

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2020-41-16>

УДК: 622.673

Сай Олександр Валерійович, аспірант

<https://orcid.org/0000-0002-5979-8737>

Дніпровський державний технічний університет

МЕХАНІЗМИ ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ СТИКОВИХ З'ЄДНАНЬ ГУМОТРОСОВИХ КАНАТІВ ТА СТРІЧОК

Сай О. В. Механізми підвищення міцності стикових з'єднань гумо тросових канатів та стрічок. У статті розкрито механізми підвищення міцності стикових з'єднань гумотросових канатів та стрічок. Описано види з'єднань гумотросових канатів та стрічок. Здійснено аналіз переваг та недоліків кожного з видів з'єднання. Запропоновано механізми підвищення міцності стикових з'єднань гумотросових канатів та стрічок та обґрунтовано підхід до кожного механізму. Схематично представлено з'єднання без розшарування країв та клинове з'єднання. Запропоновано формулу для визначення рівня міцності стикових з'єднань гумотросових канатів та стрічок, де головним показником рівні міцності виступає якість стрічки та стику, що залежить від рівня зусилля виривання тросу з гуми. Здійснено числовий аналіз міцності стиків гумотросових канатів та стрічок в залежності від якості їх виготовлення та розкрито поняття сквіджу та залежність зусиллі виривання тросу з гуми від його товщини. У варіанті підвищення якості з'єднань гумотросових канатів та стрічок за рахунок використання потовщеної гуми, розкрито числове значення міцності стиків гумотросових канатів та стрічок.

Ключові слова: міцність, стикове з'єднання, гумо тросові канати, стрічка, механізми.

Сай А. В. Механизмы повышения прочности стыковых соединений резинотросовых канатов и лент. В статье раскрыты механизмы повышения прочности стыковых соединений резинотросовых канатов и лент. Описаны виды соединений резинотросовых канатов и лент. Осуществлен анализ достоинств и недостатков каждого из видов соединения. Предложены механизмы повышения прочности стыковых соединений резинотросовых канатов и лент и обоснован подход к каждому механизму. Схематично представлено соединение без расслоения краев и клиновое соединение. Предложена формула для определения уровня прочности стыковых соединений резинотросовых канатов и лент, где главным показателем выступают уровни прочности и качество ленты и стыка, что зависит от уровня усилия вырывания троса из резины. Осуществлен численный анализ прочности стыков резинотросовых канатов и лент в зависимости от качества их изготовления и раскрыто понятие сквиджа и зависимость усилия вырывания троса из резины от его толщины. В варианте повышения качества соединений резинотросовых канатов и лент за счет использования утолщенной резины, раскрыто числовое значение прочности стыков резинотросовых канатов и лент.

Ключевые слова: прочность, стыковое соединение, резинотехнические тросовые канаты, лента, механизмы.

Sai O. V. Mechanisms for increasing the strength of butt joints of rubber cord ropes and belts. In the article to reveal the mechanisms of increasing the strength of butt joints of rubber cord ropes and belts. The types of connections of rubber cord ropes and belts are described. The analysis of the advantages and disadvantages of each type of connection is carried out. Mechanisms for increasing the strength of butt joints of rubber-cord ropes and belts are proposed, and an approach to each mechanism is substantiated. A schematic representation of a joint without edge delamination and wedge joints. A formula is proposed for determining the strength level of butt joints of rubber cord ropes and tapes, where the main indicator is the strength levels and the quality of the tape and the joint, which depends on the level of the pulling force of the cable from the rubber. A numerical analysis of the strength of the joints of rubber cord ropes and belts, depending on the quality of their manufacture, is carried out, and the concept of squidge and the dependence of the pulling force of a cable from rubber on its thickness are disclosed. In the variant of improving the quality of the joints of rubber cord ropes and belts through the use of thickened rubber, the numerical value of the strength of the joints of rubber cord ropes and belts is disclosed.

Key words: strength, butt joint, rubber-technical cable ropes, tape, mechanisms.

Постановка проблеми дослідження. Міцність гумо тросових канатів та конвеєрної стрічки діючої конвеєрної установки визначається міцністю їх стикових з'єднань, які багато в чому визначають надійність як гумо тросових канатів, конвеєрної стрічки, так і самого конвеєра. Для стикування гумо тросових канатів та конвеєрних стрічок можуть бути використані три види стикових з'єднань: механічні (роз'ємні і нероз'ємні), з'єднання методом холодної та гарячої вулканізації.

Механічні з'єднання, призначені для стикування гумовотканинних стрічок, отримали досить широке поширення для стрічок дільничних конвеєрів вугільних шахт. Однак механічні з'єднувачі стрічок, що випускаються вітчизняною промисловістю або виготовляються в майстернях шахт (заклепки, шарнірне з'єднання, з'єднання П-подібними скобами) володіють низькими експлуатаційними якостями. Їх міцність становить 50-70% міцності основного тіла стрічки. Вони відносяться до числа нероз'ємних з'єднань. При пере стиковці стрічок, у зв'язку зі зміною довжини конвеєра або виходом з ладу стикового з'єднання, ділянка стрічки з механічним з'єднанням вирізається і викидається, що веде до збільшення витрати дорогої конвеєрної стрічки. Термін служби перерахованих вище з'єднувачів не перевищує 3-6 місяців. Тому у зв'язку з морально застарілою конструкцією таких з'єднувачів вони не рекомендуються для використання правилами експлуатації стрічкових конвеєрів.

Однак механічні з'єднання найменш трудомісткі при виготовленні стику. Цим пояснюється їх широке використання на гірничих підприємствах зарубіжних країн, де поруч фірм освоєно виробництво різних механічних з'єднувачів стрічок більш досконалої конструкції.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вивчення механізмів підвищення міцності стикових з'єднань гумотросових канатів та стрічок здійснили чимало вчених. Напрацювання викладено у наукових працях багатьох вчених.

І. В. Бельмас, Д. Л. Колосов та О. І. Білоус [1] дослідили міцність з'єднань стрічок та розробили метод електричного моделювання напружено-деформованого стану матеріалу з системою паралельних елементів армування. Авторами встановлено, що передача сил від барабана до канату з виступами призводить до нерівномірного розподілу сил поміж тросами канату, а зростання кількості тросів веде до зростання максимальних зусиль їх навантаження. Зменшення коефіцієнту тертя, радіусу барабана веде до більш рівномірного розподілу сил поміж тросами. Визначення розподілу сил по ширині канату з виступом дозволить забезпечити надійність та безпеку використання гумотросового канату на підйомних машинах.

М.В. Полушина, Т.В. Москальова та Е.С. Запара [2] дослідили ваціональні параметри підйомної установки, виконали аналіз впливу різних режимів управління двигунами і параметрами підйомної установки зі шківками тертя, розробили математичний опис тахограми підйому, навантажувальної діаграми з використанням безрозмірних експлуатаційних, конструктивних і кінематичних параметрів, виконали аналіз їх впливу на потужність приводу.

Дослідження впливу параметрів підйомної установки зі шківками тертя і урівноважувачим пристроєм з гумотросовими канатами на здатність шківів передавати тягове зусилля тертям без прослизання канатів здійснили М. В. Полушина та Т.В. Москальова [3]. Необхідність вирішення поставленого завдання обумовлено особливістю даної машини, що полягає в одночасній роботі двох шківів тертя. Підйомна машина зі шківками тертя має два приводних шківки тертя, один з яких встановлений в гілці канату, що піднімається, інший – в гілці канату, що опускається, між якими розташовано пристрій для намотування гумотросового канату.

Однак, незважаючи на масштабність наукових досліджень за темою даної роботи, питання дослідження механізмів підвищення міцності стикових з'єднань гумотросових канатів та стрічок залишається відкритим та потребує детального опрацювання.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. На сьогодні, у час усній науковій літературі відсутнє структуроване подання аналізу механізмів підвищення міцності стикових з'єднань гумотросових канатів та стрічок. Не сформовано числове значення міцності стиків гумотросових канатів та стрічок при використанні потовщеної гуми та не має опису зусилля виривання тросу з гуми стиків залежно від довжини їх закладення.

Формулювання мети статті, постановка завдання. У рамках даної статті метою є дослідження механізмів підвищення міцності стикових з'єднань гумотросових канатів та стрічок.

У роботі необхідно виконати низку завдань:

- описати конструкцію з'єднань гумотросових канатів та стрічок;
- обґрунтувати математичну складову розрахунку міцності стикових з'єднань;
- дослідити міцність стиків гумотросових канатів та стрічок при використанні потовщеної гуми та зусилля виривання тросу з гуми стиків залежно від довжини їх закладення.

Виклад основного матеріалу дослідження. З появою на підприємствах гумотросових канатів та стрічок стала важлива оцінка міцності їх стиків. Незважаючи на значне число публікацій на цю тему [4-10], питання міцності стиків гумотросових канатів та стрічок як і раніше залишається актуальним. Практика показує, що стикові з'єднання (стики) на стрічках вітчизняного виробництва працюють значно менше терміну служби самої стрічки.

Однією з причин є те, що за останні 15 років практично були припинені дослідження по стиках. За цей час конструкція гумотросових канатів та стрічок дещо змінилася, а технологія виготовлення стиків залишилася колишньою. На сучасних підприємствах не використовують можливі резерви підвищення довговічності стиків через відсутність необхідної інформації.

Види з'єднання гумотросових канатів та стрічок поділяються на:

- клеє-механічні;
- вулканізовані;
- ступінчасті;
- безступінчасті;
- профільні.

Клеє-механічні з'єднання конвеєрних стрічок не отримали практичного застосування, так як вони позбавлені таких переваг механічних з'єднань, як швидкість і простота виготовлення. Посилення ж клейових з'єднань додатковими механічними елементами невиправдано через меншу довговічність останніх.

Вулканізовані з'єднання гумовотканинних стрічок по режиму вулканізації підрозділяються на клейові (холодно вулканізовані і такі, що підігріваються) і гаряче вулканізовані, по конструкції – на ступінчасті, безступінчасті і профільні. Підігріті з'єднання застосовують при необхідності швидкого включення конвеєра в роботу. Технологія їх виготовлення передбачає нагрів і витримку стику при 70-80 ° протягом 20-25 хв, а потім охолодження до 30-40°. Після цього стик може працювати при повному номінальному натягу.

Ступінчасті з'єднання виконують двох типів: напускного і напівнапускного типів, а також з охопленням одного кінця розділеними половинками іншого.

Міцність ступінчастих з'єднань гумовотканинних стрічок досягає 60-90% міцності стрічки, а довговічність – 80% терміну служби стрічки. До 60% часу виготовлення ступінчастого з'єднання складають оброблення, підготовка кінців стрічок та збирання з'єднання, що виконуються вручну із застосуванням найпростіших інструментів.

До безступінчастих з'єднань відносяться клинові стики. Клинові з'єднання мають міцність на 5-8% вище, ніж ступінчасті такої ж довжини. Міцність з'єднань при гарячій вулканізації на 10% вище, ніж при холодній.

Іншим типом безступінчастих з'єднань гумовотканинних стрічок є з'єднання без розшарування каркасу (рис. 1). У даній конструкції після зняття обкладок каркас розрізають на поздовжні смужки рівної ширини, які потім по черзі накладають один на одного, розмішуючи між ними шар еластомеру



Рис. 1. Клинове з'єднання

Для стрічок з двома прокладками запропонована конструкція з'єднання, в якій видалений середній шар гуми і між прокладками стрічок розміщена додаткова прокладка з таким самим відносним подовженням, як і стрічка. В якості додаткової прокладки використовують високо еластичне метало кордонне полотно, яке має міцність, рівну міцності стрічки. Проте видалення шару гуми вручну є дуже складним завданням. З перерахованих безступінчастих з'єднань найбільш зручні для механізації клинові з'єднання.

До профільних відносяться з'єднання зі складним профілем поверхонь, що з'єднуються. Головною метою додання поверхням стрічок спеціальної форми є збільшення площі поверхні з'єднання, забезпечення щільного контакту поверхонь, що з'єднуються. Для збільшення міцності з'єднання рекомендовано на кінцях стрічок в поздовжньому напрямку виконувати виступи і западини прямокутного, трапецієподібного або хвилеподібного перетину (рис. 2) так, щоб виступи одного кінця заходили в западини іншого.

Для стикування цільних гумовотканинних стрічок на основі полівінілхлориду застосовують так званий «пальцевий» стик, для виготовлення якого на кінцях, що з'єднуються за допомогою шаблону вирізають трикутник з основою 40-70 мм і довжиною 400-3000 мм. Профільні з'єднання вимагають більшої точності виготовлення в порівнянні з іншими типами з'єднань. Навіть невеликі неточності виготовлення профілів призводять до неможливості складання з'єднання або до значної втрати міцності.

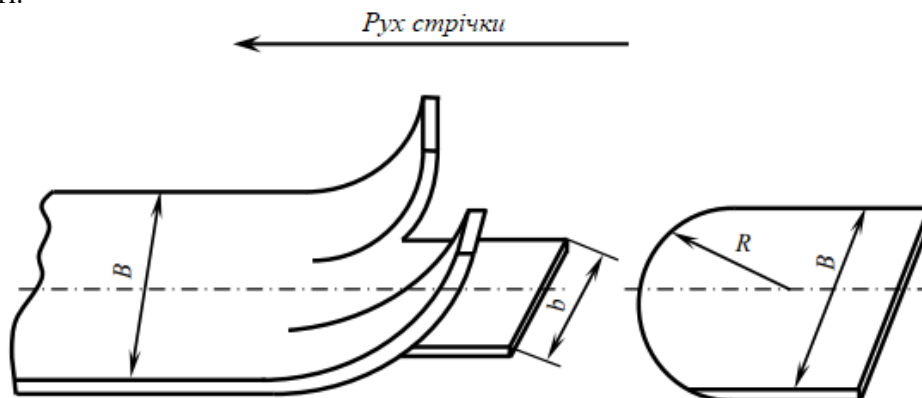


Рис. 2. З'єднання без розшарування країв

Міцність стикових з'єднань розраховується за формулою:

$$P = \frac{P' \cdot l \cdot n_1}{K_k \left(1 + \frac{G \cdot l \cdot l_{onm}}{E \cdot d \cdot \delta}\right)} \quad (1)$$

де P' – зусилля виривання троса з гуми стику, Н / мм; (за стандартом трос виривають з використанням зразка, в якому трос знаходиться поміж двома сусідніми на довжині 100мм) як перенести ці результати на довжину стику зв'язок між ними нелінійний.

l – довжина троса в стику, мм;

n_1 – кількість тросів в стрічці, шт.;

K_k – коефіцієнт концентрації напружень ($K_k = 1,3$);

G – модуль зсуву гуми, Н / мм²;

l_{onm} – довжина тросу, на половині якої досягається рівність навантаження між сусідніми тросами в стику, мм;

E – модуль пружності тросу, Н / мм²;

d – діаметр тросу;

δ – товщина шару гуми між тросами в стику, мм.

Розглянемо формулу (1). В ній, в знаменнику відношення модулів зсуву. Його можна вважати близьким до 0,001- 0,0001. Довжини в 100 раз більші за діаметри тросів та ще більше за відстань поміж тросами. Таким чином знаменник може бути практично від 1-до 10. В стику є, як мінімум два крайні троси. Кожен з них ми відриваємо від одного троса – не від двох. Їх міцність на вирив менша майже у двічі. Як видно з формули 1, міцність стиків в першу чергу залежить від якості стрічки та стику, яка характеризується зусиллям виривання тросу з гуми P' . Останнім часом, незважаючи на різні негативні фактори, якість вітчизняних стрічок є достатньою для отримання міцного стику з терміном служби до 5 років.

Головним критерієм якості гумотросових канатів та стрічок є міцність зв'язку тросів з гумою (опір виривання троса з гуми). Нормоване значення цього показника для стрічки ГТС 1500 дорівнює 80 Н / мм, для стрічки ГТС 2500 – 120 Н / мм, для стрічки ГТС 3150 – 125 Н / мм. При якісному виготовленні стику міцність зв'язку тросів з гумою зменшується незначно, а зусилля виривання тросу зменшується пропорційно зменшенню кроку укладання тросів в стику.

На якість стику, крім якості стрічки, впливають якість стикувальних матеріалів, вулканізатор, знання і досвід обслуговуючого персоналу. Тому виготовити якісний стик вдається не завжди. У таблиці 1 наведена залежність міцності стиків з'єднання гумотросових канатів та стрічок від якості їх виготовлення (питомого опору виривання тросу з гуми).

Таблиця 1

Міцність стиків гумотросових канатів та стрічок в залежності від якості їх виготовлення [4]

Зусилля виривання тросу, Н/мм	Тип гумотросової стрічки		
	ГТС 1500	ГТС 2500	ГТС 3150
	Міцність стиків, кН		
30	1062	1014	1167
40	1416	1352	1556
50	1770	1690	1945
60	2124	2028	2334
70	-	2366	2723
80	-	2704	3112
90	-	-	3500

Якщо міцність стику виходить більше міцності стрічки, то при випробуванні такого стику на розривній машині відбувається руйнування тросів на кордоні стику. Такі стики можуть працювати до п'яти років. У даній статті розглядається міцність стиків гумотросових канатів та стрічок тільки за фактором руйнування гуми.

В сучасних стрічках стало менше тросів, крок укладки тросів у стрічці став нерівномірним. У місцях перегину стрічки при утворенні лотка крок укладання тросів більший, ніж в інших місцях по ширині стрічки. Цей фактор є позитивним і його необхідно використовувати для збільшення міцності стиків гумотросових канатів та стрічок. Зусилля виривання тросів з гуми залежить від кроку укладання тросів. Чим менше відстань між тросами, тим менше потрібно зусилля, щоб витягти трос нормованої довжини з гуми стику канатів та стрічок.

У таблиці 2 наведена залежність зусилля виривання тросу з гуми від товщини шару гуми між тросами (товщини сквіджу¹). При розрахунках приймалося, що якість стрічки і стику відповідає стандартам. Довжина тросів прийнята рівною їх довжині в стиках.

Таблиця 2

Зусилля виривання тросу з гуми в залежності від товщини сквіджу [4]

Товщина сквіджу, мм	Тип гумотросової стрічки		
	ГТС 1500	ГТС 2500	ГТС 3150
	Зусилля виривання тросів, кН		
1,0	15,1	23,3	29,0
1,5	22,0	35,6	46,0
2,0	27,7	47,3	62,0
2,05	32,4	58,2	76,8
3,0	36,5	66,8	90,6

Як видно з таблиці 2, при хорошій якості виготовлення стику міцність закладення тросів в стику вище міцності самих тросів. Але це відноситься до одинарних стиків. У багатоступеневих стиках цей показник значно менше.

При виготовленні стиків гумотросових канатів та стрічок іноді збільшують його довжину, сподіваючись, що це збільшить його міцність і працездатність. Якщо якість виготовлення стику низька, то за рахунок довжини його міцність і довговічність не зростуть. Збільшена довжина стику розтягує процес його руйнування. При щоденному візуальному контролі руйнування такого стику можна виявити і своєчасно стик переробити.

У таблиці 3 наведена залежність зусилля виривання тросу з гуми стиків від довжини їх закладення.

Таблиця 3

Зусилля виривання тросу з гуми стику залежно від довжини їх закладення [4]

Довжина тросу, м	Тип гумотросової стрічки		
	ГТС 1500	ГТС 2500	ГТС 3150
	Умова виривання тросів		
600	18	27,5	-
800	21	33,2	-
1000	24	37,9	44,7
1200	26	41,8	49,6
1600	29	48,0	57,4
2000	-	52,8	63,3
2400	-	-	68
2800	-	-	71,9
3000	-	-	73,5

Найближчим часом якість українських гумотросових канатів та стрічок практично не зміниться і буде істотно поступатися імпортом. Але резерви для підвищення міцності і довговічності стиків на шахтах є. При виготовленні стиків між тросами укладають смужку гуми товщиною 1,5 мм [4]. В результаті цього крок тросів в стику виходить рівномірним і працездатність стику залежить від найменшого кроку тросів. Необхідно виготовляти стик так, щоб крок тросів в стику був рівномірним. Для цього при виготовленні стиків стрічки ГТС 1500 необхідно укласти між тросами смужку гуми товщиною 2 мм, в стикі стрічки ГТС 2500 – 2,5 мм, в стикі стрічки ГТС 3150 – 3 мм.

Зміну міцності стиків наведено в таблиці 4.

Таблиця 4

Міцність стиків гумотросових канатів та стрічок при використанні потовщеної гуми [4]

Тип стрічки	Кількість тросів у стрічці, шт.	Кількість тросів, що видаляється, шт.	Товщина смужки гуми, мм	Розрахункова міцність стику, кН
ГТС 1500	120	30	2,0	2055
ГТС 2500	76	19	2,5	2720
ГТС 3150	76	25	3,0	3490

¹ Сквідж – гумовий шар

Якщо на стиках гумотросових канатів та стрічок використано потовщену гуму товщиною 1,5 мм, то необхідну товщину смужки гуми можна отримати при використанні здвоєних смужок гуми товщиною 1,5 мм. З двох складених листів гуми нарізають смужки («локшину») необхідної ширини. Потім ці смужки розтягують до тих пір, поки не вийде смужка товщиною 2 або 2,5 мм.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Механічні з'єднання, незважаючи на низьку міцність (50-70% міцності стрічки), малий термін служби (6-9 місяців), широко використовуються в гірничодобувній промисловості, на підприємствах виготовлення будматеріалів та інших галузях (до 80% всіх стиків) завдяки малій трудомісткості і швидкості виготовлення.

Запропонований механізм підвищення міцності стикових з'єднань гумотросових стрічок може бути використаний на конвеєрах стрічкових з ухилом. За умови використання потовщеної гуми на стиках гарантується безаварійна експлуатація гумотросових стрічок українського виробництва.

References.

1. Belmas I.V., Kolosov D.L., Belous O.I. (2018). Interaction of a rubber rope with a driving drum. Collection of scientific works of Dnipro State Technical University. Technical Sciences, 168-173. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpddtu_2018_Tem
2. Polushina M.V., Moskaleva T.V., Zapara E.S. (2017). Rational parameters of the lifting installation with friction pulleys and the bobbin balancing device from a condition of a minimum of power of the drive. Bulletin of the Donetsk Mining Institute, 2, 169-175.
3. Polushina, M.V., Moskaleva, T.V. (2019). Traction of the lifting installation with friction pulleys and the bobbin balancing device. Geotechnical Mechanics, 149, 68-76. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/gtm_2019_149_9
4. Bajda, M., Błażej, R., & Hardygóra, M. (2016, September). Impact of selected parameters on the fatigue strength of splices on multiply textile conveyor belts. In *World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS 2016)* (pp. 5-9).
5. Prushak, V. Ya., & Miranovich, O.L. (2008). Numerical estimation of durability of connections of rubber-rope conveyor belts. Science and Technology, (1), 35-38.
6. Daria, Z. S. (2013). Numerical method for determining the effective characteristics of unidirectionally reinforced composites. Bulletin of the National Technical University of KhPI. Ser. : Dynamics and strength of machines, (58), 71-77.
7. Belmas, I.V., & Kolosov, D.L. (2017). The stress-strain state of the flat rope is due to the ruptures of the traction elements and the design of the drum of the lifting machine. Collection of scientific works of the National Mining University, (50), 163-170.
8. Carbogno, A. (2001). Bobbin drum hoists with flat steel rubber-coated ropes. *LOAD02001. Logistics & Transport. Zbornik ADS Graphic*, 218-221.
9. Zabolotny K.S., Panchenko E.V., Zhupiev A.L. (2011). Theory of multilayer winding of a rubber rope: monograph. D. : NSU. 150 s.
10. Kartavy, N.G., & Zotov, V.V. (2009). Application of rubber-traction traction belts on lifting installations. Mining Journal, (1), 75-78.