

© Є.В. Семененко<sup>1</sup>, О.О. Медведєва<sup>1</sup>, В.Ю. Медяник<sup>2</sup>, А.С. Івлєв<sup>1</sup>, Б.О. Блюсс<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Дніпро, Україна

<sup>2</sup> Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

<sup>3</sup> Придніпровський науковий центр НАН та МОН України, Дніпро, Україна

## ОБҐРУНТУВАННЯ ВЕРХНЬОЇ МЕЖІ УТВОРЕННЯ УКОСУ ПРИ НАМИВІ ЯРУСІВ ХВОСТОСХОВИЩА

© Ye. Semenenko<sup>1</sup>, O. Medvedieva<sup>1</sup>, V. Medianyuk<sup>2</sup>, A. Ivlev<sup>1</sup>, B. Blyuss<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of NASciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

<sup>2</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

<sup>3</sup> Prydniprovsky Scientific Center of the National Academy of Science of Ukraine and Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, Ukraine

## JUSTIFICATION OF THE UPPER LIMIT OF SLOPE FORMATION WHEN WASHING THE TAIL STORAGE TIERS

**Мета.** В статті для умов складання відходів переробки мінеральної сировини в штучні сховища гідравлічними методами надано методику визначення відстані від нижньої кромки внутрішньої грані дамби обвалування вздовж ярусу наміву до точки де частинки заданої густини та крупності почнуть випадати з потоку на поверхню пляжу з урахуванням витрати та концентрації гідросуміші, уклону пляжу та коефіцієнту тертя ґрунту, з якого він утворився.

**Методика.** На відміну від методик, що існують, підхід, що використано в статті, передбачає визначення верхньої межі зони концентрації частинок конкретної фракції визначається з врахуванням критичного режиму течії, коли швидкість, при якій відбувається випадіння частинок з потоку, визначається гідравлічною крупністю частинок та ухилом поверхні дна потоку.

**Результати.** Встановлено залежність відносної верхньої межі утворення укосу при наміві ярусу від параметрів твердої фракції, витрати та об'ємної концентрації гідросуміші, що поступає з трубопроводу. Показано, що ця залежність має максимум, параметри якого визначаються густиною, діаметром та коефіцієнтом тертя твердих частинок, а також величиною розподіленої по довжині пляжу витрати гідросуміші.

**Наукова новизна.** Методика вперше враховує вплив на процес фракціонування матеріалу як густини частинок так, й, їх діаметрів, що дозволяє розраховувати межі залягання техногенних покладів та прогнозувати параметри й характеристики техногенних родовищ, що утворюються в сховищах відходів переробки мінеральної сировини.

**Практична значимість.** За допомогою формул, що наведено в статті, вперше можна визначити на поверхні пляжу наміву області де зони, в яких концентрується частинки тільки однієї фракції, перетинаються, тобто можливий розрахунок областей з сумісною концентрацією частинок декількох фракцій.

**Ключові слова:** пляж наміву, критичний режим течії, гідравлічна крупність, коефіцієнт тертя.

**Вступ.** Сховища продуктів переробки мінеральної сировини (ППМС) гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК) Криворізького залізорудного басейну

(Кривбасу) є потенційними джерелами корисних копалин та екологічного ресурсу, які можуть забезпечити сталий розвиток регіону при зниженні потужності ГЗК, що існують [1 – 8]. Корисні копали, що накопиченні в цих сховищах, можна поділити на:

- залишки мінеральної сировини, які не вилучили з первинної сировини;
- мінеральна сировина, яку не збиралися вилучати на збагачувальному виробництві, відходи якого складовані;
- технічна рідина, що була використана як несуче середовище при гідротранспорту та потрапила в масив тіла сховища;
- порода, що була видобута разом з рудою та сепарована на збагачувальному виробництві.

Залишки мінеральної сировини, що не вилучили з первинної сировини, складають основну частину техногенного покладу, які є першочерговими на видобуток, оскільки обладнання для їх переробки вже існує на промисловій площі біля сховища. Мінеральна сировина, яку не збиралися вилучати на збагачувальному виробництві, відходи якої складовані, є перспективним потенціалом для розвитку виробництва регіону. Наприклад, для Вільногірського гірничо-металургійного комбінату такою сировиною є каолінова глина, кварцовий та формовий пісок, а для ГЗК Кривбасу – дорогоцінні, рідкоземельні та радіоактивні метали. На збагачувальному виробництві сьогодні відсутнє обладнання для переробки та вилучення такої мінеральної сировини. Але переобладнання промислової площі дозволить продовжити існування підприємства після завершення переробки основної корисної копалини. Технічна рідина, що була використана як несуче середовище при гідротранспорту та потрапила в масив тіла сховища, до недавніх часів не розглядалася як корисна копалина, а враховуючи її хімічний склад, то навпаки вважалась екологічною загрозою. Однак, на наш погляд, кліматичні зміни, поступове потепління та наступ пустелі й напівпустелі на регіони колишнього землеробства вимагають зміни концепції, та більш раціонального ставлення до цього ресурсу. Порода, що була видобута разом з рудою та сепарована на збагачувальному виробництві, має деякі перспективи використання як нерудний та будівельний матеріал, сировина для закладки підземних порожнин та ландшафтних дизайнерських робіт.

До екологічного ресурсу сховищ ППМС можна віднести: площі земельних ділянок, які можна повернути в аграрний фонд після рекультивації або ліквідації сховища; площі ділянок на дамбі обвалування сховищ ППМС, які можуть бути використані для виробництва електричної енергії або вирощування корисних рослин. За результатами досліджень вітчизняних фахівців використання екологічного ресурсу сховищ ППМС може відбуватися як до розробки техногенних покладів, та й після його завершення. Але усі ці фактори, як перспективи вилучення мінеральних ресурсів, так, й перспектива залучення екологічного ресурсу, вказують на неминучість переробки та трансформування цих сховищ, а це неможливо без створення наукових основ та методичних рекомендацій, які базуються на закономірностях формування цих масивів, інформації про їх структуру та властивості. Насамперед необхідно для кожного типу твердих частинок, що складуються, визначити верхню межу утворення укусу при наміві ярусу, тобто відстань

від нижньої кромки внутрішньої грані дамби обвалування вздовж ярусу намиву до точки де ці частинки почнуть випадати з потоку на поверхню пляжу [8].

Технології, які використовувалися та продовжують використовуватися при експлуатації цих сховищ продуктів переробки (СПП) [1, 9 – 11], передбачали складування ППМС у вигляді гідросумішей низької концентрації, що при близьких значеннях густини частинок різних класів крупності ускладнює чітку сепарацію матеріалу на поверхні пляжу ярусу намиву. Таким чином, для ефективного використання цінних компонентів, які накопичено в СПП ГЗК Кривбасу, необхідно визначити межі розташування цих компонентів в товщі масиву СПП, що можливо зробити тільки теоретичним шляхом ґрунтуючись на методах розрахунку параметрів цих СПП як об'єктів гідротехнічного будівництва [1, 9 – 11].

**Формулювання цілі статті.** Таким чином метою статті є визначення відстані від нижньої кромки внутрішньої грані дамби обвалування вздовж ярусу намиву до точки, де частинки заданої густини та крупності почнуть випадати з потоку на поверхню пляжу з урахуванням витрати та концентрації гідросуміші, уклону пляжу та коефіцієнту тертя ґрунту, з якого він утворився.

**Основна частина.** До теперішнього часу відсутні методи розрахунку процесів формування надводного пляжу намиву, які враховують вплив як густини частинок, так, і, їх геометричної крупності. При гідротехнічному будівництві дамб гідроелектростанції та гребель різниця в густині твердих частинок, що використовуються для намиву, не впливає на процеси їх фракціонування. При проектуванні СПП ГЗК Кривбасу було використано саме ці методи розрахунку, при цьому впливом різниці в густині частинок породи та цінного компоненту знехтували, оскільки процес фракціонування не розглядався, тому що в минулому столітті при проектуванні та будівництві не планувалось видобувати цінні компоненти з дамб СПП.

Так результати досліджень свідчать про те, що основна маса частинок заліза відкладається в середній частині надводного пляжу [1, 9]. При цьому в міру віддалення від середини пляжу до місця випуску гідросуміші зростає ймовірність осадження великих фракцій продуктів переробки, і, навпаки, у ставка-відстійника – дрібних фракцій. При гідравлічному укладанні ППМС спостерігається зменшення середньої крупності частинок на початковій ділянці пляжу, яке відбувається через випадіння з потоку гідросуміші частинок з великою питомою вагою внаслідок підвищеного вмісту в них залізистих мінералів. Деякі фахівці пропонують середній вміст загального заліза у ППМС, складування яких здійснюється способом розподіленого намиву карт, визначати за наступною емпіричною залежністю [1, 9]:

$$Fe = 28,73 - 3,92x, \quad x = \frac{l}{L}, \quad (1)$$

де  $Fe$  – середній вміст заліза загального, %;  $L$  – довжина пляжу, м;  $x$  – відносна координата вздовж пляжу від місця випуску;  $l$  – координата вздовж пляжу від місця випуску, м.

З формули (1) слідує, що максимальний вміст заліза реалізується безпосередньо біля випуску та дорівнює 28,73 %, а мінімальний – наприкінці надводного пляжу та дорівнює 24,81 %. Це не набагато менше за вміст заліза за вагою в рудах та залізистих кварцитах Кривбасу, який змінюється від 30 до 46%, але цей матеріал вже подрібнений, в ньому розкриті зростки та підготований до сепарації. Однак формула (1), як це видно з рис. 1 [1, 9 – 11], може використовуватися не по всій довжині пляжу. Лінійна залежність, що використана у формулі (1), припустима в інтервалі відносної довжини від 0,2 до 0,8 (рис. 1). В той час, як на ділянці, що розташована ближче до дамби, густина матеріалу стрімко зростає, а на ділянці, що розташована ближче до ставу, – знижується. А саме на цих ділянках акумулюються компоненти, що містять, відповідно залізо та глину. На цей факт також вказують деякі нормативні документи, що використовувалися при проектуванні цих СПП (рис. 2) [1, 7, 12].

Відхилення фактичних значень крупності частинок від розрахункових на придамбову ділянку пляжу, що продемонстровано на рис. 2, рекомендації до проектних розрахунків пояснюють саме значним відхиленням від узагальненого значення густини фракцій, що там випадають з потоку. Але ці нормативні документи не пропонують методу врахування цього впливу при розрахунках, та пропонують використовувати діаграму, яка наведена на рис. 2. Для опису процесу формування техногенного розсипу на першому етапі відомо кілька моделей, що відрізняються між собою вихідними постулатами і припущеннями [1, 9]. Ці моделі дозволяють розрахувати середній ухил укосу і довжину пляжу, середню швидкість безнапірного потоку пульпи, а також розподіл вагових частинок фракцій по довжині пляжу. Найбільш поширеною з відомих моделей є методика В.А. Мелентьєва, яка рекомендує для розрахунку ухилу пляжу і швидкості течії пульпи наступні залежності [9 – 12]:

$$I = 0,2 \sqrt[3]{G_0(1-x_0)^3 Lx^2 \left(1-x_0^{\frac{5}{3}}\right) \sqrt{\frac{Vd_{50}}{Q_0^3}}}, \quad (2)$$

$$V = 1,95 \sqrt[3]{\frac{gG_0}{Lx^2}(1-x_0)}, \quad x_0 = \left[ \sum_{j=1}^{N-1} \Phi_{0j} + \frac{1}{2} \Phi_{0N} \right]^{\frac{3}{5}}, \quad (3)$$

де  $I$  – середній ухил укосу при розтіканні по пляжу;  $G_0$  – об'ємна витрата твердої фази, що поступає з трубопроводу, м<sup>3</sup>/с;  $x_0$  – відносна абсциса центру розсіювання часток твердої фази;  $d_{50}$  – діаметр частинок твердої фракції, відповідний 50 % вмісту, м;  $Q_0$  – витрата пульпи, що надходить на пляж з трубопроводу, м<sup>3</sup>/с;  $V$  – середня швидкість безнапірного потоку пульпи по схилу пляжу м/с;  $\Phi_{0j}$  – вагова частка  $j$ -ої фракції в гранулометричному складі твердої фази, що надходить з труби на пляж;  $N$  – кількість фракцій в гранулометричному складі твердої фази.

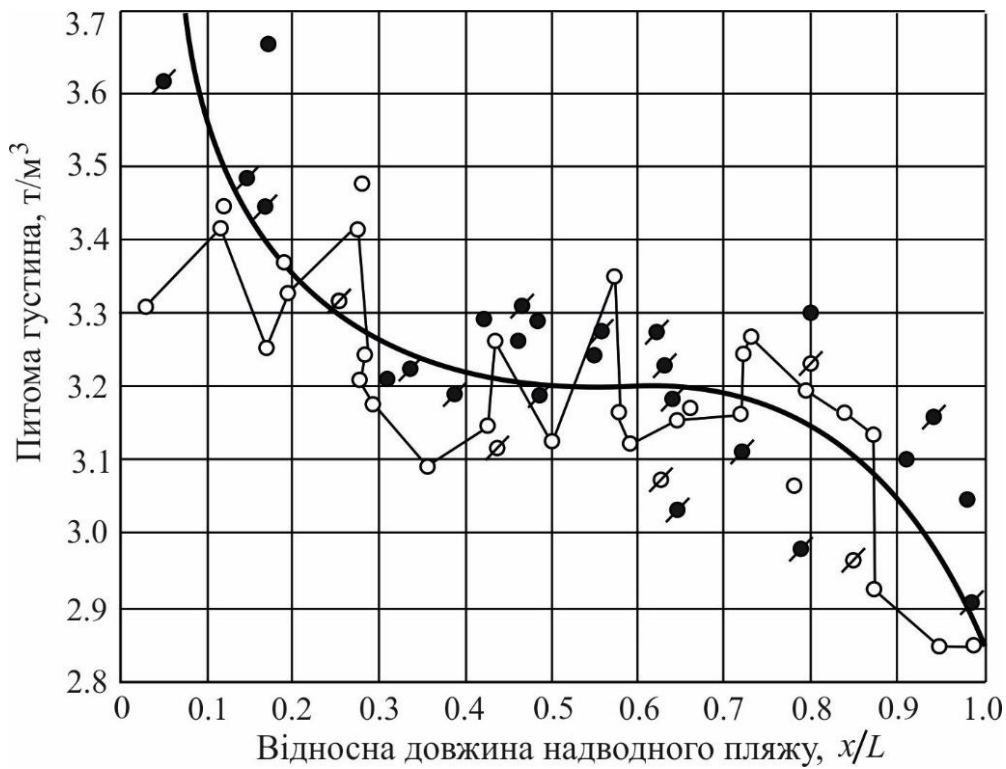


Рис. 1. Зміна питомої густини твердого компонента ППМС вздовж довжини надводного пляжу Південного ГЗК [1, 9 – 11]:

- – довжина пляжу 340 м; ● – довжина пляжу 800 м;
- – довжина пляжу 200 м; ∅ – довжина пляжу 123 м;

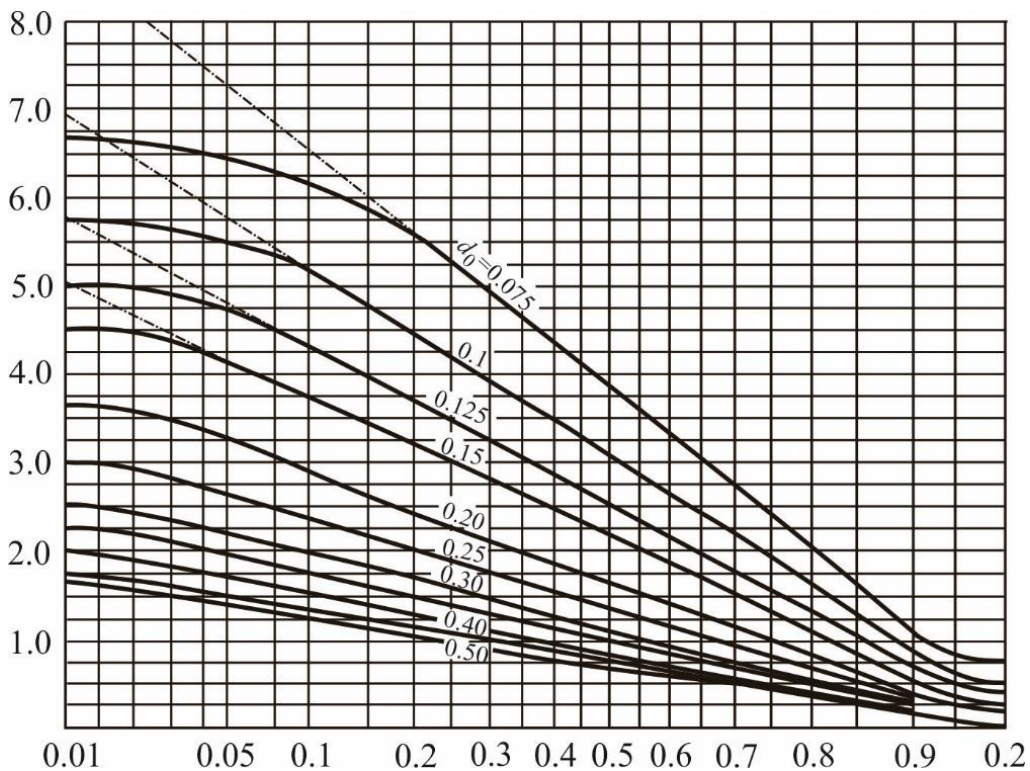


Рис. 2. Відносна середньозважена крупність твердих ППМС, що наміті, вздовж довжини пляжу, який сформовано [1, 7, 12]:

- – результати експериментів; - - - – результати розрахунків

Для опису процесу фракціонування твердих частинок по довжині пляжу за методикою В.А. Мелентьєва пропонуються наступні рекурентні формули:

$$\Phi_i = \frac{\varphi_{0i}\Phi_{0i}}{\sum \varphi_{0k}\Phi_{0k}}, \quad \varphi_{0i} = 1,4 \sqrt[4]{\frac{V_p d_{50}}{Q_0}} \sqrt[12]{Lx^2} \exp\left[-a \sqrt{\frac{V_p d_{50}}{Q_0}} \sqrt[6]{Lx^2} (x_{0i} - x)^2\right], \quad (4)$$

де  $\Phi_i$  – вагова частка  $j$ -ої фракції в гранулометричному складі, що надходить з труби на пляж;  $V_p$  – швидкість, при якій розмивається русло з частинок твердої фракції, м/с;  $a$  – параметр, що характеризує середньоквадратичне відхилення, визначається за даними гранулометричного складу твердої фази [9 – 12].

З формул (2) – (4) слідує, що вони передбачають розрахунки за узагальненою густиною твердого матеріалу. В той час, як визначення місця залягання техногенного покладу, визначається вмістом заліза, тобто саме підвищеною густиною твердих частинок. Але методи розрахунку параметрів ярусу намиву майже не розглядають це питання. Так досить велику увагу в літературних джерелах [1, 9 – 12] приділяють густині укладення ППМС в ярус намиву, розглядаючи пористість масиву, що утворено. Відповідні інструкції по складуванню продуктів переробки в штучних сховищах [9 – 11, 13] пропонують розраховувати густину покладів відповідно до формул (2) – (4) вважаючи, що густина фракцій гранулометричного складу в процесі фракціонування залишається незмінною. Тіж самі нормативні документи вказують на відхилення фактичних значень крупності частинок від розрахункових на придамбову ділянку пляжу саме за рахунок значного відхилення густини фракцій, що там випадають з потоку (див. рис. 1, 2) [9 – 11, 13].

Таким чином, методи розрахунку, що існують, не дозволяють розрахувати місця початку та закінчення техногенного покладу з достатньою точністю, та без додаткового удосконалення не можуть бути використаними.

Єдиним шляхом, який дозволяє визначити закономірність розподілу техногенних покладів у ППМС, що складовані в минули роки, є моделювання процесу намиву надводного укусу за параметрами технологій складування, що використовувались на той час. З усіх відомих методик моделювання цього процесу тільки дві можуть бути використані для визначення параметрів техногенних покладів – методика В.А. Мелентьєва та методика РСН 257-75. Бо окрім них жодна з методик не враховує різницю в густині частинок техногенного покладу та інших ППМС.

Методика РСН 257-75 пропонує розраховувати розподіл частинок ППМС по довжині надводного укусу за узагальненими характеристиками враховуючи тільки гранулометричний склад матеріалу. А розподіл густини твердих частинок розраховується за даними, які з фракцій мають вміст частинок з густиною, що суттєво відрізняється від узагальненого значення. Не врахування впливу густини на процес фракціонування, як свідчать результати експериментальних досліджень, призводить до похибки при визначенні діаметру частинок на початковій ланці укусу (див. рис. 1).

Методика В.А. Мелентьєва, на відміну від РСН 257-75, яка оснований на обробці статистичних даних, визначає розподіл твердого матеріалу по довжині надводного укусу з урахуванням взаємодії твердих частинок з потоком рідини, завдяки

обчисленню параметру силового впливу потоку, а тому має перспективу для модернізації та урахування густини твердих частинок техногенного покладу. Детальний аналіз цієї методики виявив наступні недоліки, що потребують виправлення:

- поверхня пляжу намиву розділяється на зони, в яких концентрується частинки тільки однієї фракції, та межі цих зон не перетинаються, що унеможливило розрахунок областей з сумісною концентрацією частинок декількох фракцій;

- медіана зони концентрації частинок конкретної фракції визначається середнім діаметром цієї фракції, що не враховує критичні режими течії, коли швидкість, при якій відбувається випадіння частинок з потоку, визначається гідравлічною крупністю частинок та ухилом поверхні дна потоку;

- довжина зони концентрації частинок конкретної фракції визначається середнім діаметром цієї фракції, що не враховує густину частинок та не дозволяє обчислити місця концентрації частинок однакової гідравлічної крупності, але різного геометричного діаметру.

Відповідно до нормативних документів, що використовувалися при проектуванні цих СПП [9 – 13], питомі витрати рідкої та твердої фаз безнапірного потоку СПП розраховуються за формулами:

$$q_w = \frac{W_0}{Lx^3}, \quad q_s = \frac{G_0}{Lx^3} \left( 1 - x^{\frac{5}{3}} \right), \quad (5)$$

де  $q_w$  – питома витрата рідкої фази безнапірного потоку СПП, м<sup>2</sup>/с;  $W_0$  – об'ємна витрата твердої фази, що поступає з трубопроводу, м<sup>3</sup>/с;  $q_s$  – питома витрата твердої фази безнапірного потоку СПП, м<sup>2</sup>/с.

Оскільки витрата гідросуміші утворюється з витрат кожної з фаз

$$q = q_w + q_s, \quad (6)$$

то, враховуючи формули (5), після проведення відповідних перетворень отримаємо наступну залежність:

$$q = q_0 \frac{1 - C_0 x^3}{x^3}, \quad q_0 = \frac{W_0 + G_0}{L}, \quad (7)$$

де  $q$  – питома витрата гідросуміші, м<sup>2</sup>/с;  $q_0$  – розподілена по довжині пляжу витрата гідросуміші, м<sup>2</sup>/с;  $C_0$  – об'ємна концентрація гідросуміші, що поступає з трубопроводу.

Питома витрата гідросуміші, відповідно до свого визначення, розраховується як добуток середньої швидкості гідросуміші та висоти потоку

$$q = Vh, \quad (8)$$

які пов'язані між собою законом Шезі [9 – 13].

$$V = \frac{h^m}{n} \sqrt{hI}, \quad (9)$$

де  $V$  – узагальнена по висоті потоку швидкість гідросуміші в поточному перерізі, м/с;  $h$  – висота потоку гідросуміші в поточному перерізі, м;  $m, n$  – коефіцієнти в формулі Павловського [9 – 13].

Розглянувши сумісно формули (8) і (9) та виключивши з них глибину потоку, після відповідних перетворень отримаємо залежність питомої витрати гідросуміші від її швидкості:

$$q = \left( \frac{n}{\sqrt{I}} \right)^{1+2m} V^{\frac{2}{1+2m}}. \quad (10)$$

Порівнявши формули (7) і (10), після відповідних перетворень, отримаємо залежність швидкості гідросуміші від його довжини:

$$V = V_0 \left( \frac{1 - C_0 x^{\frac{5}{3}}}{\frac{2}{x^3}} \right)^{\frac{1+2m}{3+2m}}, \quad V_0 = \left( \frac{\sqrt{I}}{n} \right)^{\frac{2}{3+2m}} q_0^{\frac{1+2m}{3+2m}}, \quad (11)$$

де  $V_0$  – фіктивна швидкість гідросуміші в початковому перерізі, м/с.

Випадання частинок твердої фази з конкретним діаметром та густиною частинок не відбувається на ділянці пляжу де швидкість гідросуміші, яка розрахована за формулою (11), буде більше критичної швидкості гідротранспортування, або швидкість, при якій розмивається русло з частинок твердої фракції [13 – 15]:

$$V_P = w \sqrt{\mu - I}, \quad w = \sqrt{\frac{2gd}{C_x} Ar}, \quad (12)$$

де  $w$  – умовна гідравлічна крупність частинок твердої фракції;  $\mu$  – коефіцієнт тертя;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $Ar$  – параметр Архімеда частинок твердої фракції;  $d$  – діаметр частинок твердої фракції;  $C_x$  – коефіцієнт гідравлічної сили лобового опору [15].

Підставивши формули (1.16) і (1.19) в нерівність

$$V \geq V_P, \quad (13)$$

та виконавши відповідні перетворення, отримаємо наступну нерівність для визначення координати перерізу в якому частинки твердої фази почнуть випадати на дно потоку:

$$1 - C_0 x^{\frac{5}{3}} - C_w x^{\frac{2}{3}} \geq 0, \quad C_w = \left( \frac{w}{V_0} \sqrt{\mu - I} \right)^{\frac{3+2m}{1+2m}}. \quad (14)$$



Розв'язання рівняння (14) в граничних випадках наведено в таблиці 1. Для отримання розв'язання в загальному випадку приведемо нерівність до більш раціонального вигляду. Нескладними перетвореннями нерівність (14) легко приводиться до виду, який дозволяє її подальший аналіз:

$$s^5 + \theta s^2 - 1 \leq 0, \quad s = \sqrt[5]{C_0} x^{\frac{1}{3}}, \quad \theta = \frac{C_w}{\sqrt[5]{C_0^2}}. \quad (15)$$

Таблиця 1

Розв'язання рівняння (14) в граничних випадках

Умови граничного випадку	Формула для обчислення кореню
$C_0 \rightarrow 0$	$x \leq \frac{1}{\sqrt{C_w^3}}$
$C_w \rightarrow 0$	$x \leq \frac{1}{\sqrt[5]{C_0^3}}$

Рівняння (15) може бути розв'язано тільки чисельними методами, при цьому, його єдиний корінь існує на інтервалі (рис. 3)

$$s^* < s_p \leq s^{**}, \quad s^* = \frac{\theta^{\frac{3}{4}}}{\sqrt{1 + \theta^2}}, \quad s^{**} = \frac{1}{\sqrt{\theta}},$$

де  $s^*$  – нижня межа інтервалу існування кореня рівняння (15) (рис. 3);  $s_p$  – корінь рівняння (15);  $s^{**}$  – верхня межа інтервалу існування кореня рівняння (15) (рис. 3).

Результати чисельних розрахунків для параметру  $\theta$  менших 2 вказують, що залежність кореня рівняння (15) від  $\theta$ , з високим ступенем точності може бути апроксимована експоненціальною функцією (рис. 4):

$$s_p = \frac{1}{e^{0,209\theta}}. \quad (16)$$

Враховуючи формули (15) залежність (16) може бути представлена в наступному вигляді (рис. 5)

$$x_p = \frac{1}{\sqrt[5]{C_0^3}} e^{-0,627 \frac{C_w}{\sqrt[5]{C_0^2}}}, \quad (17)$$

де  $x_p$  – відносна верхня межа утворення укусу при наливі ярусу для частинок с параметрами, що задані.

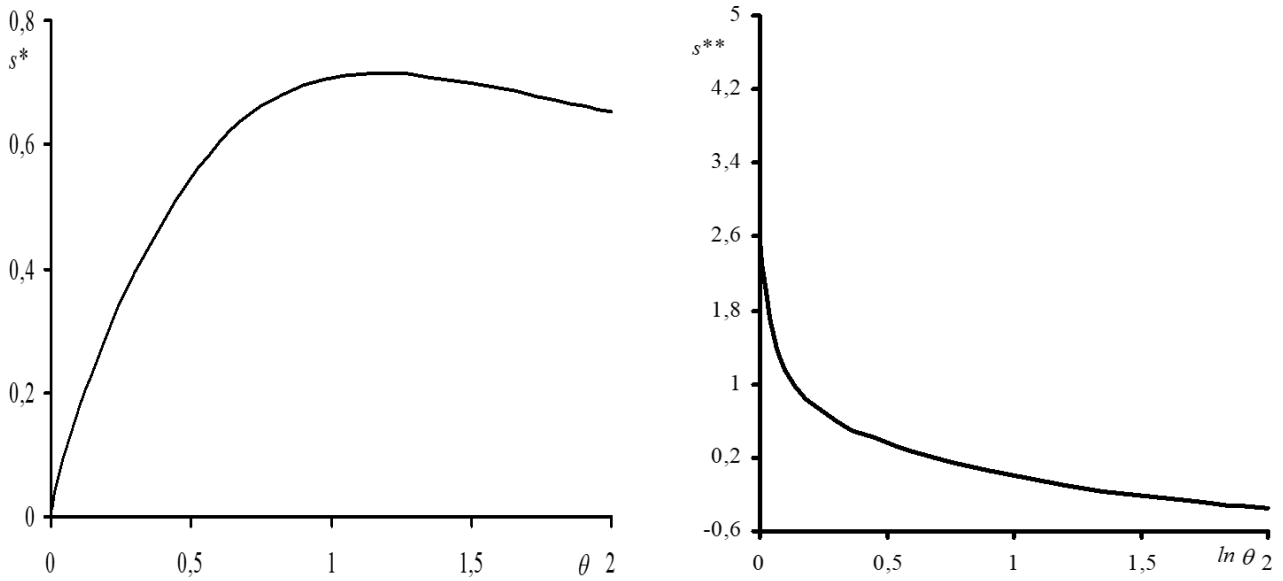


Рис. 3. Залежність нижньої та верхньої межі інтервалу існування кореня рівняння (15) від параметру  $\theta$

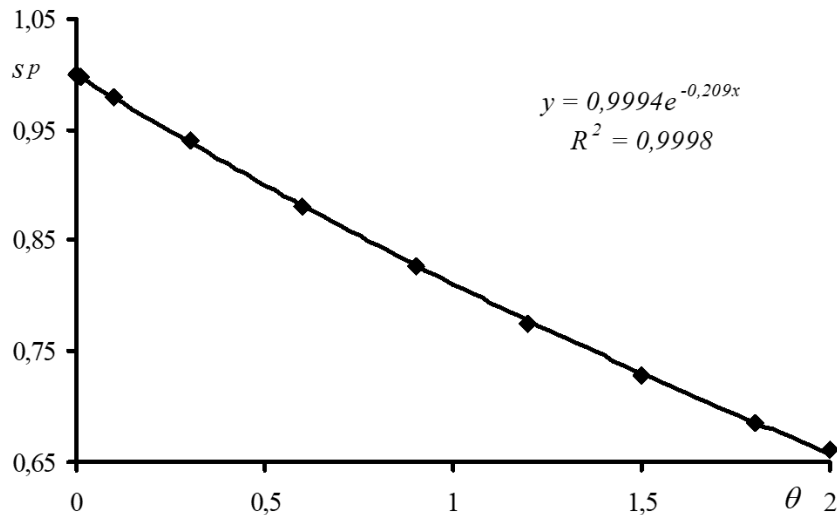


Рис. 4. Залежність кореня рівняння (15) від параметру  $\theta$

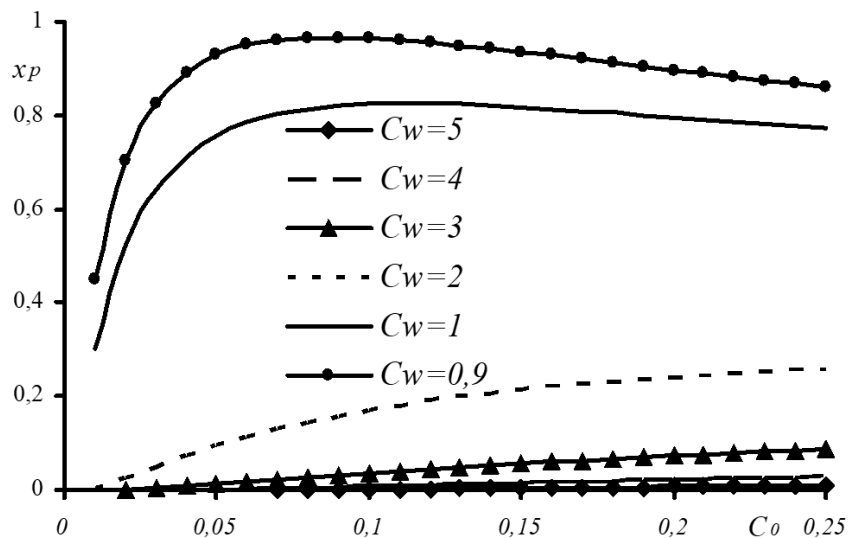


Рис. 5. Залежність відносної верхньої межі утворення укусу при наливці ярусу від об'ємної концентрації гідросуміші, що поступає з трубопроводу

З рис. 6 видно, що залежність  $x_p$  від об'ємної концентрації гідросуміші, що поступає з трубопроводу, при деяких значеннях параметру  $C_w$ . Результати аналітичних досліджень залежності (17) на екстремуми вказують на існування у цієї функції максимуму з наступними параметрами (рис. 6):

$$C_M = 0,113\sqrt{C_w^5}, \quad x_M = \frac{0,826}{\sqrt{C_w^3}}, \quad (18)$$

де  $C_M$  – об'ємна концентрація гідросуміші, що поступає з трубопроводу, при якій реалізується максимальне значення  $x_p$ ;  $x_M$  – максимально можливе значення відносної верхньої межі утворення укусу при наливі ярусу для частинок с параметрами, що задані.

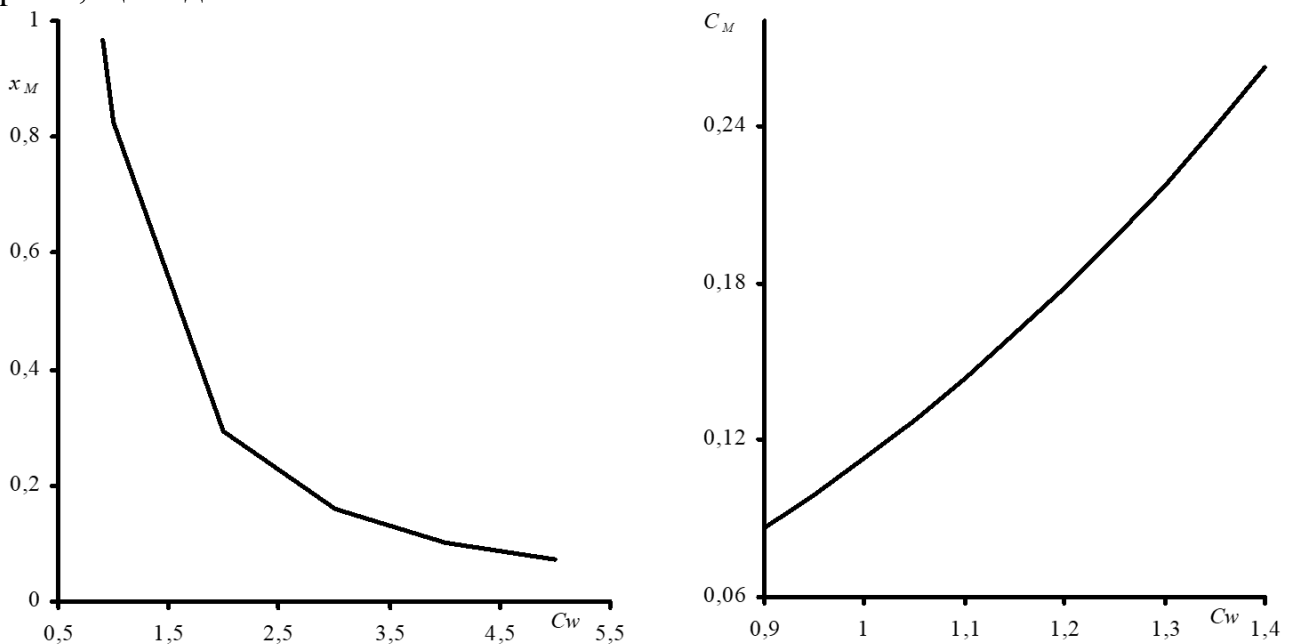


Рис. 6. Залежність максимально можливого значення відносної верхньої межі утворення укусу при наливі ярусу та об'ємної концентрації гідросуміші, що поступає з трубопроводу, при якій реалізується це максимальне значення від параметру  $C_w$

Таким чином, за допомогою формул (11), (12), (14) та (17) стає можливим розрахувати відстань від нижньої кромки внутрішньої грані дамби обвалування вздовж ярусу наливу до точки, де частинки заданої густини та крупності почнуть випадати з потоку на поверхню пляжу з урахуванням витрати та концентрації гідросуміші, уклону пляжу та коефіцієнту тертя ґрунту, з якого він утворився. А з використанням формул (11), (12), (14) та (18) оцінити максимально можливу верхню межу утворення укусу при наливі ярусу, визначити можливі обмеження на об'ємну концентрацію гідросуміші, що поступає з трубопроводу, та дослідити сумісний вплив густини та крупності твердих частинок на параметри максимуму цієї межі.

Виконуючи розрахунки за формулами (11) – (18) для кожної фракції частинок, що характеризуються своїми значеннями густини та діаметром, можна визначити для кожної з фракцій значення верхню межу утворення укусу при наливі ярусу та встановити які з фракцій будуть сумісно створювати поверхню пляжу, та розробити рекомендації по видобутку відповідних техногенних покладів.

**Висновки.** В статті для умов складування відходів переробки мінеральної сировини в штучні сховища гідравлічними методами надано методіку визначення відстані від нижньої кромки внутрішньої грані дамби обвалування вздовж ярусу наливу до точки де частинки заданої густини та крупності почнуть випадати з потоку на поверхню пляжу з урахуванням витрати та концентрації гідросуміші, уклону пляжу та коефіцієнту тертя ґрунту, з якого він утворився. Методика вперше враховує вплив на процес фракціонування матеріалу як густини частинок так, і, їх діаметрів, що дозволяє розраховувати межі залягання техногенних покладів та прогнозувати параметри й характеристики техногенних розсіпів, що утворюються в сховищах відходів переробки мінеральної сировини. За допомогою формул, що наведено в статті, вперше можна визначити на поверхні пляжу наливу області, де зони, в яких концентруються частинки тільки однієї фракції, перетинаються, тобто можливий розрахунок областей з сумісною концентрацією частинок декількох фракцій. Вперше верхня межа зони концентрації частинок конкретної фракції визначається з врахуванням критичного режиму течії, коли швидкість, при якій відбувається випадіння частинок з потоку, визначається гідравлічною крупністю частинок та ухилом поверхні дна потоку.

#### Перелік посилань

1. Медведева, О.О. (2021). *Розвиток наукових основ ресурсозберігаючих технологій гідромеханізованої розробки техногенних родовищ* (дисертація на здобуття доктора технічних наук, спеціальність 05.15.09 – Геотехнічна і гірнична механіка). Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України.
2. Медяник, В.Ю., Нетеча, М.В., & Демченко, Ю.І. (2015). Комплексний видобуток і використання корисних копалин. *Розробка родовищ*, 9, 93-100.
3. Шапарь, А.Г., Вілкул, А.Ю, Копач, П.І., & Якубенко, Л.В. (2012). *Формирование и разработка техногенных месторождений железных и марганцевых руд*. Монолит.
4. Медведева, О.А. (2012). Проблемы дальнейшей эксплуатации хранилищ отходов обогащения Кривбасса и теоретические предпосылки их решения. *Геотехническая механика*, 97, 155-161.
5. Медведева, О.А. (2014). Технологические решения по разработке техногенных месторождений ГОКов Кривбасса. *Форум гірників – 2014: Матеріали міжнарод. конф., жовтень 2014 р.*, 154-161.
6. Медведева, О.А. (2012). Анализ и современное состояние хранилищ продуктов переработки минерального сырья. *Збагачення корисних копалин*, 51(92), 22-29.
7. Блюсс, Б.А., Семененко, Е.В., & Медведева, О.А. (2017). Методы управления параметрами техногенных месторождений при складировании плотных пульп отходов обогащения. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*, 2(20), 71-80.
8. Блюсс, Б.А., Семененко, Е.В. & Медведева, О.А. (2016). Технологии восстановления аккумуляющей способности хранилищ отходов обогащения. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*, 1(17), 72-80.

9. *ИС 21-26.3-567-81. Система напорного гидротранспорта отходов чугунолитейного производства. Инструкция по гидравлическому расчету* (1982). Минстройматериалов СССР и ИГМ АН УССР.
10. *РСН 275-75. Временные указания по технологии возведения намывных хвостохранилищ горно-обогатительных комбинатов* (1975). Госстрой УССР.
11. *Методика расчета гидротранспортных установок для транспорта и намыва хвостов железорудных ГОКов* (1970). НИИСП Госстроя УССР.
12. *Рекомендации по намыву шламов (хвостов) в плотины и дамбы шламохранилищ железорудных горно-обогатительных комбинатов* (1969). Госстрой УССР.
13. Евдокимов, П.Д., & Сазонов, Г.Т. (1978). *Проектирование и эксплуатация хвостовых хозяйств обогатительных фабрик*. Недра.
14. Семенов, Е.В. (2011). *Научные основы технологий гидромеханизации открытой разработки титан-цирконовых россыпей*. Наукова думка.
15. Пучков, Л.А., Михеев, О.В., Казаков, С.П., Сенкус, В.В., & Атрушкевич, В.А. (2008). *Гидротранспортные системы горнодобывающих предприятий*. Изд-во Московского государственного горного университета.

#### ABSTRACT

**Purpose.** The method of determining the distance from the inner facelower edge of the embankment dam along the level of the wash to the point where particles of a given density and size will begin to fall from the flow to the dusting surface of the of washout, taking into account the flow rate and concentration of the water mixture, the slope of dusting surface of washout and the coefficient of friction of the soil from which it was formed in the article, for the conditions of collecting waste from mineral raw materials processing into artificial storages using hydraulic methods.

**Methodology.** In contrast to existing methods, the approach used in the article provides for the upper limit determination of the particles concentration zone of a specific fraction, determined taking into account the critical flow regime, when the speed at which particles fall out of the flow is determined by the hydraulic particle size and the slope of the bottom surface flow.

**Results.** The dependence of the relative upper limit of the slope during washing formation of the layer on the solid fraction parameters, the flow rate and the volumetric concentration of the water mixture coming from the pipeline was established. The dependence has a maximum, the parameters of which are determined by the density, diameter and friction coefficient of solid particles, as well as the value of the flow of the water mixture distributed along the length of the beach is shown.

**Scientific novelty.** For the first time, the technique takes into account the influence on the material fractionation process of both particle density and their diameters. This makes it possible to calculate the occurrence of man-made deposits limits and predict the parameters and characteristics of man-made deposits formed in mineral raw material processing waste storages.

**Practical significance.** For the first time it is possible to determine on the dusting surface of washout where the zones in which the particles of only one fraction are concentrated intersect, though it is possible to calculate the areas with a combined concentration of several fractions particles with the help of the formulas given in the article.

**Keywords:** *dusting surface of washout, critical flow regime, hydraulic coarseness, friction coefficient*