напруг, які виникають при їх практичному застосуванні.

При застосуванні методу «прямого витягування», коли до автомобіля, що застряг, прикріплюється один кінець буксирувального троса, а другий кінець троса прикріплений до автомобіля, яким здійснюють витягування дуже зручно використовувати синтетичні стропи. Виготовлені заводським способом, вони мають різне розривне зусилля і легко дозволяють підібрати необхідну модель виходячи з умов передбачуваного застосування.

Іншим поширеним варіантом є використання у якості буксирного троса альпіністської вірьовки. Основні технічні характеристики вірьовок, що застосовуються в альпінізмі, регламентовані відповідними нормативними документами (ДСТУ EN 1891:2006 Індивідуальне спорядження для захисту від падіння з висоти. Статичні вірьовки) [2].

У порівнянні з металевим тросом якій має подібні характеристики (розривне зусилля) синтетична альпіністська вірьовка має такі переваги:

- значно менша вага;
- компактність у зберіганні;
- зручність у зав'язуванні необхідних вузлів;
- виключення можливості поранити руки під час роботи з вірьовкою незахищеними руками

Виходячи з цього, синтетична альпіністська вірьовка все частіше вибирається для використання у якості буксирувального тросу. Цьому сприяють її високі технічні та експлуатаційні характеристики. Наприклад, вірьовка альпіністська діаметром 10 мм і завдовжки 40 метрів, відповідно до вимог ДСТУ EN 1891 витримує навантаження на розрив до 2200 кг, і при цьому має вагу в районі 3 кілограми. При цьому вона має відносно компактні розміри.

З урахуванням деяких особливостей застосування синтетичних тросів (значний коефіцієнт лінійного подовження, недостатня стійкість до імпульсних навантажень) виникає необхідність більш детального визначення напруг, що виникають у поліспастичних системах, які застосовуються для витягування застряглих автомобілів.

1. Вибір початкових даних

У загальному випадку поняття «поліспасти» можна визначити як тросово-блокову систему, яка дозволяє отримати необхідний виграш в силі або відстані. У роботі розглядаються поліспасти «силових» схем, тобто поліспастичні системи, які дозволяють отримати виграш у силі.

Основним параметром, який характеризує поліспастичну систему, є

теоретичний виграш в силі (ТВС). Він визначає, у скільки разів зростає кінцеве зусилля поліспастиної системи до прикладеного зусилля тяги. У деяких випадках замість терміна «теоретичний виграш у силі» застосовується термін «кратність поліспасти». Теоретично кратність поліспасти завжди є цілим числом, і залежить тільки від конкретної схеми застосовуваного поліспасти [1].

У загальному випадку кратність поліспасти визначається за такою формулою:

$$i = n_r / j \quad (1)$$

де i – кратність поліспасти;

n_r – кількість гілок поліспасти;

j – кількість гілок поліспасти, що набігають на барабан (блок).

Наведена формула не враховує ступінь впливу ККД блоків, які застосовуються для складання системи поліспасти.

Для більш точного визначення кратності поліспастиної системи, застосовується уточнена формула, у якій враховується вплив ККД, блоків що застосовуються у системі.

Уточнена формула визначення ККД поліспасти має вигляд:

$$\eta_{\pi} = \frac{(1 - \eta_{\text{бл}}^{i_{\pi}}) \cdot \eta_{\text{бл}}^a}{(1 - \eta_{\text{бл}}) \cdot i_{\pi}} \quad (2)$$

де η_{π} – загальний ККД поліспастиної системи;

$\eta_{\text{бл}}$ – ККД блоків, що застосовується в поліспастиній системі;

i_{π} – кратність поліспастиної системи;

a – кількість обвідних блоків.

При проведенні робіт з витягування автомобіля що застряг, використовуються поліспастині схеми різних схем. Вибір поліспастиної схеми багато в чому залежить від ступеня застрягання автомобіля, його маси, характеристик опорної поверхні та ряду інших факторів. Складні випадки евакуації вимагають залучення фахівців, які володіють необхідними навичками, та ресурсами. Як правило, під час проведення таких робіт використовується комплект такелажного обладнання спеціально призначеного для виконання завдань такого роду. В даному випадку кваліфікація виконавців і наявність чітких методик і регламентуючих вказівок виключають виникнення ситуацій, що можуть привести до можливого руйнування елементів такелажного обладнання, яке в цьому випадку застосовується при витягуванні автомобіля.

У роботі розглядаються випадки застрягання автомобілів, які відповідно до існуючої класифікації типів застрягань відносяться до категорії «легких» та «середніх» застрягань. Як правило, у таких випадках застрягання виконання робіт з витягування застряглих автомобілів не вимагають застосування спеціалізованого комплексу такелажного обладнання, або відбуваються в ситуаціях відсутності повного комплексу необхідного обладнання.

Для витягування автомобіля в таких випадках достатньо наявності троса необхідної довжини і кількох обвідних роликів. У якості роликів на практиці найчастіше використовуються різного роду карабіни або скоби, а у якості тросу альпіністська мотузка. Більш підготовлені водії у якості роликів використовують заводські ролики, призначені для застосування в спортивному туризмі, альпінізмі або для виконання робіт, що відносяться до сфери промислового альпінізму (ДСТУ EN 12278:2018 Спорядження для альпінізму. Блок-ролики. Вимоги щодо безпеки та методи випробування). Так само у якості з'єднувальних елементів

широко практикується використання карабінів призначених для занять альпінізмом (ДСТУ EN 12275:2018 Спорядження для альпінізму. З'єднувачі. Вимоги щодо безпеки та методи випробування) [4]. Витримуючи максимальне навантаження від 2200 до 5000 кг. такі блочки і карабіни повністю забезпечують можливість виконання робіт з витягування автомобіля, що застряг.

Найчастіше у разі «легкого» «середнього» застрягання автомобіля застосовуються поліспастині схеми, що мають теоретичний вигравш у силі (ТВС), що лежить в межах від 2...6.

У якості обвідних блочків на практиці найчастіше використовуються карабіни, скоби або блочки призначені для занять альпінізмом. Відповідно до даних заводу виробника у залежності від конкретного виконання ККД зазначених блочків становить від 0,7 до 0,92. Проведені з використанням стандартних методик випробування визначили, що ККД карабінів та металевих скоб які використовуються як обвідні блочки з достатнім ступенем достовірності можна прийняти таким, що дорівнює 0,5.

2. Порівняння різних розрахункових моделей визначення зусиль та вибір початкових даних

У Роботі розглядається можливість витягування машини в одному з найпоширеніших випадків застрягання. Автомобіль з'їхав з проїжджої частини до кювету, рівень якого нижче проїжджої частини дороги, на яку потрібно витягнути застряглий автомобіль. Для забезпечення необхідної сили витягування необхідно використання поліспастиної системи.

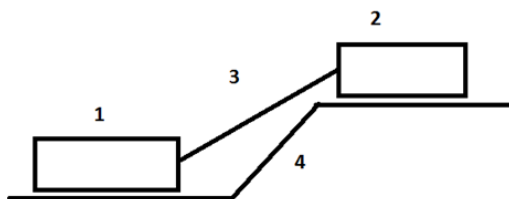


Рис. 1. Перша модель витягування автомобіля, що застряг
1 – автомобіль який потребує витягування, 2 – автомобіль який здійснює витягування, 3 – трос поліспастиної системи, 4 – опорна поверхня дороги.

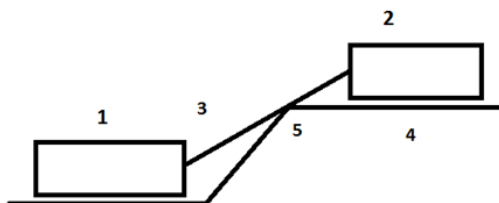


Рис. 2. Друга модель витягування автомобіля, що застряг.
1 – автомобіль який потребує витягування, 2 – автомобіль який здійснює витягування, 3 - трос поліспастиної системи, 4 - опорна поверхня дороги, 5 – місце тертя тросів поліспастиної системи та опорної поверхні дороги

В даний час застосовуються два основні методи розрахунку зусиль, що виникають в поліспастих системах. Одна із методик яку можливо застосувати передбачає проведення необхідних розрахунків у випадку, коли гілки поліспастих системи висять у повітрі і не торкаються елементів рельєфу. Рисунок 1 ілюструє подібну ситуацію. У цьому розрахунковому випадку немає додаткових сил тертя в парі "гілки поліспастих системи - елементи рельєфу". Для проведення розрахунків у цьому випадку зручно використовувати формулу 2, яка використовується за умов відсутності впливу додаткових сил тертя на експлуатацію поліспастих системи.

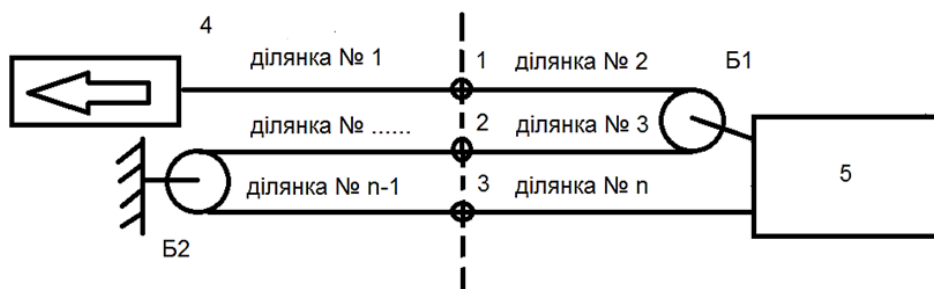


Рис.3. Розрахункова модель визначення напруг у поліспастих системі
1...3 – Точки тертя гілок поліспастих системи та елементів рельєфу,
Б1,Б2 – блоки поліспастих системи, 4 – автомобіль тягач,
5 – автомобіль який застряг.

Поява ситуації, яка представлена на рис. 2, вимагає застосування розрахункової методики, яка враховує додаткові сили тертя, що виникають у місцях тертя гілок поліспастих системи та елементів рельєфу. Особливістю розрахунків в цьому випадку виступає можливість появи нерівних напруг, які можуть виникати в різних гілках поліспастих системи, або у різних областях однієї гілки системи. У цьому розрахунковому випадку здається оптимальним застосування методики в основу якої покладено послідовне визначення зусиль, які виникають на окремих ділянках поліспастих системи, з подальшим підсумовуванням визначених напруг.

Використання цієї методики передбачає послідовне визначення напруг починаючи з напружень ділянки № 1. Для зручності сприйняття розрахункових результатів пропонується прийняти зусилля тяги автомобіля-тягача за 100%. Ділянка №1 визначається як область між точкою застосування зусиль та першою точкою, в якій можливі додаткові сили тертя. У наведеному прикладі це точка 1 на рисунку 3. Потім визначаються зусилля ділянки № 2 (точка 1 – блок Б1. рис.3). Розрахунки проводять до ділянки № n. Після цього підсумовуються напруги ділянок які безпосередньо контактують з об'єктом евакуації (у нашому випадку, автомобілем 5 рис 3). Відповідно до розрахункової схеми, яка наведена на малюнку 3, кінцеве зусилля визначаються як сума зусиль, які виникають у ділянках № 2, №3 та ділянки № n.

Враховуючи, що у точках 1,2 і 3 (див. рисунок 3) сили тертя виникають в результаті огинання з певним кутом охоплення тросом поліспастих системи елементів рельєфу, а на зміну зусиль натягу в точках Б1 і Б2 впливає ККД блоків, що застосовуються для проведення необхідних розрахунків пропонується застосування формули яка зв'яже виникаючі зусилля з кутом охоплення

вірвовкою опори і коефіцієнтом тертя в даній точці [6].

$$F = f e^{\mu \theta} \quad (3)$$

де F – зусилля натягу (у нашому розрахунковому випадку в %);

f – початкове зусилля натягу (у нашому розрахунковому випадку в %);

e – основа натурального логарифму (2,7182);

μ – коефіцієнт тертя ;

θ – кут обхвату (рад.);

Застосування формули 3 передбачає необхідність попереднього визначення коефіцієнтів тертя в парах, що труться, і ККД блоків які застосовуються при складанні поліспастиної системи.

При проведенні фізичного експерименту у всіх серіях використовувався однаковий набір стандартного спорядження.

Умови експерименту моделювали ситуацію, за якої коли трос поліспастиної системи третяся об поверхню бетонного бордюрного каменю. Додатковими дослідженнями було визначено:

- ККД блоків, що застосовуються в експерименті, становить 0,8.
- ККД карабінів, які застосовувалися замість блоків, становить 0,5.
- коефіцієнт тертя у парі «бордюрний камінь-застосовувана мотузка» з достатнім ступенем точності можна прийняти як 0,2.

Ці параметри приймалися як незмінні в усіх серіях експериментів. Кут охоплення мотузкою бордюрного каменю у різних серіях експерименту змінювався. В якості характерних кутів охоплення використовувалися кути 0° , $26,5^\circ$ і 45° . Навантаження що виникають у поліспастиній системі фіксувалися за допомогою двох електронних динамометрів типу WH-C8, які були встановлені на вхідній та вихідній ділянках досліджуваної поліспастиної схеми.

3. Результати перевірки застосування поліспастиних систем різних схем

Для проведення досліджень було обрано три різні схеми поліспастиних систем, які найчастіше використовують при витягуванні застряглого автомобіля, і які представлені на рисунках 4,5 та 6. Представлені схеми поліспастиних систем мають теоретичний вигреш у силі (ТВС) = 2, 3 і 6.

У роботі порівнюються очікувані теоретичні величини одержуваного зусилля поліспастиних систем, при застосуванні трьох різних розрахункових математичних моделей:

- модель №1. Модель не враховує ККД елементів, які входять у зібрану поліспастину систему, і не враховує сили тертя в системі (теоретично максимальна величина кратності поліспастиної системи);
- модель №2. Модель враховує ККД елементів, що входять у поліспастину систему, але без урахування впливу сил тертя;
- модель №3. Запропонована в роботі модель, що враховує ККД елементів поліспастиної системи та вплив сил тертя троса об рельєф.

Застосування першої розрахункової моделі (модель №1) зумовлено тим, що саме її найчастіше застосовують під час опису кратності поліспастинів у джерелах, якими найчастіше користуються водії під час пошуку способів витягування застряглого автомобіля.

Одночасно з цим більш спеціалізовані джерела інформації пропонують модель, в якій враховуються ККД елементів, що входять до поліспастиної системи (модель №2).

Метою застосування третьої моделі (модель №3) є визначення істинних значень ефективності застосування поліспадної системи в реальних умовах.

Теоретичні значення, що були отримані в результаті застосування третьої розрахункової моделі, порівнювали з результатами, отриманими під час фізичного моделювання застосування поліспадних систем на експериментальному стенді.

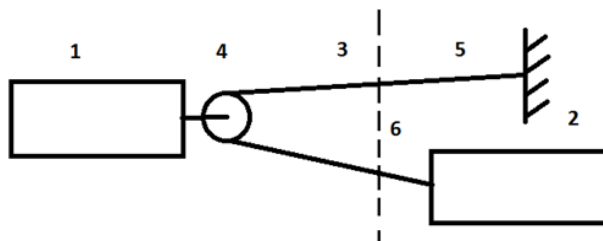


Рис.4. Розрахункова модель застосування поліспадної системи з ТВС=2

1 – автомобіль який потребує витягування, 2 – автомобіль який здійснює витягування, 3 – трос поліспадної системи, 4 – блок поліспадної системи, 5 – анкер для закріплення кінця тросу поліспадної системи, 6 – місце тертя тросів поліспадної системи та опорної поверхні дороги.

Для проведення першої серії розрахунків та експериментальних досліджень було обрано схему поліспадної системи, представлену на малюнку 4. Відповідно до розрахункової схеми №1 обрана схема поліспадної системи має теоретичний виграш у силі ТВС=2.

Перевіряли два варіанти застосування цієї системи:

- варіант №1 – складання поліспадної системи із застосуванням блока, що має ККД=0,8;
- варіант № 2 – складання поліспадної системи із застосуванням замість блоку сталевго карабіна, що має ККД=0,5.

Відповідно до запропонованої розрахункової моделі (модель №3) теоретичні розрахунки та фізичне моделювання проводились для кутів охоплення тросом поліспадної системи поверхні дороги під кутами 0°, 26,5° та 45°.

Отримані дані наводяться в таблиці 1.

Таблиця 1
Результати теоретичного розрахунку застосування поліспадної системи з ТВС = 2

Кут охвату	T1/T2	Д1	Д2	Д3	Д4	Загальне зусилля	Відносний результат
1	2	3	4	5	6	7	8
Застосування блочків (КПД=0,8)							
0°	1,00	1,00	1,00	0,80	0,8	1,8	90,0%
26,5°	0,91	1,00	0,91	0,76	0,66	1,67	83,5%
45°	0,85	1,00	0,85	0,68	0,58	1,53	76,7%
Застосування карабінів (КПД=0,5)							
0°	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	1,50	75,0%
26,5°	0,91	1,00	0,91	0,46	0,42	1,37	68,6%
45°	0,85	1,00	0,85	0,43	0,37	1,28	64,2%

Відношення $T1/T2$ (стовпчик 2 таблиці 1) показує окремо розрахований ступінь падіння натягу мотузки в точці тертя. Для полегшення розрахунків величина тертя у всіх точках прийнята однаковою.

Також, для зручності сприйняття, отримані значення наведено до відсоткового відношення отриманого результату (стовпчик 8, таблиця 1). За 100 % прийнято очікуване розрахункове значення кратності поліспастиної системи з $TBC=2$, при застосуванні розрахункової моделі №1.

Після проведення теоретичних розрахунків було проведено фізичне моделювання застосування цієї поліспастиної системи, з використанням тих самих кутів охоплення і ККД елементів, що входять до системи.

Під час експерименту проводилося по 10 повторних вимірів для кожного з кутів охоплення. Отримані дані наведено в таблиці 2. Тут, як і в попередньому випадку, за 100% прийнято очікувану кратність поліспастиної системи, визначену за допомогою розрахункової моделі №1

Таблиця 2

Результати фізичного моделювання застосування поліспастиної системи
з $TBC = 2$

Кут охвату	Модель 2	Модель 3	
	Очікуване значення (%)	Отримане значення (%)	Середньоквадратичне відхилення (%)
1	2	3	4
Застосування блочків (КПД=0,8)			
0°	90	87,68	2,44
26,5°	83,5	81,03	2,09
45°	76,7	74,67	1,56
Застосування карабінів (КПД=0,5)			
0°	75,0	72,6	2,63
26,5°	68,6	66,8	2,08
45°	64,2	62,3	2,00

Аналогічним чином визначали ефективність використання поліспастиної системи, схему якої представлено на рисунку 5. Відповідно до розрахункової схеми №1 обрана схема поліспастиної системи має теоретичний виграш у силі $TBC=3$.

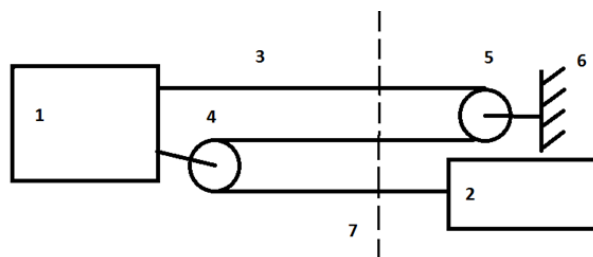


Рис.5. Розрахункова модель застосування поліспастиної системи
з $TBC = 3$

1 – автомобіль який потребує витягування, 2 – автомобіль який здійснює витягування, 3 – трос поліспастиної системи, 4,5 – блоки поліспастиної системи, 6 – анкер для закріплення кінця тросу поліспастиної системи, 7 – місце тертя тросів поліспастиної системи та опорної поверхні дороги.

Перевірялись два варіанти застосування цієї системи:

- варіант №1 – складання поліспасти системи із застосуванням блока, що має ККД=0,8;
- варіант № 2 – складання поліспасти системи із застосуванням замість блока сталевого карабіна, що має ККД=0,5.

Варіанти застосування обраної поліспасти схеми, для складання якої використовували 1 блок і 1 карабін, у цій роботі не розглядали.

Очікувані результати, отримані під час застосування розрахункової методики № 3, наведено в таблиці 3.

Дані, отримані під час проведення фізичного експерименту, наведені у таблиці 4. Тут, за 100% приймають очікувану кратність поліспасти з ТВС=3, яка визначена згідно з розрахунковою методикою №1.

Таблиця 3

Результати теоретичного розрахунку застосування поліспасти системи
з ТВС = 3

Кут охвату	T1/T2	Д1	Д2	Д3	Д4	Д5	Д6	Загальне зусилля	Відносний результат
Застосування блоків (КПД=0,8)									
0°	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80	0,64	0,64	2,44	81,3%
26,5°	0,91	1,00	0,91	0,76	0,66	0,53	0,48	2,15	71,7%
45°	0,85	1,00	0,85	0,68	0,58	0,46	0,39	1,92	64,0%
Застосування карабінів (КПД=0,5)									
0°	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,25	0,25	1,75	58,3%
26,5°	0,91	1,00	0,91	0,46	0,42	0,21	0,19	1,56	52,0%
45°	0,85	1,00	0,85	0,43	0,37	0,18	0,15	1,43	47,2%

Таблиця 4

Результати фізичного моделювання застосування поліспасти системи
з ТВС = 3

Кут охвату	Модель 2	Модель 3	
	Очікуване значення (%)	Отримане значення (%)	Середньоквадратичне відхилення (%)
1	2	3	4
Застосування блоків (КПД=0,8)			
0°	81,3	80,13	1,62
26,5°	71,7	70,18	1,90
45°	64,0	63,06	1,79
Застосування карабінів (КПД=0,5)			
0°	58,3	57,1	1,07
26,5°	52,0	50,62	1,39
45°	47,2	45,86	1,59

Аналогічним чином перевіряли ефективність використання поліспасти схеми, що має ТВС=6, схему якої представлено на рисунку 6.

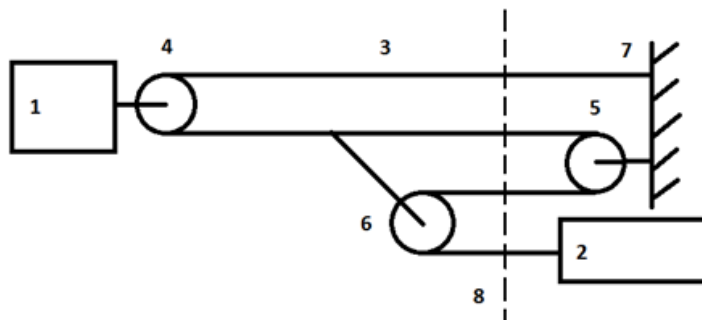


Рис. 6. Розрахункова модель застосування поліспадної системи з ТВЗ = 6

1 – автомобіль який потребує витягування, 2 – автомобіль який здійснює витягування, 3 – трос поліспадної системи, 4,5,6 – блоки поліспадної системи, 7 – анкер для закріплення кінця тросу поліспадної системи, 8 – місце тертя тросів поліспадної системи та опорної поверхні дороги.

Перевіряли два варіанти застосування цієї системи:

- варіант №1 – складання поліспадної системи із застосуванням блоку, що має ККД=0,8;
- варіант № 2 – складання поліспадної системи із застосуванням замість блоку сталевого карабіна, що має ККД=0,5.

Варіанти застосування обраної поліспадної схеми, для складання якої одночасно використовували різні комбінації блоків і карабінів, у цій роботі не розглядали.

Теоретичні результати застосування розрахункової методики №3 наведено в таблиці 5. У цьому розрахунку за 100% приймають очікувану кратність поліспада з ТВЗ=6 визначену згідно з розрахунковою методикою №1.

Таблиця 5

Результати теоретичного розрахунку застосування поліспадної системи з ТВЗ = 6

Кут охвату	T1/ T2	Д1	Д2	Д3	Д4	Д5	Д6	Д7	Д8	Загальне зусилля	Відносний результат
Застосування блочків (КПД=0,8)											
0°	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80	0,64	0,64	0,51	0,51	2,95	49,2%
26,5°	0,91	1,00	0,91	0,76	0,66	0,53	0,48	0,38	0,35	2,53	42,2%
45°	0,85	1,00	0,85	0,68	0,58	0,46	0,39	0,31	0,26	2,23	37,2%
Застосування карабінів (КПД=0,5)											
0°	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,25	0,25	0,13	0,13	1,88	31,3%
26,5°	0,91	1,00	0,91	0,46	0,42	0,21	0,19	0,09	0,09	1,65	27,5%
45°	0,85	1,00	0,85	0,43	0,37	0,18	0,15	0,08	0,07	1,51	25,2%

Результати фізичного моделювання ефективності застосування поліспадної системи з ТВЗ=6 наведено в таблиці 6.

Таблиця 6

Результати фізичного моделювання застосування поліспасти системи
з $TBC = 6$

Кут охвату	Модель 2	Модель 3	
	Очікуване значення (%)	Отримане значення (%)	Середньоквадратичне відхилення (%)
1	2	3	4
Застосування блочків (КПД=0,8)			
0°	49,2%	47,81	1,40
26,5°	42,2%	40,82	1,49
45°	37,2%	35,94	1,27
Застосування карабінів (КПД=0,5)			
0°	31,3%	30,03	1,08
26,5°	27,5%	26,17	1,09
45°	25,2%	24,24	0,98

З метою полегшення сприйняття отриманих значень дані, отримані в результаті застосування всіх трьох запропонованих розрахункових методик, і дані, отримані під час проведення фізичного моделювання, зведені в графіки та подані на рисунках 7, 8 і 9.

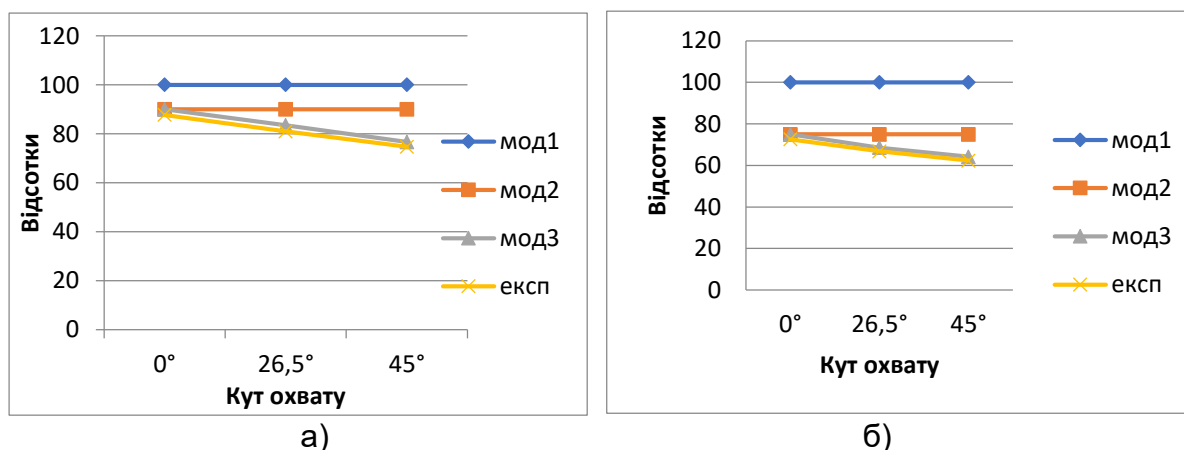


Рис. 7. Порівняння результатів застосування різних розрахункових методик під час визначення ефективності застосування поліспасти системи з $TBC=2$
а) варіант складання поліспасти системи з використанням блочків, що мають ККД=0,8; б) варіант складання поліспасти системи з використанням карабінів, що мають ККД=0,5

На рис. 7 наведено результати розрахунків поліспасти системи, що має теоретичний виграш у силі $TBC=2$. Результати застосування розрахункової моделі, що не враховує сили тертя, і ККД елементів, що входять до неї, прийняті як 100%. Прийняті позначення графіків слід приймати як:

- мод 1. – розрахункова модель, що не враховує сили тертя і ККД елементів, які входять до поліспасти системи;
- мод 2. – розрахункова модель, що враховує ККД елементів, які входять у поліспасти систему, без урахування сил тертя;

- мод 3. – розрахункова модель, що враховує ККД елементів, які входять у поліспапну систему, та враховує сили тертя, що виникають у поліспапній системі;
- експ. – дані отримані в результаті фізичного моделювання застосування поліспапної системи

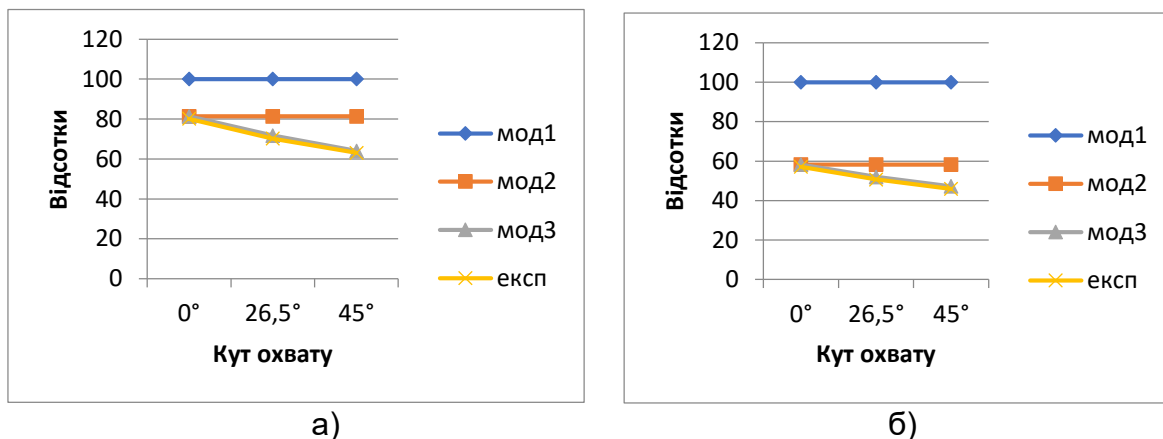


Рис. 8. Порівняння результатів застосування різних розрахункових методик під час визначення ефективності застосування поліспапної системи з ТВ3=3
а) варіант складання поліспапної системи з використанням блоків, що мають ККД=0,8; б) варіант складання поліспапної системи з використанням карабінів, що мають ККД=0,5

На рис. 8 наведено результати розрахунків поліспапної системи, що має теоретичний виграш у силі ТВС=3.

Прийняті позначення графіків слід приймати як:

- мод 1., мод 2., мод 3. – результати теоретичних розрахунків, які отримані із застосування відповідних розрахункових моделей
- експ. – дані отримані в результаті фізичного моделювання застосування поліспапної системи

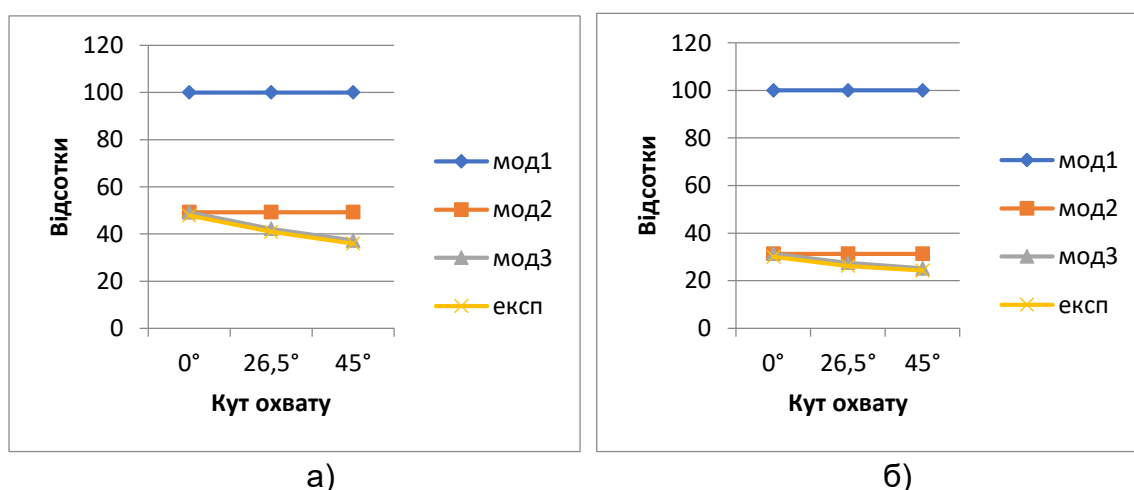


Рис. 9. Порівняння результатів застосування різних розрахункових методик під час визначення ефективності застосування поліспапної системи з ТВ3=6
а) варіант поліспапної системи з використанням блоків, що мають ККД=0,8; б) варіант поліспапної системи з використанням карабінів, що мають ККД=0,5;

На рис. 9 наведено результати розрахунків поліспавної системи, що має теоретичний виграш у силі $TBC=6$.

Як і у попередньому випадку результати застосування розрахункової моделі, що не враховує сили тертя, і ККД елементів, що входять до неї, прийняті як 100%. Прийняті позначення графіків слід приймати як:

- мод 1. – розрахункова модель, що не враховує сили тертя і ККД елементів, які входять до поліспавної системи;
- мод 2. – розрахункова модель, що враховує ККД елементів, які входять у поліспапну систему, без урахування сил тертя;
- мод 3. – розрахункова модель, що враховує ККД елементів, які входять у поліспапну систему, та враховує сили тертя, що виникають у поліспапній системі;
- експ. – дані отримані в результаті фізичного моделювання застосування поліспавної системи

4.Висновки

Запропонована у роботі методика розрахунку поліспапних систем, які застосовуються під час витягування застряглого автомобіля, показала зручність у використанні.

Дані, отримані під час фізичного моделювання обраних поліспапних схем, підтверджують працездатність запропонованої розрахункової методики і можливість її успішного застосування для розв'язання практичних завдань.

Отримані значення не слід приймати у всіх розрахункових випадках як остаточні та цілком достовірні, оскільки коефіцієнти тертя і ККД карабінів, які були застосовані, визначені тільки для конкретних умов застосування. У роботі свідомо не враховували низку значущих чинників, як-от ступінь жорсткості вірьовки, коефіцієнт лінійного подовження вірьовки, що застосовується, і деякі інші.

Метою роботи не є визначення точних значень зусиль і напружень, що виникають у поліспапній системі. Метою роботи є визначення ступеня розбіжності між очікуваним і реальним виграшем у силі (кратністю поліспапа).

У роботі визначено ступінь впливу сил тертя в парі «трос поліспапної системи-елементи рельєфу» на визначення фактичної кратності поліспапної системи.

Отримані дані дають змогу заздалегідь визначати реальні навантаження, що можуть виникати в поліспапній системі, що дасть змогу точніше й більш обґрунтовано підходити до вибору спорядження яке планується до застосування.

Особливо важливим і актуальним це стає в разі застосування у якості гнучкого лінійного зв'язку синтетичних вірьовок та строп.

Список літератури

1. Підйомно-транспортні машини: підручник / А. С. Кобець, В. І. Дирда, Ю. Г. Козуб, С. В. Ракша та ін. : за ред. А. С. Кобця та В. І. Дирди. – Луганськ : ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2013. – 218 с.
2. ДСТУ EN 1891:2006. Індивідуальне спорядження для захисту від падіння з висоти. Статичні мотузки (EN 1891:1998, IDT). [Чинний від 2008-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2008. – 22 с.
3. ДСТУ EN 12278:2018 Спорядження для альпінізму. Блок-ролики. Вимоги

щодо безпеки та методи випробування (EN 12278:2007, IDT). [На заміну ДСТУ EN 12278:2015; чинний від 2020-01-01]. Київ, 2020. – 12 с.

4. ДСТУ EN 12275:2018 Спорядження для альпінізму. З'єднувачі. Вимоги щодо безпеки та методи випробування (EN 12275:2013, IDT). [На заміну ДСТУ EN 12275:2015; чинний від 2020-01-01]. Київ, 2020. – 24 с.

5. Бондаренко, А. А., Дубінін, О. О., Переяславцев, О. М. Теоретична механіка: Підручник: у 2 ч. – Ч.1: Статика. Кінематика.– К.: знання, 2004.– 599 с.

References

1. Pidiomno-transportni mashyny : pidruchnyk / A. S. Kobets, V. I. Dyr-da, Yu. H. Kozub, S. V. Raksha ta in. : za red. A. S. Kobtsia ta V. I. Dyrdy. – Luhan-sk : DZ «LNU imeni Tarasa Shevchenka», 2013. – 218 s.

2. DSTU EN 1891:2006. Indyvidualne sporiadzhennia dlia zakhystu vid padinnia z vysoty. Statychni motuzky (EN 1891:1998, IDT). [Chynnyi vid 2008-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2008. – 22 s.

3. DSTU EN 12278:2018 Sporiadzhennia dlia alpinizmu. Blok-rolyky. Vymohy shchodo bezpeky ta metody vyprobuвання (EN 12278:2007, IDT). [Na zaminu DSTU EN 12278:2015; chynnyi vid 2020-01-01]. Kyiv, 2020. – 12 s.

4. DSTU EN 12275:2018 Sporiadzhennia dlia alpinizmu. Ziednuvachi. Vy-mohy shchodo bezpeky ta metody vyprobuвання (EN 12275:2013, IDT). [Na zaminu DSTU EN 12275:2015; chynnyi vid 2020-01-01]. Kyiv, 2020. – 24 s.

5. Bondarenko, A. A., Dubinin, O. O., Pereiaslavitsev, O. M. Teoretychna mekhanika: Pidruchnyk: u 2 ch. – Ch.1: Statyka. Kinematyka.– K.: znannia, 2004.– 599 s.

Надійшла в редакцію 17.03.2025, розглянута на редколегії 17.03.2025

Investigation of the effectiveness of the use of poly-sling systems for pulling out a stuck vehicle.

The article deals with the issue of using poly-lanyard systems for pulling out stuck vehicles. The degree of influence of friction forces on the practical value of the force developed by the poly-lanyard systems of different schemes was investigated. The paper modeled a situation in which it is necessary to pull a car that has driven into a ditch onto the road. In this case, the required pulling force can be achieved only with the use of poly-sling systems. The practical gain in force was determined in relation to the theoretically expected gain in force. For the study, three most common schemes of poly-link systems with multiplicity of 2, 3 and 6 were selected. Theoretical calculations and practical studies were carried out based on the conditions of using the same set of elements included in the poly-link system. The effectiveness of each of the proposed hoist schemes was tested for three different angles of coverage of the hoist system. The paper compares the results of theoretical calculations using three different calculation schemes. One of the applied design schemes does not take into account the efficiency of the elements that make up the system and does not take into account the friction forces that arise in it, while the second design scheme takes into account the efficiency of the elements that make up the system without taking into account the influence of friction forces. The calculation methodology proposed in the article takes into account the influence of friction forces and the efficiency of the elements included in the poly-link system. The results obtained are presented in the form of percentages.

The expected force obtained by applying the calculation methodology, which does not take into account the influence of friction forces and the efficiency of the elements used, is taken as 100 percent. The theoretical results of applying the computational model proposed in this paper were compared with the results of physical modeling. The results show the convergence of the obtained results. This proves the possibility of applying the calculation methodology proposed in the article in practice. It has been determined that the practical values of the efficiency of the polyclone system are 80 % to 25 % of the theoretically expected value. The obtained data can help in choosing a polyspast scheme and selecting the necessary equipment in practical work.

Key words; vehicle pulling; poly-link system; friction force; force gain; multiplicity of the poly-link system

Відомості про авторів:

Григорович Антон Михайлович – старший викладач каф 107, «Автомобілів та транспортної інфраструктури», Національний аерокосмічний університет «ХАІ». Ел. пошта: a.grigorovich@khai.edu ORCID: 0000-0001-5388-3159.

Мануйленко Дмитро Олександрович – студент групи 143т, Національний аерокосмічний університет «ХАІ». Ел. пошта: manuladima123@gmail.com ORCID: 0009-0006-0013-0173.

About the Authors:

Grigorovich Anton – senior speaker of department 107, "Automobiles and transport infrastructure", National Aerospace University "KhAI". E-mail: a.grigorovich@khai.edu ORCID: 0000-0001-5388-3159.

Manuilenko Dmytro – student of group 143t, National Aerospace University "KhAI". E-mail: manuladima123@gmail.com ORCID: 0009-0006-0013-0173.