



О. В. Акімов,  
В. Т. Акімов

## ДЕЯКІ ПИТАННЯ МІКРОГЕОМЕТРІЇ І ЗНОШУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ СКРЕБКІВ І РИШТАКІВ КОНВЕЄРІВ

Викладені методики дозволяють визначити параметри геометричної характеристики контактуємих поверхонь скребка і риштака, виявити кореляційну залежність між терміном експлуатації риштака і кутом його нахилу.

**Ключові слова:** площа дотику, крива опорної поверхні, термін експлуатації, коефіцієнт кореляції

### 1. Постаковка проблеми

Проблема якості гірничо-транспортного устаткування, підвищення його надійності та довговічності має величезне техніко-економічне значення. Найбільш металоємною та зношуваною частиною скребкових конвеєрів є риштаки та скребкові ланцюги. Из-за недостатньої надійності в експлуатації відчувається недостача запасних частин: риштаків, скребкових ланцюгів, зірочок. Причиною цього є зниження зносостійкості деталей та вузлів устаткування, відсутність установлених норм зношування і строків служби по швидкозношуваним деталям та вузлам.

### 2. Аналіз досліджень

Головними причинами [1] виходу із ладу риштаків конвеєрів є:

- зосереджене зношування днища на кінцях риштака;
- руйнування зварних з'єднань, деформація жолоба при вибуху на вальці, падінні кусків вугілля або породи;
- корозія жолоба у разі високої агресивності шахтних вод;
- рівномірне зношування усєї поверхні днища жолоба під дією транспортуємих кусковатих матеріалів.

Переважаючим є зношування у місцях металевого контакту риштаків із скребковим ланцюгом (на кінцях риштака). Процес зношування різко інтенсифікується при наявності у шахті води із активними корозійними реагентами.

Основною причиною руйнування тягових ланцюгів скребкових конвеєрів є їх низький опір втомленості, яка призводить до деформації ланок і розривам. Агресивність шахтної води, концентрація напружень та абразивне зношування зменшують опір втомленості.

Скребки тягового ланцюга, контактуючи із транспортуємих матеріалом, особливо з поверхнею

риштаків в місцях перелому конвеєрного става, зношуються. Спостерігається також деформація скребків.

Процес зношування поверхонь під час тертя виникає при їх відносному ковзанні. Результат зношування залежить від багатьох факторів: тиску і нерівномірності його розподілення на контактуємих поверхнях, режиму навантажування, шорсткості поверхонь, відносної швидкості ковзання та інших чинників, визначаємих мікрогеометрією контактуючих поверхонь та їх фізико механічними властивостями.

### 3. Постаковка задачі

Визначення параметрів геометричних характеристик контактуємих поверхонь скребка і риштака конвеєра, їх аналіз; виявлення і аналіз кореляційної залежності терміна експлуатації риштака від кута падіння пласта.

### 4. Виклад основного матеріалу

Шорсткість поверхонь риштака і скребка не має правильної геометричної форми і є кривою без усякої періодичності. Фактична площа дотику  $A_r$  складає дуже маленьку частинку контурної площі  $A_c$ .

Фактична площа дотику [2], як функція зближення (відстань, на яку зблизились поверхні скребка і риштака в процесі дотику) у першому наближенні виражається кривою опорної поверхні.

Н. Б. Дьомкін пропонує для визначення фактичної площі дотику як функції зближення обмежитися початковою частиною кривої опорної поверхні:

$$\eta = a \cdot b \cdot \varepsilon^v, \quad (1)$$

тут  $\eta = A_r/A_c$  — відношення фактичної площі  $A_r$  до контурної площі  $A_c$ ; відношення зближення « $a$ » до максимальної висоти  $h_{\max}$  мікронерівності;  $b$  та  $v$  — параметри, що характеризують опорну криву;

$a$  – коефіцієнт, який ураховує відмінність фактичної площі  $A_r$  дотику від площі перерізу мікронерівності при зближенні « $a$ » ( $a=0,5$  – при пружному контакті).

Параметри  $b$  і  $\nu$  визначались методом найменших квадратів по емпіричним значенням  $\eta_i^e$  і  $\varepsilon_i^e$ .

Логарифмуючи (1) і підставляючи замість  $\eta$  і  $\varepsilon$  експериментальні значення  $\eta_i^e$  та маємо:

$$\ln \eta_i = \ln a + \ln b + \nu \ln \varepsilon_i^e. \quad (2)$$

Константи опорної кривої  $b$  і  $\nu$  визначаємо із рівнянь:

$$\frac{\partial}{\partial \varepsilon} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\ln(\eta_i^e)}{a} - \ln b - \nu \ln \varepsilon_i^e \right)^2 = 0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial \nu} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\ln(\eta_i^e)}{a} - \ln b - \nu \ln \varepsilon_i^e \right)^2 = 0. \quad (4)$$

Розв'язуючи систему рівнянь (3, 4), отримаємо значення  $b$  і  $\nu$

$$\nu = \frac{1}{D} \left( n \sum_{i=1}^n \frac{\ln \varepsilon_i^e \ln(\eta_i^e)}{a} - \sum_{i=1}^n \frac{\ln \varepsilon_i^e \ln(\eta_i^e)}{a} \right), \quad (5)$$

$$\ln b = \frac{1}{D} \left( \sum_{i=1}^n \ln^2 \varepsilon_i^e \sum_{i=1}^n \frac{\ln(\eta_i^e)}{a} - \sum_{i=1}^n \frac{\ln \varepsilon_i^e \ln(\eta_i^e)}{a} \sum_{i=1}^n \ln \varepsilon_i^e \right), \quad (6)$$

$$D = n \sum_{i=1}^n \ln^2 \varepsilon_i^e - \left( \sum_{i=1}^n \ln^2 \varepsilon_i^e \right)^2, \quad (7)$$

тут  $n$  – кількість горизонтальних рівнів на профілографі.

Для оцінки значень констант  $b$  і  $\nu$  було використано обширний експериментальний матеріал [4] по експлуатації скребкових конвеєрів СКР-20; С-53. Слід зауважити, що для визначення границь значень  $b$  і  $\nu$  необхідне подальше накопичування і аналіз експериментальних даних по експлуатації конвеєрів новітніх серій в різних умовах роботи.

Для отримання параметрів геометричної характеристики контактуємих поверхонь були зняті профілографи подовжньої і поперечної шорсткості на 24 зразках поверхні риштака та 10 зразках поверхні скребка, які знаходилися в різних умовах експлуатації на шахтах; швидкість ковзання тягового ланцюга  $V = 0,57$  м/с.

Після визначення константи  $b$  і  $\nu$  були побудовані окремі криві опорної поверхні для подовжньої і поперечної профілограм. Потім по методу [2, 3] були побудовані криві опорної поверхні, які враховують дійсний профіль контактуємої поверхні.

Для двох контактуємих поверхонь згідно [2] формула (1) має вигляд:

$$\eta_l = ab^1 \varepsilon^{1\nu'}. \quad (8)$$

При контакті поверхонь скребка і риштака константи  $b^1 \nu'$  і  $\varepsilon'$  визначалися по формулам:

$$b^1 = \frac{k_1 b_c b_p (h_c + h_p)^{\nu_c + \nu_p}}{h_c^{\nu_c} h_p^{\nu_p}}, \quad (9)$$

$$\varepsilon^1 = \frac{a}{h_c + h_p}, \quad (10)$$

$$\nu' = 0,9(\nu_c + \nu_p). \quad (11)$$

тут  $b_c$  і  $\nu_c$  – константи опорної поверхні скребка;  $b_p$  і  $\nu_p$  – константи опорної поверхні риштака;  $h_c$  і  $h_p$  – максимальна висота мікронерівностей скребка і риштака;  $k_1$  – коефіцієнт, який залежить від  $\nu_c$  і  $\nu_p$ .

Значення параметрів  $b$  і  $\nu$ , максимальної висоти мікронерівностей  $h_c$ ,  $h_p$  і радіусів закруглення  $r$  їх вершин для досліджених зразків наведені в табл. 1 [4]. Аналіз цих даних показує на істотну різницю мікрогеометрії поверхні на торцях і в середині риштака, у риштака і скребка, що підтверджує різну швидкість зношення в цих місцях.

При роботі конвеєра мікронерівності на поверхні риштака періодично контактують з мікронерівностями скребка і транспортуємим матеріалом. Представляє інтерес дослідження впливу транспортуємого матеріала на швидкість зношування риштака.

В табл. 2 [4] наведені терміни експлуатації риштаків до зношення (терміни служби)  $T_c$ , які отримані шляхом статистичної обробки експериментальних даних роботи конвеєрів на шахтах. Якщо проаналізувати наведені дані в умовах експлуатації на одній шахті з кутами  $\alpha_p$  падіння пласта, то можна виявити достатньо сильну кореляційну залежність  $T_c$  від кута  $\alpha_p$  падіння пласта. Були визначені коефіцієнти взаємної кореляції по формулам:

$$r_{T\alpha_p} = \frac{1}{\sigma_T \sigma_{\alpha_p}} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} (T_i - T_c)(\alpha_{pi} - \overline{\alpha_p}), \quad (12)$$

$$\sigma_T = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} (T_i - T_c)^2 \right]^{1/2}, \quad (13)$$

$$\sigma_{\alpha_p} = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} (\alpha_{pi} - \overline{\alpha_p})^2 \right]^{1/2}, \quad (14)$$

тут  $T_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i$  – середній термін служби риштака

в умовах шахти;  $\overline{\alpha_p} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_{pi}$  – середнє значення кута падіння пласта в умовах шахти,  $n$  – кількість членів варіаційного ряду.

В умовах наведених шахт (табл. 2) варіаційні ряди складались: ш. Абакумова – 10 членів; ш. № 4-21 – 6 членів; ш. № 1-2 – 5 членів. Доставка вугілля проводилася вниз по лаві. Відповідно були отримані коефіцієнти взаємної кореляції  $r_{T\alpha_p} = -0,635$ ;  $r_{T\alpha_p} = -0,74$  і  $r_{T\alpha_p} = -0,78$ .

Таблиця 1

Параметри мікрогеометрії поверхонь риштака і скребка [4]

Місце експлуатації конвеєра	Шорсткість	Радіуси нерівностей, мк	Об'єм виконаної роботи, т	Місце вирізу зразка	$h_{\max}$ МК	$\nu$	$b$	Розрахунковий радіус, МК
Шахта № 27	подовжня поперечна	375 160	18000	Кінець риштака	83	2,39	7,30	250
	подовжня поперечна	350 270		Середина риштака	66	1,81	2,59	310
	подовжня поперечна	390 250		Скребок	78	2,25	4,50	310
Шахта Лутугіна	подовжня поперечна	300 185	Працював 6 місяців	Кінець риштака	76	2,80	6,96	240
	подовжня поперечна	390 200		Середина риштака	73	2,85	4,24	290
	подовжня поперечна	425 320		Скребок	70	2,60	7,54	370
Шахта № 17-17 біс	подовжня поперечна	439 165	95987	Кінець риштака	70	2,43	7,72	265
	подовжня поперечна	250 185		Середина риштака	83	2,54	5,07	215
	подовжня поперечна	255 225		Скребок	78	2,96	4,01	240

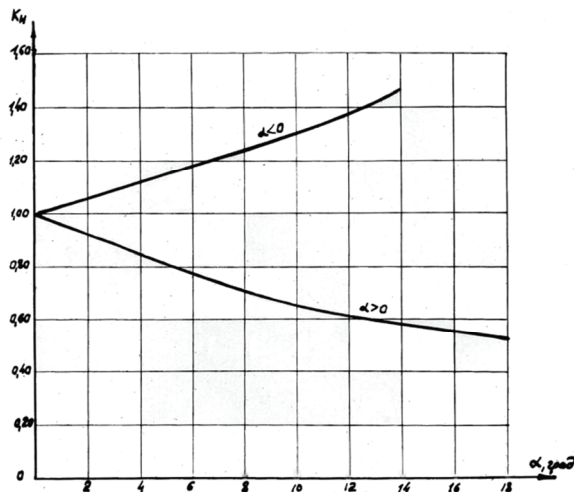
Таблиця 2

Середні терміни служби  $T_c$  риштаків розбірних, переносних конвеєрів [4]

Місце експлуатації, комбінат «Донецьк-вугілля»	Дільниця шахти	Кут падіння пласта, $\alpha_p$ , (град)	Середній термін служби, $T_c$ , місяці	Кількість вугілля, що перевантажено за $T_c$ , тис. тонн
Шахта Абакумова	№ 1	10	13,8	100
	№ 2	8	12,0	116,5
	№ 3	8	11,3	82
	№ 5	14	8,0	94,5
	№ 6	14	9,60	93
	№ 7	8	12,50	74
	№ 8	10	11,80	150
	№ 9	12	12,60	131
	№ 11	10	11,30	118
Шахта № 4-21	№ 1	8	13,0	80,5
	№ 2	10	11,30	83,5
	№ 3	8	11,0	67
	№ 4	9	9,75	97
	№ 7	10	8,90	108
	№ 8	9	7,00	86
Шахта № 1-2	№ 1	12	8,80	60
	№ 3	5	15,8	68
	№ 4	8	16,0	125
	№ 6	5	13,5	113
	№ 7	5	16,5	68,5

Отримані коефіцієнти  $r_{cp}$  свідчать про сильний від'ємний зворотний зв'язок між  $T_c$  та  $\alpha_p$ . Це явище заслуговує детального вивчення тому, що дозволяє за побічними ознаками розширити наше уявлення про складне й трудно доступне для безпосереднього спостереження за фізичним процесом зношування риштаків в експлуатації. Природно вважати що коливання в натяганні скребкового ланцюга, яке визивається деякими різницями в загрузці конвеєрів, різниця в хвилястості конвеєрного става носять стаціонарний випадковий характер і не можуть бути відповідальними за проявлення відміченої тенденції взаємовпливу  $T_c$  і  $\alpha_p$ . Відносно зношення при чисто металевому контакті (риштак – скребок) на торцях риштака у місцях перегину конвеєрного става усі риштаки знаходяться в статистично однаковому положенні із-за випадкового перемішування їх місць при багаторазових переносках. Очевидно, що транспортуємий матеріал також впливає на зношування риштаків. Якщо розглянути об'єм матеріалу поміж двома суміжними скребками (порція «волочиння»), то вага його і, отже, вплив на мікронерівності поверхні риштака залежить від кута  $\alpha_p$  нахилу конвеєрного става і напрямку переміщення матеріалу. Згідно дослідженням В. А. Тімошкіна [5] висота порції «волочиння» із збільшенням кута нахилу риштачного става при транспортуванні униз по лаві збільшується, угору по лаві – зменшується (рис. 1) у порівнянні із висотою при транспортуванні по горизонталі. В умовах розглянутих шахт при транспортуванні униз по лаві збільшення висоти порції «волочиння» складає (згідно рис. 1)

1,3 ÷ 1,4 рази. Збільшення висоти порції волочиння при постійному поперечному перерізі риштака еквівалентно збільшенню ваги матеріалу поміж двома суміжними скребками.



**Рис. 1.** Залежність коефіцієнта змінення висоти порції «волочиння» від кута нахилу риштака при:  
 а —  $\alpha < 0$  (транспортування униз по лаві);  
 б —  $\alpha > 0$  (транспортування угору по лаві)

З цієї причини збільшується вплив матеріалу на мікронерівності риштака, збільшується погонне навантаження на конвеєр і, отже, при постійній довжині става конвеєра зростає опір тягового ланцюга. Вага порцій «волочиння» двояко впливає на мікронерівності [1] (необхідно читати металевий контакт замість «металургійний»).

Вертикальна складова ваги, яка пропорційна нахилу  $\alpha_p$ , при переміщенні матеріалу викликає згинальний момент на мікронерівностях вельми стабільний в межах ( $0 \leq \alpha_p \leq 20^\circ$ ).

Горизонтальна складова ваги, яка пропорційна синусу кута нахилу, практично пропорційна куту нахилу в указаних межах, вона надто нерівномірно розподіляється на мікроповерхнях риштака, викликаючи згинання останніх.

Методика [1] дозволяє визначати при змішаному контакті (метал — метал, метал — матеріал, що транспортується) зусилля на мікронерівність поверхні риштака, аналізувати напружений стан в небезпечній точці мікронерівності.

Викладені уявлення дозволяють попередньо пояснити залежність середнього терміну  $T_c$  служби риштаків від змінення кутів  $\alpha_p$  нахилу риштака.

Це питання потребує подальшого накопичення експериментальних даних по зношуванню риштаків при різних кутах  $\alpha_p$  нахилу в однакових умовах експлуатації.

## 5. Висновки

Визначення параметрів геометричної характеристики контактуємих поверхонь скребок і ришта-

ків конвеєра, виявлення кореляційної залежності терміна експлуатації риштаків від кута їх нахилу можуть бути використані при оцінці їх фізичної довговічності по методиці [6].

## Література

1. Акімов О. В. Аналіз напруженого стану матеріалу елементів транспортуючих механізмів при змішаному контакті [Текст] / О. В. Акімов, В. Т. Акімов, В. І. Альохін // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2010. — Т. 4, № 6(46). — С. 57–60.
2. Демкин Н. Б. Контакт шероховатых поверхностей [Текст] / Н. Б. Демкин // Сб. «Новое в теории трения». — М.: Наука, 1966.
3. Крагельский И. В. Об усталостной природе износа твердых тел / И. В. Крагельский [Текст] // Сб. «Вопросы механической усталости». — М.: Машиностроение, 1964.
4. Акімов В. Т. К оценке физической долговечности рештаков разборных переносных конвейеров [Текст] / В. Т. Акімов // Сб. «Прочность и долговечность горных машин». — Вып. 2. — М.: Недра, 1973. — С. 33–38.
5. Тимошкин В. А. Зависимость производительности скребкового конвейера от межскребкового шага [Текст] / В. А. Тимошкин // Сб. «Вопросы рудничного транспорта». — Вып. 3. — М.: Угленздат, 1959.
6. Акімов О. В. Оценка физической долговечности скребок и рештаков разборных переносных конвейеров [Текст] / О. В. Акімов, В. Т. Акімов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2011. — № 6/1(54). — С. 42–45.

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МИКРОГЕОМЕТРИИ И ИЗНОСА ПОВЕРХНОСТЕЙ СКРЕБКОВ И РЕШТАКОВ КОНВЕЙЕРА

О. В. Акімов, В. Т. Акімов

Изложенные методики позволяют определить параметры геометрической характеристики контактируемых поверхностей скребка и рештака, выявить корреляционные зависимости между сроком эксплуатации рештака и углом его наклона.

**Ключевые слова:** площадь касания, кривая опорной поверхности, срок эксплуатации, коэффициент корреляции.

*Олег Викторович Акімов, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Литейное производство», Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», тел.: (057) 707-68-54.*

*Виктор Тимофеевич Акімов, кандидат технических наук, доцент, Украинская инженерно-педагогическая академия, тел.: (057) 737-90-09.*

## SOME MICROGEOMETRY AND WEAR OF THE SCRAPER AND PANS CONVEYOR

O. Akimov, V. Akimov

The stated techniques allow to determine parameters of the geometrical characteristic of contacted surfaces of a scraper and a chute, to reveal correlation dependences between operation term of a chute and a corner of its inclination.

**Keywords:** contact area, curve of a basic surface, operation term, correlation coefficient.

*Oleg Akimov, doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department, the department «Foundry», National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», tel.: (057) 707-68-54.*  
*Victor Akimov, PhD, Associate Professor, Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, tel.: (057) 737-90-09.*