

М.В. ШОЛОХ, канд. техн. наук, доц., М.П. СЕРГЄЄВА, ст. викладач  
Криворізький національний університет

## **ФАКТОР ВПЛИВУ ПРИРОДНО-ПРОСТОРОВОГО РОЗМІЩЕННЯ МІНЛИВОСТІ ВМІСТУ ЯКІСНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КОРИСНИХ КОПАЛИН НА ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС УСЕРЕДНЕННЯ**

**Мета.** Метою роботи є розробка методу маркшейдерського забезпечення робіт для визначення втрат балансово-промислових запасів, засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин і величин впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві запасів і розпушеній залізородній масі на однорідність якісно-технологічних показників.

**Методи дослідження.** Формування товарної залізородної маси відбувається під впливом втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин. Виконується розрахунок ознак усереднення впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників використання одиничних потоків розпушеної залізородної масі.

**Наукова новизна.** Отримано вирази, які характеризуються процесами усереднення впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників, втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин при роботі окремих видобувних одиниць. При роботі окремої видобувної одиниці кількість і якість видобутої залізородної маси, втрачених балансово-промислових запасів, засмічуючих порід і вміст якісно-технологічних показників усередненого корисного компоненту, пов'язаного з магнетитом, розглядається як випадковий процес. Для характеристики впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеній залізородній масі використовується математичний апарат теорії випадкових функцій, а показниками приймається кореляційна функція.

**Практична значимість.** З урахуванням гірничо-геологічних умов видобутку балансово-промислових запасів виконується оцінка впливу втрат і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин на однорідність якісного складу товарної залізородної маси, яка надходить із заборів окремих видобувних одиниць. При розрахунках показників однорідності вмісту якісно-технологічних показників складових розпушеної залізородної маси враховується вплив втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних компонентів у залізородній масі на процес усереднення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин.

**Результати.** Розроблено методику і виконано моделювання об'ємно-кількісних характеристик ознак вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин дільниць рудного тіла і покладу родовища залізистих кварцитів відосблених і взаємозалежних динамічних рядів для прогнозування якісно-технологічних показників залізородного Кривбасу. Видано рекомендації стосовно технології прогнозування з невеликими інтервалами дискретності впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників.

**Ключові слова:** Запаси, корисні копалини, вміст якісно-технологічних показників, втрати, засмічення.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-106-30-36

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Розробка дільниць рудного тіла і покладу родовища залізистих кварцитів супроводжується втратами балансово-промислових запасів і засміченням вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у розпушеній залізородній масі [1; 10]. Втрати балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у залізородній масі безпосередньо і істотно впливають на однорідність вмісту якісно-технологічних показників корисного компоненту, пов'язаного з магнетитом [2–4]. Під впливом втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у розпушеній залізородній масі зростають коливання вмісту корисних компонентів у потоці.

**Аналіз досліджень і публікацій.** При розрахунках показників однорідності якісно-технологічних складових залізородної маси при експлуатації гірничодобувних підприємств враховується вплив втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у залізородній масі на процес усереднення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин [5; 6]. У зв'язку із цим актуальні завдання вивчення процесів втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у залізородній масі, виявлення закономірностей їх утворення і протікання в часі при різних системах і способах видобутку балансово-промислових запасів дільниць рудного тіла і покладу залізородного родовища.

**Постановка завдання.** Виникає питання, як однорідність якісно-технологічних характеристик складових залізорудної маси, пов'язана із втратами балансово-промислових запасів і засміченням вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин. Однорідність якісно-технологічних характеристик складових загальнорудничного потоку залізорудної маси залежить від однорідності одиничних потоків, які надходять із забоїв окремих видобувних одиниць. В свою чергу, формування кожного з одиничних потоків залізорудної маси відбувається під впливом втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у залізорудній масі. Тому з урахуванням впливу втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у залізорудній масі виконується, в першу чергу, розрахунок показників усереднення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин.

**Викладення матеріалу та результати.** Для розв'язку цієї задачі скористаємося дослідженнями [7; 8; 11] в яких виразами балансу об'єму залізорудної маси і балансу вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом, при видобутку балансово-промислових запасів справедливі для будь-яких ділянок рудного тіла і покладу залізорудного родовища, яке технологічно відпрацьовується. Використаємо для оцінки кількості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом і вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у залізорудній масі, видобутої однією видобувною одиницею у певний період часу (година, зміна, доба). Стосовно роботи однієї видобувної одиниці в  $i$ -у зміну вирази мають показники видобутку і втрат балансово-промислових запасів, засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин і вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом, які встановлені для ділянок родовища, відпрацьованого в  $i$ -у зміну [12]. Мінливість показників  $D_i, P_i, B_i, C_i$  розглядається як випадкова функція, яка змінюється протягом розглянутого періоду (місяць, квартал і інше). Це значить, що при роботі окремої видобувної одиниці кількість і якість видобутої залізорудної маси, втрачених балансово-промислових запасів, кількість засмічуючих порід і вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом, розглядається як випадковий процес і для характеристики використовується математичний апарат теорії випадкових функцій. У якості показників характеристик процесів втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин приймаються відповідно кореляційні функції  $r_{dt}, r_{mt}, r_{bt}$ . Значення залежної мінливої, яка визначається, вираз для балансу кількості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом, при видобутку  $i$ -ої ділянки покладу корисних копалин з масиву залізистих кварцитів прийме вид

$$D_i a_i = D_i c_i + P_i c_i + B_i b_i - V_i c_i - P_i c_{Pi}. \quad (1)$$

Визначається коваріаційна функція правої і лівої частин рівності (1). Задача розв'язується у загальному виді з урахуванням взаємної кореляції всіх випадкових функцій  $D_i, P_i, B_i, C_i$  і т. д. [13]. Визначення впливу втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин на технологічні процеси видобутку та усереднення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин приводить до необхідності розширення і поглиблення уявлень про сутність втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин. Засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин розглядається як процес залучення до видобутку пустих порід, некондиційної залізорудної маси і забалансових за вмістом якісно-технологічних показників корисних копалин запасів наведено в таблиці 1. Для характеристики процесу засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин використовується математичний апарат теорії випадкових функцій. Тому обмежимося розглядом характерного випадку видобутку балансово-промислових запасів, при якому випадкові функції  $D_i, P_i, B_i$  є взаємно корелюючими, а всі інші випадкові функції, що входять у вираз (1), будуть вважатися некорелюючими [14]. Для цих умов, враховується, що  $X$  і  $X'$  є значення випадкової функції, яка відноситься до різних моментів часу  $t$  і  $t'$  (до різних перетинів випадкової функції), отримується

$$\begin{aligned}
r_{DD}r_{aa} &= \overline{DD}r_{aa} + \overline{aa}r_{DD} = r_{DD}r_{cc} + \overline{DD}r_{cc} + \overline{cc}r_{DD} + r_{III}r_{cc} + \overline{III}r_{cc} + \\
&+ \overline{cc}r_{III} + r_{BB}r_{cc} + \overline{BB}r_{cc} + \overline{cc}r_{BB} + r_{III}r_{c_{IIc_{II}}} + \overline{III}r_{c_{IIc_{II}}} + \overline{c_{II}c_{II}}r_{III} + \\
&+ r_{BB}r_{bb} + \overline{BB}r_{bb} + \overline{bb}r_{BB} + 2r_{Dc,IIc} - 2r_{Dc,Bc} - 2r_{Dc,IIc_{II}} + 2r_{Dc,Bb} - 2r_{IIc,Bc} - \\
&- 2r_{IIc,IIc_{II}} + 2r_{IIc,Bb} + 2r_{Bc,IIc_{II}} - 2r_{Bc,Bb} - 2r_{IIc_{II},Bb},
\end{aligned} \quad (2)$$

де  $r_{x^y, z^u}$  – взаємна коваріаційна функція добутку  $X \times Y$  і  $Z \times U$  випадкових функцій  $X, Y, Z, U$ ;  $M[X]=X$  – математичне очікування випадкової функції  $X$ .

Таблиця 1

Засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин стосовно до умов розробки дільниць рудного тіла і покладів Криворізького залізорудного родовища

Група	Підгрупа	Вид
I. Засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у залізорудній масі на стадії розпушення масиву балансово-промислових запасів	I.1. Внаслідок залучення порід при відбійці (видобутку)	I.1.1. Від порід всячого і лежачого боків (покрівлі, підшві), по контурах дільниць рудного тіла і покладу родовища, прошарку корисних копалин I.1.2. Від внутрішньо контурних включень більше встановлених кондицій I.1.3. Від закладного матеріалу (сухої гідралічної закладки, що твердіє і т. п.), залежаних і завалених порід з боку раніше відпрацьованих блоків, камер I.1.4. Від залучення порід при роздільній відбійці корисних копалин і у прохідницьких забоях
	I.2. Внаслідок залишення частини багатих корисних копалин	I.2.1. Від втрат балансово-промислових запасів більш багатих корисних копалин (у рудних прошарках на днищі блоків, підшві, покрівлі камер, у лежачого боку) I.2.2. Від обвалення порід всячого і лежачого боків і руйнування днищ блоків
II. Засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у залізорудній масі після розпушення масиву балансово-промислових запасів	II.1. В очисних забоях від примішування відбитих або порід, що обрушилися	II.1.1. Від обвалення порід всячого і лежачого боків, по контурах дільниць рудного тіла і покладу родовища, при випуску з камер II.1.2. Від проникнення в корисну копалину, що налягають і бічних порід при випуску із блоків II.1.3. Від обвалення порід покрівлі у відкритих камерах при навантаженні II.1.4. Від втрат балансово-промислових запасів: більш багаті частини відбитих корисних копалин (зокрема, залізорудному дріб'язку) на підшві камер, уступів, на лежачому боці, на днищі блоку, внутрішньо-контурних включень, не предметів видобутку II.1.5. Від обвалення закладного матеріалу (закладки, що твердіє) або злежалих завалених порід з боку раніше відпрацьованих блоків II.1.6. Від змішування з породами при роздільному видобутку
	II.2. У місцях перевантаження, складування, попередньої концентрації і сортування	II.2.1. Від залучення порід при перевантаженні, складуванні і навантаженні II.2.2. Від втрат балансово-промислових запасів багатого дріб'язку при складуванні і навантаженні II.2.3. Від залучення породи із прохідницьких вибоїв II.2.4. Від зайвого виділення багаті фракції при попередній концентрації і сортуванні

Взаємні коваріаційні функції визначаються наступним способом

$$r_{Dc,IIc} = M[D_c II_c] - M[D_c]M[II_c] = \overline{DII}c^2 - \overline{D_c} \overline{II_c} = DII\sigma_c^2 r_{DII}(\sigma_c^2 + c^2), \quad (3)$$

де  $r_{DII}$  – взаємна коваріаційна функція випадкових функцій  $D_i$  і  $II_i$ .

$$\begin{aligned}
&\text{Згідно досліджень [11] аналогічно отримується } r_{Dc,IIc} = \overline{DII} \sigma_c^2 + (\sigma_c^2 + c^2) r_{DII}; \\
&r_{Dc,IIc_{II}} = \overline{c_{II}c_{II}} r_{DII}; \quad r_{Dc,Bb} = \overline{c_{II}b} r_{DII}; \quad r_{IIc,Bc} = \overline{IIc} \sigma_c^2 + (\sigma_c^2 + c^2) r_{IIc}; \quad r_{IIc,IIc_{II}} = \overline{c_{II}c_{II}} \sigma_{II}^2; \quad r_{IIc,Bb} = \overline{c_{II}b} r_{IIc}; \\
&r_{Bc,IIc_{II}} = \overline{c_{II}c_{II}} r_{IIc}; \quad r_{Bc,Bb} = \overline{c_{II}b} \sigma_B^2; \quad r_{IIc_{II},Bb} = \overline{c_{II}b} r_{IIc}.
\end{aligned}$$

Підставивши отримані значення коваріаційних функцій у вираз (2) і розв'язуючи його відносно  $r_{aa}$ , будемо мати

$$\begin{aligned}
r_{aa'} = & \frac{1}{r_{DD'} + \overline{DD'}} [(r_{cc'} + \overline{c\bar{c}}')(r_{DD'} + r_{III'} + r_{BB'}) + r_{cc'}(\overline{DD'} + \overline{PPP'} + \overline{BB'}) + \\
& + r_{c_{II}c'_{II}}(r_{III'} + \overline{PPP'}) + r_{bb'}(r_{BB'} + \overline{BB'}) + (\overline{c\bar{c}}' - 2\overline{c\bar{c}}_{II'})r_{III'} + (\overline{b\bar{b}}' - 2\overline{c\bar{c}}_{II'})r_{BB'} - \\
& - \overline{a\bar{a}}'r_{DD'} + 2r_{DII}(\sigma_C^2 + \overline{c\bar{c}}^2 - \overline{c\bar{c}}_{II}) - 2r_{ДВ}(\sigma_C^2 + \overline{c\bar{c}}^2 - \overline{c\bar{c}}_{II}) - \\
& - 2r_{ПВ}(\sigma_C^2 + \overline{c\bar{c}}^2 - \overline{c\bar{c}}_{II} - \overline{c\bar{c}}_{II}\overline{b\bar{b}}) + 2\sigma_C^2(\overline{DPII} - \overline{ДВ} - \overline{ПВ})].
\end{aligned} \tag{4}$$

Отриманий вираз показує, яким чином пов'язані між собою показники впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників використання корисного компонента, пов'язаного з магнетитом у надрах, що характеризують процеси втрат балансово-промислових запасів, засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин і усереднення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин при роботі окремої видобувної одиниці. В окремому випадку при  $t=t'$  формула (4) перетвориться у формулу для визначення дисперсії вмісту якісно-технологічних показників усередненого корисного компонента, пов'язаного з магнетитом у розпушеній залізородній масі

$$\begin{aligned}
\sigma_a^2 = & \frac{1}{\sigma_D^2 + \overline{D}^2} [(\sigma_C^2 + \overline{c\bar{c}}^2)(\sigma_D^2 + \sigma_{II}^2 + \sigma_B^2) + \sigma_C^2(\overline{D}^2 + \overline{P}^2 + \overline{B}^2) + \\
& + \sigma_{c_{II}c'_{II}}(\sigma_{II}^2 + \overline{P}^2) + \sigma_b^2(\sigma_B^2 + \overline{B}^2) + (\overline{c\bar{c}}^2 - 2\overline{c\bar{c}}_{II'})\sigma_{II}^2 + (\overline{b\bar{b}}^2 - 2\overline{c\bar{c}}_{II'})\sigma_B^2 - \\
& - \overline{a\bar{a}}^2\sigma_D^2 + 2K_{DII}(\sigma_C^2 + \overline{c\bar{c}}^2 - \overline{c\bar{c}}_{II}) - 2K_{ДВ}(\sigma_C^2 + \overline{c\bar{c}}^2 - \overline{c\bar{c}}_{II}) - \\
& - 2K_{ПВ}(\sigma_C^2 + \overline{c\bar{c}}^2 - \overline{c\bar{c}}_{II} - \overline{c\bar{c}}_{II}\overline{b\bar{b}}) + 2\sigma_C^2(\overline{DPII} - \overline{ДВ} - \overline{ПВ})],
\end{aligned} \tag{5}$$

де  $K_{DII}$ ,  $K_{ДВ}$ ,  $K_{ПВ}$  – кореляційні моменти величин  $D$  і  $II$ ,  $D$  і  $B$ ,  $II$  і  $B$ .

Випадки, які зустрічаються на практиці видобутку балансово-промислових запасів з дільниць рудного тіла і покладу Криворізького залізородного родовища [15, 16].

1. Засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у товарній залізородній масі проводимо забалансовими за вмістом якісно-технологічних показників корисних копалин запасами. Це значить, що для визначення коваріаційної функції у формулі (4) слід припустити, що  $b=b'=0$ ,  $r_{bb}=0$

$$\begin{aligned}
r_{aa'} = & \frac{1}{r_{DD'} + \overline{DD'}} [(r_{cc'} + \overline{c\bar{c}}')(r_{DD'} + r_{III'} + r_{BB'}) + r_{cc'}(\overline{DD'} + \overline{PPP'} + \overline{BB'}) + \\
& + r_{c_{II}c'_{II}}(r_{III'} + \overline{PPP'}) + r_{III'}(\overline{c\bar{c}}' - 2\overline{c\bar{c}}_{II}) - \overline{a\bar{a}}'r_{DD'} + 2r_{DII}(\sigma_C^2 + \overline{c\bar{c}}^2 - \overline{c\bar{c}}_{II}) - \\
& - 2r_{ДВ}(\sigma_C^2 + \overline{c\bar{c}}^2) - 2r_{ПВ}(\sigma_C^2 + \overline{c\bar{c}}^2 - \overline{c\bar{c}}_{II}) + 2\sigma_C^2(\overline{DPII} - \overline{ДВ} - \overline{ПВ})].
\end{aligned} \tag{6}$$

Для розрахунків дисперсії впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників використання корисного компонента, пов'язаного з магнетитом у надрах, при засміченні пустими породами допускається, що  $b=0$  і  $\sigma_b=0$ . Тоді

$$\begin{aligned}
\sigma_a^2 = & \frac{1}{\sigma_D^2 + \overline{D}^2} [(\sigma_C^2 + \overline{c\bar{c}}^2)(\sigma_D^2 + \sigma_{II}^2 + \sigma_B^2) + \sigma_C^2(\overline{D}^2 + \overline{P}^2 + \overline{B}^2) + \\
& + \sigma_{c_{II}c'_{II}}(\sigma_{II}^2 + \overline{P}^2) + \sigma_{II}^2(\overline{c\bar{c}}^2 - 2\overline{c\bar{c}}_{II}) - \overline{a\bar{a}}^2\sigma_D^2 + 2K_{DII}(\sigma_C^2 + \overline{c\bar{c}}^2 - \overline{c\bar{c}}_{II}) - \\
& - 2K_{ДВ}(\sigma_C^2 + \overline{c\bar{c}}^2) - 2K_{ПВ}(\sigma_C^2 + \overline{c\bar{c}}^2 - \overline{c\bar{c}}_{II}) + 2\sigma_C^2(\overline{DPII} - \overline{ДВ} - \overline{ПВ})].
\end{aligned} \tag{7}$$

2. Засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у товарній залізородній масі відсутнє. Для розрахунку коваріаційної функції впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом у формулі (6) приймається, що  $B=B'=0$ ,  $r_{BB'}=0$ . Тоді

$$\begin{aligned}
r_{aa'} = & \frac{1}{r_{DD'} + \overline{DD'}} [(r_{cc'} + \overline{c\bar{c}}')(r_{DD'} + r_{III'}) + r_{cc'}(\overline{DD'} + \overline{PPP'}) + r_{c_{II}c'_{II}}(r_{III'} + \overline{PPP'}) + \\
& + r_{III'}(\overline{c\bar{c}}' - 2\overline{c\bar{c}}_{II}) - \overline{a\bar{a}}'r_{DD'} + 2r_{DII}(\sigma_C^2 + \overline{c\bar{c}}^2 - \overline{c\bar{c}}_{II}) + 2\sigma_C^2\overline{DPII}].
\end{aligned} \tag{8}$$

Для розрахунку дисперсії у формулі (7) припустимо, що  $B=0$ ,  $\sigma_B=0$ ,  $K_{ДВ}=0$ ,  $K_{ПВ}=0$  і тоді

$$\sigma_a^2 = \frac{1}{\sigma_D^2 + \bar{D}^2} [(\sigma_c^2 + \bar{c}^2)(\sigma_D^2 + \sigma_{II}^2) + \sigma_c^2(\bar{D}^2 + \bar{I}^2) + \sigma_{cII}^2(\sigma_{II}^2 + \bar{I}^2) + \sigma_{II}^2(\bar{c}^2 - 2\bar{c}\bar{c}_{II}) - \bar{a}^2\sigma_D^2 + 2K_{ДII}(\sigma_c^2 + \bar{c}^2 - \bar{c}\bar{c}_{II}) + 2\sigma_c^2\bar{D}\bar{I}]. \quad (9)$$

3. Втрати балансово-промислових запасів при технологічних процесах видобутку відсутні. Це означає, що у виразі (4) значення всіх показників, які пов'язані із втратами балансово-промислових запасів слід прийняти такими, що дорівнюють нулю. При цьому будемо мати

$$r_{aa'} = \frac{1}{r_{ДД'} + \bar{D}\bar{D}'} [(r_{cc'} + \bar{c}\bar{c}') (r_{ДД'} + r_{BB'}) + r_{cc'}(\bar{D}\bar{D}' + \bar{B}\bar{B}') + r_{bb'}(r_{BB'} + \bar{B}\bar{B}') + r_{BB'}(\bar{b}\bar{b}' - 2\bar{c}\bar{c}') - \bar{a}\bar{a}'r_{ДД'} - 2r_{ДВ}(\sigma_c^2 + \bar{c}^2 - \bar{c}\bar{c}') - 2\sigma_c^2\bar{D}\bar{B}]. \quad (10)$$

Дисперсію для цього випадку отримаємо з виразу (5), приймаючи всі значення показників втрат балансово-промислових запасів залізистих кварцитів, які дорівнюють нулю

$$\sigma_a^2 = \frac{1}{\sigma_D^2 + \bar{D}^2} [(\sigma_c^2 + \bar{c}^2)(\sigma_D^2 + \sigma_B^2) + \sigma_c^2(\bar{D}^2 + \bar{B}^2) + \sigma_b^2(\sigma_B^2 + \bar{B}^2) + \sigma_B^2(\bar{b}^2 - 2\bar{c}\bar{c}') - \bar{a}^2\sigma_D^2 - 2K_{ДВ}(\sigma_c^2 + \bar{c}^2 - \bar{c}\bar{c}') - 2\sigma_c^2\bar{D}\bar{B}]. \quad (11)$$

4. Втрати балансово-промислових запасів відсутні, а засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у залізородній масі проводиться забалансовими за вмістом якісно-технологічних показників корисних копалин запасами. У цьому випадку у формулі (10) приймається  $b=b'=0$ ,  $r_{bb'}=0$ , а вираз для розрахунків прийме вид

$$r_{aa'} = \frac{1}{r_{ДД'} + \bar{D}^2} [(r_{cc'} + \bar{c}\bar{c}') (r_{ДД'} + r_{BB'}) + r_{cc'}(\bar{D}\bar{D}' + \bar{B}\bar{B}') - \bar{a}\bar{a}'r_{ДД'} - 2r_{ДВ}(\sigma_c^2 + \bar{c}^2) - 2\sigma_c^2\bar{D}\bar{B}]. \quad (12)$$

Аналогічно з формули (11) отримується вираз для розрахунків дисперсії функції впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компоненту, пов'язаного з магнетитом

$$\sigma_a^2 = \frac{1}{\sigma_D^2 + \bar{D}^2} [(\sigma_c^2 + \bar{c}^2)(\sigma_D^2 + \sigma_B^2) + \sigma_c^2(\bar{D}^2 + \bar{B}^2) - \bar{a}^2\sigma_D^2 - 2K_{ДВ}(\sigma_c^2 + \bar{c}^2)]. \quad (13)$$

При відсутності втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин, як впливає з формул (12) і (13), коваріаційна функція і дисперсія вмісту якісно-технологічних показників усередненого корисного компоненту, пов'язаного з магнетитом, залежать тільки від фактору впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників використання корисного компоненту, пов'язаного з магнетитом у надрах

$$r_{aa'} = \frac{1}{r_{ДД'} + \bar{D}^2} (r_{cc'}r_{ДД'} + \bar{c}\bar{c}'r_{ДД'} + \bar{D}\bar{D}'r_{cc'} - \bar{a}\bar{a}'r_{ДД'}), \quad (14)$$

$$\sigma_a^2 = \frac{1}{\sigma_D^2 + \bar{D}^2} (\sigma_c^2\sigma_D^2 + \sigma_D^2\bar{c}^2 + \sigma_c^2\bar{D}^2 - \bar{a}^2\sigma_D^2), \quad (15)$$

що підтверджує справедливості встановлених залежностей.

Формули (1)–(15) дозволяють з урахуванням гірничо-геологічних умов видобутку балансово-промислових запасів зробити оцінку впливу втрат і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у розпушеній залізородній масі на однорідність якісного складу одиничного потоку залізородної маси, що надходить із забоїв окремих видобувних одиниць. Найбільші труднощі представляє виявлення коваріаційних функцій  $r_{BB'}$ ,  $r_{bb'}$ ,  $r_{III'}$ ,  $r_{cIIc'}$  при підземному способі видобутку балансово-промислових запасів, так як цього дотепер не виконували, що пов'язано з постановкою спеціальних досліджень. У зв'язку із цим актуальні завдання вивчення процесів втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у розпушеній залізородній масі, виявлення закономірностей їх утворення і протікання в часі при різних системах і способах видобутку промислових запасів з дільниць рудного тіла і покладу родовища магнетитових роговиків.

Процеси втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин в найбільш загальному випадку нерівномірні, тобто в однакові інтервали часу у видобуток залучається різна кількість порід з різним вмістом якісно-технологічних показників корисного компоненту, пов'язаного з магнетитом, а також втрачається різна кількість балансово-промислових запасів з різним вмістом якісно-технологічних показників корисних копалин. Для підвищення однорідності показників якісно-технологічних складових товарної залізородної маси, організовується видобуток балансово-промислових запасів так, щоб процеси втрат і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у залізородній масі протікали у часі рівномірно. Оцінюючи вплив засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у залізородній масі на усереднення вмісту якісно-технологічних показників необхідно мати на увазі, що між середньою величиною засмічення і середнім квадратичним відхиленням є залежність. Вона виявлена у результаті аналізу звітних даних гірничовидобувних підприємств Кривбасу протягом декількох десятків років. Результати кореляційного аналізу свідчать про наявність зв'язку між розглянутими величинами: коефіцієнт кореляції дорівнює 0,714; похибка коефіцієнта кореляції становить 0,04; що свідчить про вірогідність отриманих результатів та рівняння регресії.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Визначення впливу втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин на технологічні процеси видобутку та усереднення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин приводить до необхідності розширення і поглиблення уявлень про сутність втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин. Засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин розглядається як процес залучення у видобуток пустих порід і забалансових за вмістом якісно-технологічних показників корисних копалин запасів. Для характеристики процесу засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин використовується математичний апарат теорії випадкових функцій. Залежність середнього квадратичного відхилення величини засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у товарній залізородній масі від середнього значення спрощує розрахунки і оцінку впливу засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин на процес усереднення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин, що виключає необхідність проведення експериментальних робіт. Наявність закономірності пояснюється тим, що середня величина завжди пов'язана з розмахом коливань засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у залізородній масі, тобто з величиною середнього квадратичного відхилення. Для підвищення однорідності показників якісно-технологічних складових залізородної маси, доцільно так організувати видобуток балансово-промислових запасів, щоб процеси втрат і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у залізородній масі протікали у часі рівномірно.

### *Список літератури*

1. Сборник руководящих материалов по охране недр (1973). – М., Недра.
2. Измерение качества продукции. Вопросы квалиметрии (1971). Под ред. А.В. Гличева. – М. : Стандарт. – 108 с.
3. Бастан П.П., Азбель Е.И., Ключкин Е.И. (1979). Теория и практика усреднения руд. М., Недра.
4. Арсеньев С.Я., Прудовский А.Д. (1980). Внутрикатьерное усреднение железных руд. М., Недра
5. Шолох М.В. (2016). Методика визначення і нормування вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у промислово-балансових запасах – Кривий Ріг: Видавничий центр ДВНЗ «КНУ». – 160 с. Іл.
6. Шолох М.В. (2018). Вплив втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин на процес усереднення. / Зб. наукових праць ДВНЗ «КНУ» «Гірничий вісник» Науково-технічний збірник: Кривий Ріг, 2018. – Вип. 103. – С. 50–55.
7. Шолох М.В. (2018). Маркшейдерське забезпечення прогнозування і управління якісними показниками при розробці залізородних родовищ. – С. 160–168. / Форум гірників – 2018: матеріали міжнар. конф., 10–13 жовтня 2018 р. – Дніпро: Середняк Т.К. – 2018. – 307 с. ISBN 978-617-7696-55-0.
8. Шолох М.В. (2018). Моделі і критерії оптимізації якісно-технологічних показників видобутку магнетитових роговиків. – С. 65–78. / The 6<sup>th</sup> International conference - Science and society – (August 3, 2018) Accent Graphics Communications & Publishing, Hamilton, Canada. 2018. 250 p. ISBN 978-1-77192-360-6.
9. Шолох М.В. (2018). Моделювання прогнозування оцінки мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин. 274–287. / The 3rd International youth conference – Perspectives of science and education – (July 6, 2018) SLOVO\WORD, New York, USA. 2018. 524 p. ISBN 978-1-77192-403-0.
10. Metallurgical and Mining industry. (2015). № 4, p.p. 322–324.

12. **Sholokh M.V.** (2018). Optimization of preparedness for extraction of balance industrial mineral reserves. 133–165. / Topical issues of resource-saving technologies in mineral mining and processing. Multi-authored monograph. – Petrosani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2018. – 270 p. ISBN 978-973-741-585-1.

13. **Sholokh M.V.** (2018). Determination and research of norms of the ferrous quartzites prepared to booty. 25–52. / Development of scientific foundations of resource-saving technologies of mineral mining and processing. Multi-authored monograph. – Sofia: Publishing House «St. Ivan Rilski», 2018. – 264 p. ISBN 978-954-353-355-8.

14. **Sholokh M. V.** (2018). Estimation of content of quality indexes of minerals in array of roginitums of magnetite and in stream of iron-ore mass. 180–208. / Resources and resource-saving technologies in mineral mining and processing. Multi-authored monograph. – Petrosani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2018. – 363 p. ISBN 978-973-741-592-9.

15. **Sholokh M.V.** (2018). An analysis of surveyor control of losses of balance-industrial supplies is at mastering. – С. 132–135. / International Scientific and Technical Internet Conference «Innovative Development of Resource-Saving Technologies of Mineral Mining and Processing». Book of Abstracts. – Petrosani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2018 – 221 p. ISBN 978-973-741-615-5 (print).

16. **Sholokh M.V., Sholokh S.M., Sergieieva M.P.** (2018). An analysis of surveyor control of losses of balance-industrial supplies is at mastering of bowels of the Earth. 415–438. / Innovative development of resource-saving technologies for mining. Multi-authored monograph. – Sofia: Publishing House «St. Ivan Rilski», 2018. – 439 p. ISBN 978-954-353-351-0.

Рукопис подано до редакції 26.09.2019

УДК 624.153.524

Р.О. ТИМЧЕНКО, д-р техн. наук, проф., Д.А. КРИШКО, канд. техн. наук, ст. викл.,  
В.О. САВЕНКО, аспірант, Криворізький національний університет

## МОДЕЛЮВАННЯ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ПІДПІРНОЇ СТІНИ З ОСНОВОЮ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ LIRA 9.6

**Мета.** При будівництві підпірних стін в складних інженерно-геологічних умовах необхідно досягти: підвищення стійкості і міцності підпірних стін; зниження витрат використовуваних будівельних матеріалів; зменшення обсягів земляних робіт; зниження нерівномірності деформацій; зниження термінів будівництва; поліпшення умов відсіпання і ущільнення засипки; підвищення експлуатаційної надійності, якості виконання робіт і збільшення термінів служби підпірних стін. Таким чином, для оцінки НДС підпірних стінок кутового профілю необхідний облік спільної роботи всієї стінки з ґрунтом і застосування більш обґрунтованих моделей ґрунту в районі її вертикального і горизонтального елементів. Метою досліджень є дослідження напружено-деформованого стану підпірної стіни зі структурною поверхнею (ПССП) з урахуванням її контактної взаємодії з ґрунтовим масивом.

**Методи дослідження.** Перспективним напрямком досліджень НДС системи «підпірна стіна - ґрунт» є використання методів математичного моделювання на основі чисельних методів аналізу. Найпоширенішим на сьогоднішній день є метод кінцевих елементів (МКЕ), який покладено в основу сучасних програмних комплексів для розрахунку будівельних конструкцій, будівель і споруд. У порівнянні з класичними варіаційними методами МКЕ більш гнучкий при завданні геометричних параметрів і граничних умов, наочний і універсальний для широкого кола завдань. При цьому є можливість вибирати різні моделі ґрунту для вирішення поставленого завдання.

**Наукова новизна.** Актуальність даної роботи пов'язана із розв'язанням поставленої задачі. Її результатом є дослідження напружено-деформованого стану ПССП з урахуванням її контактної взаємодії з ґрунтовим масивом за допомогою програмного комплексу.

**Практична значимість.** Визначення напружено-деформованого стану підпірної стіни зі структурною поверхнею (ПССП) з урахуванням її контактної взаємодії з ґрунтовим масивом.

**Результати.** Математичне моделювання дозволило наочно продемонструвати зниження напруги на контактній поверхні. Поетапне заповнення пустот призводить до рівномірного розподілу деформацій, що в довгостроковій перспективі збільшує термін експлуатації споруди, забезпечуючи тим самим економічний ефект. Особливість конструктивного рішення ПССП, при взаємодії ґрунту зі структурною поверхнею підвищує несучу здатність основи за рахунок спільної роботи конструкції підпірної стіни і деформованої основи.

**Ключові слова:** підпірна стіна зі структурною поверхнею, кінцево-елементні моделі, напружено-деформований стан, контактна взаємодія, ґрунт, моделювання.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-106-36-42

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Прагнення до раціонального використання міських територій призводить до розвитку і пошуку нових видів споруд, які були б більш економічні і менш трудомісткі. До облаштування підпірних стін пред'являється ряд вимог, більшість яких засновані на вивченні інженерно-геологічних умов території, яка вимагає інженерного захисту. Ці споруди в умовах експлуатації знаходяться в складному