

фракції зі своїми коефіцієнтами динамічності, що дає змогу виходити на розрахункові навантаження та проектувальні розрахунки на міцність силових елементів ставів стрічкових конвеєрів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Транспорт на гірничих підприємствах: підруч. для ВУЗів / під заг. ред. проф. М.Я.Біліченка. – Дніпропетровськ: НГУ, 2005. – 636с.
2. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий / [В.И.Галкин, В.Г.Дмитриев, В.П.Дьяченко и др.]. – М.: МГТУ, 2005. – 543с.
3. Монастырский В.Ф. Исследование путей снижения поперечных смещений ленты на грузе ветви конвейеров, транспортирующих крупнокусковые грузы в условиях горных предприятий: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Монастырский Виталий Федорович. – Днепропетровск, 1975. – 218с.
4. Взаимодействие груза с роликами линейной части конвейера / [Кузнецов Б.А., Смирнов В.К., Монастырский В.Ф. и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – Днепропетровск: Укрметаллургинформ «НТА». – 1973. – Вып. 4. – С.54-57.
5. Коваль А.В. Исследование опорных элементов ленточных конвейеров, транспортирующих крупнокусковые грузы на горнорудных предприятиях: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Коваль А.В. – Днепропетровск, 1975. – 173с.
6. Бондарев В.С. Исследование транспортирования крупнокусковых материалов ленточными конвейерами / В.С.Бондарев, И.С.Петухов // *Горные, строительные, дорожные и мелиоративные машины*. – Киев: Техника. – 1968. – №7. – С. 91-96.
7. Новиков Е.Е. Теория ленточных конвейеров для крупнокусковых горных пород / Е.Е.Новиков, В.К.Смирнов. – Киев: Наукова думка, 1983. – 184с.
8. Определение основных характеристик потока крупнокускового груза, необходимых при расчетах ленточных конвейеров / [Е.Н.Новиков, В.Ф.Монастырский, Г.К.Демин, Н.И.Лисица] // *Механика горных машин*. – Киев: Наукова думка. – 1980. – С.49-55.

*Надійшла до редколегії 05.09.2017.*

УДК 622.673

БІЛОУС О.І., к.т.н., доцент  
ПЕРФИЛЬЄВА Ю.М., аспірант  
МЕДВЕДЬ Т.К., студент  
ОГАР К.І., студент

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

### **СТРІЧКА КОНВЕЄРА ВІДВЕДЕННЯ ВОДИ ПІСЛЯ ПРОМИВАННЯ СИРОВИНИ**

**Вступ.** Постачання на зовнішні ринки переробленої сільськогосподарської сировини – актуальна задача. На переробних підприємствах сільськогосподарську сировину після миття транспортують. 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 переміщується разом із завантаженою насипом сільськогосподарською сировиною. Для відведення зайвої вологи під час транспортування доцільно застосувати стрічку з отворами [1]. Обсяги споживання стрічок з отворами обмежені. Спорудження спеціальних потужностей для їх виробництва недоцільне. Використання стрічок масового виробництва зі спеціальними отворами дозволяє вирішити задачу виробництва стрічок для конвеєрів часткового зневоднення сировини. Це вимагає дослідження впливу отворів на тягову спроможність стрічок.

**Постановка задачі.** Сільськогосподарська сировина здебільшого має форму, близьку до сфери. У разі розташування окремого плода, що транспортується, на межі отвору він опуститься в нього. Якщо діаметр отвору перевищить діаметр окремого плоду, він випаде, в протилежному випадку – перекриє отвір, зменшуючи можливість відведення вологи. Для уникнення останнього доцільно отвори виконувати не круглими, а, наприклад, прямокутними. При цьому одна зі сторін прямокутних отворів має бути меншою, ніж мінімальний розмір окремого плоду. Інша може бути довільною. Збільшення розміру отвору забезпечує збільшення відведення вологи. 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 розміщеними отворами за довільною схемою 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). Лі-

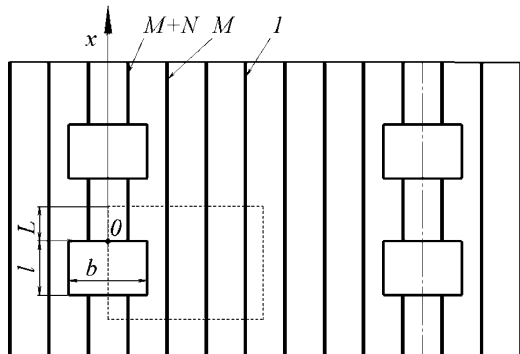


Рисунок 1 – Схема розташування тягових елементів та отворів розмірами  $l \times b$  стрічки

нією з розривами покажемо симетричну частину повторюваного елемента стрічки з системою отворів, розташованих з постійними кроками як вздовж, так і по її ширині.

Симетричність виділеного елемента призводить до наступних особливостей деформування стрічки. Перерізи в площинах симетрії не викривляються. Переміщення елементів армування, розташованих симетрично границі отвору, паралельній осі  $x$ , 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:

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

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

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 необмежена. Стрічка на конвеєрі, а відповідно і її тягові елементи працюють на розтягування. Будемо вважати, що стрічка навантажена силою розтягування  $P$ . 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). Розв'язання в переміщеннях для першої та другої стрічок будемо шукати в наступних формах [1]:

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

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

де  $B_{1,m}$ ,  $B_{2,n}$  – сталі інтегрування:  $\beta_{1,m} = \sqrt{2 \frac{G k_G}{(t-d) E F} (1 - \cos(\mu_{1,m}(i-0.5)))}$ ,

$$\beta_{2,n} = \sqrt{2 \frac{G k_G}{(t-d) E F} (1 - \cos(\mu_{2,n}(i-0.5)))},$$

$$\mu_{1,m} = \pi \frac{m}{M}, \quad \mu_{2,n} = \pi \begin{cases} \frac{2n}{M+N} & n = M+N \\ \frac{n}{M+N} & 1 \leq n < M+N \end{cases},$$

$d$ ,  $t$  – діаметр та крок укладення тягових елементів в стрічці,  $G$  – приведений 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,

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

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

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  $2M+N$ . Прийемо, що діаметри тягових елементів стрічки становлять 1мм. Ширина отворів  $b$  пропорційна кількості тягових елементів. Кількість вилучених тягових елементів прийемо рівною двом та чотирьом. Для

вказаних умов розв'яжемо систему алгебраїчних рівнянь. Знайдемо невідомі сталі та внутрішні зусилля розтягування тягових елементів стрічки.

В інженерній практиці використовують поняття коефіцієнта концентрації напружень. За аналогією визначимо коефіцієнт концентрації зусиль. Під таким коефіцієнтом будемо розуміти відношення зусилля розтягування тягового елемента до середнього зусилля розтягання на першій ділянці. На рис.2 наведено розподіл коефіцієнтів концентрації зусиль в тягових елементах стрічки в районі отвору шириною, рівною чотирьом крокам укладання тягових елементів. На ділянці  $-\frac{l}{2} \leq x \leq 0$  коефіцієнти концентрації відсутніх частин тягових елементів умовно зображені рівними нулю.

З рис.2 видно, що внутрішні зусилля розтягування елементів армування стрічки нерівномірно розподілені на ділянці з отвором та на суміжній з ним ділянці. Внутрішнє

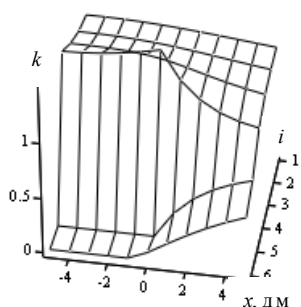


Рисунок – 2 Графік розподілу коефіцієнтів нерівномірності розподілу зусиль  $k$  поміж тяговими елементами з номерами  $i$  вздовж стрічки  $x$  в районі отвору

зусилля в тяговому елементі, видаленому в межах отвору, зростає від нуля на межі отвору. Найбільші навантаження припадають на тяговий елемент, суміжний з тяговим елементом, частина якого видалена. Екстремального значення зусилля набуває в перерізі, що відповідає межі отвору. Зі зростанням відстані від ділянки стрічки з отвором розподіл сил розтягання наближається до рівномірного. В частині стрічки з отвором сили розтягання 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 розтягання суміжного тягового елемента. Екстремальних значень сили розтягання тягового елемента, суміжного з частково видаленим елементом, набуватимуть у випадках мінімальної (нульової) довжини отвору та такої, коли поля збурень не накладаються. Відповідно, поля збурень не накладаються і за безмежної довжини отвору. Залежність коефіцієнтів концентрації зусиль від довжини отвору шириною, що дорівнює двом та чотирьом крокам укладання тягових елементів, наведено на рис.3 та 4 відповідно.

Відповідно до наведених на рис.3, 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 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 ( $N=2$ ) коефіцієнти концентрації сил 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 від довжини стрічки.

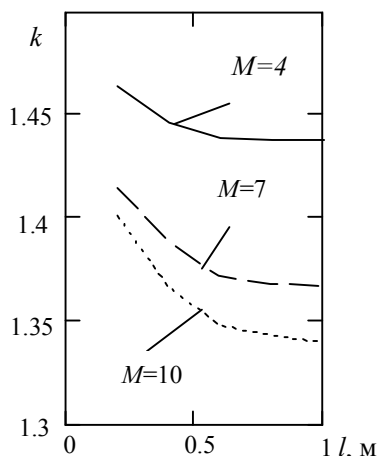


Рисунок 3 – Залежність коефіцієнтів концентрації зусиль від довжини отвору  $l$  шириною, що дорівнює двом крокам укладання тягових елементів за різних значень величини  $M$

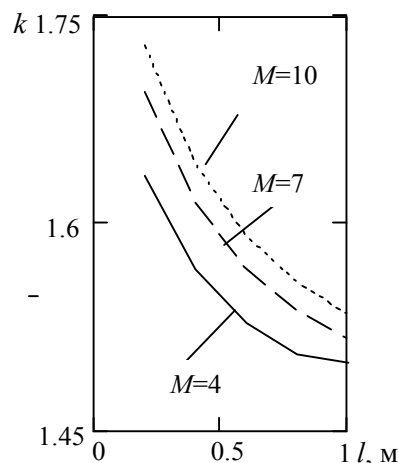


Рисунок 4 – Залежність коефіцієнтів концентрації зусиль від довжини отвору  $l$  шириною, що дорівнює чотирьом крокам укладання тягових елементів за різних значень величини  $M$

Порівняння графічних залежностей (рис.3, 4) дозволяє зробити висновок, що збільшення кількості тягових елементів, видалених для утворення прямокутного отвору, значно впливає на напружений стан стрічки. Зростання параметра  $M$  у цих випадках призводить не до зменшення максимальних сил розтягування найбільш навантажених тягових елементів, а навпаки до їх зростання. Так за співвідношення кількості цілих тя-

гових елементів в стрічці в перерізі з отвором до їх загального числа  $\frac{M}{M+N} = \frac{4}{5}$  кое-

фіцієнт 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 сили, що виникають в тягових елементах стрічки. Локальність перерозподілу сил по ширині стрічки призводить 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  $e^{-\beta_{2,m}x} + e^{\beta_{2,m}l/2} e^{\beta_{2,m}x}$  у виразі (7). Останній залежить лише від характеристичного показника  $\beta_{2,m}$ , залежного від параметрів стрічки. Відповідно, довжини 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. Прийемо, що кількість тягових елементів, що утворюють отвір, дорівнює  $N$ . Поміж групами таких ушкоджених елементів роз-

ташовано  $2M$  суцільних тягових елементів. Результати розрахунків коефіцієнта концентрації сил  $k$  наведено на рис.5.

Наведені графічні залежності дозволяють визначати коефіцієнти концентрації зусиль  $k$  для отворів мінімальної довжини при різній кількості тягових елементів  $M$ . На рис.6 наведено 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 неушкоджених.

Наведені на рис.5, 6 графічні залежності також демонструють значний вплив зміни кількості тягових елементів стрічки конвеєра 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.

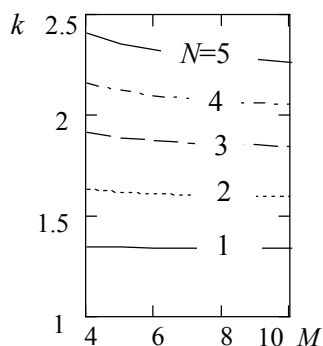


Рисунок 5 – Залежності коефіцієнтів концентрації зусиль  $k$  від кількості тягових елементів, що утворюють отвір ( $N$ ) за умови розташування поміж отворами  $2M$  суцільних тягових елементів

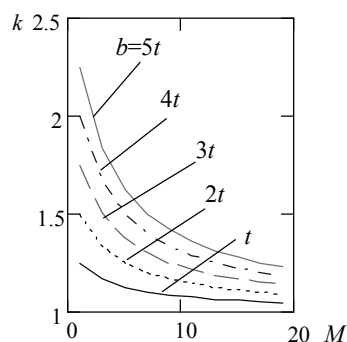


Рисунок 6 – Залежності коефіцієнтів концентрації зусиль  $k$  від кількості тягових елементів, що утворюють отвір ( $N$ ) за умови розташування поміж отворами  $2M$  суцільних тягових елементів, визначених як співвідношення загальної кількості тягових елементів до кількості неушкоджених

**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 зменшенням кількості видалених тягових елементів. Мінімальною кількістю видалених тягових елементів можна вважати таку, коли ширина отвору дорівнює одному кроку. Значення коефіцієнтів концентрації сил слід визначати за наведеними графіками. Тягова спроможність стрічки зворотно пропорційна коефіцієнту концентрації зусиль.

#### ЛІТЕРАТУРА

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

Надійшла до редколегії 03.07.2017.