

3. Гордон И. Л. Термодинамические основы и теплообменные характеристики процессов и рабочих тел для тепловой аппаратуры с косвенным обогревом : учеб. пособие / Л. И. Гордон. – М. : МИНХ, 1970. – 130 с.
4. Шаргут Я Эксергия / Я. Шаргут, Р. Петела ; пер. под. ред. В. М. Бродянского. – М. : Энергия, 1968. – 280 с.
5. Михелев А. А. Расчет и проектирование печей хлебопекарного и кондитерского производства / А. А. Михелев, Н. М. Ицкович. – М. : Пищевая пром-сть, 1968. – 487 с.

Отримано 30.10.2012. ХДУХТ, Харків.

© О.І. Черевко, В.О. Скрипник, 2012

УДК 641.512.06

**І.М. Заплетніков**, д-р техн. наук (*ДонНУЕТ, Донецьк*)

**А.К. Пільненко** (*ДонНУЕТ, Донецьк*)

### **ПОБУДОВА ПОЛЯ НОРМАЛЬНОЇ СКЛАДОВОЇ ШВИДКОСТІ РІЗАННЯ ТА КОЕФІЦІЄНТА КОВЗАННЯ ЛЕЗА ДИСКОВОГО НОЖА В РАЗІ МАЯТНИКОВОГО СПОСОБУ ПОДАЧІ ПРОДУКТУ**

*Визначено значення нормальної, тангенціальної швидкості різання та коефіцієнта ковзання в разі маятникового способу подачі продукту на дисковий ніж.*

*Определены значения нормальной, тангенциальной скорости резания и коэффициента скольжения при маятниковом способе подачи продукта на дисковый нож.*

*In the article the value of normal, tangential cutting speed and the slip coefficient for the pendulum method feed product to the disk blade are defined.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Одним із найбільш розповсюджених і енергоємних процесів є різання, яке істотним чином впливає на якість сировини і вихід готової продукції. Найважливішою тенденцією подальшого прогресу сучасної м'ясопереробної та молочної промисловості є зниження енерговитрат на процес різання.

Різання як один із технологічних процесів обробки харчових матеріалів широко застосовується в різних галузях харчової, м'ясної, рибної, комбікормової промисловості. Різання дуже часто здійснюється в сфері громадського харчування під час розподілу на частини різноманітних продуктів таких, як: хліб, ковбаса, риба, м'ясо, сир, овочі.

Матеріали, що піддаються різанню, мають різноманітні фізико-механічні властивості. Залежно від реологічних властивостей матеріалу обирають спосіб різання, вид ріжучого інструменту, швидкості різання і подачу продукції.

Для здійснення різання необхідно відносно переміщення ріжучого інструменту і продукту: нерухомий продукт і рухомий ніж, продукт подається на нерухомий ніж і переміщення обох цих тіл.

Існує чотири основних види робочих рухів і відповідно чотири класи ріжучих апаратів таких, як: обертальний, зворотно-поступальний, коливальний і поступальний [1]. Дискові ножі здійснюють рівномірно-обертальний рух, який може бути ходовим або зустрінчим по відношенню до напрямку подачі продукту.

Застосування ковзаючого різання визначається фізико-механічними властивостями продукту, вимогами, що ставляться до якості поверхні відрізаних шматочків, а також енергетичними показниками. Для здійснення такого режиму різання в машинах застосовують швидкообертальні ножі з круговим лезом (дискові ножі).

Дисковим ножем ковзаюче різання проводиться шляхом обертання ножа і зворотнопоступального руху продукту, обертання ножа і маятникового руху продукту, обертання ножа і обертання продукту, планетарного руху ножа у разі нерухомого продукту [1].

Досвід експлуатації різального устаткування показує, що із збільшенням коефіцієнта ковзання  $K_{\text{в}}$  поліпшується якість нарізаного продукту (нарізані шматочки менше деформуються і мають більш чисту поверхню зрізу).

Методика розрахунку коефіцієнта ковзання в різних способах руху робочого органу являє не просте завдання. Значення коефіцієнта ковзання необхідні для проектування конструкції ріжучих машин та розрахунку процесу різання.

У науковій і довідковій літературі відсутні дані коефіцієнта ковзання в процесі різання дисковим ножем у разі маятникового способу подачі продукту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У дослідженнях із різання вчені звертають увагу на великий вплив коефіцієнта ковзання. Дослідниками встановлено вплив коефіцієнта ковзання на чинники у разі ковзаючого різання, такі як перенесення опору тертя з нормального напрямку на тангенціальне, перепилуючи дію, кінематична трансформація самої кромки, зменшення питомого навантаження на погонну довжину леза і т.ін.

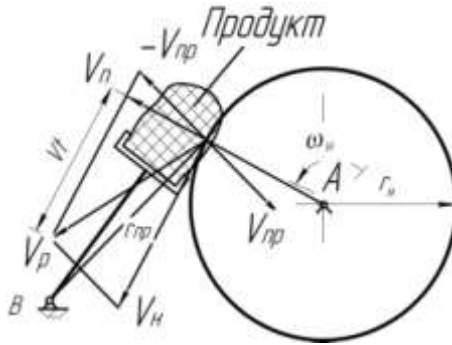
Таким чином, у разі ковзаючого різання із збільшенням коефіцієнта ковзання  $K_{\text{в}}$  величина загального зусилля, що діє на інструмент, а також нормальна складова цього зусилля, від яких

залежить деформація продукту при різанні, зменшуються. Це сприяє більш якісному нарізанню продукту.

**Мета та завдання статті:** установити оптимальні значення нормальної, тангенціальної швидкості різання і коефіцієнта ковзання в процесі різання дисковим ножом у разі маятникового способу подачі продукту; проаналізувати процес різання і дати раціональні рекомендації.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У разі обертального руху дискового ножа і маятникового способу подачі (рис. 1) швидкість різання  $V_{\text{різ}}$  дорівнює векторній сумі двох швидкостей: швидкості точки С, що лежить на ріжучій кромці ножа відносно осі обертання А ( $V_n$ ) і швидкості точки С, що належить продукту, щодо осі обертання В, взятої з протилежним знаком ( $-V_{\text{пр}}$ ).

Швидкість  $V_n$  спрямована перпендикулярно радіусу СА у бік обертання дискового ножа. Швидкість  $-V_{\text{пр}}$  спрямована перпендикулярно радіусу СВ у бік, зворотний руху продукту. Складаючи ці швидкості ( $V_n$  і  $-V_{\text{пр}}$ ) за правилом паралелограма, отримаємо швидкість різання  $V_{\text{різ}}$ . Дотичну  $V_t$  і нормальну  $V_n$  складові швидкості різання  $V_{\text{різ}}$  отримаємо, спроектувавши останню на відповідно дотичну і нормаль до ріжучої крайки ножа, проведені через точку С.



**Рисунок 1 – Схема ковзаючого процесу різання дисковим ножом у разі маятникового способу подачі продукту**

Кожній точці площини розрізу продукту, що описується лезом різального ножа, відповідає певний вектор швидкості леза щодо продукту, який розрізається. Повна сукупність цих векторів становить векторне поле швидкостей, картина якого зумовлена формою, розміром і швидкістю привідних пристроїв ножа. Складові – це поле вектори можуть бути розкладені на компоненти: нормальну  $V_n$  і

дотичну  $V_t$  до леза ножа. Співвідношення  $V_n/V_t$ , називається коефіцієнтом ковзання  $K_\beta$  і значною мірою визначає характер процесу різання та якість поверхонь шматків, які нарізуються. Власне руйнування масиву продукту визначається подачею леза всередину нього, тобто нормальної складової швидкості леза. Більшість продуктів, що нарізуються на підприємствах торгівлі (сир, хліб, ковбаса і т. ін.) мають властивість ізотропності, і тому напрямком  $V_n$  не впливає на процес, а отже, під час проектування можна брати до уваги тільки абсолютні значення (модулі)  $V_n$  і відносини  $V_n/V_t$ , тобто коефіцієнти ковзання  $K_\beta$ . Повна сукупність цих значень у робочій зоні різального пристрою становить скалярні поля  $V_n$  і  $K_\beta$ , які зручно графічно зобразити у вигляді ліній однакового рівня.

Знання цих полів дозволяє конструктору обрати місце розташування продукту (продуктового лотка, вікна) в проєктованому пристрої так, щоб воно найкращим чином відповідало вимогам технології відносно оптимальних для того чи іншого продукту швидкостей подачі  $V_n$  і коефіцієнтів ковзання  $K_\beta$  [1].

Зображення полів нормальної складової швидкості  $V_n$  і коефіцієнта ковзання  $K_\beta$  поєднують на одному кресленні, щоб обґрунтовано розташувати в полі  $V_n$ - $K_\beta$  продуктовий лоток (переріз продукту) [2].

Графічні зображення полів не потрібні: до прямолінійного руху прямого леза ( $K_\beta=0$  або  $K_\beta=\text{const}$ ); до обертових радіальним лезам ( $K_\beta=0$ ); до лез, виконаних у вигляді логарифмічної спіралі ( $K_\beta=\text{const}$ ). В останньому випадку, виникає необхідність спеціального розрахунку профілю леза.

Для розрахунку та побудови полів  $V_n$ - $K_\beta$  для обертального дискового ножа з нерухомим центром і маятниковим способом подачі продукту на ніж, викреслюємо в масштабі кінематичну схему механізму (рис. 2).

Через центр  $O_1$  проводимо дугу  $O_1O_2$  руху продукту. Розбиваємо дугу на однакові відрізки шляху ножа. З точок дуги  $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_7$  радіусом  $R$  описуємо низку дуг  $i = 1, 2, \dots, 7$ . Початкову дугу леза поділяємо на кілька частин, однакових між собою  $K_1K_2, K_2K_3$  і т.д. З точок  $K_j$  проводимо дуги паралельні руху подачі продукту. Ці прямі позначаємо від початку руху леза  $K_1, K_2, \dots, K_j$ . Нанесені два сімейства ліній утворюють координатну сітку, яка покриває всю площу, що описується лезом ножа. Точки перетинів ліній сітки – вузлові, і позначаються  $M_{ij}$ . Перший індекс – номер дуги лінії радіусом  $R$  виходить із точок  $\Pi_j$ , а другий – номер дуги ліній  $K_j$  руху подачі продукту.

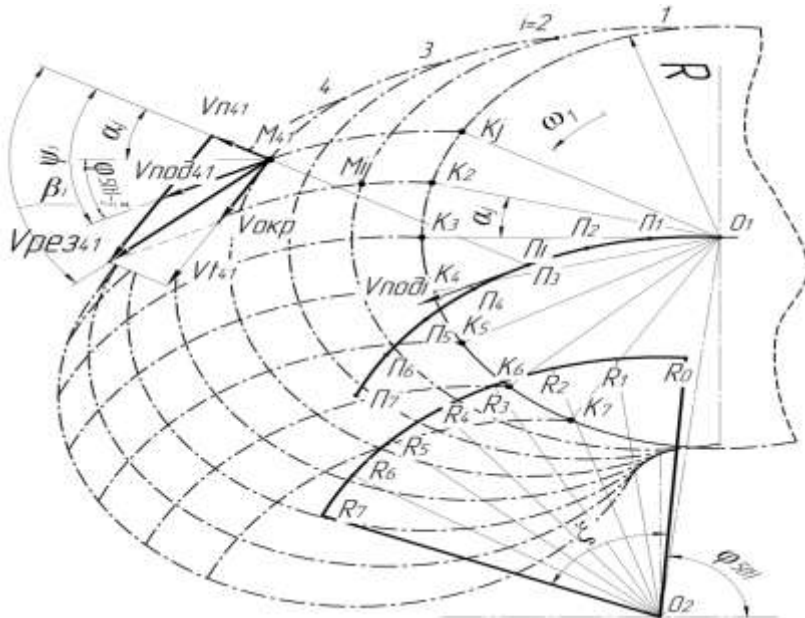
Миттєва швидкість у будь-якій із цих точок  $V_{різ}$  є результуюча двох швидкостей: обертальної (швидкість подачі)  $V_{под}$  і окружної  $V_{окр}$ . На рис. 2 показано розкладання  $V_{різ41}$  стосовно до однієї точки сітки  $M_{41}$ . Отримані раніше аналітичним способом значення швидкості подачі будемо відкладати у вузлових точках [2].

Нормальна швидкість у вузловій точці визначається [1; 2]:

$$V_{nij} = V_{подij} \cos(\psi_{ij}), \quad (1)$$

де  $\psi_{ij} = \alpha_j + (\varphi_5(t) - \pi/2)$ .

Використовуючи формулу (1) обчислимо величину  $V_{nij}$  для точок сітки. Обчислені  $V_{nij}$  надписують на кресленні поля у всіх вузлових точках координатної сітки (на рис. 3 величини  $V_{nij}$  виділені кружальцями) і заносимо в таблицю. Вузлові точки з'єднуємо плавними лініями.



**Рисунок 2 – Побудова полів нормальної складової швидкості різання  $V_n$  і коефіцієнта ковзання  $K_p$  леза дискового ножа у разі маятникового руху продукту**

Для побудови поля і обчислення коефіцієнтів ковзання леза  $K_{\beta ij}$  треба знати величину тангенціальної складової  $V_{t ij}$  повної швидкості  $V_{рез ij}$  точки леза. З рис. 2 видно, що  $V_{t ij} = V_{окр} + V_{под ij} \cdot \sin(\psi_i)$ , тому загальна формула для коефіцієнта ковзання приймає вигляд:

$$K_{\beta ij} = \frac{V_{t ij}}{V_{n ij}} = \frac{V_{окр} + V_{под ij} \sin \psi_{ij}}{V_{под ij} \cdot \cos \psi_{ij}}, \quad (2)$$

де  $V_{окр} = \omega \cdot R = \pi \cdot n \cdot R / 30 = \pi \cdot 300 \cdot 0,15 / 30 = 4,71$  м/с,  $n = 300$  об/хв [2]. Підраховані за формулою (2) значення  $K_{\beta ij}$  у вузлових точках координатної сітки ( $K_{\beta ij}$  – виділені квадратами) і занесені в таблицю.

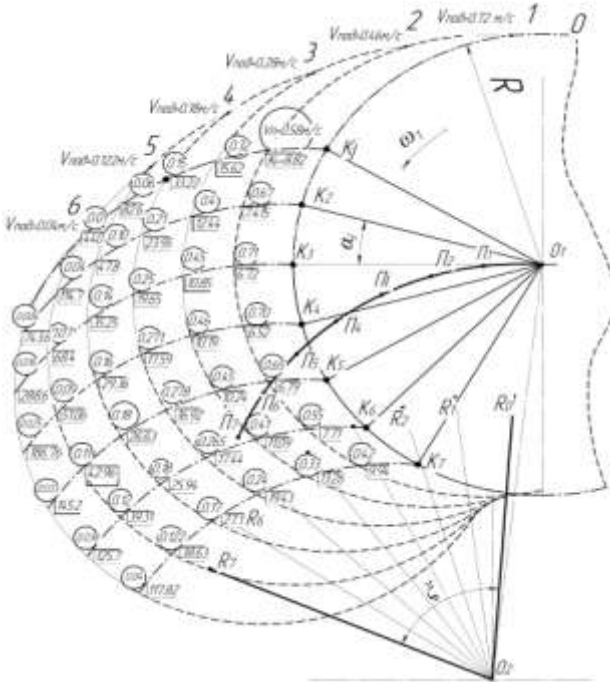
На рис. 4 показано різне розташування продуктового лотка. Штриховий контур 1 – розташування лотка під кутом  $90^0$  до важеля подачі. Суцільний контур 2 – розташування лотка під кутом  $60^0$  до важеля подачі. Пунктирний контур 3 – під кутом  $45^0$ . За довжиною зрізу нормальна швидкість  $V_n$  і коефіцієнт ковзання  $K_{\beta}$  змінюється.

**Таблиця – Значення нормальної, тангенціальної швидкості різання та коефіцієнта ковзання у вузлових точках координатної сітки полів швидкості  $V_n$  коефіцієнта ковзання  $K_{\beta}$**

i	Значення швидкості подачі в вузлових точках $V_{под i}$	Нормальна, тангенціальна швидкість різання та коеф. ковзання	Дуги ліній $K_j$ руху подачі продукту на дисковий нож						
			$K_1, (\alpha_1 = 30^0)$	$K_2, (\alpha_1 = 15^0)$	$K_3, (\alpha_1 = 0^0)$	$K_4, (\alpha_1 = -15^0)$	$K_5, (\alpha_1 = -30^0)$	$K_6, (\alpha_1 = -45^0)$	$K_7, (\alpha_1 = -60^0)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	$V_{под1} = 0,72$ м/с $\varphi_{51}(t) = 95^0$	$V_{n1j}$ , м/с	0,58	0,669	0,71	0,705	0,651	0,552	0,416
		$V_{t1j}$ , м/с	5,12	4,963	4,78	4,595	4,417	4,258	4,131
		$K_{\beta1j}$	8,82	7,415	6,72	6,516	6,786	7,713	9,937
2	$V_{под2} = 0,46$ м/с $\varphi_{52}(t) = 105^0$	$V_{n2j}$ , м/с	0,32	0,398	0,44	0,463	0,449	0,405	0,332
		$V_{t2j}$ , м/с	5,05	4,95	4,84	4,72	4,6	4,49	4,39
		$K_{\beta2j}$	15,6	12,44	10,8	10,18	10,24	11,08	13,21
3	$V_{под1} = 0,28$ м/с $\varphi_{53}(t) = 117^0$	$V_{n3j}$ , м/с	0,15	0,21	0,24	0,271	0,278	0,265	0,235
		$V_{t3j}$ , м/с	4,95	4,9	4,8	4,77	4,7	4,63	4,56
		$K_{\beta3j}$	33,2	23,95	19,6	17,59	16,92	17,44	19,43
4	$V_{под1} = 0,18$ м/с $\varphi_{54}(t) = 131^0$	$V_{n4j}$ , м/с	0,06	0,102	0,13	0,163	0,178	0,181	0,172
		$V_{t4j}$ , м/с	4,88	4,86	4,83	4,79	4,74	4,7	4,65
		$K_{\beta4j}$	82,6	47,88	35,2	29,36	26,63	25,94	27,1

Продовження табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	$V_{\text{под1}}=0,12 \text{ м/с}$ $\varphi_{55}(t)=144^{\circ}$	$V_{\text{п7i}_2}$ , м/с	0,01	0,042	0,07	0,094	0,111	0,12	0,122
		$V_{\text{т5i}_2}$ , м/с	4,84	4,83	4,81	4,79	4,76	4,73	4,7
		$K_{\beta 5i}$	440	114,5	68,4	51,06	43	39,31	38,62
6	$V_{\text{под1}}=0,04 \text{ м/с}$ $\varphi_{56}(t)=155^{\circ}$	$V_{\text{п6i}_2}$ , м/с	0,004	0,006	0,01	0,025	0,033	0,038	0,04
		$V_{\text{т6i}_2}$ , м/с	4,75	4,75	4,74	4,744	4,736	4,727	4,716
		$K_{\beta 6i}$	800	743,5	288	186,7	145,22	125,7	117,8



**Рисунок 3 – Чисельна побудова полів нормальної складової швидкості різання  $V_n$  та коефіцієнта ковзання  $K_\beta$  леза дискового ножа**

Для контура 1 по перерізу  $R_5A$  нормальна швидкість знаходиться в межах  $V_n=0,24...0,278...0,14$  м/с і коефіцієнт ковзання  $K_\beta=19,43...17...35,25$ .

Для контура 2 по перерізу  $R_5B$  нормальна швидкість знаходиться в межах  $V_n=0,24...0,45...0,44$  м/с і  $K_\beta=19,43...10,24...10,85$ .

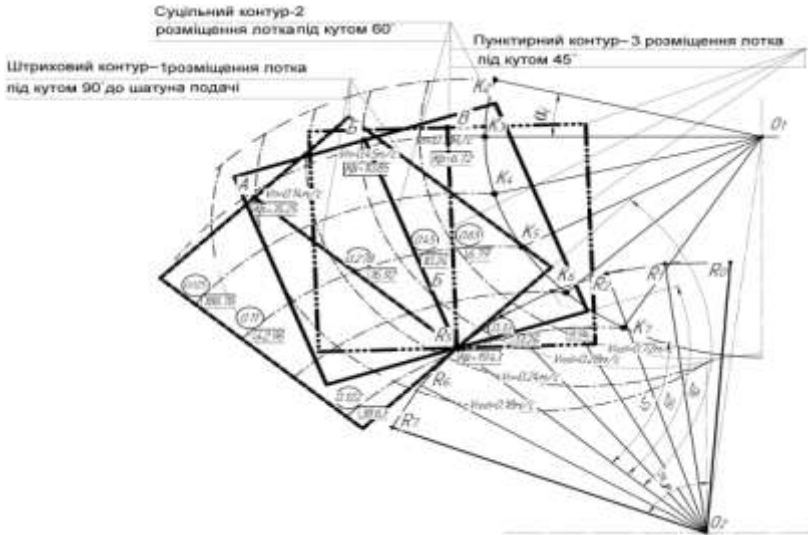
Для контура 3 по перерізу  $R_5B$  нормальна швидкість знаходиться в межах  $V_n=0,24...0,65...0,75$  м/с і  $K_\beta=19,43...6,8...6,7$ .

Інтервал значень нормальної швидкості  $\Delta V_n$ :

- для контура 1:  $\Delta V_{n1} = V_{nr5} - V_{nA} = -0,095$  м/с – зменшується на 0,6 м/с;
- для контура 2:  $\Delta V_{n2} = V_{nr5} - V_{nB} = 0,205$  м/с – збільшується на 1,8 м/с;
- для контура 3:  $\Delta V_{n3} = V_{nr5} - V_{nB} = 0,515$  м/с – збільшується на 3,2 м/с.

Інтервал значень коефіцієнта ковзання  $\Delta K_\beta$ :

- для контура 1:  $\Delta K_{\beta1} = 15,8$  – збільшується в 0,6 рази;
- для контура 2:  $\Delta K_{\beta2} = 8,5$  – зменшується в 0,55 рази;
- для контура 3:  $\Delta K_{\beta3} = 12,9$  – зменшується в 0,33 рази.



**Рисунок 4 – Розташування продуктового лотка: контур 1 – під кутом  $90^\circ$  до важеля подачі; контур 2 – під кутом  $60^\circ$  до важеля подачі; контур 3 – під кутом  $45^\circ$  до важеля подачі**

**Висновки.** Встановлені значення коефіцієнта ковзання, нормальної та тангенціальної швидкості в машинах для нарізання харчових продуктів у разі маятникового способу подачі продукту на обертальний дисковий ніж. Фактичні значення змінюються в межах: нормальна швидкість різання від 0,04 до 0,416 м/с, тангенціальна від 4,72 до 4,13 м/с та коефіцієнт ковзання від 9,9 до 118.

Рекомендовано розташувати продуктивний лоток під кутом  $60^\circ$  до осі важеля, який здійснює маятниковий рух. Це положення лотка поліпшить якість різання, скоротить інтервал змін значень  $V_n$  і  $K_\beta$  до мінімуму.



*Список літератури*

1. Расчет и конструирование торгово-технологического оборудования / Л. И. Гордон [и др.] ; под ред. В. Н. Шувалова и С. В. Харламова. – Л. : Машиностроение, 1985. – 335 с.

2. Заплетников И. Н. Кинематическое исследование механизма подачи продукта / И. Н. Заплетников, А. К. Пильненко // Сб. науч. трудов ОНАПТ. – 2012. – Вып. 41. – С. 115–120.

Отримано 30.10.2012. ХДУХТ, Харків.

© І.М. Заплетніков, А.К. Пільненко, 2012.

УДК 621.867.2:664

**І.В. Бельмас**, д-р техн. наук, проф. (ДДТУ, Дніпродзержинськ)

**Ю.М. Перфильєва**, асп. (ДДТУ, Дніпродзержинськ)

**НАПРУЖЕНИЙ СТАН СТРІЧКИ КОНВЕЄРА  
ЗНЕВОДНЕННЯ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ**

*Установлено залежність напружено-деформованого стану ізотропної стрічки конвеєра від наявності в ній регулярно розташованих отворів.*

*Установлена зависимость напряженно-деформированного состояния изотропной ленты конвейера от наличия в ней регулярно размещенных отверстий.*

*The dependence of the stress-strain state of isotropic conveyor belt on the presence in it regularly arranged holes.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Стрічкові конвеєри застосовуються для зневоднення сировини під час її транспортування. Стрічка такого конвеєра має отвори, які впливають на її міцність. Дослідження напруженого стану стрічки дозволить вирішити важливе науково-технічне завдання врахування впливу отворів на міцність стрічки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженням напруженого стану гумотканинних стрічок присвячено низку праць, включаючи й авторів статті [1]. У відомих працях розглянуто питання наявності отворів у стрічках ортотропної побудови. Конвеєри можуть мати ізотропні стрічки.

**Мета та завдання статті.** Мета дослідження полягає у встановленні залежностей напружено-деформованого стану ізотропної стрічки конвеєра від наявності в ній регулярно розташованих отворів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У лінійній постановці розглянемо ізотропну стрічку, як плоску безмежну