

Савенко Р.Г., д.т.н., професор  
Лисенко М.В., к.ф.-м.н., доцент  
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

## ОПЕРАТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ПОТУЖНИМИ ГІРНИЧО-ТРАНСПОРТНИМИ КОМПЛЕКСАМИ В ЗАЛІЗОРУДНИХ КАР'ЄРАХ

Визначено, що на всіх етапах управління технологіями гірничовидобувних робіт важливою є проблема формування ефективних комплексів механізації. Виявлено, що на етапі оперативного управління головним інструментом для формування плану роботи кар'єру стає використання розробленої динамічної математичної моделі та програмного забезпечення до неї у складі двох підсистем: формування планових завдань комплексам механізації та моніторинг фактичних показників роботи механізмів. Розроблено математичну модель, котра дає можливість розв'язувати оптимізаційні завдання оперативного управління: забезпечення мінімального «порожнього» пробігу автосамоскидів, виконання змінного завдання з мінімальною кількістю автосамоскидів, обґрунтування кількості резервних екскаваторів та автосамоскидів тощо, які зараз вирішуються фахівцями наближено, без достатнього обґрунтування.

**Ключові слова:** екскаваторно-автомобільний комплекс, динамічна математична модель, оптимізація, програмне забезпечення, планове завдання.

Савенко Р.Г., д.т.н., професор  
Лысенко Н.В., к.ф.-м.н., доцент  
Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

## ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МОЩНЫМИ ГОРНО-ТРАНСПОРТНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ В ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ КАРЬЕРАХ

Определено, что на всех этапах управления технологиями горнодобывающих работ важной является проблема формирования эффективных комплексов механизации. Выведено, что на этапе оперативного управления главным инструментом для формирования плана работы карьера становится использование разработанной динамической математической модели и программного обеспечения к ней в составе двух подсистем: формирование плановых заданий комплексам механизации и мониторинг фактических показателей работы механизмов. Разработана математическая модель, дающая возможность решать оптимизационные задачи оперативного управления: обеспечение минимального «пустого» пробега автосамосвалов, выполнение сменного задания с минимальным количеством автосамосвалов, обоснование количества резервных экскаваторов и автосамосвалов и т.п., которые сейчас решаются специалистами приближенно, без достаточного обоснования.

**Ключевые слова:** экскаваторно-автомобильный комплекс, динамическая математическая модель, оптимизация, программное обеспечение, плановое задание.

Savenko R., ScD, Professor  
Lysenko M., PhD, Associate Professor  
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

## OPERATIVE MANAGEMENT OF POWERFUL MINING AND TRANSPORT COMPLEXES IN IRON-ORE QUARRIES

*A problem of effective formation of complexes of mining works mechanization at stages of long-term designing and planning (5 – 10 years), medium-term planning (1 – 5 years), annual prognoses and operative planning and management of exploitation works at quarry is important at all stages of mining works technology management at modern iron-ore quarries. Ensuring of stable, maximally effective, shift, daily work of mechanization complexes and means of management system automation becomes the main goal of management system of mining and transport complex (MTC) for years. The best way of shift plan formation for each element of quarry's excavator-automobile complex (EAC) is implementation of developed dynamic mathematical model of MTC work and its software. It consists of two subsystems: planned tasks formation for each mechanization complex prior to start of working shift and redistribution of EAC composition during operation in respect to actual indicators. Planning methodic has been improved for the first subsystem. It enables optimal movement organization for auto dump trucks as well as minimization of idle run. This methodic incorporates applying of mathematical model which based on application of linear optimization and graph theory. Dynamic mathematical model has been developed for the second subsystem. It enables undertaking of efficient management solutions for operation of EAC. Among them there are reserve excavators and automobiles using, directions of transportation changing, redistribution of automobiles among excavators etc.*

*Mechanism of current planning foresees elasticity management. It includes the presence of reserve excavators and auto dump trucks, the possibility of shift task decreasing in respect to some kinds of mining mass, saving of interchangeable transport routs, increasing of plan's maneuverability rate. Selection of routs in optimal plans in terms of elasticity enables redistribution of auto dump trucks among routs during working shift and presence of reserve auto dump trucks without significant efficiency decreasing.*

*Mathematical model for management system has been developed. It provides solution for a number of optimization tasks of operative management. Procuring of minimal idle run of auto dump trucks, execution of quarry's shift task within minimal number of auto dump trucks on duty, minimal deposits of mining mass at pits, minimal number of relocations of unloading points to another places of the quarry which decreases the length of automobile routs and other tasks are among them. These tasks are being solved by specialists approximately, without necessary theoretical justification.*

**Keywords:** *excavator-automobile complex, dynamic mathematical model, optimization, software, planned task.*

**Вступ.** На всіх етапах управління технологіями гірничовидобувних робіт на сучасних залізрудних кар'єрах важливою є проблема формування ефективних комплексів механізації гірничих робіт на етапах довгострокового проектування та планування (5 – 10 років), середньострокового планування (1 – 5 років), річного прогнозу й оперативного планування та управління експлуатаційними роботами в кар'єрі (змінні й добові нормативи і завдання). При цьому тільки на завершальному етапі система управління комплексами механізації нарешті реалізується випуском продукції у вигляді фактичних показників виробничої діяльності (об'ємів гірничої маси певної якості) як результат усіх попередніх підготовчих етапів, що мали мету створити умови для багаторічного ефективного видобутку корисних копалин сформованими оптимальними (ефективними) гірничо-транспортними комплексами (ГТК) механізації для конкретних гірничо-геологічних і технологічних умов на цей час.

На етапі оперативного управління кінцевою головною метою системи управління ГТК на ряд років стає забезпечення стабільної, максимально ефективної, щозмінної та щодобової роботи комплексів механізації й засобів автоматизації системи управління. Це досягається організацією неперервного динамічного моніторингу за виробничими процесами в кар'єрі та їх результатами в режимі оперативного планування й управління в умовах постійного виникнення випадкових й планових загроз нормативним ситуаціям виробничої діяльності. Ведучою ланкою при цьому є процеси та засоби механізації гірничо-транспортного комплексу кар'єру, зокрема потужні екскаватори, автосамоскиди або залізничний транспорт, бурові верстати, бульдозери й інше допоміжне обладнання.

**Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій.** Оптимізація роботи екскаваторно-автомобільного комплексу (ЕАК) в гірничодобувних кар'єрах є предметом наукового дослідження багатьох авторів. Так, у роботі [1] побудована математична модель оптимізації роботи транспортної техніки в кар'єрах на основі програмування з нечіткими обмеженнями. Для управління складними процесами виробничо-транспортних комплексів С.К. Рамазановим [2] обґрунтовано необхідність і важливість уживання гібридних інтелектуальних регуляторів та інтелектуальних автоматизованих робочих місць (АРМ) на основі нечіткої бази знань; розроблено методичку й алгоритм створення гібридних інтелектуальних систем, що функціонують в умовах змішаної невизначеності та дозволяють комбінувати кількісну інформацію з якісною у вигляді лінгвістичних та нечітких змінних. У роботі [3] досліджено системи диспетчеризації в кар'єрах, виявлено переваги та недоліки диспетчерських стратегій, виділено найважливіші елементи, які повинні бути частиною системи диспетчеризації. У роботі К.Ю. Аністратова й Л.В. Борщ-Компонійця [4] обґрунтовано необхідність диференційованого підходу до прогнозування продуктивності автосамоскидів та визначення норм виробітку при річному, середньо- й довгостроковому плануванні кількісного та якісного складу автопарку й у процесі управління виробництвом. У роботі [5] розроблено модель та програму оптимізації для управління транспортом у гірничодобувній промисловості, що дає можливість у процесі прийняття управлінських рішень максимізувати корисність окремих транспортних механізмів при необхідній якості видобутої гірничої маси та досягти фінансової економії. У роботі [6] запропоновано модель цілочислового програмування для розв'язання проблеми планування вантажоперевезень у кар'єрі. У роботах [7, 8] В.М. Левикін та І.В. Шевченко вдосконалили критерії якості функціонування кар'єрного автотранспорту та створили керовану імітаційну модель його роботи, що використовує теоретико-графове відображення маршрутів автосамоскидів та адекватно відтворює значення технологічних параметрів кар'єру.

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.** Робота екскаваторно-автомобільних комплексів у гірничорудних кар'єрах відбувається в ситуації невизначеності параметрів середовища, на неї впливає багато факторів, передбачити які на етапі планування неможливо. Отже, доцільним є доповнення оптимізаційних моделей, котрі використовуються при плануванні й управлінні роботою ЕАК, показниками динаміки та еластичності, що підвищить маневреність планових рішень і дасть можливість своєчасної їх модифікації в процесі роботи.

**Постановка завдання.** Основним завданням роботи є вдосконалення системи планування й управління потужними гірничо-транспортними комплексами в залізорудних кар'єрах на основі розробленої динамічної математичної моделі, яка дає можливість розв'язувати ряд оптимізаційних завдань та приймати ефективні управлінські рішення при невизначеності параметрів середовища.

**Основний матеріал і результати.** На діючому гірничому підприємстві ефективна діяльність реалізується у двох головних напрямках: по-перше, це забезпечення ефективного використання технічних засобів механізації й автоматизації (організація планових ремонтів та обслуговування, зниження витрат, пального, автошин, мінімум простоїв обладнання тощо). По-друге, удосконалення системи оперативного управління ГТК на рівні робочої зміни та доби в динаміці часу, що досягається організацією неперервного моніторингу за робочим часом кожного екскаватора та автосамоскида, з автоматичним або автоматизованим регулюванням індикаторів (параметрів), з використанням сучасних радіокомунікаційних і мікропроцесорних засобів, АРМ диспетчерів-експертів, водіїв-операторів самоскидів та екіпажів екскаваторів, а також систем дистанційного контролю на пунктах розвантаження, перевантаження гірничої маси, ремонтних цехів тощо. Створюється локальна мережа технічних і програмних засобів системи оперативного управління.

Досліджуючи підсистему оперативного управління потужними ЕАК у залізорудних кар'єрах України в умовах Полтавського гірничо-збагачувального комплексу в кар'єрі Дніпровського комбінату, встановлено, що на етапі оперативного управління ЕАК головним інструментом для формування змінного плану кожному ЕАК кар'єру стає використання розробленої динамічної математичної моделі роботи ГТК та програмного забезпечення до неї для управління ГТК у складі двох задач (підсистем).

Перша задача: формування перед початком робочої зміни нормативних планових завдань кожному комплексу механізації – екскаватору та декільком автосамоскидам для нього.

З початком робочої зміни комплексів за фактичними показниками працює друга програма «Перерозподіл складу ЕАК».

1. До початку робочої зміни працює програма розподілу змінного завдання по екскаваторах та автосамоскидах, формуючи оперативні комплекси механізації з видачі змін завдання кожному екскаватору, який забезпечений підготовленою гірничою масою в забоях. Згідно з нормативами планується кількість потрібних автосамоскидів (з урахуванням інформації з бази даних кар'єру про відстані транспортування, якість доріг, стан автомобілів тощо). Ця інформація умовно змінна, але нормована і є в базі даних автоперевезення, вона може коригуватися диспетчером по транспорту в режимі реального часу. Як результат, перед початком робочої зміни екіпажам екскаваторів та операторам автосамоскидів видаються нормативні плани-завдання й змінні наряди, котрі повинні забезпечувати виконання змінного завдання кар'єру на вказану дату.

2. З початком робочої зміни починається моніторинг фактичних показників роботи механізмів, які можуть суттєво відрізнятись від нормативних з багатьох причин (поломка екскаватора, закриття окремих маршрутів перевезення). Тоді починає працювати друга програма й алгоритми підсистеми «Оперативний перерозподіл

автосамоскидів між екскаваторами» за головним критерієм – забезпечення виконання змінного плану роботи кар'єру шляхом обґрунтованого перерозподілу завдань кожному екскаватору та автомобілю в кожний момент часу зміни. Також є програмна можливість вирішувати оперативне управління комплексами механізмів за критерієм виконання змінного завдання кар'єру із забезпечення мінімального пробігу автосамоскидів.

Програма, база даних та алгоритм моніторингу в реальному часі забезпечують отримання повної інформації про результати роботи кожного екскаватора й автосамоскида як за кількістю переробленої гірничої маси, так і з урахуванням відстані автоперевезень різними маршрутами, часу простоїв під завантаженням та розвантаженням, в інших чергах нормативних та ненормованих, які є статистичними даними в базі даних математичної моделі ГТК.

Структура розробленої математичної динамічної моделі системи оперативного управління роботою ЕАК у кар'єрі включає робоче програмне забезпечення (ПЗ). Головним інструментом реалізації моделі підсистеми управління є локальна мережа комп'ютерних та комунікаційних технологій підприємства (рудоуправління) у складі автоматизованої системи управління (АСУ) гірничого комбінату. Підсистема забезпечує постійний динамічний моніторинг змінних параметрів і результатів виробничих процесів, порівняння їх із плановими та нормативами даних із БД. Також сприймається інформація і команди експертів, які надходять з АРМ фахівців: диспетчерів зміни, операторів автосамоскидів та екскаваторів, від ремонтних служб про аварії й ремонти технічних засобів, про геодезичні заміри обсягів гірничої маси в забоях, виконання змінних завдань екскаваторами та ін. При цьому ненормативні загрози виконанню змінного завдання кар'єру можуть аналізуватися й оброблятися в БД на основі розміщених статистичних масивів даних випадкових процесів, які накопичені для ряду ситуацій.

Розроблена математична модель системи оперативного управління дає можливість розв'язувати ряд інших оптимізаційних завдань оперативного управління за різними критеріями та обмеженнями. Наприклад, із цільовою функцією забезпечити мінімум сумарного «порожнього» пробігу за зміну автосамоскидів на основі використання графа кар'єрних доріг і пунктів розвантаження, також виконання змінного завдання кар'єру з мінімальною кількістю автосамоскидів на роботі в зміні, обґрунтування кількості резервних екскаваторів та автосамоскидів, запасів підготовленої гірничої маси в забоях, переноси пунктів розвантаження в інші місця кар'єру, що зменшують довжину маршрутів автомобілів, та інші прикладні задачі, які розв'язуються зараз фахівцями приблизно, без достатнього розрахункового обґрунтування.

При плануванні роботи ЕАК необхідно брати до уваги можливе зменшення кількості гірничої маси, що відвантажується від деяких екскаваторів. Причиною цього явища може бути простоювання екскаватора в очікуванні автотранспорту, поломки екскаваторів і автомобілів, відсутність електропостачання тощо. Інформація про простоювання екскаваторів та автосамоскидів накопичується в базах даних інформаційної системи й може бути використана для оцінювання їх кількості та тривалості в майбутні періоди. Механізм розроблення оптимальних планів повинен відображати певний зв'язок між можливим зменшенням кількості гірничої маси, що доставляється на пункти перевантаження, та зменшенням тривалості роботи екскаваторів і працюючих із ними автосамоскидів. При відомих маршрутах перевезень та розподілах автосамоскидів між цими маршрутами можна говорити про відмінності планів за еластичністю.

Дослідження відповідних функцій еластичності дає можливість визначити норми еластичності, які приймають за обмеження при розробленні оптимальних змінних планів роботи.

Планові величини відвантажень гірничої маси екскаваторами позначимо вектором  $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ , а планові кількості гірничої маси, що потрібно доставити на пункти перевантаження, вектором  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ , де  $m$  – кількість пунктів перевантаження, а  $n$  – кількість працюючих екскаваторів у кар'єрі. Позначимо множину можливих маршрутів автоперевезень через  $J$ , а інтенсивності роботи автосамоскидів на маршрутах через  $\{x_j\}_{j \in J}$ . Ці інтенсивності визначаються кількістю автосамоскидів на маршрутах, їх типом, особливістю доріг та середньотехнічною швидкістю. Оскільки маршрути перевезень і розподіл автосамоскидів між ними визначаються на етапі планування, то параметри  $\{x_j\}_{j \in J}$  вважаємо керованими.

Для оптимізації плану відповідно до норм еластичності потрібно визначити максимально можливий вектор недопоставок гірничої маси екскаваторами. Нехай цей вектор має вигляд  $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ , де  $n$  – кількість працюючих екскаваторів у кар'єрі. Використовуючи норми еластичності, можна визначити вектор  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$  недопоставок гірничої маси на пункти перевантаження, що відповідає вектору  $Q = \{\Delta q_1, \Delta q_2, \dots, \Delta q_n\}$ . Критерієм оптимізації вибираємо порожній пробіг автосамоскидів  $F = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$ . Модель оптимізації має вигляд

$$\begin{cases} \sum_{j \in J} a_{ij} x_j \geq p_i - \Delta p_i & i = \overline{1, m} \\ \sum_{j \in J} b_{ij} x_j \leq q_i - \Delta q_i & i = \overline{1, n} \\ x_j \geq 0 & j \in J \\ F = f(x_1, x_2, \dots, x_k) \rightarrow \min. \end{cases} \quad (1)$$

Для визначеного вектора поставок гірничої маси екскаваторів та визначеної на основі норм еластичності кількості доставленої на пункти перевантаження гірничої маси встановлюємо оптимальні маршрути перевезень та визначаємо розподіл автосамоскидів між цими маршрутами. Потім збільшимо можливі відвантаження гірничої маси екскаваторами на певні величини. Для цих величин на основі норм еластичності визначаємо можливі величини доставки гірничої маси на пункти перевантаження. Визначаємо оптимальний план перевезень із вимогою включення до нього маршрутів попереднього плану з не меншою кількістю працюючих на них автосамоскидів. Указані дії продовжимо до встановлення оптимального плану при виконанні екскаваторами планових завдань. Цей план і беремо за основу при розподілі автосамоскидів між маршрутами перевезень на початку зміни. За необхідності перерозподілу автосамоскидів у процесі робочої зміни визначаємо його оптимальний варіант. Визначений таким чином оптимальний план дає можливість під час робочої зміни здійснювати перерозподіл автосамоскидів між маршрутами й уведення резервних автосамоскидів без істотного зменшення ефективності роботи.

До способів управління еластичністю планів відносяться підвищення міри зарезервованості плану, тобто наявність резервних екскаваторів та автосамоскидів, зменшення змінного завдання за певними видами гірничої маси або заміна пунктів перевантаження, збереження в оптимальному плані взаємозамінних маршрутів перевезень, підвищення міри маневреності плану.

Позначимо через  $V_i$  – планове змінне завдання  $i$ -того екскаватора. На етапі планування розглядається динаміка цієї величини протягом зміни, тобто змінне

завдання вважається функцією  $V_i(t)$ , для якої  $V_i(t_0) = 0$ ,  $V_i(t_i) = V_i$ , де  $(t_0, t_i)$  – період роботи  $i$ -того екскаватора. Фактична кількість відвантаженої  $i$ -тим екскаватором гірничої маси визначається функцією  $W_i(t)$ . Тоді реальний стан ЕАК визначається  $W(t) = \{W_i(t)\}_{i=1}^n$ , а плановий – траєкторією  $V(t) = \{V_i(t)\}_{i=1}^n$ . Швидкість зміни значення величини  $W_i(t)$  є функцією від кількості автосамоскидів  $a_i = a_i(t)$ , що працюють з  $i$ -тим екскаватором, але на її величину впливають і кількості автомобілів, які працюють з іншими екскаваторами. Якщо взяти до уваги ці фактори, то функції  $W_i(t)$  визначаються як розв’язки системи диференціальних рівнянь

$$\begin{cases} \frac{dW_1(t)}{dt} = f_1(a_1(t), a_2(t), a_3(t), \dots, a_n(t), t) \\ \frac{dW_2(t)}{dt} = f_2(a_1(t), a_2(t), a_3(t), \dots, a_n(t), t) \\ \dots \\ \frac{dW_n(t)}{dt} = f_n(a_1(t), a_2(t), a_3(t), \dots, a_n(t), t). \end{cases} \quad (2)$$

За невеликої кількості автосамоскидів можна вважати, що

$$\frac{dW_i(t)}{dt} = f_i(a_i, t), \quad (3)$$

де  $f_i(a_i, t)$  – зростаюча функція змінної  $a_i$ , а отже значення  $W_i$  визначається рівністю

$$W_i = \int_{t_0}^{t_i} f_i(a_i(t), t) dt + W_i(t_0). \quad (4)$$

Для того щоб план перевезень гарантовано виконувався, потрібно, щоб на час  $t'$ ,  $t_0 \leq t' \leq t_i$ , задовольнялася нерівність

$$\frac{dW_i(t)}{dt}(t_i - t') \geq v(t_i) - w(t') \quad (5)$$

або

$$f_i(a_i, t')(t_i - t') \geq v_i(t_i) - w_i(t'). \quad (6)$$

Для цілого значення  $a'_i = 1, 2, 3, \dots, r$  можна визначити функцію

$$F_i(a'_i, t') = f_i(a'_i)(t_i - t') - v_i(t_i) + w_i(t'). \quad (7)$$

Якщо на деякий час  $t'$  має місце нерівність

$$\Delta a_i = a''_i - a_i < 0, \text{ де } a''_i = \min_{a_i=1,r} \{ a'_i / F_i(a_i, t') \geq 0 \}, \quad (8)$$

то можна зробити перерозподіл автомобілів до відповідного  $i$ -того екскаватора від найближчого екскаватора, для якого  $\Delta a_j(t) > 0$ .

### Висновки:

1. Механізм розроблення оптимальних планів роботи ЕАК повинен відображати певний зв'язок між можливим зменшенням кількості гірничої маси, що доставляється на пункти перевантаження, та зменшенням тривалості роботи екскаваторів і працюючих із ними автосамоскидів, що вимагає включення до моделей планування показників еластичності.

2. Розроблено математичну модель планування роботи ЕАК, що дає можливість визначати оптимальні маршрути перевезень гірничої маси від екскаваторів до пунктів перевантаження та розподіл автосамоскидів між цими маршрутами. Ця модель містить показники еластичності, що підвищує маневреність прийнятих планових рішень.

3. Для ефективного управління еластичністю планів можна використовувати виділення резервних екскаваторів та автосамоскидів, зменшення змінного завдання за певними видами гірничої маси, зміну пунктів перевантаження, включення до оптимальних планів взаємозамінних маршрутів перевезень, підвищення міри маневреності планів.

4. Запропоновано динамічну модель управління роботою екскаваторно-автомобільних комплексів у кар'єрах гірничодобувних підприємств, яка може бути використана для розв'язання задачі оптимізації роботи різних комплексів механізації при невизначеності параметрів середовища.

5. Розроблена математична модель системи оперативного управління дає можливість розв'язання завдання забезпечення мінімального порожнього пробігу автосамоскидів, виконання змінного завдання кар'єру мінімальною кількістю автосамоскидів, обґрунтування кількості резервних екскаваторів і автосамоскидів та інші задачі, які зараз вирішуються фахівцями наближено, без достатнього розрахункового обґрунтування.

#### **Література**

1. Oraee K. *Fuzzy Goal Programming Model for Optimization of Transportation System in Opencast Mines* / K. Oraee, M. Ahmadi, B. Asi // *Scientific Information Database (SID) Amirkabir University of Technology*. – Amirkabir. – 2006. – № 17. – P. 61 – 69.
2. Рамазанов С. К. *Модели управления производственно – транспортным комплексом в условиях переходной экономики.* / С. К. Рамазанов // *Модели управления в рыночной экономике*. – 1999. – Вып. 2. – С. 392 – 395.
3. Alarie S. *Overview of solution strategies used in truck dispatching systems for open pit mines* / S. Alarie, M. Gamache // *Intern. J. of Surface Mining, Reclamation and Environment*. – 2002. – Vol. 16, № 1. – P. 59 – 76.
4. Анистратов К. Ю. *Исследование показателей работы карьерных самосвалов для обоснования структуры парка и норм выработки автотранспорта.* / К. Ю. Анистратов, Л. В. Бориц-Компаниец // *Горная промышленность*. – 2011. – №4 (98). – С. 38.
5. Šofranko M. *Transport in Surface Mines, Taking into Account the Quality of Extracted Raw Ore* / M. Šofranko, V. Lištiaková, M. Žilák // *Acta Montanistica Slovaca*. – 2012. – Ročník 17, číslo 2. – P. 103 – 110.
6. *Modelling and Optimizing an Open-Pit Truck Scheduling Problem* Yonggang Chang, Huizhi Ren and Shijie Wang *Discrete Dynamics in Nature and Society*. – 2015. – Article ID 745378. – 8 p.
7. Левыкин В. М. *Имитационная модель функционирования карьерного автотранспорта* / В. М. Левыкин, И. В. Шевченко // *Нові технології. Науковий вісник ІЕНТ*. – 2004. – № 3 (6). – С. 91 – 97.
8. Левыкин В. М. *Выбор и совершенствование критериев качества функционирования карьерного автотранспорта* / В. М. Левыкин, И. В. Шевченко // *Нові технології. Науковий вісник КУЕІТУ*. – 2006. – № 2 (12). – С. 151 – 158.

© Савенко Р.Г., Лисенко М.В.  
Надійшла до редакції 26.03.2016