

В.П. Франчук, д.т.н., проф.
А.О. Бондаренко, к.т.н., доц.
ВНЗ «Національний гірничий університет»

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РУХУ ПОТОКУ В КЛАСИФІКАТОРІ ГІДРАВЛІЧНОМУ ГОРИЗОНТАЛЬНОМУ

Якість природних нерудних пісків за фізико-механічними властивостями рідко відповідає діючим нормам. Тому необхідна переробка гірничої маси. Одним з найбільш трудомістких процесів переробки, який потребує більш ретельного вивчення, є процес відділення пісків від дрібнодисперсних домішок. Виділення з вихідної маси глинистих або мулистих частинок традиційно виконується в гравітаційних апаратах з горизонтальним рухом несучого потоку.

Процес гравітаційної переробки зернистих матеріалів у горизонтальному потоці пульпи супроводжується рухом несучого потоку в межах різнопохилих поверхонь, а також відтоком донизу згущеної пульпи. Коректний опис процесу виконаний шляхом розробки математичної моделі руху потоку в проточній частині класифікатора з використанням рівняння Ейлера для ідеальної (нев'язкої) рідини. У результаті математичного моделювання отримані теоретичні залежності для швидкості і прискорення потоку, з урахуванням кривизни перерізів, розділеного на характерні ділянки: розділення, осадження, витікання.

Мета роботи – розробка математичної моделі руху горизонтального потоку на ділянках розділення, осадження і витікання проточної частини класифікатора гідравлічного горизонтального з урахуванням розподілення потоку за глибиною.

Розроблена математична модель дозволяє отримати значення швидкостей і прискорень потоку в характерних ділянках процесу, що дозволить обґрунтувати раціональні параметри пристрою, який застосовується для гравітаційної переробки зернистих матеріалів.

Ключові слова: гравітаційне розділення, класифікатор горизонтальний, математичне моделювання, потік рідини.

Постановка проблеми, її актуальність. Якість природних нерудних пісків за фізико-механічними властивостями рідко відповідає діючим нормам. Тому є потреба в переробці гірничої маси. Одним з найбільш трудомістких процесів переробки, який потребує більш ретельного вивчення, є процес відділення пісків від дрібнодисперсних домішок.

Виділення з вихідної маси глинистих або мулистих частинок традиційно виконується в гравітаційних апаратах з горизонтальним рухом несучого потоку: горизонтальні класифікатори, дешламатори, спіральні класифікатори, декантатори, горизонтальні відстійники та ін. Привабливим пристроєм, який дозволяє ефективно виділяти дрібнодисперсні домішки крупністю менше 0,16 мм, є класифікатор гідравлічний горизонтальний. Схема проточної частини класифікатора наведена на рисунку 1. Процес гравітаційної переробки зернистих матеріалів у горизонтальному потоці пульпи супроводжується рухом несучого потоку в межах різнопохилих поверхонь, а також відтоком донизу згущеної пульпи в межах ділянок: розділення, осадження, витікання. Коректний опис процесу гравітаційного розділення дрібнодисперсних матеріалів у горизонтальному потоці пульпи потребує розробки математичної моделі руху потоку в проточній частині класифікатора з урахуванням відомих моделей розподілення швидкості потоку за його глибиною. Надалі математична модель буде використана для обґрунтування раціональних параметрів класифікаційних пристроїв з горизонтальним рухом несучого потоку.

Метод досліджень. Отримані раніше залежності [1] описують рух потоку в класифікаторі (рис. 1), прийнявши допущення про незначність кривизни живих розрізів потоку. Таким чином, отримані вирази дозволяють встановити середні значення швидкості потоку. Також для опису процесу проточна частина класифікатора розділена на характерні ділянки (розділення, осадження, витікання) й уведені такі позначення та допущення:

Q_p – подача за вихідною пульпою на ділянці розділення, м³/с;

Q_o – подача за пульпою на ділянці осадження, м³/с;

Q_u – подача за пульпою на ділянці витікання, м³/с;

Q_{nec} – подача за згущеною пульпою на ділянці осадження, м³/с;

b_o, h_o – ширина й висота потоку в початковому розрізі ділянки розділення, м;

B_p, H_p – ширина й висота потоку в кінцевому розрізі ділянки розділення й початковому розрізі ділянки осадження, м;

b_u, h_u – ширина й висота потоку в кінцевому розрізі ділянки витікання, м;

α_p, β_p – кути розширення потоку за осями O-Z і O-Y на ділянці розділення;

α_e, β_e – кути звуження потоку за осями O-Z і O-Y на ділянці витікання.

Для спрощення математичного опису уведені такі позначення: $a = 2\text{tg}\beta_\delta\text{tg}\alpha_\delta$;
 $b = b_0\text{tg}\alpha_\delta + h_0 2\text{tg}\beta_\delta$; $c = b_0 h_0$; $d = 2\text{tg}\beta_e\text{tg}\alpha_e$; $e = B_\delta\text{tg}\alpha_e + H_\delta 2\text{tg}\beta_e$; $f = B_p H_p$.

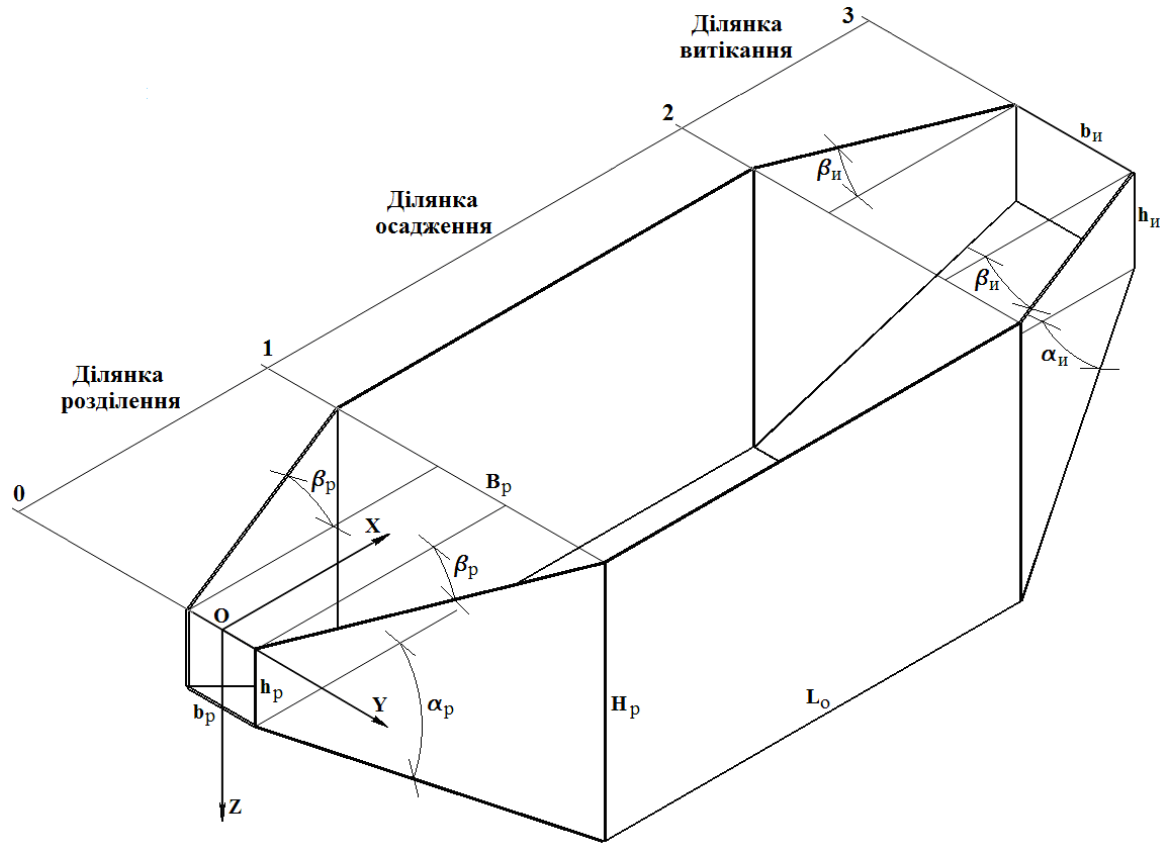


Рис. 1. Схема проточної частини класифікатора гідравлічного горизонтального

Рух потоку рідини в горизонтальному класифікаторі, при зміні розрізу потоку по довжині, плавно змінюється та має такі властивості:

- кривизна ліній току незначна, тому відцентрові сили не враховуються;
- у зв'язку з малою швидкістю руху вихрові потоки не враховуються;
- потік живиться постійним гідродинамічним напором, його верхня межа приймається горизонтальною.

Опис руху потоку рідини в горизонтальному класифікаторі виконаний з використанням рівняння Ейлера для ідеальної (нев'язкої) рідини [2], який у роботі [1] привели до такого загального вигляду:

$$\begin{cases} \frac{du_x}{dt} = u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + 2\text{tg}\beta u_x \frac{\partial u_x}{\partial y} + \text{tg}\alpha u_x \frac{\partial u_x}{\partial z}; \\ \frac{du_y}{dt} = u_x \text{tg}\beta \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_x (\text{tg}\beta)^2 \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_x \text{tg}\alpha \text{tg}\beta \frac{\partial u_x}{\partial z}; \\ \frac{du_z}{dt} = u_x \text{tg}\alpha \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_x \text{tg}\beta \text{tg}\alpha \frac{\partial u_x}{\partial y} + (\text{tg}\alpha)^2 u_x \frac{\partial u_x}{\partial z}. \end{cases} \quad (1)$$

Залежно від режиму руху рідини, швидкість потоку в проточній частині класифікатора розподіляється за нелінійними законами [2–3]. Встановимо параметри руху потоку в горизонтальному класифікаторі з прийнятими геометричними параметрами. В прийнятій конструкції горизонтальний

потік розділений на n паралельних потоків за допомогою повздовжніх перегородок. У зв'язку з цим, приймемо допущення, що кривизна перерізів усього потоку уздовж осі О-У незначна, тому окрема похідна $\frac{\partial u_x}{\partial y} = 0$. Експлуатація класифікатора передбачається в комплексі з землесосним снарядом.

Відповідно до досвіду застосування земснарядів при розробці рудних і нерудних пісків, середня об'ємна концентрація пульпи не перевищує 10 % [4, 5]. При такій концентрації і параметрах руху, близьких до турбулентних, розподілення швидкості може бути описано ступеневим законом [3]. Відповідно до досліджень рух потоку у відкритому руслі, залежність швидкості потоку на ділянці розділення від його глибини має вигляд функції:

$$u_{x\delta} = u_{x\delta}^{\text{н}\delta} \frac{p+1}{p} \left(\frac{(h_o + x_p \operatorname{tg} \alpha_p) - z_p}{h_o + x_p \operatorname{tg} \alpha_p} \right)^{\frac{1}{p}}. \quad (2)$$

У цьому випадку $\frac{\partial u_{xp}}{\partial z} \neq 0$, тоді систему рівнянь (1) для ділянки розділення представимо як:

$$\begin{cases} \frac{du_{x\delta}}{dt} = u_{x\delta} \frac{\partial u_{x\delta}}{\partial x} + \operatorname{tg} \alpha_\delta u_{x\delta} \frac{\partial u_{x\delta}}{\partial z}; \\ \frac{du_{y\delta}}{dt} = u_{x\delta} \operatorname{tg} \beta_\delta \frac{\partial u_{x\delta}}{\partial x} + u_{x\delta} \operatorname{tg} \alpha_\delta \operatorname{tg} \beta_\delta \frac{\partial u_{x\delta}}{\partial z}; \\ \frac{du_{z\delta}}{dt} = u_{x\delta} \operatorname{tg} \alpha_\delta \frac{\partial u_{x\delta}}{\partial x} + (\operatorname{tg} \alpha_\delta)^2 u_{x\delta} \frac{\partial u_{x\delta}}{\partial z}. \end{cases} \quad (3)$$

Враховуючи приведену залежність швидкості від глибини потоку (2), система рівнянь швидкості потоку на ділянці розділення набуде вигляду:

$$\begin{cases} u_{x\delta} = \frac{Q_\delta}{ax_\delta^2 + bx_\delta + c} \cdot \frac{p+1}{p} \left(\frac{(h_o + x_p \operatorname{tg} \alpha_p) - z_p}{hh_o + x_p \operatorname{tg} \alpha_p} \right)^{\frac{1}{p}} \cdot H(f_1(x, z)); \\ u_{y\delta} = \operatorname{tg} \beta_\delta \frac{Q_\delta}{ax_\delta^2 + bx_\delta + c} \cdot \frac{p+1}{p} \left(\frac{(h_o + x_p \operatorname{tg} \alpha_p) - z_p}{hh_o + x_p \operatorname{tg} \alpha_p} \right)^{\frac{1}{p}} \cdot H(f_1(x, z)); \\ u_{z\delta} = \operatorname{tg} \alpha_\delta \frac{Q_\delta}{ax_\delta^2 + bx_\delta + c} \cdot \frac{p+1}{p} \left(\frac{(h_o + x_p \operatorname{tg} \alpha_p) - z_p}{hh_o + x_p \operatorname{tg} \alpha_p} \right)^{\frac{1}{p}} \cdot H(f_1(x, z)). \end{cases} \quad (4)$$

де p – емпіричний коефіцієнт; для гладких поверхонь приймають значення з діапазону 7...10 [6]; $H(f_1(x, z))$ – функція Хевісайда; дорівнює одиниці при позитивному значенні $f_1(x, z)$ і 0 при нульовому і

негативному значенні цієї функції. Для ділянки розділення $f_1(x, z) = H \left[1 - \left(\frac{z_p}{h_o + x_p \operatorname{tg} \alpha_p} \right)^2 \right]$.

Приклад графічного опису отриманих теоретичних залежностей для швидкості потоку на ділянці розділення (4) наведений на рисунку 2, а. З графіків видно, що на ділянці розділення швидкості за всіма координатами закономірно зменшуються пропорційно збільшенню площині перерізу потоку.

Після перетворень і спрощень систему (3) для отримання розподілення прискорень потоку у всіх точках перерізу на ділянці розділення в напрямку осей О-Х, О-У, О-З запишемо як систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{du_{x\delta}}{dt} &= \frac{Q_{\delta}^2(p+1)^2 \cdot [(h_0 + x_p \operatorname{tg} \alpha_p) - z_p] \frac{1}{p} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{\delta} \cdot (ax_{\delta}^2 + bx_{\delta} + c) \cdot p}{p^3 \cdot (ax_{\delta}^2 + bx_{\delta} + c)^3 (h_0 + x_p \operatorname{tg} \alpha_p) \frac{2}{p}} \times \\
 &\times \left[\frac{(2ax_{\delta} + b) [(h_0 + x_p \operatorname{tg} \alpha_p) - z_p] \frac{1}{p}}{\operatorname{tg} \alpha_{\delta} \cdot (ax_{\delta}^2 + bx_{\delta} + c)} - \frac{\frac{1}{z_p^p}}{(h_0 + x_p \operatorname{tg} \alpha_p)} - \left[(h_0 + x_p \operatorname{tg} \alpha_p) \frac{1}{p} - \frac{1}{p} z_p^{\frac{1}{p-1}} \right] \right] \cdot H(f_1(x, z)); \\
 \frac{du_{y\delta}}{dt} &= \frac{Q_{\delta}^2(p+1)^2 \cdot [(h_0 + x_p \operatorname{tg} \alpha_p) - z_p] \frac{1}{p} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{\delta} \cdot \operatorname{tg} \beta_{\delta} \cdot (ax_{\delta}^2 + bx_{\delta} + c) \cdot p}{p^3 \cdot (ax_{\delta}^2 + bx_{\delta} + c)^3 (h_0 + x_p \operatorname{tg} \alpha_p) \frac{2}{p}} \times \\
 &\times \left[\frac{(2ax_{\delta} + b) [(h_0 + x_p \operatorname{tg} \alpha_p) - z_p] \frac{1}{p}}{\operatorname{tg} \alpha_{\delta} \cdot (ax_{\delta}^2 + bx_{\delta} + c)} - \frac{\frac{1}{z_p^p}}{(h_0 + x_p \operatorname{tg} \alpha_p)} - \left[(h_0 + x_p \operatorname{tg} \alpha_p) \frac{1}{p} - \frac{1}{p} z_p^{\frac{1}{p-1}} \right] \right] \cdot H(f_1(x, z)); \\
 \frac{du_{z\delta}}{dt} &= \frac{Q_{\delta}^2(p+1)^2 \cdot [(h_0 + x_p \operatorname{tg} \alpha_p) - z_p] \frac{1}{p} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{\delta} \cdot (ax_{\delta}^2 + bx_{\delta} + c) \cdot p}{p^3 \cdot (ax_{\delta}^2 + bx_{\delta} + c)^3 (h_0 + x_p \operatorname{tg} \alpha_p) \frac{2}{p}} \times \\
 &\times \left[\frac{(2ax_{\delta} + b) [(h_0 + x_p \operatorname{tg} \alpha_p) - z_p] \frac{1}{p}}{\operatorname{tg} \alpha_{\delta} \cdot (ax_{\delta}^2 + bx_{\delta} + c)} - \frac{\frac{1}{z_p^p}}{(h_0 + x_p \operatorname{tg} \alpha_p)} - \operatorname{tg} \alpha_{\delta} \cdot \left[(h_0 + x_p \operatorname{tg} \alpha_p) \frac{1}{p} - \frac{1}{p} z_p^{\frac{1}{p-1}} \right] \right] \cdot H(f_1(x, z)).
 \end{aligned} \right. \quad (5)$$

Прискорення потоку на

ділянці розділення, приклад розрахунку якого зображений на рисунку 3, має негативні значення з гіперболічним зменшенням абсолютних значень до близьких нулю при переході до ділянки осадження.

Для встановлення швидкості горизонтального потоку на ділянці осадження скористаємося отриманими раніше виразами [1], які характеризують швидкість руху потоку за осями O-X і O-Z при незначній кривизні перерізу потоку. Тоді, з урахуванням закономірності розподілення прискорення потоку за його глибиною, вираз швидкості потоку на ділянці осадження отримаємо у вигляді системи рівнянь (6).

Приклад побудови поверхні залежності для швидкості потоку на ділянці осадження показаний на рисунку 2, б. З графіка видно, що швидкість потоку також зменшується через відтік згущеної пульпи.

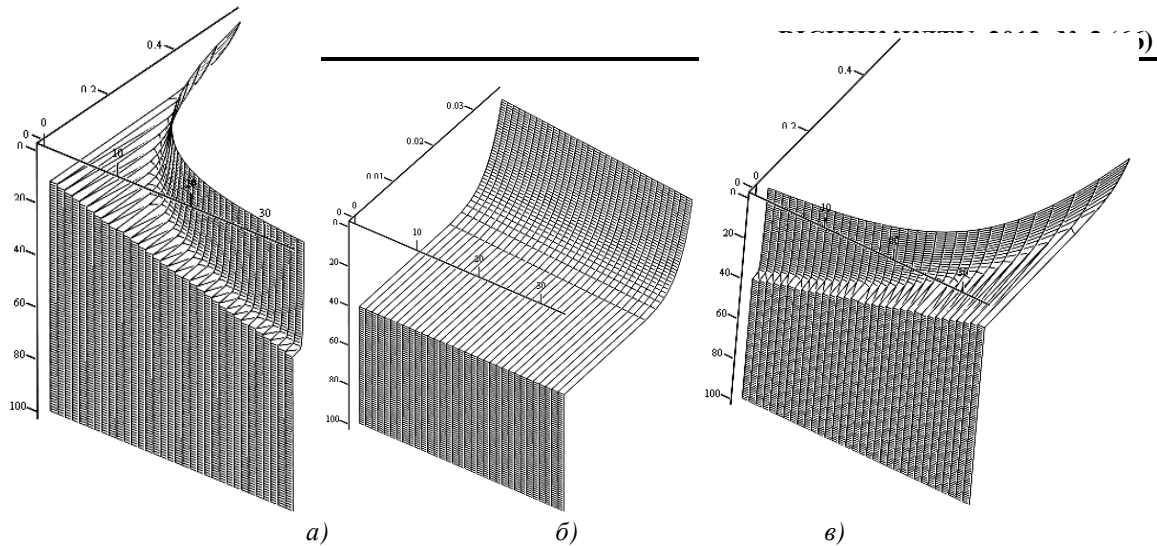


Рис. 2. Швидкість потоку в класифікаторі гідравлічному горизонтальному на ділянках: а) розділення; б) осадження; в) витікання

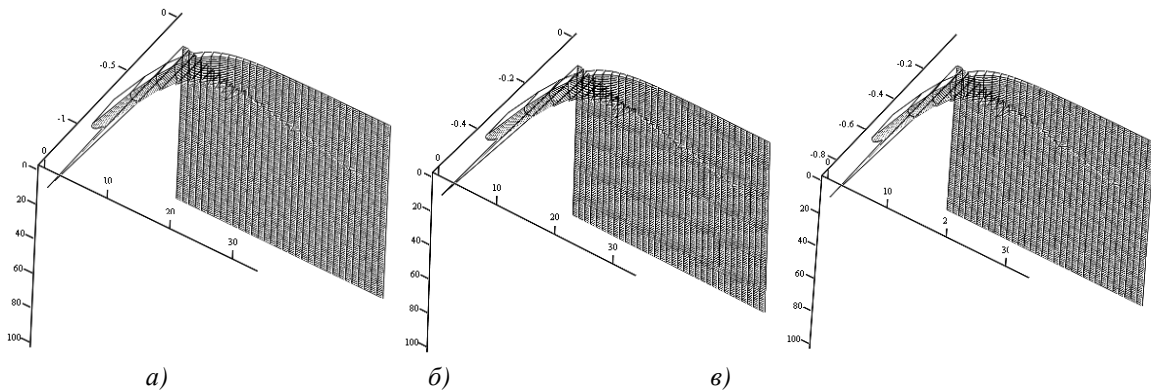


Рис. 3. Прискорення потоку на ділянці розділення: а) за координатою x; б) за координатою y; в) за координатою z

$$\begin{cases} u_{x_0} = \frac{Q_p - qx_0}{B_p H_p} \cdot \frac{p+1}{p} \left(\frac{H_p - z_0}{H_p} \right)^{\frac{1}{p}} \cdot H(f_2(x, z)); \\ u_{z_0} = \frac{q}{B_p} \cdot \frac{p+1}{p} \left(\frac{B_p - z_0}{B_p} \right)^{\frac{1}{p}} \cdot H(f_2(x, z)). \end{cases} \quad (6)$$

$$\text{Для ділянки осадження } f_2(x, z) = \left[1 - \left(\frac{z_0}{H_p} \right)^2 \right].$$

Після підстановок окремих похідних $\frac{\partial u_{x_0}}{\partial x}$, $\frac{\partial u_{x_0}}{\partial z}$ і перетворень запишемо вираз для отримання прискорень потоку в усіх точках перерізу на ділянці осадження в напрямку осей O-X, O-Z у вигляді системи рівнянь (7).

Приклад побудови поверхні для прискорення потоку на ділянці осадження показаний на рисунку 4. Прискорення потоку на даній ділянці залишається негативним і близьким до нуля.

Гідродинамічні показники руху потоку на ділянці витікання опишемо аналогічно залежностям, отриманим для ділянки розділення. Тоді залежність швидкості потоку від його глибини в даній ділянці запишемо як функцію (8).

$$\begin{cases} \frac{du_{x_0}}{dt} = \frac{q^2 x_0 - Q_p q}{1} \cdot \frac{p+1}{p} \cdot \frac{(H_p - z_0)^{\frac{1}{p}}}{B_p^2 H_p^{\frac{p^2+p+1}{p}}} \left[\frac{Q_p - qx_0}{B_p (H_p)^{2p}} + \frac{1}{p(H_p - z_0)} \right] \cdot H(f_2(x, z)); \\ \frac{du_{z_0}}{dt} = \frac{-(qx_0 - Q_p)^2}{B_p^2 H_p^{\frac{1}{p^2+2}}} \cdot \frac{p+1}{p^2} (H_p - z_0)^{\frac{1}{p}-1} \cdot H(f_2(x, z)). \end{cases} \quad (7)$$

$$u_{x\hat{e}} = u_{x\hat{e}}^{\bar{n}\delta} \frac{p+1}{p} \left(\frac{(H_\delta - x_{\hat{e}} \operatorname{tg} \alpha_{\hat{e}}) - z_{\hat{e}}}{H_\delta - x_{\hat{e}} \operatorname{tg} \alpha_{\hat{e}}} \right)^{\frac{1}{p}}. \quad (8)$$

За наявності перегородок, які розділяють потік на ділянки витікання, аналогічних ділянці розділення

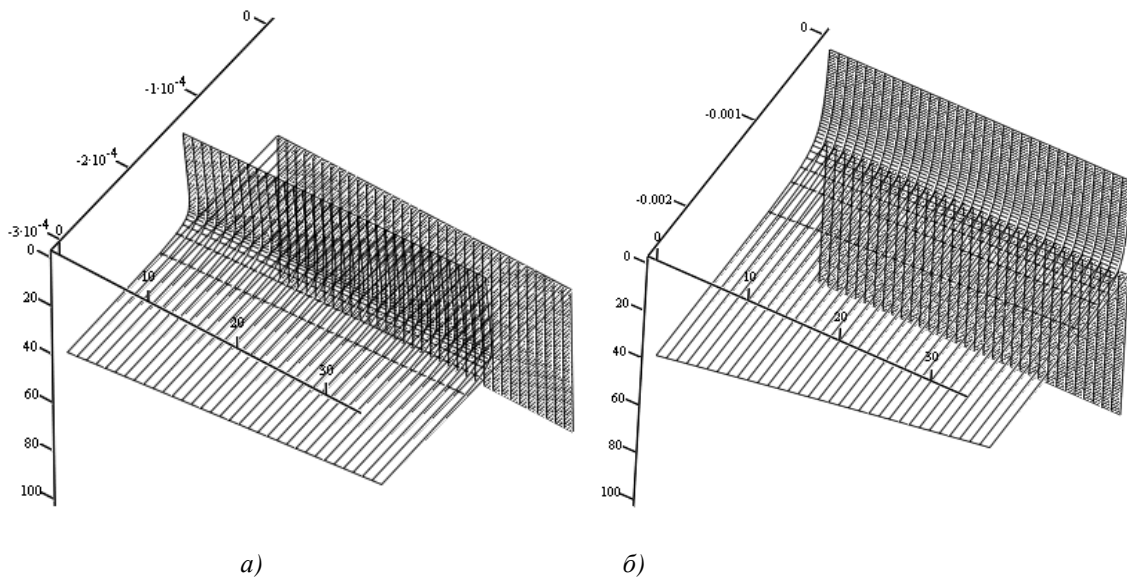


Рис. 4. Прискорення в зоні осадження:
а) за координатою x ; в) за координатою z

приймаємо, що кривизна перерізів усього потоку уздовж осі $O-Y$ незначна, тому окрема похідна $\frac{\partial u_{x\hat{e}}}{\partial y} = 0$. Значить систему рівнянь (1) для швидкості потоку на ділянці витікання представимо як:

$$\begin{cases} \frac{du_{x\hat{e}}}{dt} = u_{x\hat{e}} \frac{\partial u_{x\hat{e}}}{\partial x} + \operatorname{tg} \alpha_{\hat{e}} u_{x\hat{e}} \frac{\partial u_{x\hat{e}}}{\partial z}; \\ \frac{du_{y\hat{e}}}{dt} = u_{x\hat{e}} \operatorname{tg} \beta_{\hat{e}} \frac{\partial u_{x\hat{e}}}{\partial x} + u_{x\hat{e}} \operatorname{tg} \alpha_{\hat{e}} \operatorname{tg} \beta_{\hat{e}} \frac{\partial u_{x\hat{e}}}{\partial z}; \\ \frac{du_{z\hat{e}}}{dt} = u_{x\hat{e}} \operatorname{tg} \alpha_{\hat{e}} \frac{\partial u_{x\hat{e}}}{\partial x} + (\operatorname{tg} \alpha_{\hat{e}})^2 u_{x\hat{e}} \frac{\partial u_{x\hat{e}}}{\partial z}. \end{cases} \quad (9)$$

Тоді, враховуючі приведенний вираз залежності швидкості від глибини потоку (8), система рівнянь для швидкості потоку на ділянці витікання прийме вигляд:

$$\begin{cases} u_{x\dot{e}} = \frac{Q_{\dot{e}}}{dx_{\dot{e}}^2 - ex_{\dot{e}} + f} \cdot \frac{p+1}{p} \left(\frac{(H_{\dot{\delta}} - x_{\dot{e}} \operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}}) - z_{\dot{e}}}{H_{\dot{\delta}} - x_{\dot{e}} \operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}}} \right)^{\frac{1}{p}} \cdot H(f_3(x, z)); \\ u_{y\dot{e}} = \operatorname{tg} \beta_{\dot{e}} \frac{Q_{\dot{e}}}{dx_{\dot{e}}^2 - ex_{\dot{e}} + f} \cdot \frac{p+1}{p} \left(\frac{(H_{\dot{\delta}} - x_{\dot{e}} \operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}}) - z_{\dot{e}}}{H_{\dot{\delta}} - x_{\dot{e}} \operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}}} \right)^{\frac{1}{p}} \cdot H(f_3(x, z)); \\ u_{z\dot{e}} = \operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}} \frac{Q_{\dot{e}}}{dx_{\dot{e}}^2 - ex_{\dot{e}} + f} \cdot \frac{p+1}{p} \left(\frac{(H_{\dot{\delta}} - x_{\dot{e}} \operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}}) - z_{\dot{e}}}{H_{\dot{\delta}} - x_{\dot{e}} \operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}}} \right)^{\frac{1}{p}} \cdot H(f_3(x, z)). \end{cases} \quad (10)$$

Для ділянки витікання $f_3(x, z) = \left[1 - \left(\frac{z_{\dot{e}}}{H_{\dot{\delta}} - x_{\dot{e}} \operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}}} \right)^2 \right]$.

Приклад графічного опису розробленої математичної моделі для швидкості потоку на ділянці витікання (10), наведений на рисунку 2, в. Видно, що на ділянці витікання швидкість збільшується пропорційно зменшенню площини перерізу потоку.

Використовуючи отримані вирази (9, 10) та знаючи вигляд запису окремих похідних $\frac{\partial u_{xu}}{dx}$ та $\frac{\partial u_{xu}}{dz}$, після перетворень запишемо прискорення потоку в усіх точках перерізу на ділянці витікання в напрямку осей O-X, O-Y, O-Z як систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{du_{x\dot{e}}}{dt} = \frac{Q_{\dot{\delta}}^2 (p+1)^2 \cdot [(H_{\dot{\delta}} - x_{\dot{e}} \operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}}) - z_{\dot{e}}]^{\frac{1}{p}} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}} \cdot (dx_{\dot{e}}^2 - ex_{\dot{e}} + f) \cdot p}{p^3 \cdot (dx_{\dot{e}}^2 - ex_{\dot{e}} + f)^3 (H_{\dot{\delta}} - x_{\dot{e}} \operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}})^{\frac{2}{p}}} \times \\ \times \left[\frac{(2dx_{\dot{e}} - e) [(H_{\dot{\delta}} - x_{\dot{e}} \operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}}) - z_{\dot{e}}]^{\frac{1}{p}}}{\operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}} \cdot (dx_{\dot{e}}^2 - ex_{\dot{e}} + f)} - \frac{z_{\dot{e}}^{\frac{1}{p}}}{(H_{\dot{\delta}} - x_{\dot{e}} \operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}})} - \left[(H_{\dot{\delta}} - x_{\dot{e}} \operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}})^{\frac{1}{p}} - \frac{1}{p} z_{\dot{e}}^{\frac{1}{p-1}} \right] \right] \cdot H(f_3(x, z)); \\ \frac{du_{y\dot{e}}}{dt} = \frac{Q_{\dot{\delta}}^2 (p+1)^2 \cdot [(H_{\dot{\delta}} - x_{\dot{e}} \operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}}) - z_{\dot{e}}]^{\frac{1}{p}} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}} \cdot \operatorname{tg} \beta_{\dot{e}} \cdot (dx_{\dot{e}}^2 - ex_{\dot{e}} + f) \cdot p}{p^3 \cdot (dx_{\dot{e}}^2 - ex_{\dot{e}} + f)^3 (H_{\dot{\delta}} - x_{\dot{e}} \operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}})^{\frac{2}{p}}} \times \\ \times \left[\frac{(2dx_{\dot{e}} - e) [(H_{\dot{\delta}} - x_{\dot{e}} \operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}}) - z_{\dot{e}}]^{\frac{1}{p}}}{\operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}} \cdot (dx_{\dot{e}}^2 - ex_{\dot{e}} + f)} - \frac{z_{\dot{e}}^{\frac{1}{p}}}{(H_{\dot{\delta}} - x_{\dot{e}} \operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}})} - \left[(H_{\dot{\delta}} - x_{\dot{e}} \operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}})^{\frac{1}{p}} - \frac{1}{p} z_{\dot{e}}^{\frac{1}{p-1}} \right] \right] \cdot H(f_3(x, z)); \\ \frac{du_{z\dot{e}}}{dt} = \frac{Q_{\dot{\delta}}^2 (p+1)^2 \cdot [(H_{\dot{\delta}} - x_{\dot{e}} \operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}}) - z_{\dot{e}}]^{\frac{1}{p}} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}} \cdot (dx_{\dot{e}}^2 - ex_{\dot{e}} + f) \cdot p}{p^3 \cdot (dx_{\dot{e}}^2 - ex_{\dot{e}} + f)^3 (H_{\dot{\delta}} - x_{\dot{e}} \operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}})^{\frac{2}{p}}} \times \\ \times \left[\frac{(2dx_{\dot{e}} - e) [(H_{\dot{\delta}} - x_{\dot{e}} \operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}}) - z_{\dot{e}}]^{\frac{1}{p}}}{\operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}} \cdot (dx_{\dot{e}}^2 - ex_{\dot{e}} + f)} - \frac{z_{\dot{e}}^{\frac{1}{p}}}{(H_{\dot{\delta}} - x_{\dot{e}} \operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}})} - \operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}} \cdot \left[(H_{\dot{\delta}} - x_{\dot{e}} \operatorname{tg} \alpha_{\dot{e}})^{\frac{1}{p}} - \frac{1}{p} z_{\dot{e}}^{\frac{1}{p-1}} \right] \right] \cdot H(f_3(x, z)). \end{cases} \quad (11)$$

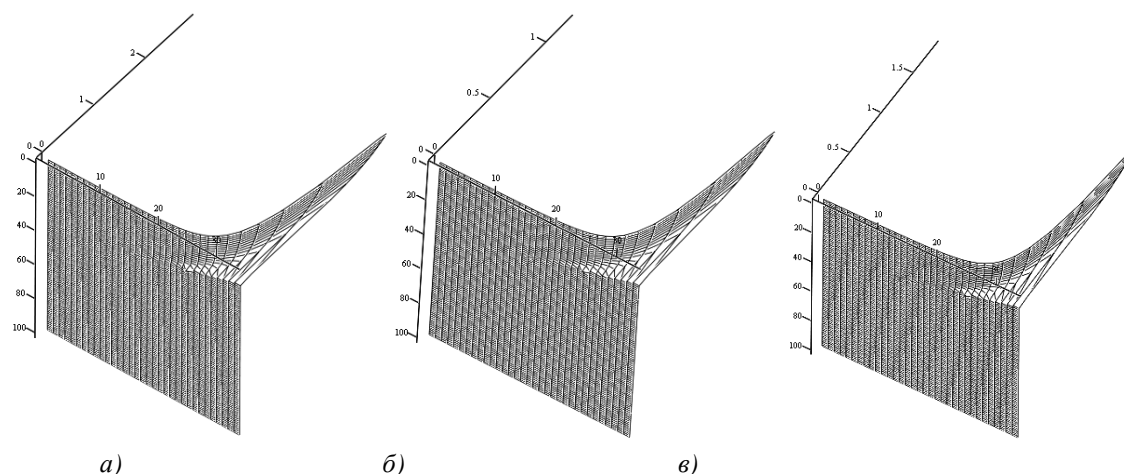


Рис. 5. Прискорення потоку на ділянці витікання:
а) за координатою x ; б) за координатою y ; в) за координатою z .

Ділянка витікання, відповідно до розробленої математичної моделі, характеризується збільшенням значень прискорень потоку за гіперболічним законом від близьких до нуля негативних, при переході з ділянки осадження, до максимальних позитивних у кінці ділянки витікання (рис. 5).

Висновок. Розроблена математична модель руху рідини в проточній частині класификатора гідравлічного горизонтального дозволяє отримати значення швидкостей і прискорень потоку в характерних ділянках процесу з урахуванням відомих моделей розподілення швидкості потоку за його глибиною. Отримана математична модель буде використана при описі процесу осадження твердих часток, які рухає прискорений несучий потік пульпи. Це дозволить обґрунтувати раціональні параметри пристроїв, які використовують для гравітаційної переробки зернистих матеріалів.

Список використаної літератури:

1. Франчук В.П. Теоретические основы процесса движения жидкости в классификаторе гидравлическом горизонтальном / В.П. Франчук, А.А. Бондаренко // Геотехническая механика : межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2014. – Вып. 114. – С. 185–191.
2. Богомолов А.И. Гидравлика : учебник / А.И. Богомолов, К.А. Михайлов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1972. – 648 с.
3. Кизевальтер Б.В. Теоретические основы гравитационных методов обогащения / Б.В. Кизевальтер. – М. : Недра, 1979. – 295 с.
4. Шкундин Б.М. Гидромеханизация в энергетическом строительстве / Б.М. Шкундин. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 224 с.
5. Ялтанец И.М. Гидромеханизация / И.М. Ялтанец, В.К. Егоров. – М. : Изд-во МГГУ, 1999.
6. Ландау Л.Д. Механика сплошных сред / Л.Д. Ландау, Е.М. Лившиц. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Гос. изд. технико-теоретической лит, 1954. – 795 с.

ФРАНЧУК Всеволод Петрович – доктор технічних наук, професор кафедри гірничих машин та інжинірингу Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» (ДВНЗ «НГУ»), м. Дніпропетровськ.

Наукові інтереси:

– розробка методів розрахунку гірничо-збагачувального обладнання.

Тел.: (0562) 47–45–53.

E-mail: franchukv@nmu.org.ua.

БОНДАРЕНКО Андрій Олексійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри гірничих машин та інжинірингу Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» (ДВНЗ «НГУ»), м. Дніпропетровськ.

Наукові інтереси:

– розробка методів розрахунку гірничо-збагачувального обладнання.

Тел.: (0562) 46–90–00.

URL: www.AABondarenko.narod.ru.

E-mail: bondarenkoa@nmu.org.ua.

Стаття надійшла до редакції 16.09.2013

Франчук В.П., Бондаренко А.О. Розробка математичної моделі руху потоку в класифікаторі гідравлічному горизонтальному

Франчук В.П., Бондаренко А.А. Разработка математической модели движения потока в классификаторе гидравлическом горизонтальном

Franchuk V.P., Bondarenko A.O. Development of mathematical model of stream motion in classifier hydraulic horizontal

УДК 622.271

Разработка математической модели движения потока в классификаторе гидравлическом горизонтальном / В.П. Франчук, А.А. Бондаренко

Качество природных нерудных песков, по физико-механическим свойствам редко соответствует действующим нормам. Поэтому требуется переработка горной массы. Одним из наиболее трудоемких процессов переработки, требующий более тщательного изучения, является процесс отделения песков от мелкодисперсных примесей. Выделение из исходной массы глинистых или илистых частиц традиционно выполняется в гравитационных аппаратах с горизонтальным движением несущего потока.

Процесс гравитационной переработки зернистых материалов в горизонтальном потоке пульпы сопровождается течением несущего потока в пределах разнонаклонных поверхностей, а также оттоком вниз сгущенной пульпы. Корректное описание процесса выполнено путем разработки математической модели движения потока в проточной части классификатора, с применением уравнения Эйлера для идеальной (невязкой) жидкости. В результате математического моделирования получены теоретические зависимости для скорости и ускорения потока, с учетом кривизны живых сечений, разделенного на характерные участки: разделения, осаждения, истечения.

Цель работы – разработка математической модели движения горизонтального потока на участках разделения, осаждения и истечения проточной части классификатора гидравлического горизонтального с учетом распределения потока по глубине.

Разработанная математическая модель позволяет получить значения скоростей и ускорений потока в характерных участках процесса, что позволит обосновать рациональные параметры устройства, применяемого для гравитационной переработки зернистых материалов.

Ключевые слова: гравитационное разделение, классификатор горизонтальный, математическое моделирование, поток жидкости.

УДК 622.271

Development of mathematical model of stream motion in classifier hydraulic horizontal / V.P. Franchuk, A.O. Bondarenko