

ide systems $Ti/Ti_nO_m - ZrO_2$. It was shown that, depending on the electrolyte pH, the films contain up to 0,17 до 2,1 wt. % of zirconium. The catalytic activity of the synthesized coatings in the reaction of the methyl orange azo dye oxidization under the effect of UV irradiation was established.

Key words: coatings, titanium dioxide, electrochemical anodization, photocatalyst activity, zirconium oxide, azo dyes, methyl orange.

УДК 621.926.5:539.215:531.36

К.Ю. ДЕЙНЕКА, канд. техн. наук, НУВГП, Рівне

ВИЗНАЧЕННЯ ІНЕРЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗАВАНТАЖЕННЯ БАРАБАННОГО МЛИНА

Розглянуто розрахунок осьового моменту інерції, координати центра мас та дилатансії завантаження. Для візуалізації картин руху в перерізі камери використано сітки. На основі принципу твердіння враховано всю масу завантаження.

Ключові слова: барабанний млин, внутрішньокамерне завантаження, автоколивання, осьовий момент інерції, координата центра мас, дилатансія, принцип твердіння, візуалізація, розрахункові сітки.

Самозбудження автоколивань [1] істотно підвищують циркуляцію завантаження в робочих камерах барабанних млинів [2].

Згідно одержаної умови [1] чинниками нестійкості руху млина є варіації осьового моменту інерції, моменту опору та дилатансія завантаження.

При експлуатації млинів значення моменту інерції, положення центра мас, що визначає момент опору, та щільності завантаження змінюються.

Залучення принципу твердіння [3] суттєво спрощує задачу визначення змінних інерційних параметрів завантаження.

За мету роботи було поставлено визначення осьового моменту інерції, положення центра мас та дилатансії внутрішньокамерного завантаження барабанного млина за допомогою методу візуалізації картин руху середовища.

Осьовий момент інерції доцільно оцінювати по відношенню до моменту при повному заповненні камери, що є максимальним для певного її радіуса R , а жорсткість характеристики – по відношенню до моменту для пристінкового шару, що є максимальним для певного R та ступеня заповнення камери завантаженням k .

© К.Ю. Дейнека, 2014

Вираз для відносного моменту інерції по відношенню до значення при повному заповненні камери ($\kappa = 1$) має вигляд

$$\psi_{I1} = I/I_1 \quad (1)$$

де $I = \int_m r^2 dm$ – поточне значення моменту інерції завантаження відносно осі

обертання (рис. 1а), m – маса, r – радіальна координата, $I_1 = m_1 R^2 / 2$ – момент інерції при $\kappa = 1$ (рис. 1б), m_1 – маса завантаження при $\kappa = 1$.

Замість осьового I можна використати полярний I_p момент інерції. Залежність між ними, враховуючи, що $m = Fl\rho$, можна представити у вигляді $I = I_p l\rho$, де F – площа перерізу, l – довжина камери, ρ – об'ємна густина завантаження. Тоді

$$\psi_{I1} = I_p / I_{p1}; \quad (2)$$

де $I_p = \int_F r^2 dF$ – поточне значення полярного моменту інерції перерізу (рис.

1а), $I_{p1} = \pi R^4 / 2$ – момент при $\kappa = 1$.

Можна використати безрозмірні полярні моменти інерції за умови $R = 1$

$$\psi_{I1} = I_{p\bar{\sigma}} / I_{p1\bar{\sigma}}; \quad (3)$$

де $I_{p\bar{\sigma}} = \int_F r^2 dF (R=1)$ – поточне значення безрозмірного полярного моменту

інерції, $I_{p1\bar{\sigma}} = \pi/2$ – безрозмірний момент при $\kappa = 1$. Остаточоно $\psi_{I1} = 2I_{p\bar{\sigma}} / \pi$.

Вираз для відносного моменту інерції по відношенню до значення для пристінкового шару, аналогічно (1), має вигляд $\psi_{I_{us}} = I/I_{us}$, де $I_{us} = \pi(R^4 - R_0^4)l\rho/2 = \pi R^4 [1 - (1 - \kappa^2)]l\rho/2$ – момент інерції пристінкового шару (рис. 1в), R_0 – радіус вільної поверхні шару.

Після перетворень, подібних (2) та (3), $\psi_{I_{us}} = 2I_{p\bar{\sigma}} / \left\{ \pi [1 - (1 - \kappa)^2] \right\}$.

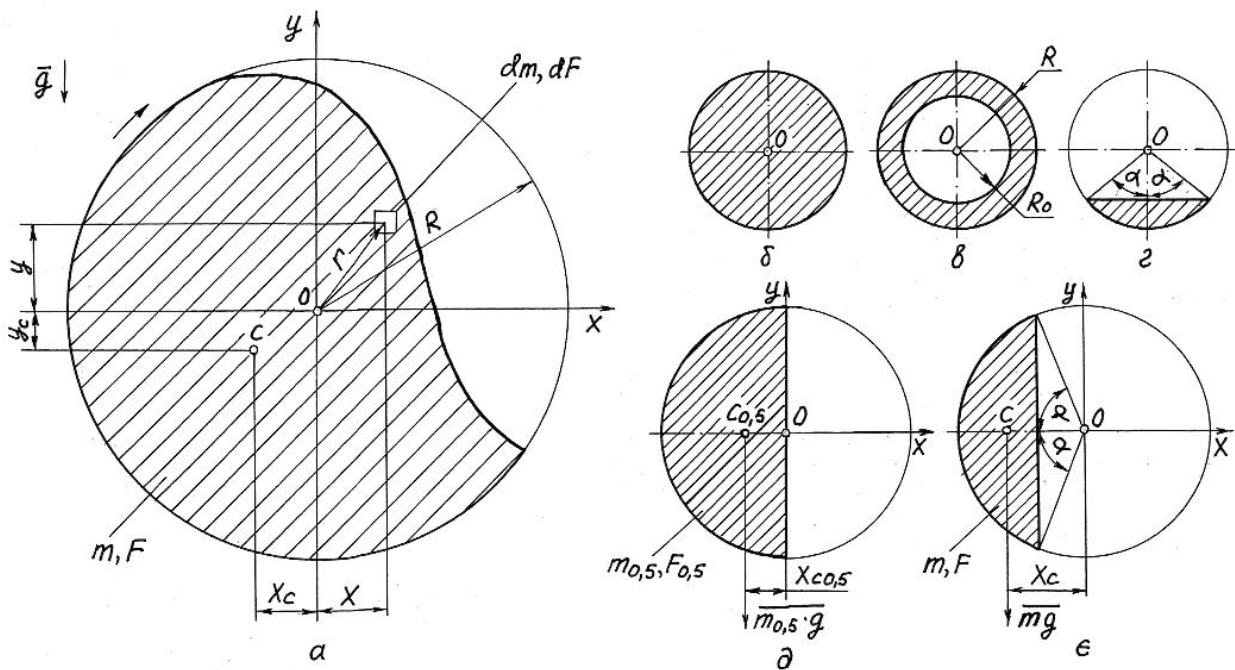


Рис. 1 – Розрахункові схеми: а – для поточного значення інерційних параметрів, б – для осевого моменту інерції при $\kappa = 1$, в – те саме для пристінкового шару при поточному κ , г – те саме в стані спокою, д – для умовного максимального моменту опору при $\kappa = 0,5$, е – те саме при поточному κ .

В стані спокою переріз завантаження має вигляд сегмента (рис. 1г), а його момент інерції набуває мінімального значення.

Вираз для полярного моменту інерції сегментного перерізу має вигляд $I_{pc} = R^4 [6\alpha - \sin 2\alpha(2 - \cos 2\alpha)]/12$, де α – половина центрального кута сегмента в перерізі.

Для визначення моменту інерції методом візуалізації розрахункова область перерізу камери покривається сіткою комірок у вигляді кільцевого сектора з центром c_{ij} (рис. 2а). Вираз для безрозмірного полярного моменту інерції завантаження, що визначається за допомогою такої сітки має вигляд:

$$I_{p\bar{c}} = \sum_{i=1}^k \sum_{j_i=1}^{m_{j_i}} I_{p\bar{c}i}; \quad (4)$$

де $i = r_i/\Delta r$ – індекс радіальної координати, r_i – безрозмірна радіальна координата комірки, Δr – безрозмірний радіальний розмір комірки, $k = 1/\Delta r$ – число кільцевих шарів комірок в сітці, $j_i = \varphi_{j_i}/\Delta\varphi_{j_i}$ – індекс кутової координати в кільцевому шарі з радіальним індексом i , φ_{j_i} – кутова координата комі-

рки в шарі i , $\Delta\varphi_{j_i}$ – кутовий розмір комірки в шарі i , $m_{j_i} = 2\pi/\Delta\varphi_{j_i}$ – число комірок в кільцевому шарі i , $I_{p\delta\delta i}$ – безрозмірний момент заповненої комірки.

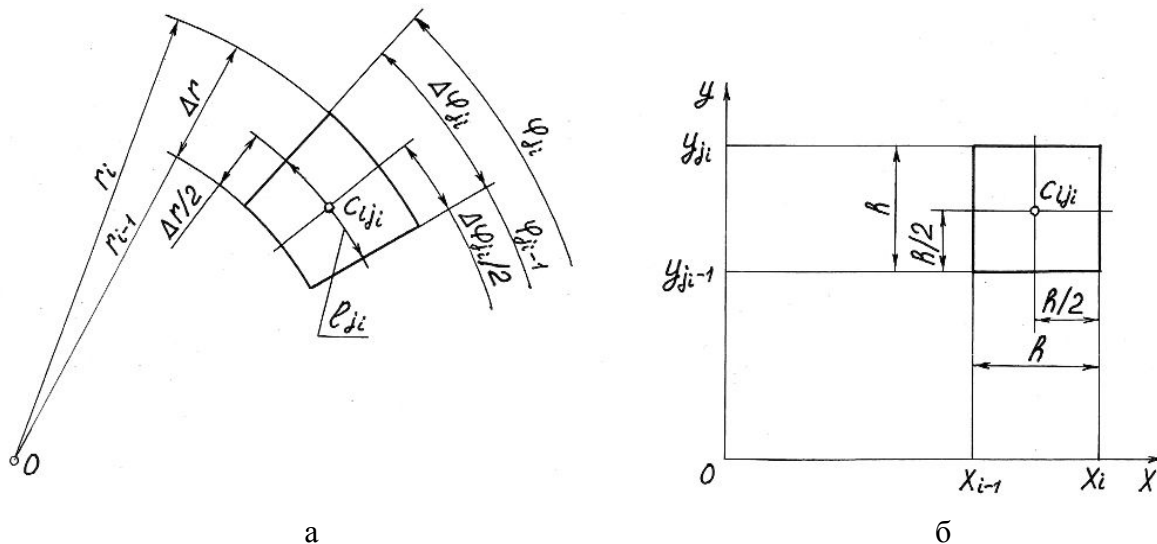


Рис. 2 – Схеми комірок розрахункових сіток: а – для полярного моменту інерції, б – для статичного моменту.

Виходячи з пропорційної залежності числа комірок в шарі із його радіальною координатою можна одержати $m_{j_i} = (2i - 1)m_{j_1}$, де m_{j_1} – число комірок в першому кільцевому шарі.

Для спрощення форми сітки можна надати співвідношенню дугового та радіального розмірів для всіх комірок сталого значення $l_{j_i}/\Delta r = c$, де $l_{j_i} = \Delta\varphi_{j_i}(r_i - \Delta r/2)$ – центральний дуговий розмір комірки, c – константа. Задавши умовою $c \rightarrow 1$ можна одержати $m_{j_i} \rightarrow \pi$, і прийняти $m_{j_i} = 3$.

Вираз для безрозмірного моменту комірки набуває вигляду

$$I_{p\delta\delta i} = \pi(r_i^4 - r_{i-1}^4)/2m_{j_i}. \quad (5)$$

Тоді після підстановки (5) в (4) та перетворення можна одержати

$$I_{p\delta} = \frac{\pi}{2k^4 m_{j_1}} \sum_{i=1}^k \sum_{j_i=1}^{m_{j_i}} \frac{i^4 - (i-1)^4}{2i-1} n_{ij_i}; \text{ де } n_{ij_i} \text{ – число заповнених комірок.}$$

Величину моменту опору завантаження обертанню барабана доцільно оцінювати по відношенню до значення умовного максимального моменту при половинному заповненні камери, що є максимальним для певного R , а

жорсткість характеристики – по відношенню до умовного максимального моменту при поточному значенні κ , що є максимальним для певного R та κ .

Умовний максимальний момент (рис. 1д, є) відповідає розподілу матеріалу в поперечному перерізі у вигляді ідеального квазітвердотілого сегмента, що повернуто разом із барабаном відносно стану спокою на прямий кут.

Вираз для відносного моменту опору по відношенню до умовного максимального значення при половинному заповненні ($\kappa = 0,5$) має вигляд

$$\psi_{M0,5} = M/M_{0,5\max}; \quad (6)$$

де $M = g \int x dm$ – момент активних масових сил опору завантаження (рис. 1а), x – горизонтальна центральна вісь перерізу камери, g – гравітаційне прискорення, $M_{0,5\max} = gx_{C0,5}m_{0,5}$ – умовний максимальний момент опору при $\kappa = 0,5$ (рис. 1д), $x_{C0,5}$ – горизонтальна координата центра мас $C_{0,5}$ сегмента, $m_{0,5}$ – маса половинного завантаження.

Замість моменту опору M можна використати статичний момент перерізу завантаження S_y , пропорційний горизонтальній координаті центра мас завантаження x_C . Залежності між цими параметрами можна представити у вигляді $M = S_y l \rho g$, $S_y = x_C F_z$, де F_z – площа перерізу завантаження. Тоді

$$\psi_{M0,5} = S_y/S_{y0,5\max}; \quad (7)$$

де $S_y = \int x dF$ – поточне значення статичного моменту перерізу відносно вертикальної центральної осі y (рис. 1а), $S_{y0,5\max} = 2R^3/3$ – умовний максимальний статичний момент перерізу відносно y при $\kappa = 0,5$.

Можна використати безрозмірні статичні моменти за умови $R = 1$. Тоді

$$\psi_{M0,5} = S_{y\bar{b}}/S_{y0,5\max\bar{b}}; \quad (8)$$

де $S_{y\bar{b}} = \int x dF$ ($R = 1$) – поточне значення безрозмірного статичного моменту, $S_{y0,5\max\bar{b}} = 2/3$ – безрозмірний умовний максимальний момент при $\kappa = 0,5$.

Остаточно після перетворень $\psi_{M0,5} = 3S_{y\bar{b}}/2$.

Вираз для відносного моменту опору по відношенню до умовного максимального при поточному значенні κ , аналогічно (6), має вигляд $\psi_{Mc} = M/M_{c\max}$, де $M_{c\max} = m_3 x_C g = 2R^3 \sin^3 \alpha \rho g$ – умовний максимальний момент опору при поточному κ (рис. 1є), m_3 – маса завантаження.

Після перетворень, подібних до (7) та (8) $\psi_{Mc} = 3S_{y\bar{b}} / (2\sin^3 \alpha)$.

Для визначення моменту опору методом візуалізації розрахункова область перерізу камери покривається сіткою із рядним розташуванням квадратних комірок із безрозмірним розміром h та центром c_{ij} (рис. 2б). Вираз для безрозмірного статичного моменту перерізу завантаження, що визначається за допомогою такої сітки, аналогічно (4), має вигляд

$$S_{y\bar{b}} = \sum_{i=-k}^k \sum_{j_i=-m_{j_i}}^{m_{j_i}} S_{y\bar{b}i}; \quad (9)$$

де $i = x_i/h$ – індекс горизонтальної координати, x_i – безрозмірна горизонтальна координата комірки, $k = 1/h$ – половина числа вертикальних шарів комірок, $j_i = y_{j_i}/h$ – індекс вертикальної координати у вертикальному шарі з горизонтальним індексом i , y_{j_i} – безрозмірна вертикальна координата комірки у вертикальному шарі i , $S_{y\bar{b}i}$ – безрозмірний статичний момент заповненої комірки, $m_{j_i} = \{1/[2\arccos x_{i-1} - \sin(2\arccos x_{i-1})] - 1/[2\arccos x_i - \sin(2\arccos x_i)]\} / 4h$ – половина числа комірок у вертикальному шарі i .

Вираз для статичного моменту комірки можна представити у вигляді

$$S_{y\bar{b}i} = h^2(x_i - h/2). \quad (10)$$

Тоді після підстановки (10) в (9) та перетворення можна одержати

$$S_{y\bar{b}} = \frac{1}{2k^3} \sum_{i=-k}^k \sum_{j_i=-m_{j_i}}^{m_{j_i}} (2i-1)N_{ij_i}; \text{ де } N_{ij_i} - \text{число заповнених комірок.}$$

Вираз для дилатансії завантаження в камері має вигляд $\nu = F/(\pi R^2 \kappa)$; де $F = \int_F dF$ – поточне значення заповненої площі перерізу камери. Після переходу до безрозмірних величин за умови $R = 1$ можна одержати

$$v = F_{\sigma} / (\pi \kappa); \quad (11)$$

де $F_{\sigma} = \int_F dF (R=1)$ – поточне значення безрозмірної заповненої площі.

У випадку сітки для моменту інерції вираз для F_{σ} має вигляд

$$F_{I\sigma} = \sum_{i=1}^k \sum_{j_i=1}^{m_{j_i}} F_{I\sigma\delta_i}; \quad (12)$$

де $F_{I\sigma\delta_i} = \pi(r_i^2 - r_{i-1}^2) / m_{j_i}$ – безрозмірна площа заповненої комірки. Після підстановки (12) в (11) та перетворення можна одержати $v_I = \frac{1}{k^2 m_{j_i} \kappa} \sum_{i=1}^k \sum_{j_i=1}^{m_{j_i}} n_{ij_i}$.

У випадку сітки для статичного моменту вираз для F_{σ} має вигляд

$$F_{s\sigma} = \sum_{i=-k}^k \sum_{j_i=-m_{j_i}}^{m_{j_i}} F_{s\sigma\delta_i}; \quad (13)$$

де $F_{s\sigma\delta_i} = h^2$ – безрозмірна площа заповненої комірки. Після підстановки (13)

в (11) та перетворення остаточно можна одержати $v_M = \frac{1}{\pi k^2 \kappa} \sum_{i=-k}^k \sum_{j_i=-m_{j_i}}^{m_{j_i}} N_{ij_i}$.

Одержані залежності складають основу розрахункового алгоритму для досліджень інерційних параметрів завантаження методом візуалізації.

Список літератури: 1. *Науменко К.Ю.* Нестійкі режими обертання барабанних млинів / *К.Ю. Науменко* // Вісн. НУВГП. – 2006. – Вип. 2 (34). – Ч. 2. – С. 111 – 119. 2. Пат. 42493U України, МПК В 02 С 17/00. Спосіб подрібнення в барабанному млині із автоколивним внутрішньокамерним завантаженням / *Дейнека К.Ю.* – № u200900549; заяв. 26.01.09; опубл. 10.07.09, Бюл. № 13. 3. *Бессонов А.П.* Основы динамики механизмов с переменной массой звеньев / *А.П. Бессонов.* – М.: Наука, 1967. – 279 с.

References: 1. *Naumenko K.Ju.* Tumbling mills unstable modes of rotation / *K.Ju. Naumenko* // Visn. NUVGP. – 2006. – Vol. 2 (34). – Ch. 2. – P. 111 – 119. 2. Pat. 42493U Ukraine, MPK V 02 S 17/00. Method of grinding in a tumbling mill with self-oscillation intrachamber filling / *Dejneka K.Ju.* – № u200900549; zajav. 26.01.09; opubl. 10.07.09, Bjul. № 13. 3. *Bessonov A.P.* Basics dynamics mechanisms with variable mass units / *A.P. Bessonov.* – M.: Nauka, 1967. – 279 p.

Надійшла до редколегії (Received by the editorial board) 30.03.14

УДК 621.926.5:539.215:531.36

Визначення інерційних параметрів завантаження барабанного млина / К.Ю. ДЕЙНЕКА // Вісник НТУ «ХПІ». – 2014. – № 27 (1070). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 20 – 27. – Бібліогр.: 3 назв. – ISSN 2079-0821.

Рассмотрен расчет осевого момента инерции, координаты центра масс и дилатансии загрузки. Для визуализации картин движения в сечении камеры использованы сетки. На основе принципа затвердевания учтена вся масса загрузки.

Ключевые слова: барабанная мельница, внутрикамерная загрузка, автоколебания, осевой момент инерции, координата центра масс, дилатансия, принцип затвердевания, визуализация, расчетные сетки.

UDC 621.926.5:539.215:531.36

The tumbling mill filling inertia parameters determination / K.Yu. DEJNEKA // Visnyk NTU «KhPI». – 2014. – № 27 (1070). – (Series: Khimiya, khimichna tekhnolohiya ta ecolohiya). – P. 20 – 27. – Bibliogr.: 3 names. – ISSN 2079-0821.

The calculations of filling moment of inertia, centre of mass coordinate and dilatation are considered. The graticules were used for cross-section flow patterns visualization. Based on the principle of hardening, the whole filling mass was taken into account.

Keywords: tumbling mill, intrachamber filling, self-oscillation, axial moment of inertia, centre of mass coordinate, dilatation, principle of hardening, visualization, calculating graticules.

УДК 66.052

А.Н. ДУБОВЕЦ, канд. техн. наук, доц., УИПА, Харьков,
И.И. ЛИТВИНЕНКО, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,
М.А. ПОДУСТОВ, д-р. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,
Е.И. ЛИТВИНЕНКО, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»,
С.В. АРШИНИКОВ, студ., НТУ «ХПИ»

МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЖИДКИХ СРЕД ПО ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ СИСТЕМАМ И МАЛООБЪЕМНЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБЪЕКТАМ

В статье рассмотрены варианты модернизации устройств для распределения жидких сред по измерительным системам и малообъемным объектам.

Ключевые слова: жидкость, объект, загрузка, деление, сектор, конструкция, сфера, бункер, сборник, радиус, объем

© А.Н. Дубовец, И.И. Литвиненко, М.А. Подустов, Е.И. Литвиненко, В. Аршеников, 2014