

ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО СКЛАДУ СУМІШІ ДЛЯ ЗАКЛАДАННЯ ВИРОБЛЕНОГО ПРОСТОРУ В УМОВАХ СМОЛІНСЬКОЇ ШАХТИ ДП «СХІДГЗК»

На основе экспериментальных данных построена аналитическая зависимость качественных характеристик закладочной смеси от ее состава и математическая модель, позволяющая определить оптимальный состав ее, удовлетворяющей технологическим параметрам формирования закладочного массива. Оптимальный состав закладочной смеси был определен для условий Смоленской шахты ГП «ВостГЭК».

CHOOSING AND JUSTIFICATION OF OPTIMAL MIXTURE LYING MADE SPACE UNDER SMOLINSKAYA MINE SE "VostGOK"

Based on experimental data, an analytical dependence of the qualitative characteristics of backfill mixture on its composition and the mathematical model to determine the optimal composition of its satisfying the technological parameters of the filling mass. Optimum composition of backfill mixture was determined for the conditions of Smolinskaya mine SE "VostGOK".

Вступ. Уранова промисловість України базується на великих запасах уранових руд, тому вона має всі можливості повністю забезпечити власні потреби в природному урані. Проте в результаті видобутку уранових руд виникають екологічні проблеми, такі як утворення хвостосховищ та обвали земних порід у місцях відпрацьованих просторів шахт. Одним з засобів рішення другої проблеми може бути проведення закладних робіт [1-4].

Витрати на виконання цих робіт визначаються насамперед обраним способом піднесення штучного масиву, використанням обладнання закладного комплексу, конструкціями ізолюючих перемичок і складом суміші, що складає твердіючу закладку. Для виготовлення закладної суміші необхідна наявність різного виду матеріалів: в'язких заповнювачів, мікро наповнювачів, активуючих і пластифікуючих добавок. При цьому підбір складу закладного матеріалу необхідно здійснювати таким чином, щоб домогтися оптимального співвідношення між вартісними і якісними показниками суміші, а також, по можливості, максимально утилізувати відходи промислового виробництва [5,6].

Як наслідок з цього, визначення оптимального складу закладної суміші на сьогодиншній день є актуальною задачею.

Мета дослідження полягає у визначенні оптимального складу закладної суміші в умовах Смоленської шахти.

Матеріали і результати досліджень. Основна ідея роботи полягає у проведенні дослідження залежності характеристик суміші від її компонентів, по-

будові відповідної математичної моделі і знаходження на її основі оптимального складу суміші, що задовольняє визначеним умовам для якісних показників готової суміші.

Постановка задачі. На Смолінській шахті у процесі видобутку уранової руди застосовують закладку, що твердіє, яка складається з в'язких та інертних матеріалів. Як інертний заповнювач для готування закладної суміші використовуються відходи урановидобувної, металургійної та деревопереробної промисловості, продукти хімічної промисловості, а саме хвости, доменний шлак, лігносульфонати, алюмокалієвий галун, а також доломітовий пил, природний ангідрид та вода [7-9].

Завдання полягає у визначенні такого оптимального складу закладної суміші, щоб її вартість була мінімальною, а міцність максимальною і при цьому виконувалися такі вимоги:

- щільність суміші повинна знаходитися у межах 1950–2096 кг/м³;
- час початку схоплювання має коливатися між 12-30 хвилинами;
- вміст хвостів у прогнозованій суміші не має перевищувати 0,124 масової частки;
- вода є лише розчинником, тому її вміст не має перевищувати 0,23 масової частки;
- доломітового пилу передбачається використати 0,106-0,326 масової частки;
- алюмокалієвого галуну – 0,045-0,154 масової частки;
- лігносульфонату – не більше 0,103 масової частки;
- доменного шлаку – не більше 0,472 масової частки ;
- ангідриду не більше 0,372 масової частки.

Результати дослідження. Використовуючи дані, про склад сумішей, які використовуються на шахті (див. табл. 1, 2), визначимо аналітичний вид залежності міцності, щільності та часу початку схоплювання від складу суміші.

Таблиця 1 – Компоненти, що входять до складу закладної суміші (мас.част.)

Показники	Суміш 1	Суміш 2	Суміш 3
Доломітовий пил	28,1 - 29,5	30,2 -32,6	--
Алюмокалієвий галун	4,5 - 6,8	10,1 - 13,4	13,1 - 15,4
Лігносульфонати	7,5 - 10,3	15,4 - 23,0	6,5 - 9,3
Вода	12,7 - 14,8	--	18,4 - 23,0
Доменний шлак фракції $d_{фр.} = 2,0-5,0$ мм	38,6-47,2	31-44,3	--
Природний ангідрид 60% фракції $d_{фр.} = 2-4$ мм, вологістю 10-12% і 20% доломітовий пил	--	--	41,84-49,6
20% хвости (мул) фракції $d_{фр.} = 0,25-0,3$ мм	--	--	10,46-12,4

Залежність визначатимемо, як множинну лінійну регресію даних у вигляді:

$$\varphi(x) = \sum_{i=1}^7 a_i x_i,$$

де x_i – частка i -го компонента, що входить до складу суміші.

Для побудови залежності скористаємось стандартною функцією MS Excel «Лінійн» [10]. Для функції міцності суміші було отримане таке рівняння регресії:

$$\varphi(x) = 2216,6 - 753,4x_1 - 16x_2 + 787,18x_3 - 192,9x_4 - 154,57x_5 - 438,59x_6 + 81,057x_7, \quad (1)$$

де x_1 – доломітовий пи́л, x_2 – вода, x_3 – алюмокалієвий галун, x_4 – лігносульфонати, x_5 – доменний шлак, x_6 – ангідрид, x_7 – хвости.

Таблиця 2 – Фізико-механічні характеристики розроблених твердіючих сумішей, які отримані розрахунковим та експериментальним шляхом

	Суміш 1	Суміш 2	Суміш 3
Щільність суміші, кг/м ³	1950 - 1970	2010 - 2015	2055 - 2096
Коефіцієнт внутрішнього тертя	0,2-0,24	0,26-0,30	0,20-0,26
Коефіцієнт пластичності	2,1 -2,4	1,15 - 1,17	1,20 - 1,26
Час початку схоплювання суміші, год.	0,3 - 0,5	0,2-0,3	0,3-0,4
Міцність суміші на одновісний стиск, МПа	20,0 - 25,0	30-35	20 - 25
Деформація, мм	2,0-4,0	1,0 - 2,0	1,35 - 2,5
Розширення суміші, %	1,5 - 2,3	--	--
Зчеплення, МПа	0,08 - 0,1	0,1 - 0,15	0,5 - 0,7
Тиск набухання, МПа	--	--	2-3

Перевіримо адекватність отриманої моделі. Коефіцієнт детермінації 0,97. Отже, модель враховує 97% факторів, що впливають на даний параметр. Перевірку значимості рівняння регресії зробимо на основі обчислення F – критерію Фішера [11]: $F = 119,28$. Табличне значення $F_{кр} = 2,46$. Оскільки табличне значення критерію значно менше обчисленого, то рівняння регресії варто визнати адекватним.

Аналогічно будемо рівняння регресії для функцій міцності і часу початку схоплювання. Вони отримані у вигляді:

$$\theta(x) = 10,21 + 8,93x_1 + 35,97x_2 + 102,52x_3 - 16,56x_4 + 1,39x_5 + 3,95x_6 - 91,23x_7, \quad (2)$$

$$\tau(x) = 2,41x_1 + 0,027x_2 + 0,89x_3 + 3,041x_4 - 0,15x_5 + 0,13x_6 + 1,96x_7 - 0,57. \quad (3)$$

Побудуємо математичну модель задачі оптимізації.

Нехай x_i – частка i -го компонента ($i = 1, n$), $\varphi(x)$, $\theta(x)$, $\tau(x)$ – функції, що описують міцність, щільність та час початку схоплювання суміші (визначені вище), c_i – вартість тонни i -го компонента, θ_{min} , θ_{max} – граничні значення показників щільності суміші, τ_{min} , τ_{max} – граничні значення показників часу початку схоплювання суміші, b_{i_min} , b_{i_max} – обмеження на вміст i -го компонента суміші, $i = \overline{1, n}$.

Тоді математична модель може бути описана у вигляді:

$$\begin{aligned} \varphi(x) &\rightarrow \max, \\ \sum_{i=1}^n c_i x_i &\rightarrow \min, \\ \theta_{min} &\leq \theta(x) \leq \theta_{max}, \\ \tau_{min} &\leq \tau(x) \leq \tau_{max}, \\ b_{i_min} &\leq x_i \leq b_{i_max}, \quad i = \overline{1, n}, \\ \sum_{i=1}^7 x_i &= 1, \end{aligned}$$

де функції $\varphi(x)$, $\theta(x)$, $\tau(x)$ визначені за формулами (1) – (3) відповідно.

Отримана задача є задачею багатокритеріальної оптимізації. Для її вирішення був використаний метод послідовної поступки [12, 13].

В результаті рішення задачі було отримано оптимальний склад суміші, що включає доломітовий піл – 0,326 м.ч., воду – 0,225 м.ч., алюмокалієвий галу – 0,138 м.ч., лігносульфонати – 0,006 м.ч., природний ангідрид – 0,288 м.ч. та хвости – 0,016 м.ч. Основним компонентом отриманого складу суміші є доломітовий піл, а хвости використовуються у незначній кількості, проте це сприяє зростанню уваги до не менш актуальної проблеми утворення хвостосховищ.

Суміш з отриманим вмістом компонентів матиме такі характеристики:

Щільність закладної суміші – 1950 кг/м³,

Міцність – 35 МПа,

Час початку схоплювання – 0,4 год.,

Вартість – 20 грн т.

Висновок. Застосування математичних методів для моделювання та розв'язування екологічних задач дає змогу зменшити витрати часу та коштів на вирішення проблем, пов'язаних з порожнечами, що залишаються в місцях відпрацьованих просторів Смолінської шахти. Запропонований підхід і математична модель може бути застосована також для інших підприємств, що використовують метод закладки відпрацьованих просторів урановидобувних шахт.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бойцов А.В. Минерально-сырьевая база и урановая промышленность мира / А.В. Бойцов. – ВИМС «Минеральное сырье». – 2000. – №7. – С.38.
2. Бабак С.И. Состояние и перспектива развития производства урана в Украине /С.И. Бабак //Атомна енергетика та промисловість України. – 1999. – №2. – С.11-13.
- 3/ Ляшенко В.И., Колоколов О.В. Совершенствование технологий и технических средств подземной разработки урановых месторождений// Науковий вісник НГУ.-2006.-№9.-С.17-24
4. Белевцев Я.Н. Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины / Я.Н. Белевцев, В.Б. Коваль – К.: Наук. думка, 1995. – 396 с.
5. Акимов А.М. Разработка закладочных смесей на основе твердых отходов переработки урановых руд / А.М. Акимов //Збірник наукових праць СНУ ЯЕ та П. – Севастополь: Севастопольський національний університет ядерної енергії та промисловості, 2009.– №1. – С.85-90.
6. Добыча и переработка урановых руд в Украине /Под ред. А.П. Чернова – К.: «АДЕФ–Украина», 2001. – 238 с.
7. Пат.№ 81698 Україна МКВ 7 С04В 28/02, Е 21 F 15/00 Суміш для закладки виробленого простору/Булат А.Ф., Перепелиця В. Г., Іщенко К.С. [та ін.]; заявник і власник патенту ІТМ НАН України. – № а 2007 09707; замовл. 05.04.2006; надр. 25.01.2008. – Промислова власність. – 2008.– Бюл. №2. – С.15.
8. Пат. № 81699 Україна МКВ 7 С04В 28/02, Е 21 F 15/00 Суміш для закладки виробленого простору/Булат А.Ф., Перепелиця В. Г., Іщенко К.С. [та ін.]; заявник і власник патенту ІТМ НАН України. – № а 2006 09707; замовл. 05.04.2006; надр. 25.01.2008. – Промислова власність. – 2008.– Бюл. №2. – С.15.
9. Пат. № 86151 Україна МКВ 7 Е 21 F 15/00, Е 21 D 21/00 Сполука твердіючої суміші для закладки виробленого простору / Булат А.Ф., Перепелиця В. Г., Іщенко К.С. [та ін.]; заявник і власник патенту ІТМ НАН України. – № а 2007 09709; замовл. 28.08.2007; надр. 25.03.2009. – Промислова власність. – 2009.– Бюл. №6. – С.15.
10. Минько А.А. Статистический анализ в Microsoft Excel / Минько А.А. – М.: Диалектика, 2004.– 456с.
11. Новицкий И.В. Теория ймовірностей і математична статистика / І.В. Новицький, С.А.Ус. – Д.: НГУ, 2010.–163с.
12. Дороднов А.А. Теория прийняття рішень / Дороднов А.А. – К.: Вища школа, , 1981.–356с.
13. Зайченко Ю.П. Исследование операций / Зайченко Ю.П. – К.: Вища школа, 1988. – 258с.