

© І.В. Бельмас<sup>1</sup>, Д.Л. Колосов<sup>2</sup>, О.М. Долгов<sup>2</sup>, Т.О. Чечель<sup>2</sup>, О.М. Воробйова<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, Україна  
<sup>2</sup> Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

## НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ГНУЧКОГО КОМПОЗИТНОГО ТЯГОВОГО ОРГАНА НЕРЕГУЛЯРНОЇ БУДОВИ

© I. Belmas<sup>1</sup>, D. Kolosov<sup>2</sup>, O. Dolgov<sup>2</sup>, T. Chechel<sup>2</sup>, O. Vorobiova<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> Dniprovsk State Technical University, Kamianske, Dnipro, Ukraine  
<sup>2</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

### STRESS-STRAIN STATE OF FLEXIBLE COMPOSITE TRACTIVE ELEMENT OF IRREGULAR STRUCTURE

**Мета.** Встановлення впливу нерегулярної конструкції каната (стрічки) на його напружено-деформований стан.

**Методика.** Розробка алгоритму розрахунку тягово-транспортувального органу підйомно-транспортної машини методами механіки шаруватих композитних матеріалів з м'якими та жорсткими шарами; побудова та розв'язання моделі напружено-деформованого стану гумотросового каната (стрічки) з урахуванням нерегулярності його конструкції.

**Результати.** Алгоритм визначення напружено-деформованого стану гумотросового каната (стрічки) довільної конструкції. Закономірності напружено-деформованого стану гумотросового каната (стрічки), в якому використовуються троси різних конструкцій або гумові прошарки, виконані з гуми різної жорсткості на зсув.

**Наукова новизна.** Встановлення впливу порушення регулярної будови каната (стрічки) на його напружено-деформований стан.

**Практична значущість.** Розроблена модель та алгоритм розрахунку напружено-деформованого стану гумотросового каната довільної конструкції, з урахуванням відмінності жорсткостей окремих його тросів, можуть бути застосовані для випадків різних значень інших механічних та геометричних параметрів складових каната (стрічки). Отриманий алгоритм можна вважати достатньо достовірним і таким, що дозволяє обґрунтовано визначати умови безпечного використання гумотросових канатів у разі ушкодження довільного троса. Отримані результати надають можливість впровадження в підйомно-транспортне машинобудування гумотросових канатів та стрічок з відмінними по ширині механічними та геометричними характеристиками. Розроблений алгоритм визначення напруженого стану каната, стрічки конвеєра дозволить підвищити ефективність та конкурентну спроможність вітчизняного підйомно-транспортного обладнання.

**Ключові слова:** напружено-деформований стан, композитний тяговий орган, нерегулярна будова каната, підйомно-транспортна машина.

**Вступ.** Канат підйомної машини взаємодіє з приводним барабаном, конвеєрна стрічка пересувається та пересуває вантаж по ставу конвеєра змінної форми. З метою упередження зсуву каната з барабану його робочій поверхні надають опуклу форму. Рух стрічки по ставу конвеєра змінної форми, взаємодія каната з барабаном, форма робочої поверхні якого відмінна від циліндричної,

призводить до порушення рівномірного розподілу сил в стрічці та канаті. Таке порушення може бути спричинено і іншими конструктивними чинниками.

Одним з можливих шляхів зменшити нерівномірності розподілу сил поміж тросами в гумотросових канатах може бути застосування в канатах, стрічках тросів відмінної жорсткості на розтяг. Троси з більшими відносними деформаціями мають меншу жорсткість на розтяг досягнуто, наприклад, меншим кроком скручування стренг в канаті. Можливо також застосування гуми в прошаках поміж тросами з більшим модулем на зсув.

Методика визначення напруженого стану гумотросового каната з урахуванням відмінності механічних характеристик та конструкції каната по їх ширині відсутня. Відсутність методики обмежує можливість використання нового технічного рішення, спрямованого на вдосконалення підйомно-транспортних машин. Розробка методики визначення напруженого стану каната, стрічки конвеєра дозволить підвищити ефективність та конкурентну спроможність вітчизняного підйомно-транспортного обладнання.

**Аналіз стану питання та постановка задачі дослідження.** Гумотросовий канат – композитний. Зміна його конструкції, наприклад внаслідок розриву троса впливає на його напружено-деформований стан. Вплив розривів тросів каната проаналізовано в публікаціях [1–10]. Часткове відновлення тягової спроможності канатів можливо також локальною зміною конструкції каната – заміною частини одного з його тросів. Дослідженню таких змін присвячені роботи [11, 12]. Гумотросовий пас передачі з кінематичним зв'язком [13] має ділянки з локальними перерозподілами сил поміж тяговими елементами [14]. Усі троси стикового з'єднання канатів мають розриви неперервності [15]. Дисертація [16] присвячена надійності, робота [17] дослідженню стикових з'єднань. Вимоги до механічних властивостей складових стрічки підвісного конвеєра сформульовані в статті [18].

В перерахованих та інших відомих роботах не враховано зміну конструкції усього каната, стрічки конвеєра, що не надає можливість розробити методику визначення їхнього напружено-деформованого стану в процесі експлуатації. Тому встановлення закономірностей впливу нерегулярної конструкції каната (стрічки) на його напружено-деформований стан є **актуальною науково-технічною задачею**.

**Результати.** В канаті (стрічці) як системі з  $M$  паралельних, жорстких на згин пружних стрижнів регулярно розташованих, що взаємодіють між собою через пружне неперервне середовище, виникають дотичні переміщення. Розподіл переміщень [6, 9] визначається залежністю

$$u_i = \sum_{m=1}^{M-1} \left( A_m e^{\beta_m x} + B_m e^{-\beta_m x} \right) \cos(\mu_m (i - 0,5)) + \frac{Px}{EF} + \varepsilon, \quad (1)$$

де  $A_m$ ,  $B_m$ ,  $\varepsilon$  – невідомі сталі величини;  $M$  – кількість тросів в канаті, стрічці;

$P$  – сила розтягу троса;  $\mu_m = \frac{\pi m}{M}$ ;  $\beta_m = \pm \sqrt{2 \frac{G k_G b}{h E F} (1 - \cos(\mu_m))}$ ;  $b$  – товщина каната, стрічки;  $G$  – модуль зсуву матеріалу гумової оболонки каната, стрічки;

$k_G$  – коефіцієнт, що враховує форму перерізу гумової оболонки,  $h$  – мінімальна відстань поміж суміжними тросами;  $E$ ,  $F$  – приведений модуль пружності на розтяг матеріалу тросів та площа їхнього поперечного перерізу, відповідно.

Відзначимо, що в залежності (1) вісь  $x$  може бути як прямолінійною, так і кривою плоскою лінією, розташованою в площині нормальній до площини розташування осей тросів в канаті, наприклад, при згині каната на барабані.

Порушення регулярності будови каната, стрічки (без зміни кількості тросів в ньому) призводить до зміни значення характеристичного показника  $\beta_m$  виразу (1) для одного або групи тросів каната. Для отримання рішення в загальній формі будемо вважати, що зміни властивостей мають місце для множини тросів  $J$ . Кожному елементу  $j \in J$  відповідає відмінне значення показника  $\beta_m$ . Позначимо його як  $\beta_{m,j}$ . Множина  $J \subset M$ . Кожному з тросів  $j \in M \wedge j \notin J$  відповідає значення  $\beta_m$ .

В межах лінійного закону деформування каната, стрічки задамо переміщення тросів як розкладення виразу переміщень кожного з тросів каната  $j \in M$  в ряд Фур'є. Отримаємо закономірність розподілу переміщень перерізів тросів як суму декількох складових

$$u_i = \frac{2}{M} \left[ \sum_{j \in M \wedge j \notin J} \sum_{m=1}^{M-1} \left( A_m e^{\beta_m x} + B_m e^{-\beta_m x} \right) \cos(\mu_m(j-0,5)) \cos(\mu_m(i-0,5)) + \sum_{j \in J} \sum_{m=1}^{M-1} \left( A_{m,j} e^{\beta_{m,j} x} + B_{m,j} e^{-\beta_{m,j} x} \right) \cos(\mu_m(j-0,5)) \cos(\mu_m(i-0,5)) \right] + \frac{Px}{E F} + \varepsilon. \quad (2)$$

За законом Гука з використанням значень переміщень тросів (2) внутрішні сили їх розтягу дорівнюють

$$P_i = \frac{2}{M} \left[ \sum_{j \in M \wedge j \notin J} \sum_{m=1}^{M-1} \left( A_m e^{\beta_m x} - B_m e^{-\beta_m x} \right) \beta_m \cos(\mu_m(j-0,5)) \cos(\mu_m(i-0,5)) EF + \sum_{j \in J} \sum_{m=1}^{M-1} \left( A_{m,j} e^{\beta_{m,j} x} - B_{m,j} e^{-\beta_{m,j} x} \right) \beta_{m,j} \cos(\mu_m(j-0,5)) \cos(\mu_m(i-0,5)) EF_j \right] + P. \quad (3)$$

При цьому врахуємо, що жорсткість тросів  $j \in J$  на розтяг може бути відмінною від відповідного показника тросів  $j \in M \wedge j \notin J$ . Для цього жорсткість тросів  $j \in J$  на розтяг наділимо нижнім індексом  $j$ .

Відповідно до поставленої задачі, в тросах каната під дією зовнішніх чинників на окремих ділянках підйомно-транспортної системи виникають додаткові відносні подовження тросів за рахунок їхнього зміщення в напрямі нормального до плоскої поверхні каната. При цьому вони не змінюють величину проекції тросів на вісь каната, а впливають лише на значення внутрішніх сил. Зовнішніми чинниками, що супроводжуються локальними деформаціями стрічок та канатів,

як показано вище, можуть бути відхилення твірних приводного барабану підйомної установки або деформування конвеєрної стрічки на окремій ділянці конвеєра або інші чинники. Вказані чинники впливають на троси каната. Закономірність їхнього впливу доцільно задати рядами Фур'є, тому що сама функція розподілу внутрішніх сил задана сумами косинусів.

Розглянемо наведене на прикладі визначення напружено-деформованого стану гумотросової стрічки конвеєра з перехідною ділянкою. Виділимо в стрічці три ділянки. Надамо їм номери 1–3. Першу будемо вважати плоскою – вона взаємодіє з циліндричним барабаном. Перехідній ділянці надамо номер 2. З нею сполучена і ділянка за номером три. В перерізі взаємодії перехідної ділянки з першою ділянкою центри перерізів тросів розташовані в одній площині. В перерізі взаємодії з третьою центри розташовані на ламаній. Лінія має три частини. Середня частина горизонтальна довжиною  $B_1$ . Крайні частини рівні та мають довжину  $B_2$ , нахилені симетрично до середини горизонтальної. Врахуємо симетричність деформування стрічки на перехідній ділянці. Розглянемо лише її половину.

Довжину горизонтального відрізка ламаної позначимо  $B_1$ , похилих –  $B_2$ . Процес деформування другої ділянки уявимо наступним чином. Центри тросів третьої ділянки, включно і точки, розташовані на межі третьої та другої ділянок довжиною  $B_2$  повертаються на кути  $\alpha$  навколо прямих, що проходять крізь точки  $O_1$  та  $O_2$  (рис.) паралельно осі конвеєра.

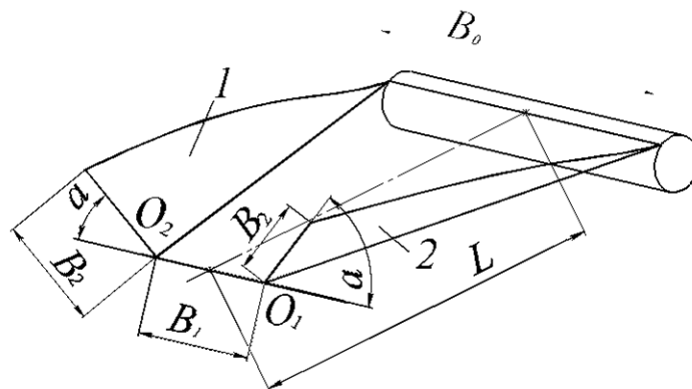


Рис. Схема деформування стрічки на перехідній ділянці

Троси третьої ділянки прямолінійні до надання частині стрічки лоткоподібної форми залишаються прямолінійними і після надання. Троси другої ділянки, внаслідок відсутності деформацій стискання гуми між ними, набудуть форм гвинтових ліній.

Під час обертання центри тросів третьої ділянки, включно і центри, розташовані на межі між ділянками, описують дуги кіл. Радіуси кіл залежать від кроку розташування тросів у боковій частині шириною  $B_2$ . Прийнемо їх незмінними на цій частині. Довжина траєкторії руху кінця  $i$ -того тросу на перехідній ділянці, з урахуванням значення кута нахилу бортів стрічки, становить

$$r_i = t a \begin{cases} 0 & \left( |i| \leq \frac{B_1}{2 t} \right), \\ \left( |i| - \frac{B_1}{2 t} \right) & \left( i > \frac{B_1}{2 t} \right). \end{cases} \quad (4)$$

Відносні подовження тросів, що набули гвинтової форми, подамо у вигляді ряду Фур'є на осі номерів тросів

$$\varepsilon_i = \frac{2}{M} \sum_{m=1}^{M-1} D_m \cos(\mu_m (i - 0,5)), \quad (5)$$

де

$$D_m = \sum_{k=1}^M \left( \sqrt{\left( \frac{r_k}{L} \right)^2 + 1} - 1 \right) \cos(\mu_m (k - 0,5)). \quad (6)$$

Внутрішні сили навантаження середньої частини стрічки відрізняються від виразу (3) на величину, залежну від значення  $EF$

$$p_i = EF \varepsilon_i, \quad p_{i,j} = EF \varepsilon_{i,j}. \quad (7)$$

Для позначення віднесення величин до окремих ділянок наділимо їх верхніми індексами у формі номеру ділянки стрічки. Відповідно, до прийнятої фізичної моделі сформулюємо граничні умови

$$x \rightarrow -\infty \quad \begin{matrix} u_i^1 = u_{i+1}^1, & p_i^1 = p_{i+1}^1 \\ u_{i,j}^1 = u_{i+1,j}^1, & p_{i,j}^1 = p_{i+1,j}^1 \end{matrix}, \quad (8)$$

$$x \rightarrow \infty \quad \begin{matrix} u_i^3 = u_{i+1}^3, & p_{i,j}^3 = p_{i+1,j}^3 \\ u_{i,j}^3 = u_{i+1,j}^3, & p_{i,j}^3 = p_{i+1,j}^3 \end{matrix}. \quad (9)$$

та умови сумісності деформування ділянок каната з урахуванням довжини середньої

$$x = 0 \quad \begin{matrix} u_i^1 = u_i^2, & p_i^1 = p_i^2 \\ u_{i,j}^1 = u_{i,j}^2, & p_{i,j}^1 = p_{i,j}^2 \end{matrix}, \quad (10)$$

$$x = L \quad \begin{matrix} u_i^2 = u_i^3, & p_i^2 = p_i^3 \\ u_{i,j}^2 = u_{i,j}^3, & p_{i,j}^2 = p_{i,j}^3 \end{matrix}. \quad (11)$$

Відзначимо, в наведених залежностях та далі, в нижніх індексах перші цифри відповідають номерам ділянок. Врахуємо припущення стосовно характеру деформування гумотросового каната та граничні умови. Приймемо рішення для вказаних ділянок стрічки з урахуванням (8) та (9). Внаслідок збігу структур

розподілу сил та переміщень, граничних умов далі задля спрощення викладення, покажемо тільки перші складові рішень

$$u_i^1 = \frac{2}{M} \sum_{j \in M \wedge j \notin J} \sum_{m=1}^{M-1} A_m^2 e^{\beta_m x} \cos(\mu_m(j-0,5)) \cos(\mu_m(i-0,5)) + \frac{Px}{E F}, \quad (12)$$

$$p_i^1 = \frac{2}{M} \sum_{j \in M \wedge j \notin J} \sum_{m=1}^{M-1} A_m^2 e^{\beta_m x} \beta_m \cos(\mu_m(j-0,5)) \cos(\mu_m(i-0,5)) E F + P, \quad (13)$$

$$u_i^2 = \frac{2}{M} \sum_{j \in M \wedge j \notin J} \sum_{m=1}^{M-1} (A_m^2 e^{\beta_m x} + B_m^2 e^{-\beta_m x}) \cos(\mu_m(j-0,5)) \cos(\mu_m(i-0,5)) + \frac{Px}{E F} + \varepsilon, \quad (14)$$

$$p_i^2 = \frac{2E F}{M} \sum_{j \in M \wedge j \notin J} \sum_{m=1}^{M-1} (A_m^2 e^{\beta_m x} - B_m^2 e^{-\beta_m x}) \beta_m \cos(\mu_m(j-0,5)) \cos(\mu_m(i-0,5)) + P + EF \varepsilon_i, \quad (15)$$

$$u_i^3 = \frac{2}{M} \sum_{j \in M \wedge j \notin J} \sum_{m=1}^{M-1} B_m^3 e^{-\beta_m x} \cos(\mu_m(j-0,5)) \cos(\mu_m(i-0,5)) + \frac{Px}{E F}, \quad (16)$$

$$p_i^3 = -\frac{2}{M} \sum_{j \in M \wedge j \notin J} \sum_{m=1}^{M-1} B_m^3 e^{-\beta_m x} \beta_m \cos(\mu_m(j-0,5)) \cos(\mu_m(i-0,5)) E F + P, \quad (17)$$

де  $A_m^k, B_m^k$  – сталі інтегрування;  $k = 1, 2, 3$  – номер ділянки.

Умови сумісності деформування (10) – (11) ділянок каната (стрічки) дозволяють визначити невідомі сталі для обох складових виразів розподілів сил та переміщень (12) – (17). Відомі розподіли переміщень дозволяють визначати деформований стан гумових прошарків. Їх результати визначають напружено-деформований стан гумотросового каната (стрічки), в яких використовуються троси різних конструкцій або гумові прошарки, виконані з гуми різної жорсткості на зсув.

**Висновки.** Відомі дослідження не дозволяють врахувати вплив виготовлення стрічки (каната) з тросами та еластичними прошарками з відмінними механічними та геометричними показниками на їх напружено-деформований стан.

Розроблена модель та алгоритм розрахунку напружено-деформованого стану гумотросового каната довільної конструкції, з урахуванням відмінності жорсткостей окремих його тросів, можуть бути застосовані для випадків різних значень інших механічних та геометричних параметрів складових каната (стрічки). Отримані результати надають можливість впровадити в підйомно-транспортне машинобудування гумотросові канати та стрічки з відмінними по ширині механічними та геометричними характеристиками, що дозволить зменшити металомісткість підйомно-транспортних машин. Модель побудовано методами механіки композитних матеріалів. Її розв'язано аналітично в замкненому вигляді. Отриманий алгоритм можна вважати достатньо достовірним і таким, що дозволяє обґрунтовано визначати умови безпечного використання гумотросових канатів у разі ушкодження довільного троса.

**Перелік посилань**

1. Колосов, Л.В., & Бельмас, И.В. (1990). Исследование прочностных характеристик образцов поврежденных резинотросовых лент. *Известия вузов. Горный журнал*, 8, 81-84.
2. Колосов, Л.В., & Бельмас, И.В. (1991). Экспериментальные исследования агрегатной прочности РТЛ. *Известия вузов. Горный журнал*, 1, 85-87.
3. Бельмас, И.В. (1993). Напряженное состояние резинотросовой ленты при произвольном повреждении тросов. *Проблемы прочности и надежности машин*, 6, 45-48.
4. Бельмас, И.В., Колосов, Л.Д., Танцура, Г.И., & Конох, Ю.В. (2009). Исследование влияния порыва тросовой основы на прочность каната ступенчатой конструкции. *Труды пятой всероссийской конференции. Часть вторая*. Москва: МГТУ им. Баумана, 255-257.
5. Волоховский, В.Ю., Радин, В.П., & Рудяк, М.Б. (2010). Концентрация усилий в тросах и несущая способность резинотросовых конвейерных лент с повреждениями. *Вестник МЭИ*, 5, 5-12.
6. Belmas, I., & Kolosov, D. (2011). The stress-strain state of the stepped rubber-rope cable in bobbin of winding. *Technical and Geoinformation Systems in Mining: School of Underground Mining*, 211-214.
7. Бельмас, І.В., & Бобильова, І.Т. (2012). Вплив поривів елементів армування на міцність плоского тягового органу. *Les problemes contemporains de la technosphere et de la formation des cadres d'ingenieurs. Proceedings of the 6th International Scientific and Methodical Conference*, 88-91.
8. Ропай, В.А. (2016). *Шахтные уравновешивающие канаты*. Национальный горный университет.
9. Belmas, I., Kolosov, D., Kolosov, O., & Onyshchenko, S. (2018). Stress-strain state of a conveyor belt with cables of different rigidity and their breakages. *Fundamental and applied researches in practice of leading scientific schools*, 26(2), 231-236.
10. Бельмас, І.В., Колосов, Д.Л., Чечель, Т.О., Воробйова, О.М., & Черниш, О.М. (2020). Вплив зміни в часі механічних властивостей гуми на напружений стан гумотросового тягового органу з ушкодженням тросом. *Збірник наукових праць національного гірничого університету*, 61, 149-155.  
<https://doi.org/10.33271/crpnmu/62.149>
11. Колосов, Д.Л., Білоус, О.І., & Гуров, І.А. (2019). Міцність відновленої гумотросової стрічки. *Математичні проблеми технічної механіки та прикладної математики – 2019*, 126-127.
12. Belmas, I., Kolosov, D., Onyshchenko, S., & Bobylova, I. (2020). Partial restoration of tractive ability of rubber-cable tractive element with damaged cable base. *Збірник наукових праць національного гірничого університету*, 60, 196-206.  
<https://doi.org/10.33271/crpnmu/60.196>
13. Бельмас, І.В., Білоус, О.І., Танцура, Г.І., & Бобильова, І.Т. (2018). *Зірочка* (Патент № 117954)
14. Бельмас, І.В., Колосов, Д.Л., Білоус, О.І., & Бобильова, І.Т. (2019). Дослідження напруженого стану гнучкого тягового органу з кінематичним зв'язком. *Збірник наукових праць Прогресивні технології в машинобудуванні РТМЕ 2019*, 72-73.
15. Колосов, Л.В., & Бельмас, И.В. (1990). Анализ схем стыковых соединений резинотросовых лент. *Известия вузов. Горный журнал*, 2, 83-85.
16. Левченя, Ж.Б. (2004). *Повышение надежности стыковых соединений конвейерных лент на горнодобывающих предприятиях: На примере РУП "ПО "Беларуськалий": диссертация ... кандидата технических наук: 05.05.06*.
17. Танцура, Г.И. (2010). Гнучкі тягові органи. *Стикові з'єднання конвеєрних стрічок*, ДДТУ.
18. Бельмас, І.В., Колосов, Д.Л., Білоус, О.І., Танцура, Е.І., & Сай, О.В. (2020). Вимоги до механічних властивостей складових стрічки підвісного конвеєра. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки)*, 95-101.  
<https://doi.org/10.31319/2519-2884.tm.2020.19>

### АННОТАЦИЯ

**Цель.** Определение влияния нерегулярной конструкции каната (ленты) на его напряженно-деформированное состояние.

**Методика исследования.** Разработка алгоритма расчета тягово-транспортирующего органа подъемно-транспортной машины методами механики слоистых композитных материалов с мягкими и жесткими слоями; построение и решение модели напряженно-деформированного состояния резинотросового каната (ленты) с учетом нерегулярности его конструкции.

**Результаты исследования.** Алгоритм определения напряженно-деформированного состояния резинотросового каната (ленты) произвольной конструкции. Закономерности напряженно-деформированного состояния резинотросового каната (ленты), в котором используются тросы разных конструкций или резиновые прослойки, выполненные из резины разной жесткости на сдвиг.

**Научная новизна.** Определение влияния нарушения регулярного строения каната (ленты) на его напряженно-деформированное состояние.

**Практическое значение.** Разработанная модель и алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния резинотросового каната произвольной конструкции, с учетом отличия жесткостей отдельных тросов, могут быть применены для случаев различных значений других механических и геометрических параметров составляющих каната (ленты). Полученный алгоритм можно считать достаточно достоверным и позволяющим обоснованно определять условия безопасного использования резинотросовых канатов в случае повреждения произвольного троса. Полученные результаты дают возможность внедрения в подъемно-транспортное машиностроение резинотросовых канатов и лент с отличающимися по ширине механическими и геометрическими характеристиками. Разработанный алгоритм определения напряженного состояния каната, ленты конвейера позволит повысить эффективность и конкурентоспособность отечественного подъемно-транспортного оборудования.

**Ключевые слова:** *напряженно-деформированное состояние, композитный тяговый орган, нерегулярная структура каната, подъемно-транспортная машина.*

### ABSTRACT

**Purpose.** Establishment of influence of irregular rope (belt) structure on its stress-strain state.

**Methodology.** Construction, solution of a model of a stress-strain state of a rubber-cable rope considering the irregularity of its structure and development of an algorithm for calculating a tractive and transporting element of a hoisting and transporting machine using the methods of mechanics of layered composite materials with soft and hard layers.

**Results.** Algorithm for determining a stress-strain state of a rubber-cable rope (belt) of irregular structure. Dependencies of stress-strain state of a rubber-cable rope (belt), in which cables of different structure or rubber layers made of rubber of different shear rigidity are used.

**Scientific novelty.** Establishment of influence of violation of regular rope (belt) structure on its stress-strain state.

**Practical significance.** The developed model and algorithm for calculating a stress-strain state of a rubber-cable rope of arbitrary structure, considering the differences in rigidity of its individual cables,



can be used for different values of other mechanical and geometric parameters of rope (belt) components. The resulting algorithm can be considered sufficiently reliable and it allows justified determination of conditions for safe usage of rubber-cable ropes in case of breakage of a random cable. The obtained results provide a possibility of implementing rubber-cable ropes (belts) with mechanical and geometric characteristics variable along the width into hoisting and transporting engineering. The developed algorithm for determining a stress state of a rope or conveyor belt will increase the efficiency and competitiveness of domestic lifting and transporting equipment.

**Keywords:** *stress-strain state, composite tractive element, irregular rope structure, hoisting and transporting machine.*