

узкозахватних комбайнов 1К101 і скребкових конвейерів типу СП-202 і СП-251. Аналіз приведених діаграм показує, що во время експлуатації, наприклад, забойного скребкового конвейера СП-202, найменш надійним елементом по своїм властивостям довговічності є конічна шестерня редуктора планетарного механізму. Довготривалість заміни даної деталі також є найдовшою. Відповідно, при діагностиці забойних конвейерів первинну увагу слід приділяти дослідженню даної деталі для вивчення її характеристик ще в робочому стані і усунуванню неполадок задолго до її виходу з строю.

Крім цього встановлено, що серед усіх вузлів і деталей скребкових конвейерів часто виходить з строю зірка приводної головки конвейера СП-251. У комбайна 1К101 найчастіше виходить з строю вал-шестерня Р96Н0100.028.

З урахуванням результатів аналізу при діагностиці приводів конвейерів і комбайнів первинну увагу слід приділяти вказаним вище деталям і вузлам.

**Висновки.** Для забезпечення успішної роботи горно-шахтного обладнання впродовж тривалого періоду часу пропонується використовувати віброметр, що влечет за собою розробку відповідної методики діагностування стану приводів конвейера з допомогою віброметра для проведення виїзного обслуговування.

Рішення даної задачі дозволяє заблаговременно виявляти деталі і вузли, що вимагають заміни або ремонту і тим самим суттєво скоротити кількість непередбачених поломок обладнання і простоїв лав, що в свою чергу веде до підвищення рівня видобутку в високопродуктивних очистних забоях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Діагностування забойного обладнання / [Бойцов А.А., Левитес І.А., Лейко Л.Л., Шумейко С.В.]. – К.: «Техніка», 1984. – 160с.
2. Вишневіський В.П. Надійність горної техніки / Вишневіський В.П., Палант Г.Я., Князьян Г.С. – Київ: Техніка, 1973. – 100с.
3. Ремонт горно-шахтного і електричного обладнання: справ. посібник / [Гребенкін С.С., Доронін А.Д., Кабанов А.І., Минзюк А.М.]. – Донецьк: «Донбас», 1992. – 159с.

*Поступила в редакцію 22.10.2013.*

УДК 621.867.2:664

ПЕРФИЛЬЄВА Ю.М., аспірант

Дніпродзержинський державний технічний університет

### ВПЛИВ ОТВОРІВ НА МІЦНІСТЬ КОНВЕЄРНОЇ СТРІЧКИ

**Вступ.** У кожній технологічній схемі переробки сільгоспсировини присутній процес миття [1]. Мийні машини, що використовуються в харчовій промисловості, металомітці, мають великі габаритні розміри та можуть пошкоджувати поверхню плодів, порушуючи їх цілісність. Для зменшення негативного впливу на поверхню плодів в транспортері мийної машини можна використати гумотканинну стрічку з отворами. Отвори, що запропоновані, змінюють механічні характеристики стрічки та вимагають розробки методики розрахунку стрічки з отворами.

**Постановка задачі.** Дослідженню напружено-деформованого стану конвеєрних стрічок присвячені роботи Бельмаса І.В., Колосова Д.Л. [2], Завгороднього Є.Х. [3], Тан-

цури Г.І. [4]. У відомих роботах досліджувалися гумотросові стрічки. Для тканинних стрічок питання залежності напруженого стану стрічки від наявності отворів в ній залишилось невизначеним. В роботі дослідимо напружений стан стрічки з отворами.

**Результати роботи.** Вирішимо задачу впливу отворів шляхом математичного моделювання напруженого стану гумотканинної стрічки. Для побудови математичної моделі напруженого стану конвеєрної стрічки з отворами встановимо характер залежності деформацій стрічки від прикладених зусиль.

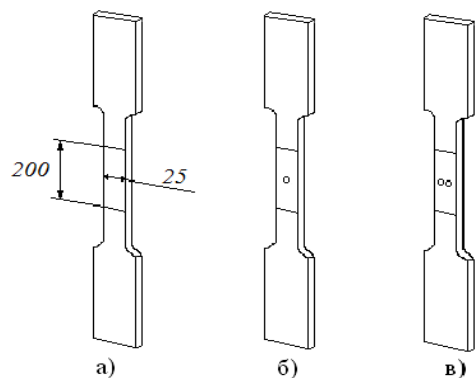


Рисунок 1 – Дослідні зразки

Для цього були виготовлені дослідні зразки трьох типів (рис.1): а) – зразок без отвору, б) – з одним отвором діаметром 5 мм, в) – з двома отворами діаметром 5 мм, розташованими рівномірно один від одного та від краю. Зразки виконано із стрічки, яка була у використанні, що пояснюється великою дисперсією розподілу експериментальних даних при використанні нової стрічки та суттєво знижує достовірність отриманих результатів.

Випробовування проведено на розривній машині типу ЦДМ-10. За результатами експериментів побудовано усереднені графіки залежності деформації стрічки від прикладеного зусилля (рис.2): а) – для суцільного зразка, б) – для зразка з одним отвором, в) – для зразка з двома отворами, г) – теоретична лінійна залежність. Встановлено зусилля руйнування.

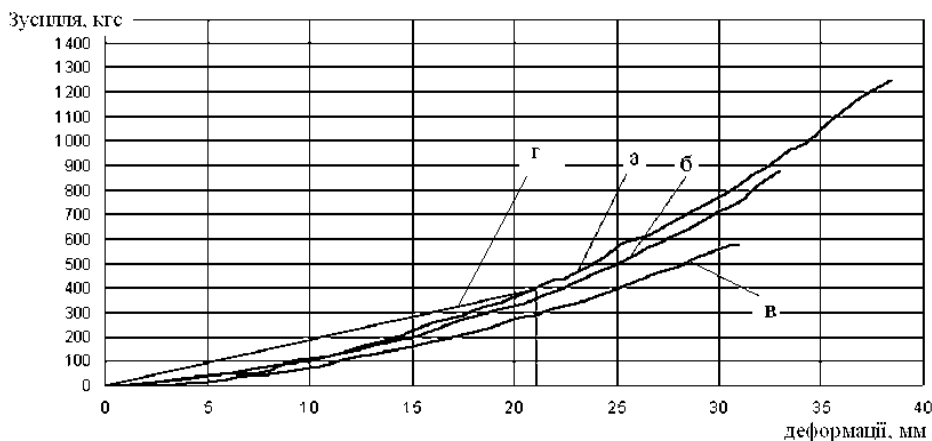


Рисунок 2 – Усереднені графіки залежності деформації стрічки від зусилля

З графіків видно, що при трикратному запасі міцності та навантаженні, що не перевищує 4 кН, залежність між деформаціями та зусиллям, прикладеним до стрічки, можна вважати лінійною. Указане дозволяє побудувати лінійну модель деформування стрічки.

Для стрічок з отворами визначимо розподіл напружень поміж нитками. Для цього використаємо методи теорії пружності. Прийmemo, що нитки не згинаються і працюють як пружні стрижні, гума передає тільки напруження зсуву. Для такого випадку прийmemo лінійний закон деформації. Тож розв'яжемо задачу з використанням лінійної теорії пружності.

Форма перерізу подовжніх ниток близька до кола. Умовно будемо вважати її квадратом зі стороною  $d$ . Розглянемо рівновагу відрізка  $i$ -тої нитки довжиною  $dx$  (рис.3).

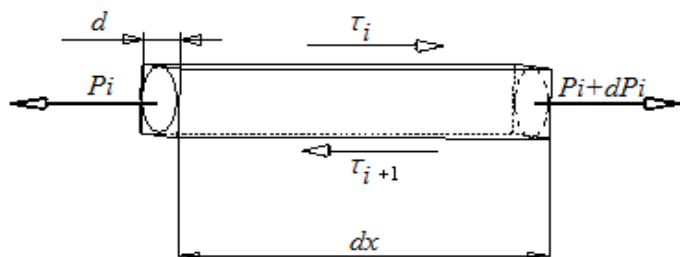


Рисунок 3 – Схема навантаження однієї нитки тканинної прокладки конвеєрної стрічки

Відповідно до схеми навантаження нитки (рис.3) умова її рівноваги

$$d(\tau_i - \tau_{i+1}) dx = dP_i \quad (1)$$

Із закону Гука

$$\tau_i = \frac{U_i - U_{i-1}}{h} \cdot G \quad (2)$$

де  $U_i$  – переміщення, м;  
 $h$  – відстань між сусідніми нитками, м;  
 $G$  – приведений модуль зсуву матеріалу, розташованого між подовжніми нитками, Па.

Звідки

$$G \frac{(U_{i-1} - 2U_i + U_{i+1}))}{h} - \frac{dP_i}{dx} = 0 \quad (3)$$

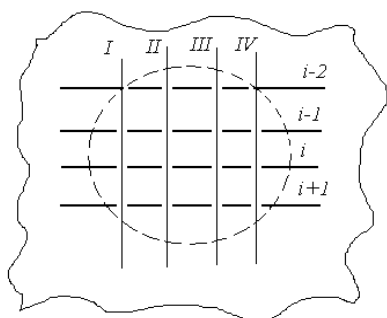
Відповідно до прийнятої лінійної залежності зусилля нитках визначається залежністю

$$P_i = EF \frac{dU_i}{dx} \quad (4)$$

де  $P_i$  – зусилля, прикладені до кожної нитки, Н;  
 $E$  – приведений модуль пружності нитки, Па;  
 $F$  – площа перерізу нитки,  $m^2$ .

Отримані залежності (4), (5) описують рівновагу  $i$ -тої нитки.

Для усіх ниток в одній прокладці залежність (4) буде мати вигляд  $1 < i < N$ :



$i$  – номер нитки;

I, II, III, IV – січні площини

Рисунок 4 – Схема розташування отвору в стрічці

$$(EF) \frac{d^2 U_i}{dx^2} + G \frac{d(U_i - 2U_i + U_{i+1}))}{h} = 0; \quad (5)$$

$$\begin{cases} EF \frac{d^2 U_1}{dx^2} + G \frac{d(-U_1 + U_2)}{h} = 0 & i = 1, \\ EF \frac{d^2 U_N}{dx^2} + G \frac{d(-U_N + U_{N-1})}{h} = 0 & i = N. \end{cases} \quad (6)$$

Система рівнянь (6) відповідає випадку відсутності розриву ниток. В отворі ця умова не виконується. В межах отвору нитки кожної тканинної прокладки стрічки відсутні. Задача в такому випадку відноситься до класу задач з багатопов'язаними областями. Для визначення напружено-деформованого стану (НДС) стрічки розіб'ємо її на ряд відрізків (L), в межах яких нитки будемо вважати неушкодженими, а відсутність ниток в отворі будемо моделювати розривами ниток в перерізах поміж відрізками (рис.4).

Об'єднаємо номери ниток у  $L$  множин  $k(n)$ . Переміщення ниток та внутрішні сили, що в них виникають, позначимо  $u$  та  $p$ . Номери ниток  $i$  покажемо у вигляді індексу.

Розглянемо для кожної ділянки умови (6):

а) в перерізі  $x=0$ :

$$u_i = \begin{cases} 0 & i \notin k^{(1)}, \\ U_i^{(1)} & i \in k^{(1)}, \end{cases} p_i = 0 \quad i \in k^{(1)}; \quad (7)$$

б) в довільному  $n$ -тому перерізі  $x^{(n)}$ :

$$u_{i(x^{(n)})} - u_{i(x^{(n)} + \varepsilon)} = \begin{cases} 0 & i \notin k^{(n)}, \\ U_i^{(n)} & i \in k^{(n)}, \end{cases} p_i = 0 \quad i \in k^{(n)}, \quad (8)$$

$$p_{i(x^{(n)})} - p_{i(x^{(n)} + \varepsilon)} = 0$$

коли

$$x \rightarrow \infty \quad u_i^{(L)} - u_{i \pm 1}^{(L)} = p_i^{(L)} - p_{i \pm 1}^{(L)} = 0, \quad (9)$$

де  $U_2^{(1)}$  – коефіцієнти пропорційності, що підлягають визначенню.

Розв'язок моделі для кожного відрізка стрічки, розташованого поміж суміжними січними площинами, приймемо у вигляді:

$$u_i^{(n)} = \sum_{m=1}^M \left( A_m^n e^{\beta_m x} \right) \cos(\mu_m (i - 0.5)) + a^{(n)} x + b \quad 1 \leq n \leq L - 1, \quad (10)$$

де  $A_m^{(n)}$ ,  $B_m^{(n)}$ ,  $a^{(n)}$ ,  $b^{(n)}$  – сталі інтегрування; індексами  $(n)$  позначено належність параметра до напружень та переміщень ділянок, утворених перерізами.

Для останнього відрізка, врахувавши умову (9), рішення будемо шукати у вигляді:

$$U_i^{(L)} = \sum_{m=1}^M B_m^{(L)} e^{-\beta_m x} \cos(\mu_m (i - 0.5)) + a^{(L)} x + b. \quad (11)$$

Задовільним умовам (1) приймемо переміщення ниток в перерізі  $x=0$  ( $n=1$ ) у вигляді суми  $k_r^{(1)}$  рядів Фур'є

$$U_i^{(1)} = \sum_{m=1}^M U_r^{(1)} \frac{2}{M} \sum_{r=1}^{R^{(1)}} \left( \cos(\mu_m (k_r^{(1)} - 0.5)) \right) e^{-\beta_m x} (\cos(\mu_m (i - 0.5))) + \frac{Px}{EF} + \frac{U_r^{(1)}}{M}, \quad (12)$$

де  $EF$  – приведена жорсткість нитки на розтяг.

Опустивши математичні перетворення, наведемо остаточні результати:

$$\begin{aligned}
 U_i^{(1)} &= \sum_{m=1}^M U_r^{(1)} \frac{2}{M} \sum_{r=1}^{R^{(1)}} \left( \cos(\mu_m(k_r^{(1)} - 0.5)) \right) e^{-\beta_m x} (\cos(\mu_m(i - 0.5))) + \frac{Px}{EF} + \frac{U_r^{(1)}}{M} \\
 u_{i(x^{(n)})} - u_{i(x^{(n)} + \varepsilon)} &= \begin{cases} 0 & i \notin k^{(n)}, \\ p_i = 0 & i \in k^{(n)} \\ U_i^{(n)} & i \notin k^{(n)}, \end{cases} \\
 b^{(1)} &= \sum_{r \in k^{(1)}} \frac{U_r^{(1)}}{M}, \quad b^{(2)} = \sum_{r \in k^{(2)}} \frac{U_r^{(2)}}{M} - \sum_{r \in k^{(1)}} \frac{U_r^{(1)}}{M}, \\
 a^{(1)} &= \frac{Px}{M EF}, \quad a^{(2)} = \frac{Px}{M EF} \\
 A_m^{(1)} &= \frac{U_r^{(2)}}{M} \sum_{r \in k^{(2)}} (\cos(\mu_m(r - 0.5))) e^{-\beta_m \frac{d}{2}}, \\
 B_m^{(1)} &= U_r^{(1)} \frac{2}{M} \sum_{r \in k^{(1)}} (\cos(\mu_m(r - 0.5))) - A_m^{(1)}, \\
 B_m^{(1)} &= U_r^{(1)} \frac{2}{M} \sum_{r \in k^{(1)}} (\cos(\mu_m(r - 0.5))) - A_m^{(1)} (e^{-\beta_m x} + 1), \\
 \left\{ \sum_{m=1}^M \left( U_r^{(2)} \frac{2}{M} \sum_{r \in k^{(2)}} (\cos(\mu_m(r - 0.5))) e^{-\beta_m \frac{d}{2}} - U_r^{(1)} \frac{2}{M} \sum_{r \in k^{(1)}} (\cos(\mu_m(r - 0.5))) \right) \beta_m (\cos(\mu_m(k_r^{(1)} - 0.5))) + \frac{P}{EF} = 0 \right. \\
 \left. \sum_{m=1}^M \left( \frac{U_r^{(2)}}{M} \sum_{r \in k^{(2)}} (\cos(\mu_m(r - 0.5))) (1 + e^{-\beta_m d}) - U_r^{(1)} \frac{2}{M} \sum_{r \in k^{(1)}} (\cos(\mu_m(r - 0.5))) e^{-\beta_m \frac{d}{2}} \right) \beta_m (\cos(\mu_m(k_r^{(2)} - 0.5))) + \frac{P}{EF} = 0 \right.
 \end{aligned} \tag{13}$$

З використанням залежностей (11) та (13) та знайдених значень констант визначимо напружений стан гумотканинної конвеєрної стрічки з отворами для наступного випадку: діаметр отвору дорівнює двом крокам розташування ниток у стрічці – ушкоджено три нитки, а за початок координат приймемо центр отвору. Дослідження Бельмаса І.В. показують, що при кількості тягових елементів не менше, ніж вісім, розрив одного тягового елемента викликає напружено-деформований стан, що практично відповідає безмежно широкій стрічці.

Для зручності аналізу результатів скористаємося поняттям коефіцієнта концентрації напружень  $K$ . Під ним будемо розуміти відношення внутрішніх зусиль в нитках стрічки до середнього їх значення. За значеннями переміщень з використанням закону Гука розрахуємо напружений стан стрічки з 15 нитками. Результати визначення зусиль наведені на рис.5, де  $H$  – крок укладання ниток прокладки, який визначається  $H=h+d$ .

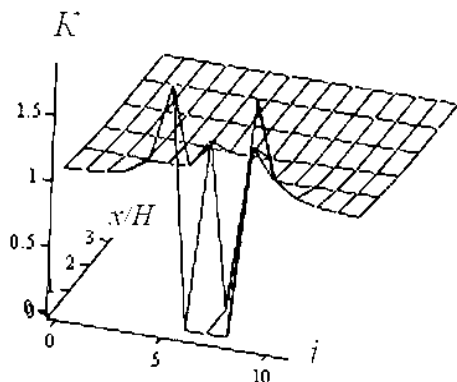


Рисунок 5 – Графік розподілу коефіцієнтів концентрації напружень розтягу  $K$  між нитками вздовж стрічки (вісь координат подана у відносних одиницях  $x/H$ )

З графіка видно, що зміни напруженого стану відбуваються на незначній частині стрічки. По ширині зусилля змінюються лише у чотирьох суміжних нитках, а вздовж стрічки – не більше діаметра отвору. Максимальне навантаження в такому випадку перевищує середнє в 1,85 рази. Сила руйнування зразка б) в 1,5 раз менша, ніж розривне зусилля зразка без отворів, а для зразка в) – в 2,3 рази, що пере-

вищує теоретично знайдене значення коефіцієнта концентрації напружень розтягу.

Таким чином, відповідно до рис.2 лінійна залежність зберігається на 1/3 графіка залежності деформації стрічки від зусилля, а на нелінійній ділянці порушується, що пояснює деяку розбіжність між теоретично знайденим коефіцієнтом концентрації напружень та реальним.

Враховуючи, що при навантаженні зразка до його розриву закон залежності деформацій перестає бути лінійним, отримані значення можна вважати достовірними.

**Висновки.** В стрічці, що має отвори відбувається нерівномірний розподіл напружень. Внутрішні сили розтягу суттєво змінюються лише для декількох суміжних з отвором ниток, мінімальний крок розташування отворів повинен перевищувати діаметр отвору не менш, ніж на 4-6 кроків розташування ниток в стрічці.

Теоретично визначений коефіцієнт розподілу концентрації напружень зменшує міцнісні характеристики стрічки в 1,8 рази. Експериментальні дослідження показали, що коефіцієнт розподілу концентрації напружень дорівнює 1,4. Можна відмітити, що теоретичні та реальні коефіцієнти концентрації напружень узгоджуються між собою, а те, що теоретичний коефіцієнт більший, ніж реальний може бути використане в запас міцності.

Результати проведених досліджень доводять вплив отворів на міцність стрічки та можуть бути використані при конструюванні машин для миття сільгоспсировини.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Скалецька Л.В. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва. Практикум: навч. посіб. / Л.В.Скалецька, Т.М. Духовська, А.М. Сеньков. – К.: Вища школа, 1994. – 303с.: іл.
2. Бельмас І.В. Напружений стан конвеєрної стрічки з отворами / І.В.Бельмас, Г.І.Танцура, Ю.М.Перфильєва // Підйомно-транспортна техніка: наук.-техн. та виробн. журнал. – 2006. – № 2 (18). – С.1-5.
3. Ропай В.А. Математическая модель напряженно-деформированного состояния двухслойной резинокросовой ленты с порывами отдельных тросов / В.А.Ропай, Д.Л.Колосов // Науковий вісник НГАУ. – Дніпропетровськ: НГАУ. – 2001. – №1. – С.50-53.
4. Колосов Л.В. Напряженное состояние резиноканевой конвейерной ленты, обусловленное продольной нагрузкой / Л.В.Колосов, А.И.Танцура. – К., 1996. – 7с. – Деп. в ГНТБ Украины 19.01.96, № 325-УК 96.

Надійшла до редколегії 29.11.2013.

УДК 681.2

ШКІЛЬ В.М., к.т.н., доцент  
КОРОБОЧКА О.М., д.т.н., професор

Дніпродзержинський державний технічний університет

### ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ГОЛОВКИ ДОТИКУ В АВТОМАТИЗОВАНОМУ РЕЖИМІ

**Вступ.** При автоматизованому проектуванні нових машин, металорізальних верстатів, контрольно-вимірювальних приладів використовують аналітичні, графічні, графоаналітичні методи.

Аналітичний метод складається з математичного моделювання прикладних задач, основою якого є обчислювальна математика, статистика, математичне програмування.

Графічний метод дозволяє моделювати механічні об'єкти і на їх основі створювати необхідні проекції, які можна редагувати, вимірювати, контролювати. Автомати-