

7. Kolosov L.V. Nauchnyye osnovy razrabotki i primeneniya rezinotrosovykh kanatov podzemnykh ustanovok glubokikh rudnikov [Scientific fundamentals of development and application of rubber-rope for deep mine elevators], L.V. Kolosov. – Dis... dokt. nauk: 05.05.06. 01.02.06. – D., 1987. – 426 p.

УДК 622.673

МІЦНІСТЬ КОНВЕЄРНОЇ СТРІЧКИ ВІДВЕДЕННЯ ВОДИ ПІСЛЯ ПРОМИВАННЯ СИРОВИНИ / STRENGTH OF CONVEYOR BELT OF WATER DRAINAGE AFTER RINSING OF RAW MATERIAL

Білоус О.І., канд. техн. наук, доцент
Перфильєва Ю.М., інженер
Дніпровський державний технічний університет, Україна

Учасники конференції

Досліджено напружений стан стрічки утвореної системою паралельних тягових елементів запресованих в еластичну оболонку. На підставі розв'язання системи лінійних диференціальних рівнянь рівноваги тягових елементів встановлено, механізм, закономірності та коефіцієнти нерівномірності розподілу внутрішніх сил розтягування тягових елементів в стрічці з отворами. Запропоновано спосіб визначення тягової спроможності стрічки з отворами.

Ключові слова: Стрічка конвеєра, отвори, механічні властивості, тягові елементи, коефіцієнт концентрації сил.

Investigated the stress state of the tape formed by a system of parallel traction elements are pressed into the elastic shell. On the basis of solutions of systems of linear differential equations of equilibrium of traction elements are mounted, mechanism, patterns and coefficients of uneven distribution of internal forces of stretching of traction elements in a ribbon with apertures. The proposed method of determining the traction capacity of the belt with holes.

Keywords. Conveyor belt, holes, mechanical properties of traction elements, the coefficient of concentration of forces.

Вступ. Суміщення технологічних процесів миття та транспортування продукції підвищує ефективність виробництва та рівень його механізації. В процесі переміщення похилим стрічковим конвеєром залишки води стікають стрічкою. На горизонтальному конвеєрі вона переміщається разом із завантаженою насипом сільськогосподарською сировиною. Для відведення зайвої вологи під час транспортування доцільно застосувати стрічку з отворами [1]. Використання стрічок масового виробництва, в яких виконані спеціальні отвори, дозволяє вирішити задачу виробництва стрічок для конвеєрів часткового зневоднення сировини та вимагає дослідження впливу отворів на їх тягову спроможність.

Постановка задачі. Сільськогосподарська сировина здебільшого має форму близьку до сфери. У разі розташування окремого плоду що транспортується на межі отвору, він опуститься в нього. Якщо діаметр отвору перевищить діаметр окремого плоду, він випаде. В протилежному випадку, перекриє отвір і зменшить можливість відведення вологи. Для уникнення останнього, доцільно отвори виконувати не круглими, а наприклад, прямокутними. При цьому одна зі сторін прямокутних отворів має бути меншою за мінімальний розмір окремого плоду. Інша може бути довільною. Для забезпечення рівномірного відведення вологи по довжині стрічки, що рухається конвеєром, отвори мають бути розташовані регулярно. Здатність стрічки пропускати вологу залежить від характеру розподілу отворів по ширині стрічки та їх сумарної площі. Бокові сторони стрічки нахилені для надання їй жолобчатої форми. Відведення вологи здебільшого відбувається в середній частині стрічки. В цій частині мають бути передбачені отвори.

Конвеєрні стрічки армовані. Вони мають поздовжні регулярно розташовані елементи армування - тягові елементи запресовані в еластичну оболонку. Механічні властивості стрічки, включно і її міцність, визначаються кількістю, взаємним розташуванням, механічними параметрами елементів армування та матеріалу оболонки. Виконання отворів в таких стрічках пов'язане з частковим видаленням елементів армування та зменшенням її тягової спроможності. В роботі поставлена задача визначити зменшення тягової спроможності стрічки конвеєра з регулярно розташованими отворами за довільної схеми їх розташування та розмірів.

Результати роботи. Розглянемо стрічку з прямокутними, регулярно розташованими отворами розмірами $l \times b$. Вісь x спрямуємо вздовж стрічки. Початок осі розташуємо на межі довільного ряду отворів. Тяговим елементам надамо номери від одиниці до $M+N$. Подовжні елементи армування позначимо потовщеними лініями (рис. 1). Лінією з розривами покажемо симетричну частину повторюваного елемента стрічки з системою отворів розташованих з постійними кроками як вздовж так і по її ширині.

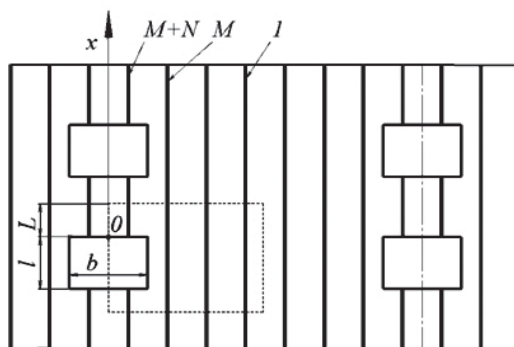


Рис. 1. Схема розташування тягових елементів та отворів розмірами $l \times b$ стрічки

Симетричність виділеного елемента призведе до наступних особливостей деформування стрічки. Перерізи в площинах симетрії не викривляються. Переміщення елементів армування, розташованих симетрично границі отвору паралельній осі, однакові. Останнє зумовлює відсутність дотичних напружень в гумі поміж вказаними тяговими елементами. Відсутні дотичні напруження і на ділянках, що межують з отворами. На ділянці $x > 0$ кількість тягових елементів $M+N$. На ділянці $x < 0$ - M . Перерізом $x=0$ розділимо зразок на дві частини. Будемо розглядати вказані частини як дві сполучені стрічки. Позначимо їх номерами 1 та 2. Номери будемо використовувати, як індекси для позначення параметра відповідної частини стрічки.

Сформулюємо граничні умови:

$$\text{в перерізі } x=-l/2 \quad u_{1i} = u_{1i\pm 1}, \quad (1)$$

$$\text{коли } x \rightarrow \infty \quad u_{2i} = u_{2i\pm 1}, p_{2i} = \frac{P}{M+N}, \quad (2)$$

де u_i – переміщення та сила розтягу p_i i – того тягового елемента вздовж осі x .
Умови сумісності деформування ділянок. В перерізі $x = 0$

$$\begin{aligned} u_{1,i} &= u_{2,i} (1 \leq i \leq M), \\ p_{1,i} &= p_{2,i} (1 \leq i \leq M), \\ p_{1,i} &= 0 (M < i \leq N+M), \end{aligned} \quad (3)$$

Локальні зміни форми твердого тіла, відповідно до принципу Сен-Венана, призводять до локальних перерозподілів напружень. Найбільше вони проявляються коли зона збурень не обмежена. Стрічка на конвеєрі, відповідно її тягові елементи працюють в основному на розтягування. Будемо вважати, що стрічка навантажена силою розтягу P . Тягові елементи сприймають лише сили розтягування та не втрачають прямолінійну форму. Першу ділянку будемо вважати безмежно довгою $L \rightarrow \infty$. Врахуємо граничні умови (1) та (2). Рішення в переміщеннях для першої та другої стрічок будемо шукати в наступних формах [1].

$$u_{1,i} = \sum_{m=1}^{M+N} B_{1,m} e^{-\beta_{1,m} x} \cos(\mu_{1,m}(i-0.5)) + \frac{Px}{(M+N)EF}, \quad (4)$$

$$u_{2,i} = \sum_{m=1}^M B_{2,m} \left(e^{-\beta_{2,m} x} - e^{\beta_{2,m} x/2} e^{\beta_{2,m} x} \right) \cos(\mu_{2,m}(i-0.5)) + \frac{Px}{MEF}, \quad (5)$$

де $B_{1,m}$, $B_{2,n}$ - сталі інтегрування; $\mu_{1,m} = \pi \frac{m}{M}$;

$$\mu_{2,n} = \pi \begin{cases} \frac{2n}{M+N} & n = M+N \\ \frac{n}{M+N} & 1 \leq n < M+N \end{cases}; \quad \beta_{1,m} = \sqrt{2 \frac{G k_G}{(t-d) E F} (1 - \cos(\mu_{1,m}(i-0.5)))};$$

$$\beta_{2,n} = \sqrt{2 \frac{G k_G}{(t-d) E F} (1 - \cos(\mu_{2,n}(i-0.5)))}; \quad d, t - \text{діаметр та крок укладення тягових елементів в стрічці, } G - \text{при-$$

ведений модуль зсуву матеріалу еластичної оболонки стрічки; EF – приведена жорсткість тягового елемента на розтяг; k_G – коефіцієнт, що враховує вплив форми матеріалу еластичної оболонки.

За законом Гука значення зусиль, що виникають в тягових елементах.

$$p_{1,i} = EF \sum_{m=1}^{M+1} -B_{1,m} e^{-x} \beta_{1,m} \cos(\mu_{1,m}(i-0.5)) + \frac{P}{(M+N)}, \quad (6)$$

$$p_{2,i} = -EF \sum_{m=1}^M B_{2,m} \left(e^{-\beta_{2,m} x} + e^{\beta_{2,m} x/2} e^{\beta_{2,m} x} \right) \beta_{2,m} \cos(\mu_{2,m}(i-0.5)) + \frac{P}{M}, \quad (7)$$

В стрічці, з метою її врівноважування на скручування, кількість тягових елементів парна. Відповідно, і в отворі кількість видалених тягових елементів має бути парною. Скористаємося умовами сумісності деформування ділянок стрічки (3). Побудуємо систему алгебраїчних рівнянь порядку $2M+N$. Прийmemo, що діаметри тягових елементів стрічки становлять 1мм. Ширина отворів b пропорційна кількості тягових елементів. Кількість вилучених тягових елементів прийmemo рівною двом та чотирьом. Для вказаних умов розв'яжемо систему алгебраїчних рівнянь. Знайдемо невідомі сталі. Визначимо внутрішні зусилля розтягування тягових елементів конвеєрної стрічки.

В інженерній практиці використовують поняття коефіцієнту концентрації напружень. За аналогією визначимо коефіцієнт концентрації зусиль розтягу тягових елементів. Коефіцієнтом концентрації зусиль будемо називати відношення внутрішнього зусилля розтягу тягового елемента до середнього зусилля розтягу тягових елементів стрічки на першій ділянці. На рисунку 2 наведено розподіл коефіцієнтів концентрації зусиль в тягових елементах стрічки в районі отвору шириною рівною чотирьом крокам.

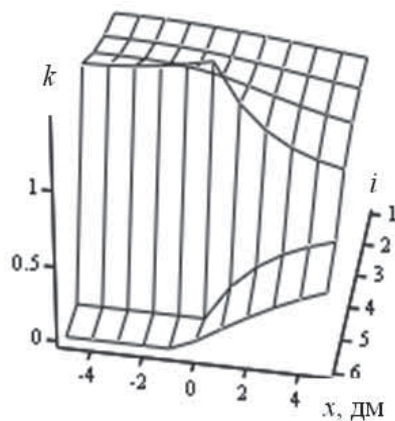


Рис. 2. Графік розподілу коефіцієнтів нерівномірності розподілу зусиль k поміж тяговими елементами з номерами i вздовж стрічки x в районі отвору

З рисунку 2 видно, що внутрішнє зусилля розтягу елементів армування стрічки нерівномірно розподілені на ділянці з отвором та на суміжній з ним. Внутрішнє зусилля в тяговому елементі, видаленому в межах отвору, зростає від нуля на межі отвору. Найбільші навантаження припадають на тяговий елемент суміжний з тяговим елементом частини якого видалена. Екстремального значення зусилля набуває в перерізі, що відповідає межі отвору. Зі зростанням відстані від ділянки стрічки з отвором, розподіл сил розтягу наближається до рівномірного. В частині стрічки з отвором сили розтягу також змінюються.

Вказані зміни, в загальному випадку, є результатом накладання полів локальних збурень напруженого стану стрічки, зумовлених наявністю двох країв кожного отвору. Це вказує на те що довжина отвору в стрічці впливає на значення сили розтягу суміжного тягового елемента. Екстремальних значень сили розтягу тягового елемента суміжного з частково видаленим набуватимуть у випадках мінімальної (нульової) довжини отвору та такої, коли поля збурень не накладаються. Останній випадок має місце і за безмежної довжини отвору. Залежність коефіцієнтів концентрації зусиль від довжини отвору шириною, що дорівнює двом та чотирьом крокам укладання тягових елементів наведена на рисунках 3 та 4, відповідно.

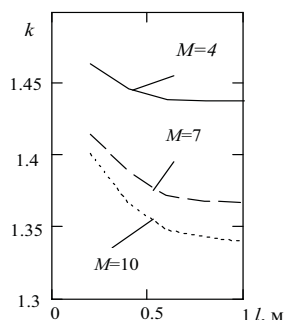


Рис. 3. Залежність коефіцієнтів концентрації зусиль від довжини отвору шириною, що дорівнює двом крокам укладання тягових елементів за різних значень величини M

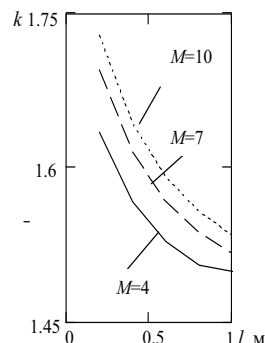


Рис. 4. Залежність коефіцієнтів концентрації зусиль від довжини отвору l , шириною, що дорівнює чотирьом крокам укладання тягових елементів за різних значень величини M

Відповідно до наведених (рис. 3 та 4) графіків, залежності коефіцієнтів концентрації зусиль від довжини отвору спадні. Для стрічки з отворами завширшки у два кроки ($N=1$) коефіцієнти концентрації сил не змінюються при зростанні довжини отвору понад 0,6 м коли $M=4$, понад 0,8 м, коли $M=7$ та 1 м коли $M=10$. Для стрічки з отворами завширшки у чотири кроки ($N=2$) не змінюються при більших значеннях довжин. Так, для стрічки з отворами розташованими таким чином, що поміж ними є вісім цілих елементів армування, зростання довжини отвору понад 1 м не призводить до зменшення коефіцієнта концентрації. Вказане свідчить про те, що зона локального прояву збурень напруженого стану стрічки з регулярно розташованими отворами, зумовлена розривами цілісності двох суміжних тягових елементів не перевищує 0,3 м, 0,4 м та 0,5 м коли поміж отворами є 8, 14 та 20 тягових елементів. Збільшення ширини отвору без зміни кроку укладання тягових елементів призводить до зростання довжин прояву зон збурень. Так у випадку $N=2$ та $M=4$ довжина двох зон збурення сягає одного метра. Відповідно довжина однієї - 0,5 м. Вказані довжини є оптимальними з точки зору мінімізації впливу отворів на зменшення тягової спроможності стрічки. Довжини прояву локальних збурень значно менші за довжину стрічки.

Порівняння графічних залежностей (рис. 3) та рис. (4) дозволяє зробити висновок, що збільшення кількості тягових елементів видалених для утворення прямокутного отвору, значно впливає на напружений стан стрічки. Зростання параметру M у цих випадках призводить не до зменшення максимальних сил розтягування найбільш навантажених тягових елементів, а навпаки до їх зростання. Так за співвідношення кількості цілих тягових елементів в стрічці в перерізі з отвором до їх загального числа

$\frac{M}{M+N} = \frac{4}{5}$ коефіцієнт концентрації не перевищує 1,4 коли ширина отвору становить два кроки укладання тягових елементів та . перевищує 1,7 коли ширина отвору становить чотири кроки.

Такий характер впливу розміру отвору визначається наявністю двох чинників, що разом впливають на перерозподіл сил по ширині стрічки. Першим чинником є зміна співвідношення кількості тягових елементів в стрічці та видалених в межах отвору. Його зміна призводить до пропорційної зміни частини навантаження рівномірно розподіленої поміж елементами армування стрічки. Він діє глобально. Другий чинник відтворює вплив локальної зміни конструкції стрічки. Локально, як по довжині так і по ширині стрічки, перерозподіляються – змінюються сили, що виникають в тягових елементах стрічки. Локальність перерозподілу сил по ширині стрічки призведе до зменшення частки тягових елементів, навантаження яких змінюється зі зростанням кількості таких елементів. Відповідно зростає частка додаткового навантаження, що сприймається тяговим елементом суміжним з отвором.

Визначені вище довжини залежать від множника $e^{-\beta_{2,m}x} + e^{\beta_{2,m}/2}e^{\beta_{2,m}x}$ у виразі (7). Останній залежить лише від характеристичного показника $\beta_{2,m}$, залежного від параметрів стрічки. Відповідно, довжин зон збурень стрічок з іншими параметрами пропорційні відношенням визначених характеристичних показників до показників стрічки з іншими параметрами.

Іншим крайнім випадком є випадок мінімальної довжини отвору. Отвір мінімальної довжини фактично є розривом суцільності тягових елементів в одному перерізі. Такий випадок для безмежно широкої стрічки розглянуто нами раніше [1]. Скористаємося методом застосованим в цій роботі. Приймемо, що кількість тягових елементів, що утворюють отвір дорівнює N . Поміж групами таких ушкоджених елементів розташовано $2M$ суцільних тягових елементів. Результати розрахунків коефіцієнта концентрації сил k наведені на рисунку 5.

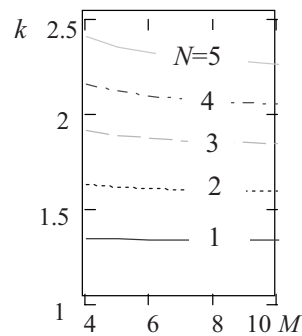


Рис. 5. Залежності коефіцієнтів концентрації зусиль k від кількості тягових елементів, що утворюють отвір (N) за умови розташування поміж отворами $2M$ суцільних тягових елементів

Наведені графічні залежності дозволяють визначати коефіцієнти концентрації зусиль k для отворів мінімальної довжини за різної кількості тягових елементів M . На рисунку 6 наведені умовні значення коефіцієнтів концентрації зусиль k за різної кількості тягових елементів, що утворюють отвір (N) у разі розташування поміж отворами $2M$ суцільних тягових елементів, визначених як співвідношення загальної кількості тягових елементів до кількості не ушкоджених.

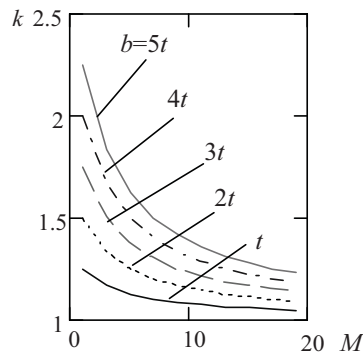


Рис. 6. Залежності коефіцієнтів концентрації зусиль k від кількості тягових елементів, що утворюють отвір (N) за умови розташування поміж отворами $2M$ суцільних тягових елементів, визначених як співвідношення загальної кількості тягових елементів до кількості не ушкоджених

Наведені графічні залежності (рис. 5 та рис. 6) також демонструють значний вплив зміни кількості тягових елементів стрічки конвєсера на коефіцієнт концентрації зусиль. Отвори меншої ширини менше впливають на характер перерозподілу сил по ширині стрічки, відповідно і на її міцність. Відомий коефіцієнт концентрації напружень дозволяє розраховувати стрічку з видаленими тяговими елементами на міцність, відповідно встановлювати допустимість використання стрічок з отворами.

Висновки. Забезпечення площі отворів в стрічці, достатніх для відведення вологи, доцільно досягати не за рахунок збільшення ширини отворів, а за рахунок можливого зменшення кількості тягових елементів, розташованих поміж ними та зменшення кількості видалених тягових елементів. Мінімальною кількістю видалених тягових елементів можна вважати ширину отвору, що дорівнює одному кроку. Значення коефіцієнтів концентрації сил слід визначати за наведеними графіками. Тягова спроможність стрічки зворотно пропорційна коефіцієнту концентрації сил.

Література:

1. Бельмас І.В., Танцура Г.І., Перфильєва Ю.М., Особливості проектування транспортних конвєсєрів для зневоднення матеріалу., Прогресивна техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. – Харків., ХДУХТ, вип. 2(6), 2007, с. 250-254.