

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІЦНОСТІ ТРУБОПРОВІДІВ НАДЗЕМНИХ БАЛКОВИХ ПЕРЕХОДІВ МАГІСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВІДУ В ПРОЦЕСІ ПРОВЕДЕННЯ РЕМОНТНО-ПРОФІЛАКТИЧНИХ РОБІТ

© Новіцький Ю.Я., 2014

Розглянуто та проаналізовано способи забезпечення міцності трубопроводів надземних балкових переходів магістрального газопроводу великого діаметра ( $D = 1200\text{--}1400$  мм) в процесі ремонтно-профілактичних робіт на опорах балкових переходів. Приведено теоретичні та експериментальні значення локальних напружень, що виникають в місцях контакту роликів ланцюга з довгомірною циліндричною оболонкою та проаналізовано вплив конструктивних елементів підйомника на міцність трубопроводу.

There have been considered and analyzed ways to ensure the safety of pipelines above ground gully crossings of main gas pipeline of large diameter ( $D = 1200\text{--}1400$  mm) in the process of repair and maintenance work on support beam crossings. There are presented theoretical and experimental values of local stresses arising from the contact of the rollers of the chain of long cylindrical shell and the influence of structural elements of the lift on the strength of the pipeline.

**Вступ.** Магістральні газопроводи (МГ) – інженерні споруди, призначені для регулярного транспортування природного газу на великі відстані від місць їхнього видобування до підземних газових сховищ та кінцевих споживачів. В Україні існує розгалужена мережа магістральних газопроводів завдовжки понад 36000 кілометрів. Деякі з них експлуатуються близько сорока років, і оскільки газ транспортується під високим тиском, магістральні газопроводи належать до об’єктів підвищеного ризику.

Надземні балкові переходи МГ – це довгомірні ділянки, встановлені на опорах над ріками, ярами та заболоченою місцевістю. Переходи є проблемними місцями трубопроводів, оскільки вони зазнають впливу навколишнього середовища і деформуються за дії температурного впливу. Для зменшення температурних деформацій балкові переходи влаштовують у вигляді Г-подібних компенсаторів на опорах.

У місцях контакту трубопроводів з опорними вузлами відбуваються корозійні процеси металевої поверхні труб та конструктивних елементів опор, які спричиняють їхнє поступове руйнування.

Оскільки опори трубопроводів встановлюють на берегах та всередині рік (болота, яру, сухого русла), то важку підймальну техніку не можна використати через відсутність під’їзних шляхів.

Для виконання ремонтно-профілактичних робіт із виявлення та усунення корозії необхідно підняти трубопровід над опорою, а отже, використати легкі розбірні підймальні пристрої, що обслуговують лише декілька робітників. Тому розроблення та впровадження в експлуатацію мобільних підймальних пристроїв для проведення ремонтно-профілактичних робіт на балкових переходах МГ великого діаметра є **актуальним завданням**, вирішення якого дасть змогу збільшити ресурс та підвищити безпеку експлуатації магістральних газопроводів.

**Аналіз сучасних досліджень і публікацій.** Для проведення ремонтно-профілактичних робіт розроблено мобільну установку (рис. 1, а) [3] для розвантаження опорного вузла і підймання ділянки трубопроводу з сідловиною опори відносно катків опори та залізобетонного ростверка. Конструкція установки є розбірною, а вага окремих її окремих частин не перевищує 20 кг. Пристрій складається із двох гідроциліндрів, до штоків яких через шарніри кріпиться стандартний втулковий ланцюг, який взаємодіє з трубопроводом через металеву прокладку. Шарнірні опори циліндрів з'єднано між собою кількома витками металевого канату. Для кращої стійкості гідроциліндри нахилено всередину на невеликий кут (3–5°). У разі подачі робочої рідини в порожнини циліндрів їхні штоки перемістяться вгору, а отже, підніматимуть трубопровід над опорою.

Переваги такого пристрою – малі масово-габаритні параметри підйомника та встановлення його лише із однієї сторони сідловини, що дає можливість в процесі проведення ремонтних робіт без проблем відсунути важку сідловину в інший бік безпосередньо по трубопроводу, закріпивши попередньо під верхні хомути спеціальні опори на роликах.

Для того, щоб в ланках ланцюга не виникали напруження згину, стандартні втулки ланцюга змінено на ролики, діаметр яких є дещо більшим (на 10 мм) за ширину ланок. Взаємодія роликів ланцюга із трубопроводом дає змогу істотно зменшити силу тертя між ланцюгом та трубопроводом, що дозволяє рівномірно навантажувати обидва гідроциліндри та унеможливити виникнення фрикційних ривків у процесі підйому (опускання) трубопроводу, які спричиняють виникнення динамічних навантажень.

До недоліків конструкції зарахуємо значну концентрацію навантажень на трубопровід під час його взаємодії з ланцюгом. Як видно із рис. 1, б, ролики ланцюга локально навантажують трубопровід, що може призвести до виникнення значних напружень і, як наслідок, розгерметизації трубопроводу, що ремонтується під великим тиском газу (3,5 МПа).



Рис. 1. Конструкція підйомника: а – загальний вигляд; б – контакт трубопроводу із роликами ланцюга

**Ціль статті.** Враховуючи високу небезпеку у випадку розгерметизації трубопроводу, перед виконанням ремонтно-профілактичних робіт на балкових переходах магістрального газопроводу проводять дослідження його реального стану, а саме – ультразвукову товщинометрію стінки трубопроводу та встановлення його дійсних координат за допомогою геодезичних вимірювань. За цими даними будують розрахункові моделі, потрібні для визначення напружено-деформованого стану трубопроводу в процесі ремонтно-профілактичних робіт на кожній його опорі, оскільки експериментальне визначення напружень в процесі ремонту неможливе, адже максимальні локальні напруження – на внутрішній поверхні стінки трубопроводу [2].

Іншою проблемою є встановлення величини допустимих напружень. Враховуючи тривалий термін експлуатації окремих магістральних газопроводів (більше за 40 років), стандартна методика [4], що визначає величину допустимих напружень для нового трубопроводу, непридатна для цього

випадку, оскільки на трубопровід протягом значного часу впливало як зовнішнє середовище, так і природний газ (наводнення металу труби).

Метою цієї статті є аналіз способів забезпечення міцності трубопроводу, що полягає як у визначенні величини допустимих напружень трубопроводу, який експлуатується протягом досить тривалого часу, так і у виборі способів зниження величини локальних напружень, у випадку, коли їх розрахункові значення вищі за допустимі.

**Основний текст.** Оцінка залишкового ресурсу трубопроводу МГ є складною комплексною науково-практичною роботою, яка потребує багато ресурсів, зокрема фінансових. Допустимі напруження на тій чи іншій ділянці трубопроводу можна визначити власне із матеріалів оцінки залишкового ресурсу. Однак існує значно простіший і ефективніший спосіб, який успішно апробований під час ремонтно-профілактичних робіт на балкових переходах трубопроводів МГ. Суть його полягає в тому, що за нормальної експлуатації цієї ділянки трубопроводу під максимальним робочим тиском (4,9–5,3 МПа) можна досить точно визначити його напружено-деформований стан (НДС), спричинений напруженнями як від дії тиску, так і від дії опорних згинальних моментів, оскільки нас цікавить НДС трубопроводу саме на опорах балкового переходу. Напруженнями, зумовленими температурним перепадом на прямолінійних ділянках переходу, можна знехтувати. В процесі проведення ремонтних робіт тиск газу в трубопроводі МГ знижують до якогось максимально можливого значення, а саме до 3,5 МПа. Це зниження тиску призводить до зменшення НДС трубопроводу на деяку величину. Суть способу полягає в тому, що збільшення НДС трубопроводу, зумовлене його взаємодією із роликками ланцюга підйомника, не повинно перевищувати значення НДС за робочого тиску, тобто величина еквівалентних напружень, що складаються із локальних напружень в місці взаємодії роликів із трубопроводом та напружень НДС трубопроводу при тиску 3,5 МПа (за 4-ю теорією міцності), не повинна перевищувати значення еквівалентних напружень, що виникають у випадку нормальної експлуатації цієї ж ділянки трубопроводу за робочого значення тиску. Тобто якщо величина напружень, які викликані ремонтом трубопроводу, менша від величини напружень, спричинених зменшенням тиску газу в трубопроводі, то такі ремонтно-профілактичні роботи на цій ділянці трубопроводу завжди будуть безпечними.

Напруження, викликані ремонтом трубопроводу, переважно більші від напружень, зумовлених зменшенням тиску в ньому. Тому необхідно вжити додаткових заходів для забезпечення міцності трубопроводу в процесі його ремонту.

Одним із простих та ефективних способів зниження напружень є використання концентричної металевої підкладки, що встановлюється між трубопроводом та ланцюгом підйомника (рис. 1). Це призводить до значного зменшення як контактних (радіальних) (рис. 2, а), так і згинальних (рис. 2, б) напружень в місці контакту трубопроводу та ролика.

На рис. 2, а зображено розрахункову залежність контактних напружень (тиску) на зовнішній поверхні трубопроводу (оболонки 1020×14 мм) в місці його як безпосереднього контакту з циліндричним роликом (80×50 мм), так і контакту через металеві концентричні підкладки завтовшки 6 та 12 мм.

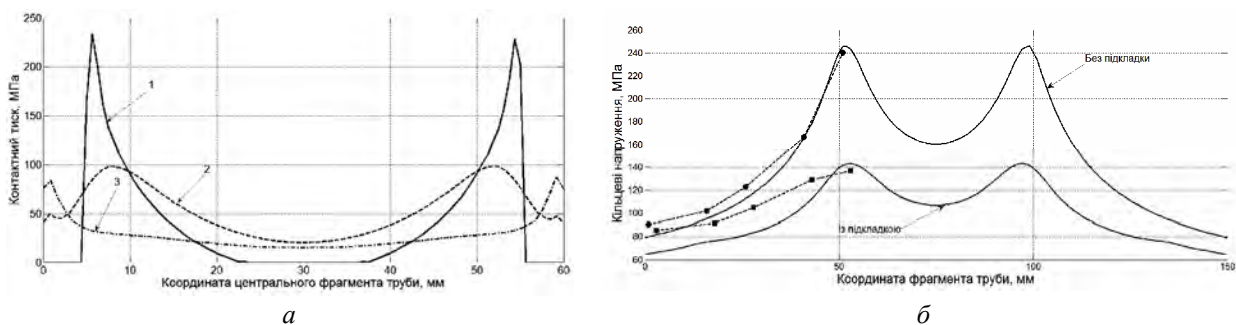


Рис. 2. Розподіл контактної тиску (а) та кільцевих напружень згину (б) вздовж площадки контакту під час взаємодії труби із опорним роликом ( 1 – без підкладки між ними; 2 – із тонкою підкладкою; 3 – із товстою підкладкою)

Як видно з рис. 2, а, тонка (6 мм) металева підкладка суттєво знижує величину контактного тиску на поверхні труби, а подальше збільшення її товщини (12 мм) не спричиняє пропорційного зниження тиску і впливає лише на його розподіл вздовж площадки контакту. Це є наслідком зростання згинальної жорсткості підкладки, яка, як відомо, пропорційна до куба її товщини. Тобто збільшення вдвічі товщини підкладки призводить до зростання її згинальної жорсткості у 8 разів. У результаті цього розподіл контактної тиску між товстою підкладкою та оболонкою стає подібним до його розподілу за безпосередньої взаємодії труби та жорсткого ролика (криві 1 та 3), однак його величина при цьому є суттєво меншою.

На рис. 2, б зображено розрахункову (суцільні криві) та експериментальну (пунктирні лінії) залежність кільцевої складової напружень згину на внутрішній поверхні трубопроводу під час його локальної безпосередньої взаємодії із циліндричним роликом, та взаємодії через тонку (6 мм) металеву підкладку.

Як видно із рисунка, використання тонкої металевої підкладки суттєво (на 40 %) знижує згинальні напруження, а збільшення її товщини (на рис. 2 не показано), яке викликає збільшення її згинальної жорсткості, призводить до подальшого зменшення згинальних напружень саме за рахунок зростання сумарної згинальної жорсткості в місці їх локальної взаємодії. Однак використання товстих підкладок обмежується їх масою, наприклад, тонка (6 мм) підкладка для трубопроводу діаметром 1420 мм важить 20 кг і подальше нарощування її товщини є проблемою для її монтажу зусиллям двох робітників на висоті в обмеженому просторі ростверка опори балкового переходу МГ.

Іншим способом забезпечення міцності трубопроводу в умовах його локального навантаження роликами ланцюга є збільшення кількості роликів. Як показали результати розрахунків [1], виконаних на основі розрахункової схеми, яка зображена на рис. 3, а, зусилля взаємодії між роликами та трубопроводом є обернено пропорційними до кількості роликів, що взаємодіють із трубопроводом. Однак, вибравши стандартний ланцюг (рис. 3, б) як робочий орган підійомника, ми стикаємося з такою проблемою: що більше розривне зусилля ланцюга, то більший його крок, а отже, то менше роликів ми можемо встановити.

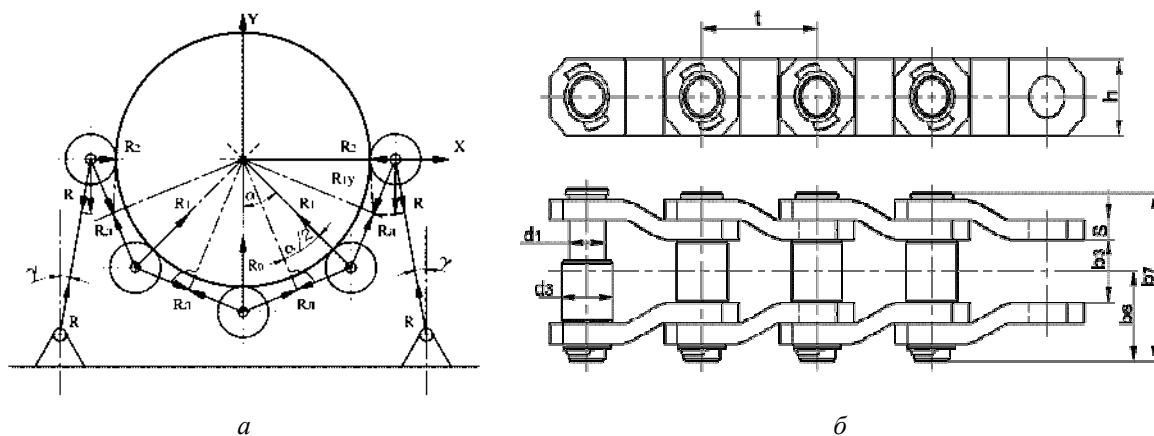


Рис. 3. Розрахункова схема (а) та стандартний ланцюг (б) робочого органа підійомника

Цю проблему можна обійти, використовуючи замість одного ланцюга із необхідним розривним зусиллям два ланцюги із вдвічі меншим розривним зусиллям (рис. 4), але за умови, що ролики у двох ланцюгах будуть розміщуватися в шаховому порядку (рис. 4, б). Цього можна досягти заміною однієї крайньої стандартної ланки в ланцюгу на видовжену у півтора разу нестандартну ланку, а самі ланцюги закріпити на вилках обернено один відносно другого (рис. 4).

Закріплення ланцюгів на шарнірних вилках (рис. 4, а) дає змогу зрівноважити навантаження на обох ланцюгах.

Цим можна вдвічі зменшити зусилля взаємодії, а отже і, вдвічі зменшити значення локальних напружень в трубопроводі.

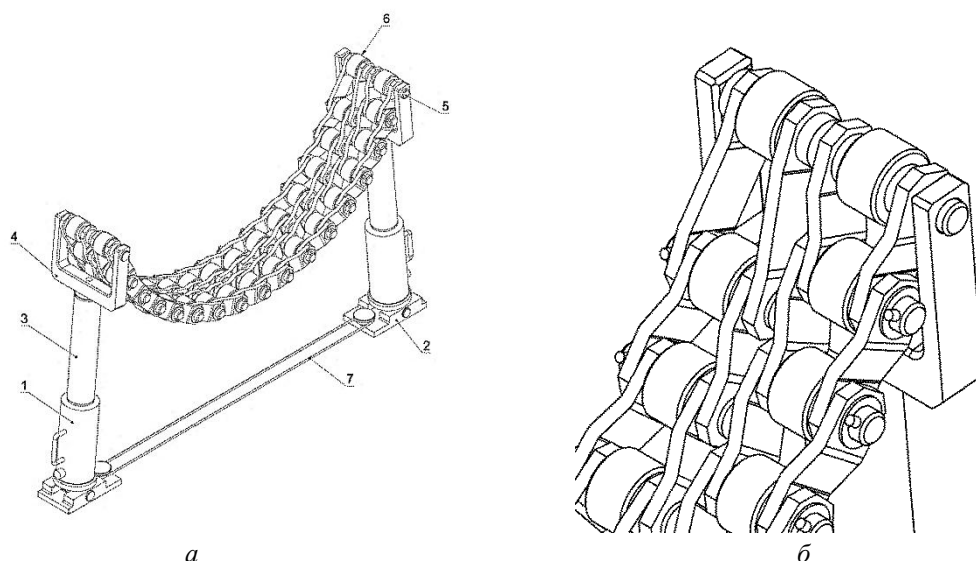


Рис. 4. Конструкція підйомника: а – загальний вигляд: 1 – гідроциліндр; 2 – шарнірна опора; 3 – подовжувач; 4 – вилка; 5 – вісь; 6 – ланцюг; 7 – канат; б – взаємне розміщення роликів

Стосовно розмірів самого ролика, то його ширина повинна займати весь відповідний простір ланцюга, а діаметр повинен бути дещо меншим за величину кроку (ланцюг повинен огинати трубопровід) і на 5 – 6 мм виступати за габарит ланок, що дозволить вивести ланки із взаємодії із оболонкою, уникнувши виникнення в ланках напружень згину (саме для цього і замінюють стандартні втулки ланцюга на ролики).

Проведені експериментальні дослідження (табл. 4) вказують на повну відсутність впливу діаметра ролика на величину локальних напружень згину в тонкостінній оболонці (в діапазоні зміни діаметрів від 80 до 125 мм).

Таблиця 1

#### Результати дисперсійного аналізу

Джерело розсіювання (фактор)	Сума квадратів	Кількість ступенів свободи			Дисперсія	Питома вага в загальному балансі
		Позначення	Залежність	Величина		
Z	58072,3	$f_Z$	$(k - 1)$	1	58072,3	18,81
H	426,4	$f_H$	$(m - 1)$	1	426,4	0,14
X	229177,6	$f_X$	$(q - 1)$	1	229177,6	74,21
Z та X	18235,4	$f_{ZX}$	$(k - 1)(m - 1)$	1	18235,4	5,91
Z та H	52,08	$f_{ZH}$	$(k - 1)(q - 1)$	1	52,08	0,02
H та X	328,1	$f_{HX}$	$(m - 1)(q - 1)$	1	328,1	0,11
Z, H та X	2503,9	$f_{ZHX}$	$(k - 1)(m - 1) \times (q - 1)$	1	2503,9	0,81
Похибка (не враховані причини)	12,35	$f_{GR}$	$kmq(n - 1)$	24	0,51	0,004
Загальне	308808,1	$f_{SUM}$	$(kmqn - 1)$	31	9961,6	100,014

На першому місці за впливом фактор  $X$  – зусилля взаємодії (74,21 %), на другому – фактор  $Z$  – товщина підкладки (18,81 %). Залежність діаметра ролика (фактор  $H$ ) має слабо виражений характер, впливом якого можна знехтувати (0,14 % в цьому діапазоні зміни діаметрів). Тому заміна одного ланцюга із більшими роликами з меншою їх кількістю на два ланцюги із меншими роликами, але з більшою їх кількістю матиме лише позитивний наслідок – міцність трубопроводу підвищиться пропорційно до збільшення кількості роликів.

Істотне значення для забезпечення міцності має форма профілю ролика. За формою ролики можуть бути циліндричними та бочкоподібними.

Знаючи характер та величину деформації трубопроводу в разі його локального навантаження роликом, можна вирахувати радіус бочкоподібності ролика й отримати найменші значення контактних напружень на зовнішній поверхні трубопроводу, а отже, і найменші значення напружень згину. Однак контактні напруження, як відомо [1], не передаються на внутрішню поверхню тонкостінної оболонки, напружений стан тонкостінної оболонки є плоским. Враховуючи те, що найбільші значення напружень у разі ремонту трубопроводу під тиском будуть саме на внутрішній поверхні трубопроводу, профілювання ролика для нашого випадку не має значення.

Однак, як показали теоретичні дослідження (рис. 5), використання циліндричного ролика викликає на внутрішній поверхні трубопроводу менші значення напружень згину, ніж бочкоподібного. Тому для ремонту трубопроводу під тиском газу ролики повинні бути циліндричними.

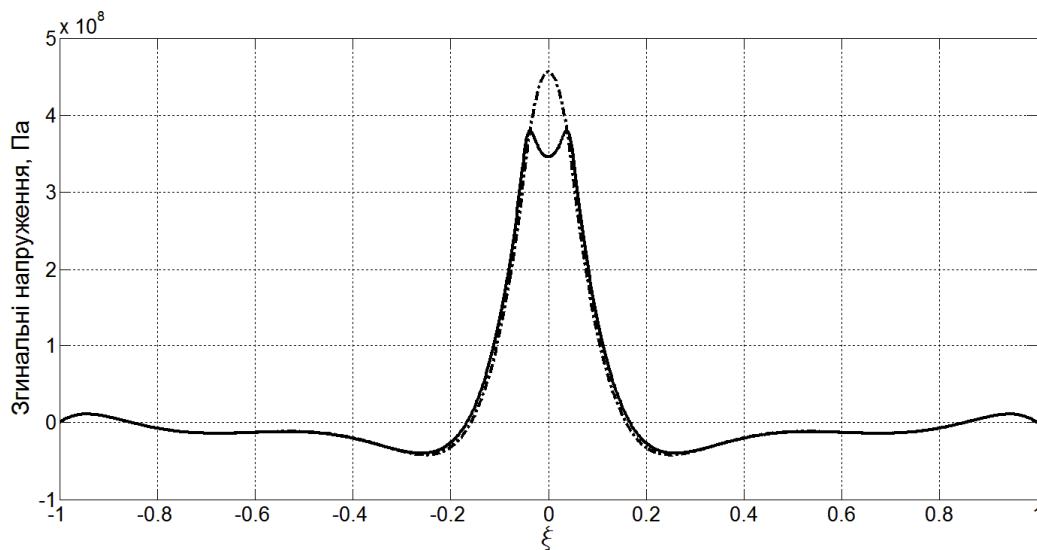


Рис. 5. Графічна залежність згинальних напружень на внутрішній поверхні оболонки у випадку різних профілів ролика (суцільна крива – циліндричний ролик, штрихпунктирна – бочкоподібний)

**Висновки.** Розглянуті способи забезпечення міцності трубопроводів надземних балкових переходів МГ дають змогу безпечно виконувати ремонтно-профілактичні роботи переходів без виведення останнього із експлуатації, що дає змогу зекономити значні кошти та забезпечити безперебійну роботу МГ.

1. Новіцький Ю. Я. Особливості комп'ютерного та математичного моделювання контактної взаємодії тонкостінних оболонок із жорсткими роликами / Ю. Я. Новіцький // *Машинознавство: всеукр. щомісячний наук.-техн. і виробн. журнал.* – Львів, 2013. – № 9–10. – С. 41–45. 2. Новіцький Ю.Я. Определение прочности трубопроводов больших диаметров в случае их локального контактного взаимодействия с опорными роликами / Ю. Я. Новіцький // *European*

*applied sciences: Wissenschaftliche Zeitschrift. ORT Publishing. Stuttgart, Germany. № 3 – 2, – 2013. Section 1. – P. 34–38. 3. Патент на корисну модель № 73750 (Україна) / Спосіб ремонту ділянок трубопроводів, розташованих на опорах балкових переходів. МПК F16L 55/18 / Є. В. Харченко, Ю. Я. Новіцький. Заявлено 02.03.2012 р. Опубл. 10.10.2012, бюл. №19, 2012. – 4 с. 4. Строительные нормы и правила. Магистральные трубопроводы. СНиП 2.05.06-85. Государственный комитет СССР по делам строительства. – Москва, 1985.*

УДК 621.086.065

Б.В. Сологуб, Я.Я. Данило

Національний університет “Львівська політехніка”

кафедра деталей машин

## РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ СПАРЕНОЇ КРІСЕЛЬНОЇ ДОРОГИ З ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНИМ ПРИСТРОЄМ

© Сологуб Б.В., Данило Я.Я., 2014

Розроблено схему спареної крісельної канатної дороги з перевантажувальним механізмом і різними швидкостями руху крісельної підвіски під час посадки пасажирів і на основній трасі. Отримано залежності для визначення натягу тягово-несного каната, потужності приводу та жорсткості зворотно-витяжного механізму перевантажувального пристрою спареної канатної дороги. Наведено висновки, які можна використати у проектуванні таких доріг і які підвищать їх надійність та комфортабельність під час експлуатації.

**There has been developed a scheme of paired lift with transshipment mechanism and different speeds of motion lift suspension during the landing of passengers and on the main track. The dependences for determination of tension/pull-rope, power drive and the rigidity of the back-exhaust hood mechanism handling device of the paired lift have been obtained. The findings that can be used in the design of such roads and will improve their reliability and comfort in operation have been presented.**

**Постановка проблеми.** Недоліком канатних доріг, що забезпечують плавну зміну швидкості руху, є використання дорогого електронного обладнання, однак такий механізм дає можливість змінювати швидкість руху в порівняно невеликих межах.

**Аналіз відомих досліджень і публікацій.** Серед відомих транспортних засобів значне місце відводиться підвісним канатним системам, особливо в регіонах зі складними рельєфними умовами [1–3]. Канатні системи використовуються для транспортування людей (крісельні дороги, канатні витяги, гондольні дороги) та вантажів (лісотransпортні установки, кабельні крани, вантажні дороги тощо). Для переміщення вантажів або людей на значній віддалі використовують спарені канатні системи з перевантаженням транспортувальних засобів з однієї установки на іншу [4].

Для установки безперервної дії із замкнутим тягово-несним канатом, прикладом яких є крісельні канатні дороги, актуальним є забезпечення змінної швидкості руху транспортного засобу на основній трасі та під час посадки і висадки пасажирів. На посадці й висадці