

ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО МЕТОДУ СТАБІЛІЗАЦІЇ ЯКОСТІ ВУГІЛЛЯ В УМОВАХ СКЛАДНОСТРУКТУРНИХ ПОКЛАДІВ

С. П. Пушкін, А. О. Водяник, кандидати техн. наук (НТУУ «КПІ»)

Обоснован метод стабилизации качества угля, добываемого из сложноструктурных пластов роторными экскаваторами в комплексе с железнодорожным транспортом.

Обґрунтовано метод стабілізації якості вугілля, що добувається з складноструктурних пластів роторними экскаваторами в комплексі з залізничним транспортом.

The method for stabilization of quality of the coal extracted from complex structure banks by bucket wheel excavators in complex with railway transport is proved.

Постановка проблеми. Спалювання вугілля з нестабільною якістю на теплових електростанціях викликає зниження потужності виробництва пари, абразивний знос поверхонь нагріву котлоагрегатів, обмеження продуктивності допоміжного обладнання, збільшення експлуатаційних витрат на вироблення електроенергії та викидів золи і інших шкідливих речовин в атмосферу [1]. Навпаки, споживання однорідного за якістю вугілля дозволяє збільшити вироблення електроенергії, зменшити питому витрату палива.

Таким чином, для зменшення забруднення навколишнього середовища, раціонального використання земель і запасів вугілля в надрах, підвищення ефективної роботи вугільних кар'єрів і електростанцій необхідно здійснювати заходи, спрямовані на стабілізацію якості вугілля, що добувається.

Аналіз досліджень, в яких започатковано розв'язання даної проблеми. У праці [2], виконаній для умов складноструктурних вугільних покладів, для стабілізації якості товарного вугілля рекомендується застосовувати вибієне усереднення шляхом роздільного виймання якісно різнорідних ділянок вибою з подальшим усередненням вугілля в залізничних вагонах, в [3] – проводити усереднення вугілля на усереднювальних складах.

При валовому вийманні пластів використання рекомендацій [2] може призвести до значного зниження продуктивності потужних экскаваторів; усереднення вугілля на усереднювальних складах без планування видобутку вугілля в режимі усереднення якості збільшить обсяги усереднення і, як наслідок, капітальні та експлуатаційні витрати.

В зазначених вище роботах не розглядаються питання взаємозв'язку гірничо-геологічних умов залягання покладу, технології та параметрів виймання і якості вугілля, що добувається, оптимізації планування видобутку вугілля різних груп споживачів в режимі усереднення якості з урахуванням резерву продуктивності экскаваторів.

Мета статті:

1) обґрунтувати раціональну технологію і параметри виймання, що забезпечують підвищення однорідності якості вугілля при розробці складноструктурних пластів роторними екскаваторами в комплексі з залізничним транспортом у різних гірничо-геологічних умовах залягання покладу;

2) розробити рекомендації щодо поточного та оперативного планування видобутку вугілля в режимі усереднення якості;

3) обґрунтувати раціональний метод стабілізації якості вугілля в умовах складноструктурних покладів.

Викладення основного матеріалу дослідження. В умовах складноструктурних покладів однорідність вугілля у вагонах залежить від взаємозв'язку способів та параметрів виймання і гірничо-геологічних умов залягання пластів. Взаємозв'язок між ними можна встановити на основі імітаційного математичного моделювання на комп'ютері процесу відпрацювання роторними екскаваторами різних типів складних вибоїв, геологічну структуру яких представлено математичною моделлю [4].

Для дослідження було вибрано умови розробки складноструктурних вугільних покладів Екібастузського басейну. В результаті розрахунків за геологічними картами вибоїв, що відпрацьовуються роторними екскаваторами різної потужності за різними технологічними схемами, встановлено кореляційні залежності, що характеризують змінення зольності добутого вугілля залежно від виду стружки, застосовуваного виймально-завантажувального устаткування, яке визначає параметри екскаваторних блоків, і величини кута падіння пластів.

При розробці видобувних заходок вертикальними стружками кількість прошарків, що завантажуються до вагонів, визначається, з одного боку, параметрами стружки (висотою, товщиною, шириною), з другого – кутом падіння прошарків. Тому мінливість якісних показників вугілля по вагонах залежить від потужності екскаваторів (діаметра ротора) і умов залягання пластів.

При розробці пластів у діапазоні від 0 до 60...70° вертикальними стружками екскаваторами продуктивністю 1250...5000 м³/год коефіцієнт варіації повагонної зольності параболічно залежить від величини кута падіння пластів і на 10...30 % менший, ніж при горизонтальних стружках (рис. 1).

Незначне підвищення ефективності стабілізації якості вугілля (на 3...5 %) при розробці пластів з кутом падіння понад 60° горизонтальними стружками пояснюється великим впливом на процес усереднення вугілля серпоподібної стружки.

Із збільшенням кута падіння пластів коефіцієнт варіації зольності вугілля при використанні екскаваторів типу ЕРП-1250 з діаметром ротора 6...7 м різко знижується, а при використанні екскаваторів типу ЕРШРД-5000 з діаметром ротора 13 м – дещо збільшується (рис. 2). Крива залежності 2 коефіцієнта варіації зольності вугілля при використанні екскаваторів СРс(к)-2000, діаметр ротора якого близько 10 м, займає проміжне положення між кривими 1 і 3. Це свідчить про таку закономірність: збільшення мінливості повагонної зольності вугілля із збільшенням потужності екскаваторів, які застосовуються

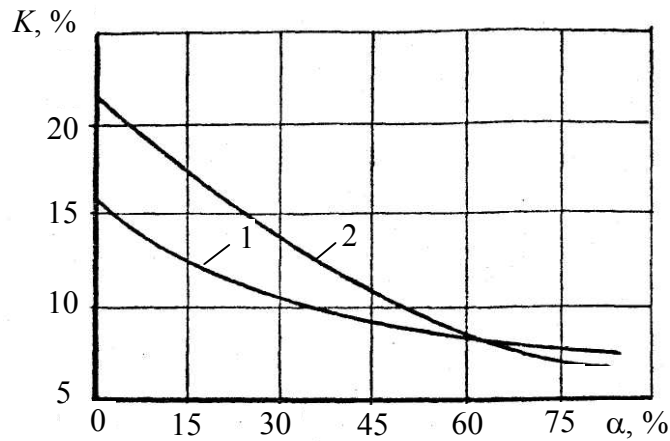


Рис. 1. Залежність коефіцієнта варіації зольності вугілля K від кута падіння пластів α при різних способах розробки складноструктурного вибою: 1 – вертикальними стружками; 2 – горизонтальними стружками

при розробці пластів крутого залягання, і зменшення коефіцієнта варіації зольності при використанні екскаваторів з великими розмірами роторів для відпрацювання пластів пологого залягання. Тобто, коефіцієнт варіації повагонної зольності вугілля при розробці пластів з кутом падіння від 0 до $40...50^\circ$ обернено пропорційний, а з кутом падіння більше 50° – прямо пропорційний висоті та товщині вертикальних стружок.

Підвищення стабілізації якості вугілля при розробці пластів пологого та похилого залягання більш потужними екскаваторами обумовлено великим впливом на мінливість зольності висоти виймального шару, збільшення якого приводить до вибійного усереднення значної кількості прошарків. На пластах крутого залягання ефективність вибійного усереднення більшою мірою визначається шириною стружки, що завантажується до вагону, величина якої для екскаватора типу ЕРП-1250 орієнтовно вдвічі більша, ніж для екскаватора типу ЕРШД-5000. Тому для кращої стабілізації повагонної зольності вугілля розробку пластів похилого залягання (з кутом падіння до $40...50^\circ$) необхідно виконувати потужнішими екскаваторами, а пласти крутого залягання – екскаваторами теоретичною продуктивністю $1250 \text{ м}^3/\text{год}$.

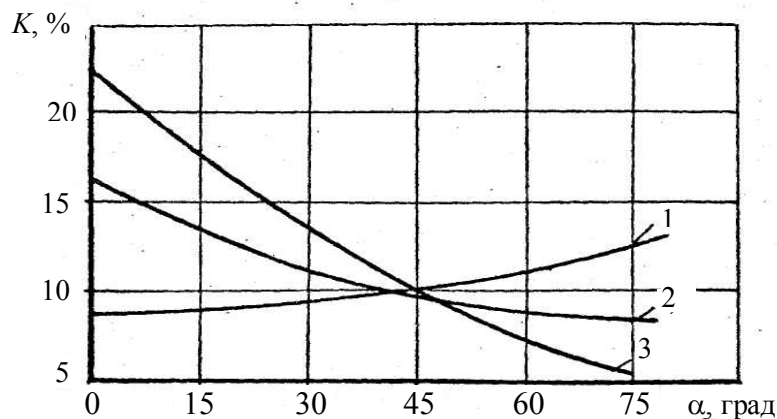


Рис. 2. Залежність коефіцієнта варіації зольності вугілля K від кута падіння пластів α при розробці складноструктурних вибоїв екскаваторами теоретичною продуктивністю $1250...5000 \text{ м}^3/\text{год}$: 1 – екскаватор ЕРШД-5000; 2 – екскаватор СРс(к)-2000; 3 – екскаватор ЕРП-1250

Подальше підвищення стабілізації якості добутого вугілля з використанням гірничотранспортного устаткування та раціональної технології розробки складноструктурних вибоїв досягається оперативним управлінням видобувними роботами в режимі усереднення якості, на стадії підготовки до якого передбачається розв'язання задач поточного та оперативного планування [6].

Розв'язання задачі місячного планування видобутку вугілля здійснюється на основі цифрової моделі родовища або бази даних, що включає геологічну, маркшейдерську та нормативно-довідкову інформацію. При цьому ураховується положення фронту гірничих робіт на початок періоду, що планується, та графік планово-попереджувальних ремонтів екскаваторів, переміщення залізничних колій, підготовлені запаси гірничої маси, планові завдання за обсягом та якістю вугілля та інші техніко-економічні показники.

У загальному вигляді рішення задачі зводиться до визначення оптимальних обсягів видобутку вугілля для кожного екскаватора на кожен день з умовою досягнення екстремального значення такого критерію:

$$F = \sum_{t=1}^T \sum_{l=1}^P \left(\frac{\sum_{i=1}^n K_{cit}^l V_{it} A_{it}^{d(l)}}{\sum_{i=1}^n V_{it}} - A^{d(l)} \right)^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

де T – число днів у періоді, що планується; P – число груп споживачів; n – число екскаваторних заходок; K_{cit}^l – коефіцієнт співвідношення вугілля l -ої групи споживачів в i -й заходці в t -ту добу; V_{it} – план видобутку вугілля для i -го екскаватора в t -ту добу, т/добу; $A_{it}^{d(l)}$ – зольність вугілля l -ої групи споживачів у i -й заходці в t -ту добу, %; $A^{d(l)}$ – планове значення середньої зольності вугілля по кар'єру по l -й групі споживачів.

Мінімізація критерію (1) виконується при таких обмеженнях:

забезпечення плану видобутку на кар'єрі по кожній групі споживачів на t -ту добу;

урахування пропускної здатності транспортних комунікацій і рівномірності розподілу обсягів видобутку для кожного екскаватора протягом усього періоду планування;

виконання екскаваторами місячних обсягів видобутку, а кар'єром – заданих якісних показників.

На рівні добового і змінного планування видобувних робіт виникає необхідність коректувати обсяги видобутку по екскаваторах через зміну геологічних характеристик вибоїв, які відробляються (зольності вугілля, коефіцієнтів співвідношення різних груп, коефіцієнтів внутрішнього розкриття), внаслідок аварійних зупинок екскаваторів, відхилення обсягів видобутку вугілля від місячного план-графіку. Тому на цьому рівні планування розв'язується задача міжвибійного усереднення вугілля.

Задача міжвибійного усереднення вугілля розв'язується на основі геолого-технологічних карт вибоїв. Кількісні та якісні показники вугілля

відповідно до прийнятої технології розраховуються за допомогою імітаційної моделі процесу розробки складного вибою [4].

При відсутності відомостей про надходження вагонів Міністерства транспорту, в яких перевозяться вугілля до електростанцій, необхідно прагнути максимального виконання обсягу видобутку вугілля по кар'єру:

$$\sum_{i=1}^n V_i \rightarrow \max. \quad (2)$$

При цьому продуктивність кожного екскаватора не повинна бути більшою за максимально можливе значення і меншою за мінімально можливе значення; необхідною умовою є виконання плану видобутку вугілля кожної групи по кар'єру і по кожній видобувній ділянці, урахування пропускної здатності транспортних комунікацій кар'єра і обмежень за заданими якісними показниками.

При відомій кількості вагонів, що надходять, розв'язання задачі зводиться до оптимального розподілу відомого обсягу видобутку вугілля по вибоєм.

Як функція мети застосовується вираз

$$\sum_{i=1}^n V_i \rightarrow \max. \quad (3)$$

Крім наведених вище обмежень, в моделі враховують роботу акумулюючого та усереднюючих складів по кожній групі споживачів.

В результаті розв'язання задачі методом лінійного програмування визначаються оптимальні обсяги видобутку в кожному видобувному вибої.

На другому рівні планування розв'язується задача усереднення вугілля в маршрутах, що відправляються споживачам. Розв'язання задачі зводиться до розрахунку графіка роботи залізничного транспорту, який дозволяє виявляти послідовність подачі до вибоїв вугільних та породних ешелонів, а також формувати на вуглезбиральних станціях кар'єрів маршрути з мінімальними відхиленнями середньозваженої зольності від планового значення при найменших витратах часу. Графік є основою оперативного управління видобувними роботами в режимі усереднення вугілля.

Обґрунтування раціонального методу стабілізації якості добутого вугілля, резерву продуктивності екскаваторів, кількості відправних колій на вуглезбиральній станції кар'єру здійснюється з мінімумом сумарних витрат на видобуток, транспортування, спалення вугілля з урахуванням коливань якісних показників і замикаючих (компенсаційних) витрат на виробництво електроенергії.

Сумарні витрати доцільно визначати на основі імітаційного моделювання на комп'ютері процесу функціонування видобувного виймально-транспортного комплексу кар'єру. Моделювання виконується з використанням конкретної схеми транспортної мережі кар'єру по добах окремих місяців на основі графіка планово-попереджувальних ремонтів екскаваторів [7].

Вихідною інформацією є дані про фактичну динаміку роботи обладнання і зольності вугілля по заходках при ефективній технології їх розробки. Продуктивність екскаваторів, зольність вугілля в ешелонах, кількість і час прибуття вагонів на вуглезбиральну станцію і в кар'єр на кожному кроці

моделювання розігруються за допомогою датчиків випадкових чисел виходячи із встановлених законів розподілу.

Моделювання процесу функціонування виймально-транспортного комплексу триває до повного завантаження розіграних генератором випадкових чисел ешелонів, які надійшли у кар'єр за добу.

Для порівняльної оцінки різних варіантів стабілізації якості вугілля моделювання виконується в кілька етапів. На першому етапі спеціальний розподіл обсягів видобутку вугілля по вибоях і маршрутам з метою стабілізації його якості не відбувається. На наступних етапах в алгоритм моделі послідовно вводяться блоки міжвибійного усереднення вугілля і усереднення вугілля у маршрутах. В першому з них розподіляються обсяги видобутку між екскаваторними вибоями, у другому – відбувається послідовний перебір варіантів формування маршрутів із ешелонів з різною зольністю при виконанні обмежень на тривалість простою вагонів Міністерства транспорту у кар'єрі, виконання потрібних якісних показників по групам споживачів, технології формування маршрутів тощо. Моделювання здійснюється при різній кількості екскаваторів і відправних колій на вуглезбиральній станції кар'єру.

За результатами моделювання будуються залежності середньоквадратичного відхилення зольності вугілля по маршрутах, тривалості простоїв вагонів, зміни витрат по кар'єру та на електростанціях від коефіцієнта резерву продуктивності екскаваторів і кількості відправних колій на вуглезбиральній станції кар'єру. Коефіцієнт резерву продуктивності екскаваторів

$$K_p = \sum_{i=1}^n Q_i / Q_k,$$

де Q_i – продуктивність i -го екскаватора, млн т; Q_k – виробнича потужність кар'єру, млн т.

Вибір раціонального резерву продуктивності устаткування здійснюється одночасно з обґрунтуванням раціонального варіанта стабілізації якості вугілля на основі техніко-економічних розрахунків.

Розрахунки, виконані для гірничотехнічних умов складноструктурних покладів Екібастузського басейну, дали змогу визначити, що при розробці потужних складних пластів роторними екскаваторами усереднення вугілля у маршрутах та оптимальний розподіл обсягів видобутку вугілля по заходках навіть без підключення резервних екскаваторів і будівництва допоміжних колій на вуглезбиральній станції кар'єру дозволить знизити мінливість зольності вугілля відповідно на 12 і 20 %. При цьому середні квадратичні відхилення маршрутної зольності і тривалість простою вагонів на вуглезбиральній станції кар'єру гіперболічно залежать від коефіцієнта резерву продуктивності екскаваторів і кількості відправних колій і зменшуються зі збільшенням останніх (рис. 3, *a*). Це викликає, відповідно, зменшення питомих витрат палива і покращення техніко-економічних показників роботи електростанцій, скорочення витрат на простої вагонів і підвищення ефективності роботи кар'єрів. З іншого боку, збільшення резерву продуктивності гірничо-транспортного обладнання підвищує витрати по кар'єру (рис. 3, *b*), але зменшує витрати на електростанції.

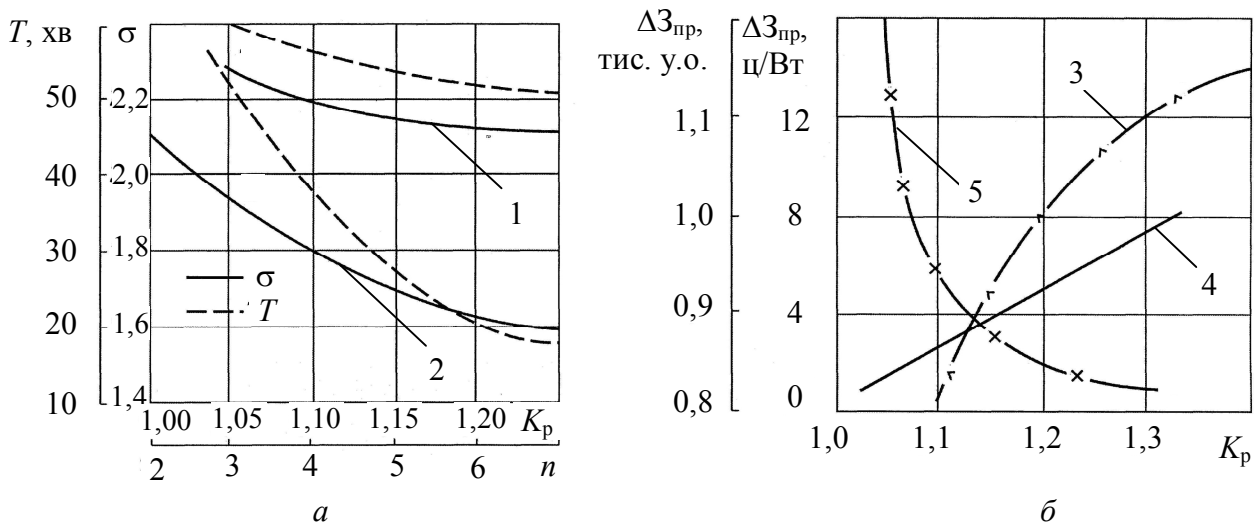


Рис. 3. Залежність середнього квадратичного відхилення σ і тривалості простою вагона T від кількості відправних колій n (1) і коефіцієнта резерву продуктивності екскаваторів K_p (2); зміна скорочення витрат на простої вагонів ΔZ_{pr} на 1 млн т видобутого вугілля (3), зміни витрат ΔZ по кар'єру (4) і на електростанції (5)

Рациональний метод стабілізації якості вугілля обґрунтовується за умовою мінімізації сумарних витрат на виробництво електроенергії.

На основі розрахунків встановлено, що вибір рационального методу значною мірою визначається резервом продуктивності роторних екскаваторів.

Ефективним є поєднання способів стабілізації якості вугілля. Доцільно поєднувати розподіл обсягів видобутку вугілля по заходках з його усередненням у маршрутах з резервом продуктивності екскаваторів 10...20 % і наявності 4...5 запасних відправних колій на вуглезбиральній станції кар'єру (рис. 4). Це дає змогу зменшити середнє квадратичне відхилення зольності вугілля по маршрутах на 30...35 %, скоротити тривалість простоїв вагонів на вуглезбиральній станції на 35...40 %, знизити витрати на видобуток вугілля з подальшим його спаленням на електростанціях на 4...6 %.

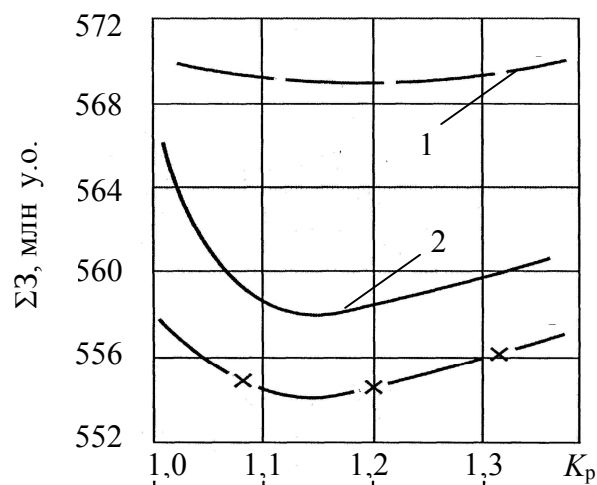


Рис. 4. Зміна сумарних наведених витрат на виробництво електроенергії ΣZ при різних варіантах стабілізації якості вугілля: 1 – усереднення вугілля у маршрутах; 2 – міжвибійне усереднення вугілля; 3 – зіставлення вказаних способів

Висновки

1. Валова розробка складноструктурних вугільних пластів з кутом падіння від 0 до 60...70° вертикальними стружками забезпечує порівняно з розробкою горизонтальними стружками зниження коефіцієнта варіації повагонної зольності на 10...30 %, а з кутом падіння, більшим за 70°, коефіцієнт варіації зольності вугілля розрізняється незначно.

2. При валовому вийманні вугілля із складноструктурних пластів підвищення стабілізації якості досягається використанням екскаваторів з діаметром ротора 10...13 м на ділянках з кутом падіння покладу від 0 до 40...50° і екскаваторів з діаметром ротора 6...7 м – на ділянках з кутом падіння покладу в діапазоні 50...90°.

3. Раціональний розподіл обсягів видобутку вугілля по видобувних заходках та маршрутах, що відправляються споживачам, за допомогою розв'язання задач місячного і оперативного планування видобувних робіт у режимі усереднення вугілля дозволяє знизити мінливість зольності вугілля відповідно на 20 і 12 %.

4. В умовах складноструктурних покладів доцільно поєднувати розподіл обсягів видобутку вугілля по заходках з його усередненням у маршрутах з резервом продуктивності екскаваторів 10...20 % і наявності 4...5 резервних відправних колій на вуглезбиральній станції кар'єру, що забезпечує зменшення мінливості зольності вугілля по маршрутах на 30...35 %, скорочення тривалості простоїв вагонів на вуглезбиральній станції на 35...40 %, зниження витрат на видобуток вугілля з послідовним його спаленням на електростанціях на 4...6 %.

1. *Дахов А. И., Михайловский Ю. М.* Некоторые проблемы, возникающие при сжигании низкосортных топлив на ТЭС // Электрические станции. – 1983. – № 3. – С. 14–18.

2. *Шаль Р. Р.* Обоснование рациональной технологической схемы усреднения угля сложноструктурных пластов, разрабатываемых роторными экскаваторами:... Дис. канд. техн. наук. – М., 1984. – 218 с.

3. *Кузин Ю. С.* Разработка технологических схем и методов расчета усреднительных складов угля для разрезов большой производственной мощности: Дис...канд. техн. наук. – М., 1985. – 180 с.

4. *Беляков Ю. И.* Проектирование экскаваторных работ. – М.: Недра, 1983. – 349 с.

5. *Кривцов М. В., Пушкін С. П.* Планування видобутку вугілля в режимі усереднення якості при розробці складноструктурних пластів // Проблеми охорони праці в Україні. – Зб. наук. праць. – Вип. 13. – К.: ННДІОП. – 2007. – С. 104–112.

6. *Пушкін С. П.* Оперативное планирование работы транспорта при отработке сложных угольных пластов // Технологические процессы открытых горных работ и их совершенствование. Научн. сообщ./ ИГД им. А. А. Скочинского. – Вып. 211. – 1982. – С. 38–43.

7. *Кривцов М. В., Ковалевич С. В., Пушкін С. П.* Комп'ютерне моделювання процесу функціонування добувального виймально-транспортного комплексу кар'єру // Проблеми охорони праці в Україні. – Вип. 12. – К.: ННДІОП. – 2006. – С. 91–96.