

збагачення руди. Наприклад, умови для роботи кульового млина ( $p_1$ ) - це характеристика його продуктивності в діапазоні 180-250 т/год, яка вимірюється відповідним датчиком.

Переходами в даній моделі зображені події  $t_1-t_{19}$ . Так,  $t_1$  - це подія надходження руди до кульового млина з відповідними текстурними характеристиками. На відповідному переході мережі Петрі встановлюються датчики: ДSR - щільномір для вимірювання вмісту твердого в розгрузці млина, ДQ - щільномір для вимірювання вмісту твердого у промпродукті зливу класифікатора; ДП - датчик ваги для вимірювання продуктивності млина; ДВ(1), ДВ(2) - датчики витрат води, відповідно, для завантаження млина та класифікатора; ДР - гранулометр для вимірювання масової частки класу у зливні класифікатора; ДС - датчик скрапу.

За нормальної роботи системи за допомогою мережі Петрі інформація з датчиків записується до бази даних, яка є базисом для побудови кореляційно-регресійних моделей, з яких оператор прийматиме рішення щодо параметрів завантаження кульового млина та відповідних завдань САК першої стадії збагачення.

**Висновки.** Вибір раціональних режимів роботи кульового млина - класифікатора магнітного сепаратора виконано шляхом оцінки в часі різновидів руд, що надходять до кульового млина. Продуктивність кульових млинів, щільність зливів і значення масової частки готового класу -0,056мм на зливні класифікатора, а також установа причинно-наслідкової залежності режимів роботи кульових млинів від властивостей руд, які визначаються правилами продукцій вхідних і вихідних матриць мереж Петрі дозволяє підвищити точність оцінки збурень за властивостями руди та зменшити їх вплив, використовуючи системи керування першою стадією збагачення як передумови стабілізації режимів роботи процесів огрудкування.

У результаті проведених досліджень відбулося зменшення дисперсії коливань масової частки заліза в концентраті магнітного збагачення, вмісту магнітного заліза у хвостах збагачувальної фабрики, питомих витрат води, а також збільшення продуктивності кульових млинів першої стадії збагачення та виходу концентрату.

#### Список літератури

1. **Хорольський В. П.** Управление процессами обогащения руд на основе сетевых моделей Петри / **В. П. Хорольський, В. Б. Хоцкіна, Е. К. Бабец** // Науковий вісник НГУ. – 2005. – № 8. – С. 83 – 87.
2. **Кочура Е. В.** Развитие научных основ автоматизации процессов магнитного обогащения руд с целью энергосбережения : Дис. докт. техн. наук / **Е. В. Кочура**. – Днепропетровск, 1996. – 331 с.
3. **Купін А. І.** Інтегрована система управління процесами першої стадії збагачення залізної руди з мінімальними втратами у хвостах : автореф. дис. на здоб. наук. ст. канд. техн. наук / **А. І. Купін**. – Кривий Ріг, 2001. – 19 с.
4. **Хоцкіна В. Б.** Автоматизація процесів керування технологічним комплексом збагачення залізних руд з використанням моделей мереж Петрі : Автореф. дис. канд. техн. наук / **В. Б. Хоцкіна**. – Кривий Ріг, 2012. – 19 с.

Рукопис подано до редакції 11.04.12

УДК 622.684

М.І. СОКУР, д-р техн. наук, проф.,

Кременчуцький національний університет ім. Мих. Остроградського

В.Д. КАССОВ, д-р техн. наук, проф., Донбаська машинобудівна академія

### ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЕКСКАВАТОРНО-АВТОМОБІЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ КАР'ЄРА ШЛЯХОМ ОБГРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ НАВАНТАЖУВАЛЬНИХ ПЛОЩАДОК

У роботі представлено методику оптимізації продуктивності екскаваторно-автомобільних комплексів кар'єрів за рахунок узгодження їх робочих параметрів з параметрами робочих площадок та конкретних гірничотехнічних умов розробки.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами.** Однією з головних особливостей розвитку сучасних відкритих гірничих розробок є обмеженість робочого простору на глибоких кар'єрах, що обумовлює з одного боку, використання автомобільного транспорту, як найбільш маневреного і гнучкого, з іншого - зниження ефективності його роботи, оскільки значно зростає собівартість транспортування гірничої маси кар'єрними самоскидами при збільшенні глибини і ухилів трас.

На багатьох сучасних кар'єрах використовуються всі види транспорту, як окремо, так і в комбінації. Однак не завжди присутня узгодженість транспортної схеми з масштабами ведення

гірничих робіт. Наприклад, обмеженість ухилів для роботи залізничного транспорту на глибоких залізородних кар'єрах обумовлює неможливість підтримки в необхідних значеннях кар'єрними самоскидами висоти підйому гірничої маси до перевантажувальних пунктів. Конвеєрний транспорт завантажений лише на 25 %. Зазначені фактори з урахуванням збільшення висоти підйому гірничої маси обумовлюють пошук нових транспортних схем.

Зі збільшенням глибини і зменшенням розмірів робочого простору також особливої уваги потребує питання безпеки руху кар'єрних самоскидів в пунктах навантаження і розвантаження, а також ефективності транспортування в цілому.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Відомі теоретичні дослідження транспортно-технологічного процесу кар'єрних самоскидів у вибоях та на перевантажувальних пунктах не враховують вплив на продуктивність екскаваторних-автомобільних комплексів (ЕАК) узгодженості розмірів площадок на перевантажувальних пунктах і відвалах з робочими параметрами гірничотранспортного обладнання.

**Постановка задачі.** У зв'язку з цим, метою даного дослідження є оптимізація технологічних процесів навантаження, установки під навантаження й маневрування кар'єрних самоскидів на робочих площадках за рахунок узгодження їх робочих параметрів з параметрами робочих площадок.

**Викладання матеріалу та результати.** Норми технологічного проектування (НТП) визначають мінімальні значення ширини площадок в робочій зоні кар'єрів з урахуванням фізико-механічних властивостей гірничих порід, висоти робочого уступу, виду технологічного транспорту, типорозмірів гірничого й транспортного устаткування, кількості транспортних комунікацій, типу водовідвідних споруд, умов безпеки гірничих робіт [1].

Розрахункові схеми, наведені в НТП, допускають спрощення, що виїмка гірничої маси здійснюється уздовж фронту робіт при ширині заходки 1,5-1,7 радіуса черпання екскаватора на рівні стояння, коли розробка здійснюється з маятниковим рухом екскаватора навхрест заходки.

У дійсності, класифікація екскаваторних заходок залежно від типу, ширини й характеру руху транспортних засобів представлена на рис. 1.

Ширина площадки для маневрів самоскидів при подачі під навантаження визначається за формулою, яка є універсальною для всіх типів екскаваторних заходок, тому потребує уточнення для конкретних умов розробки

$$p = \sqrt{(1,3 \cdot R_k)^2 - B^2} + B + B_n$$

де  $R_k$  - мінімальний конструктивний радіус повороту кар'єрного самоскида по колії зовнішнього переднього колеса;  $B_n$  - величина переднього звісу кар'єрного самоскида, м;  $B$  - колісна база кар'єрного самоскида, м.

Отже, згідно з нормами, розмір маневрової площадки безпосередньо залежить від робочих параметрів кар'єрних самоскидів, до яких відносять ширину  $b_a$ , довжину  $l_a$ , передній  $l_n$  і задній звіс  $l_3$ , колісну базу  $l_6$  й мінімальний радіус повороту  $R_{min}$ .

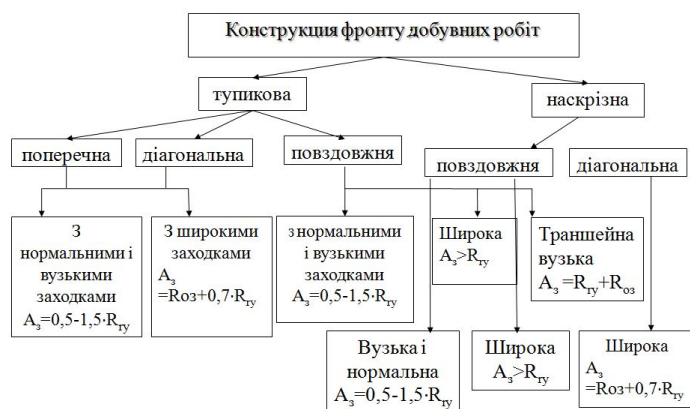


Рис. 1. Класифікація фронту видобувних робіт і екскаваторних заходок

У роботі [2] вибір схем маневрів самоскидів при установці під навантаження до екскаватора проводиться залежно від типів екскаваторних заходок і їх розмірів, а параметри маневрових площадок визначаються виходячи з робочих параметрів ЕАК.

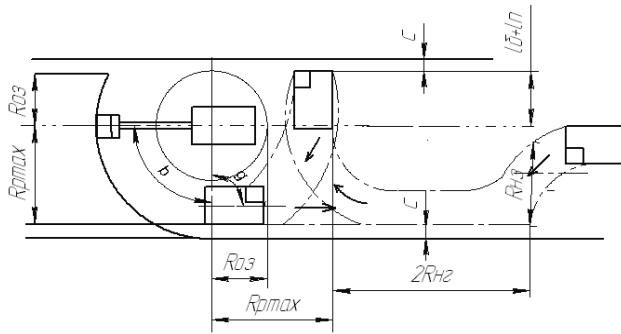
Для кожної зі схем відпрацювання уступів (рис. 1) розміри маневрових площадок, кути між віссю вибою і задньою віссю самоскиду,

між поздовжньою віссю самоскиду і віссю стріли екскаватора, а також середній кут повороту екскаватора при розвантаженні -  $\nu$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$  відповідно [2], визначалися окремо в залежності від габаритів гірничого обладнання. Наприклад, при поздовжньому фронті гірничих робіт, для якого наведені розрахунки робочих площадок в НТП, (рис. 2) мінімальні розміри маневрової площадки при відпрацюванні тупикової заходки для всіх значень її ширини  $A_3$  визначалися з виразів

$$B_{min} = R_{н.з} + l_6 + l_n + 2 \cdot c;$$

$$L_{min} = R_{н.з} + R_{pmax} - R_{o.з}$$

де  $R_{н.з}$  - радіус повороту зовнішнього заднього колеса самоскида, м;  $R_{pmax}$  - максимальний радіус розвантаження екскаватора, м;  $R_{o.з}$  - радіус небезпечної зони повороту кузова екскаватора, м.



**Рис. 2.** Схема маневру й параметри маневрової площадки: тупикова поздовжня широка заходки

Розрахунки параметрів маневрових площадок були використані й доповнені в методиці, математичний апарат якої базується на графоаналітичному аналізі кар'єрного простору і застосування відомих коефіцієнтів, що визначають продуктивність ЕАК.

Цільовою функцією оптимізації технологічних і технічних параметрів виступає

максимальна експлуатаційна продуктивність ЕАК

$$f(Q_{ee}) \rightarrow \max$$

Експлуатаційна продуктивність комплексів визначається, м<sup>3</sup>/год.

$$Q_{ee} = Q_m \cdot K_M \cdot K_n \cdot K_{pv} \cdot K_v$$

де  $Q_m$  - технічна продуктивність екскаватора, м<sup>3</sup>/год;  $K_M$  - коефіцієнт використання екскаватора в часі, враховує перерви в подачі самоскидів й час їх маневрування при установці під навантаження;  $K_n$  - те ж, коефіцієнт, що враховує втрати часу на пересування екскаватора вздовж вибою;  $K_{pv}$  - коефіцієнт, що враховує втрати часу на кінцеві розвороти екскаватора;  $K_v$  - коефіцієнт, що враховує інші втрати часу.

Технічна продуктивність екскаватора

$$Q_m = (E \cdot K_e \cdot 3600) / t_{ц}$$

де  $E$  - ємність ковша екскаватора, м<sup>3</sup>;  $K_e$  - коефіцієнт екскавації;  $t_{ц}$  - час циклу, яке відповідає куту повороту екскаватора по технічній характеристиці, с.

Враховуючи формули для наведених коефіцієнтів, провівши деякі перетворення, отримаємо загальну формулу для експлуатаційної продуктивності ЕАК залежно від гірничотехнічних умов і параметрів роботи обладнання

$$Q_{зз}(B, H, t_{ман}, t_{ц}, R_{гв}) = Q_m \cdot \frac{\left( \frac{n \cdot (t_{ц} + 2 \cdot \omega \cdot (\beta - \alpha_n))}{n \cdot (t_{ц} + 2 \cdot \omega \cdot (\beta - \alpha_n)) + t_{ман}} \right) \cdot l_n \cdot H \cdot (2 \cdot R_{гв} \cdot \sin(\frac{\beta'}{2}) - (H \cdot ctg \vartheta + l_6 + c))}{(l_n \cdot H \cdot (2 \cdot R_{гв} \cdot \sin(\frac{\beta'}{2}) - (H \cdot ctg \vartheta + l_6 + c)) + Q_m \cdot \left( \frac{n \cdot (t_{ц} + 2 \cdot \omega \cdot (\beta - \alpha_n))}{n \cdot (t_{ц} + 2 \cdot \omega \cdot (\beta - \alpha_n)) + t_{ман}} \right) + (t_n - t_{ман}) / 60)} \Rightarrow \max,$$

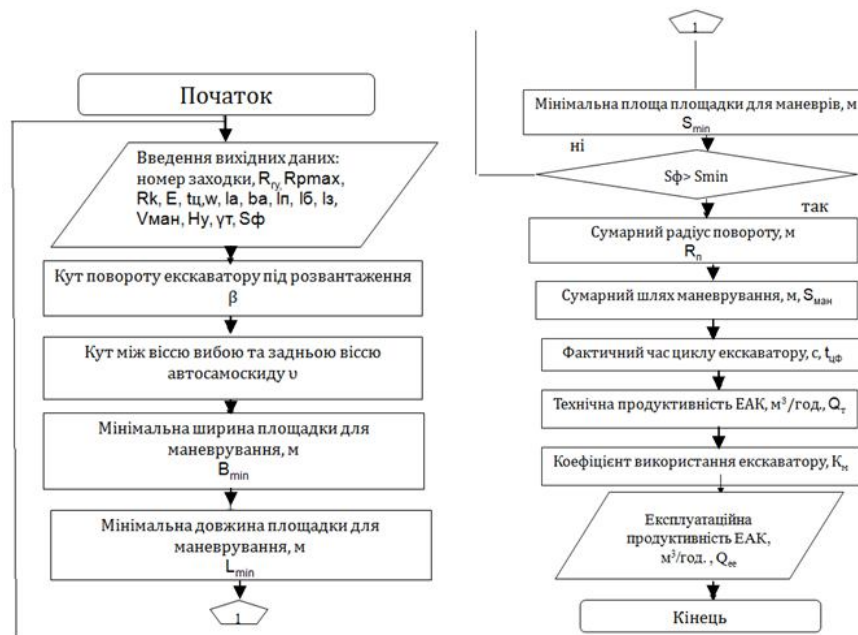
де  $B$  - ширина вибою, м;  $H$  - висота вибою, м;  $t_{ман}$  - час маневрування кар'єрного самоскиду під навантаження;  $R_{гв}$  - радіус установки екскаватора на рівні стояння, м;  $n$  - кількість ковшів екскаватора в кузові самоскиду при навантаженні;  $\omega$  - час повороту екскаватора на 1 град., с;  $\beta$  - фактичний кут повороту екскаватора, град.;  $\alpha_n$  - кут повороту екскаватора по його технічній характеристиці, с;  $l_n$  - довжина (крок) пересування екскаватора, м;  $t_n$  - час пересування екскаватора вздовж вибою, хв.;  $\beta'$  - середній кут повороту екскаватора на розвантаження, град.;  $\alpha = \alpha_o + \alpha_r$  - де  $\alpha_o$  - ексцентриситет вибою, м;  $\alpha_r$  - відстань від осі вибою до осі самоскиду, м;  $\square$  - кут укосу елемента вибою, град;  $c$  - запас ширини, м.

Сумарний радіус повороту самоскиду і шлях маневрування визначалися графоаналітичним методом виходячи зі схеми вибою і параметрів маневрової площадки для кожного типу заходок. Так, для розглянутої вище тупикової поздовжньої широкої заходки:

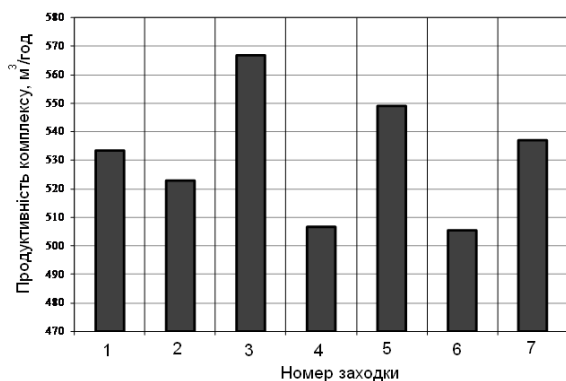
$$R_n = R_{н.з} + l_n + l_6 + R_{pmax} \cdot 90 \cdot \pi / 180$$

$$S_{ман} = (R_{pmax} + R_n) \cdot ((v \cdot \pi) / 180) + 4 \cdot R_{н.з}$$

Час маневрування самоскиду залежить від прийнятої схеми під'їзду під навантаження. Методика включає розрахунки за всіма типами екскаваторних заходок, кожній з яких був привласнений певний номер. На рис. 3 представлено одну з гілок розробленого алгоритму.



**Рис. 3.** Алгоритм розрахунків узгодження параметрів маневрових майданчиків з робочими параметрами ЕАК. Виходячи з отриманих результатів можлива оцінка мінімальних розмірів маневрових площадок для працюючого устаткування, порівняння розрахункових параметрів площадок з фактичними, порівняння розмірів заходки і схем маневрування і вибір технологічно можливої схеми за критерієм максимальної продуктивності комплексу.



**Рис. 4.** Продуктивність комплексу «екскаватор ЕКГ-8И-кар'єрний самоскид БелАЗ-75131» залежно від схеми екскаваторної заходки

Графік залежності середньої продуктивності ЕАК від схеми маневрування і способу відпрацювання уступу при тупиковій конструкції фронту гірничих робіт (рис. 4), де нумерація типу заходок: 1 - поперечна вузька і нормальна, 2 - поперечна широка, 3 - діагональна вузька і нормальна, 4 - діагональна широка, 5 - поздовжня вузька і нормальна, 6 - траншейна, 7 - поздовжня широка.

широка.

Кільцева схема під'їзду під навантаження при відпрацюванні діагональної нормальної заходки є оптимальною для типу комплексу, поширеного на кар'єрах Криворізького регіону (рис. 4). Однак на кар'єрах використовуються найчастіше тупикові схеми під'їзду самоскидів під навантаження при відпрацюванні тупикової поздовжньої заходки різної ширини.

**Висновки та напрями подальших досліджень.** Таким чином, вдосконалена математична модель узгодження параметрів маневрових площадок й гірничотранспортного обладнання, яка дозволяє вибрати найбільш раціональні схеми під'їзду під навантаження для різних способів відпрацювання уступів, що забезпечують максимальну продуктивність і безпеку робіт при мінімальних розмірах маневрових площадок.

#### Список літератури

1. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий с открытым способом разработки месторождений полезных ископаемых. – К.: Министерство промышленной политики Украины, 2007- 224 с.
2. Определение минимальной ширины рабочих площадок для автомобильного транспорта на открытых горных работах. Инструкция НИГРИ. – Кривой Рог, 1983. – 56 с.
3. Карьерная техника ПО «БЕЛАЗ»: справочник / под ред. П.Л. Мариева, К. Ю. Анистратова. М.: ООО «КА технокомплект», 2005. - 448 с.

Рукопись поступила в редакцию 118.04.12