

Монастирський Ю.А., Потапенко В.В.  
*ДВНЗ «Криворізький національний університет», м. Кривий Ріг, Україна*

## СИНТЕЗ УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНОЮ ЕКСПЛУАТАЦІЄЮ АВТОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ ЗАЛІЗОРУДНОГО КАР'ЄРУ

На основі розробленої математичної моделі автотранспортної системи залізорудного кар'єру, яка враховує технологічні стани парку автосамоскидів БЕЛАЗ шляхом розрахунків імовірнісних числових характеристик цих станів, синтезоване управління технічною експлуатацією системи на основі економічного критерію, як екстремальної задачі з урахуванням обмежень, пов'язаних із технологічними станами системи. Планується виконати розрахунок оптимальних керуючих впливів у вигляді інтенсивності планових робіт технічного обслуговування, діагностування й ремонту кар'єрних самоскидів.

**Ключові слова:** автотранспортна система кар'єру, математична модель, кар'єрний самоскид, синтез управління, технічна експлуатація.

**Вступ.** Сучасний глибокий залізорудний кар'єр, представляючи собою величезне енергоємне господарство, містить значний парк транспортних засобів, що здійснюють перевезення добутої гірничої маси. Переробка значних обсягів гірничої маси, що добувається у кар'єрах, спричиняє багато побічних труднощів, пов'язаних, зокрема, з її транспортуванням. У зв'язку зі значною глибиною (більше 300 метрів) і перспективою подальшого поглиблення кар'єрів, як на Україні, так і у світі, транспортувати добуту гірничу масу стає все складніше. Тому з усією гостротою встають питання про створення надійних і економічно ефективних транспортних систем, що здійснюють перевезення гірничої маси. Особливістю досліджуваної автотранспортної системи є те, що вона складається з парку кар'єрних самоскидів і функціонує по певних трактах, що задаються конфігурацією доріг для вивозу добутої гірничої маси.

Надійність автотранспортної системи кар'єру (АСК) є основним показником, як для економічно ефективного управління функціонуванням кар'єрних самоскидів, так і для всього кар'єру в цілому. Зниження надійності АСК приводить до збільшення тривалості непланових поточних і аварійних ремонтів, а також до зниження коефіцієнта готовності кар'єрних самоскидів. При зниженому рівні коефіцієнта готовності кар'єрних самоскидів потрібно їхня більша кількість для забезпечення необхідного обсягу перевезень. Важливо відзначити, що при збільшенні числа кар'єрних самоскидів можна підвищити рівень готовності АСК, але неможливо зменшити число відмов. Тому одним з найважливіших питань, пов'язаних з експлуатацією АСК, є вибір економічно обґрунтованого рівня її надійності й реалізації програм для його здійснення на практиці.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботах [1, 2, 3] узагальнені досягнення у галузі проектування, виробництва та обслуговування кар'єрних автосамоскидів особливо великої вантажопідйомності. Питанням структурних концепцій моделювання надійності складних транспортних систем, методам якісного та кількісного аналізу присвячені праці [4, 5].

Система, яка досліджується, призначена для вивозу з кар'єру самоскидами добутої гірничої маси, тому природно розглянути такі показники, які враховували б її здатність виконувати цю функцію. Одним з таких показників є технічна надійність, зміст якої полягає в здатності АСК забезпечити безперебійний вивіз гірничої маси відповідно до графіка руху з кар'єру, що відповідає пропускній здатності транспортної системи. Якщо АСК при нормальній роботі її елементів не може забезпечити рух за графіком, то проблема надійності пов'язана із плануванням, керуванням і організацією робіт. Відмова елементів АСК впливає на здатність системи забезпечити необхідний обсяг вивозу гірничої маси з кар'єру. Вплив відмов самоскидів на здатність АСК забезпечувати безперебійний вивіз необхідного обсягу гірничої маси характеризує її технічну надійність.

У свою чергу, цю систему можна розглядати поелементно, як ту що складається з окремих транспортних засобів – кар'єрних самоскидів. При цьому необхідно підкреслити, що згідно із системним підходом функціонування АСК у цілому залежить від стану її елементів, тобто кар'єрних самоскидів.

Таким чином, показники, які характеризують здатність транспортної системи кар'єрних самоскидів забезпечити необхідний обсяг вивозу гірничої маси з кар'єру, є показниками технічної надійності. До таких показників природно віднести тривалість простою, викликаного відмовою.

Якщо тривалість простою невелика й не впливає на роботу АСК, то цей простій може залишитися непоміченим. Але якщо простої часті або тривалі, то робота системи може бути порушена, і її можна вважати ненадійною. Разом з тим, можна виділити такий показник технічної надійності, як простій під час руху. При цьому може бути короткочасний некритичний простій, істотний і критичний простій, що вимагає вивантаження гірничої маси із самоскида.

Зрозуміло, що труднощі викликає не визначення показників надійності, а розробка відповідних методів аналізу й одержання достовірних даних для обчислення цих показників. Показник надійності можна вважати задовільним, якщо він досить добре описує здатність АСК забезпечити необхідний обсяг вивозу гірничої маси з кар'єру. Зокрема, можна ввести такий показник, як «очікуване зниження обсягу вивозу гірничої маси». Чисельно цей показник дорівнює ймовірності того, що система АСК нездатна вивозити необхідний обсяг гірничої маси з кар'єру. Цей показник можна розглядати так само, як очікуваний час, протягом якого АСК не в змозі вивозити необхідний обсяг гірничої маси з кар'єру.

**Мета роботи.** Системний підхід дозволяє розглядати автотранспортну систему кар'єру як безліч елементів – кар'єрних самоскидів, що перебувають у взаємодії. Метою роботи є синтез управління технічною експлуатацією системи на основі економічного критерію, як екстремальної задачі з урахуванням обмежень, пов'язаних із технологічними станами системи.

**Результати досліджень.** Автотранспортна система кар'єру належить до складних імовірнісних систем, оскільки неможливо виконати точне прогнозування її майбутнього стану. Тому АСК навіть при самому ретельному дослідженні залишається невизначеною й будь-яке прогнозування її поведінки ґрунтується на імовірнісних категоріях, за допомогою яких цей процес описується. У зв'язку із цим такі системи представляють найбільші труднощі для дослідження й управління. Донедавна керування ними ґрунтувалося на накопиченому досвіді й міркуваннях здорового глузду. Зі збільшенням темпів і обсягів транспортування гірничої маси, у кар'єрах стало неможливим вирішувати проблеми управління, покладаючись тільки на власний розум і не застосовуючи технічні засоби. Відповідаючи потребі в науково обґрунтованих методах і засобах управління автотранспортною системою кар'єру, виникла необхідність у синтезі керування АСК на основі сучасної теорії управління, на базі останніх досягнень обчислювальної техніки.

Для ефективного управління АСК як складною імовірнісною системою необхідна наявність у її складі математичної моделі. Математична модель дозволяє передбачити майбутній стан автотранспортної системи при різних як внутрішніх, так і зовнішніх впливах. У свою чергу, математична модель дає можливість обчислити керуючі впливи, які можуть привести АСК у необхідний стан. Аналіз функціонування системи показує, що можна порівнювати її різні стани з наступним виділенням з них кращих на основі критерію ефективності. Як показує практика, у якості такого критерію доцільно вибрати економічний критерій, що зв'язує вартості перебування АСК у різних технологічних станах:

$$F = c_0 N_0 T_0 - c_1 N_1 T_1 - c_2 N_2 T_2; \quad (1)$$

де  $c_0$  – середня вартість прибутку, одержувана від роботи кар'єрного самоскида БЕЛАЗ;  $c_1$  – середня вартість втрат, пов'язаних із плановими технічним обслуговуванням і ремонтом;  $c_2$  – середня вартість втрат, пов'язаних з неплановим поточним ремонтом;  $N_k$  – число самоскидів у  $k$ -му стані ( $k = 0, 1, 2$ );  $T_k$  – час перебування самоскида у  $k$ -му стані.

Функціонал (1) є випадковою величиною, оскільки такими є складові його доданки. Тому для розв'язку задачі керування АСК представляється доцільним його усереднення:

$$M[F] = c_0 \cdot M[N_0] \cdot M[T_0] - c_1 \cdot M[N_1] \cdot M[T_1] - c_2 \cdot M[N_2] \cdot M[T_2]. \quad (2)$$

Ураховуючи, що

$$M[N_k] = N \cdot P_k, \quad M[T_k] = T \cdot P_k, \quad (k = 0, 1, 2); \quad (3)$$

формула (2) набуває виду  $M[F] = c_0 N T P_0^2 - c_1 N T P_1^2 - c_2 N T P_2^2$ ; або

$$f = c_0 P_0^2 - c_1 P_1^2 - c_2 P_2^2; \quad (4)$$

де  $f = \frac{M[F]}{NT}$ . Функціонал (4) представляємо у вигляді

$$f = c_0 P_0^2 - c_1 P_1^2 - c_2 (1 - P_0 - P_1)^2. \quad (5)$$

При синтезі управління автотранспортною системою кар'єру необхідно також урахувати обмеження, що накладаються на змінні. Насамперед, однією з основних вимог при функціонуванні АСК є забезпечення вивозу заданого обсягу гірничої маси з кар'єру. Цю умову можна записати так

$$M = N_0 \frac{T_0}{\Delta t} m; \quad (6)$$

де  $M$  – заданий обсяг гірничої маси, який необхідно вивезти з кар'єру за час  $T$ ;  $m$  – вантажопідйомність кар'єрного самоскида;  $\Delta t$  – тривалість рейсу кар'єрного самоскида.

Усреднюючи (6), отримуємо  $M = M[N_0] \frac{M[T_0]}{\Delta t} m$ ; або, з урахуванням (3)

$$M = N \frac{T}{\Delta t} P_0^2 m. \quad (7)$$

З рівняння (7) знаходимо умову, що накладається на ймовірність знаходження АСК у стані роботи

$$P_0 = \sqrt{\frac{M \Delta t}{NTm}}. \quad (8)$$

Підставляючи (8) у (5), знаходимо

$$f = c_0 \frac{M \Delta t}{NTm} - c_1 P_1^2 - c_2 \left( 1 - \sqrt{\frac{M \Delta t}{NTm}} - P_1 \right)^2. \quad (9)$$

Проводячи алгебраїчні перетворення в (9), одержуємо

$$f = c_0 \frac{M \Delta t}{NTm} - c_2 \left( 1 - \sqrt{\frac{M \Delta t}{NTm}} \right)^2 + 2c_2 \left( 1 - \sqrt{\frac{M \Delta t}{NTm}} \right) P_1 - (c_1 + c_2) P_1^2. \quad (10)$$

Перенесемо доданки, які не залежать від значення  $P_1$ , у ліву частину рівняння (10)

$$\hat{f} = 2c_2 \left( 1 - \sqrt{\frac{M \Delta t}{NTm}} \right) P_1 - (c_1 + c_2) P_1^2; \quad (11)$$

де  $\hat{f} = f - c_0 \frac{M \Delta t}{NTm} + c_2 \left( 1 - \sqrt{\frac{M \Delta t}{NTm}} \right)^2$ .

Для знаходження максимуму функціонала (11), обчислимо його похідну й дорівняємо нулю

$$\frac{d\hat{f}}{dP_1} = 2c_2 \left( 1 - \sqrt{\frac{M \Delta t}{NTm}} \right) - 2P_1(c_1 + c_2) = 0. \quad (12)$$

Вирішуючи рівняння (12), знаходимо стаціонарну точку

$$P_1 = \frac{c_2}{c_1 + c_2} \left( 1 - \sqrt{\frac{M\Delta t}{NTm}} \right) = \frac{c_2}{c_1 + c_2} (1 - P_0). \quad (13)$$

Обчислюючи похідну другого порядку, переконаємося у наявності максимуму, оскільки похідна менше нуля

$$\frac{d^2 \hat{f}}{dP_1^2} = -2(c_1 + c_2) < 0. \quad (14)$$

Підставляючи (13) в (4) з урахуванням (8), знаходимо

$$P_2 = \frac{c_1}{c_1 + c_2} \left( 1 - \sqrt{\frac{M\Delta t}{NTm}} \right) = \frac{c_1}{c_1 + c_2} (1 - P_0). \quad (15)$$

Таким чином, функціонал (9) досягає максимальної величини, яка дорівнює

$$f_{\max} = c_0 \frac{M\Delta t}{NTm} - \frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2} \left( 1 - \sqrt{\frac{M\Delta t}{NTm}} \right)^2 = c_0 P_0^2 - \frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2} (1 - P_0)^2; \quad (16)$$

за величин імовірностей, які визначаються формулами (8), (13) і (15).

Необхідно відзначити, що згідно (8), (13) і (15), знаходимо оптимальну кількість кар'єрних самоскидів, що беруть участь у функціонуванні АСК:

$$\begin{aligned} N_0 &= NP_0 = N \sqrt{\frac{M\Delta t}{NTm}} = \sqrt{\frac{NM\Delta t}{Tm}}; \\ N_1 &= NP_1 = N \frac{c_2}{c_1 + c_2} \left( 1 - \sqrt{\frac{M\Delta t}{NTm}} \right) = N \frac{c_2}{c_1 + c_2} (1 - P_0); \\ N_2 &= NP_2 = N \frac{c_1}{c_1 + c_2} \left( 1 - \sqrt{\frac{M\Delta t}{NTm}} \right) = N \frac{c_1}{c_1 + c_2} (1 - P_0). \end{aligned} \quad (17)$$

Разом з тим, необхідно відзначити, що умова (8), записувана для середніх значень, може виявитися недостатньою для її реалізації на практиці. Тому для посилення цієї вимоги представляється доцільним скористатися формулою для довірчого інтервалу середнього значення числа працюючих кар'єрних самоскидів. Тоді рівняння (6) набирає виду

$$M = \left( NP_0 + \sqrt{NP_0(1 - P_0)} \cdot \Phi^{-1} \left( \frac{\gamma}{2} \right) \right) TP_0 \frac{m}{\Delta t}. \quad (18)$$

Шляхом перетворень рівняння (18) може бути зведене до алгебраїчного виразу щодо ймовірності  $P_0$ :

$$P_0^4 - P_0^3 + \frac{N}{\left( \Phi^{-1} \left( \frac{\gamma}{2} \right) \right)^2} P_0^2 - \frac{2M\Delta t}{Tm \left( \Phi^{-1} \left( \frac{\gamma}{2} \right) \right)^2} P_0 + \frac{M^2 \Delta t^2}{NT^2 m^2 \left( \Phi^{-1} \left( \frac{\gamma}{2} \right) \right)^2} = 0. \quad (19)$$

Рівняння (19) припускає тільки чисельний розв'язок.

Наступним завданням, пов'язаним із синтезом АСК, є знаходження таких величин інтенсивностей переходів, які забезпечили б виконання рівностей (17). Згідно з формулами імовірностей знаходження кар'єрного самоскида у стаціонарних підсистемах технологічних станів:

роботі, планових технічних обслуговуваннях і ремонтах, непланових поточних ремонтах відповідно та рівняннями (8) і (13) мають місце співвідношення

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{(\omega_2 + \mu_1)\mu_2}{(\lambda + \omega_2 + \mu_1)\mu_2 + (\lambda + \omega_1)\omega_2 + \omega_1\mu_1} &= \sqrt{\frac{M\Delta t}{NTm}} & (20) \\ \frac{\lambda\mu_2}{(\lambda + \omega_2 + \mu_1)\mu_2 + (\lambda + \omega_1)\omega_2 + \omega_1\mu_1} &= \frac{c_2 \left(1 - \sqrt{\frac{M\Delta t}{NTm}}\right)}{c_1 + c_2} & (21) \end{aligned} \right.$$

Вирішуючи рівняння (20) і (21) відносно інтенсивностей можна знайти необхідні керуючі впливи. Рівняння (20) і (21) містять п'ять невідомих, тому виникає завдання вибору тільки двох параметрів для розв'язку системи рівнянь (20), (21) при фіксованих значеннях інших. Аналіз представленого на рисунку 1 графа технологічних станів та сполученої моделі просторів впливів і ресурсних переходів кар'єрних самоскидів БЕЛАЗ, показує, що параметри  $\omega_1$  й  $\omega_2$  характеризують простої АСК і, по суті справи, є змінними, що збурюють.

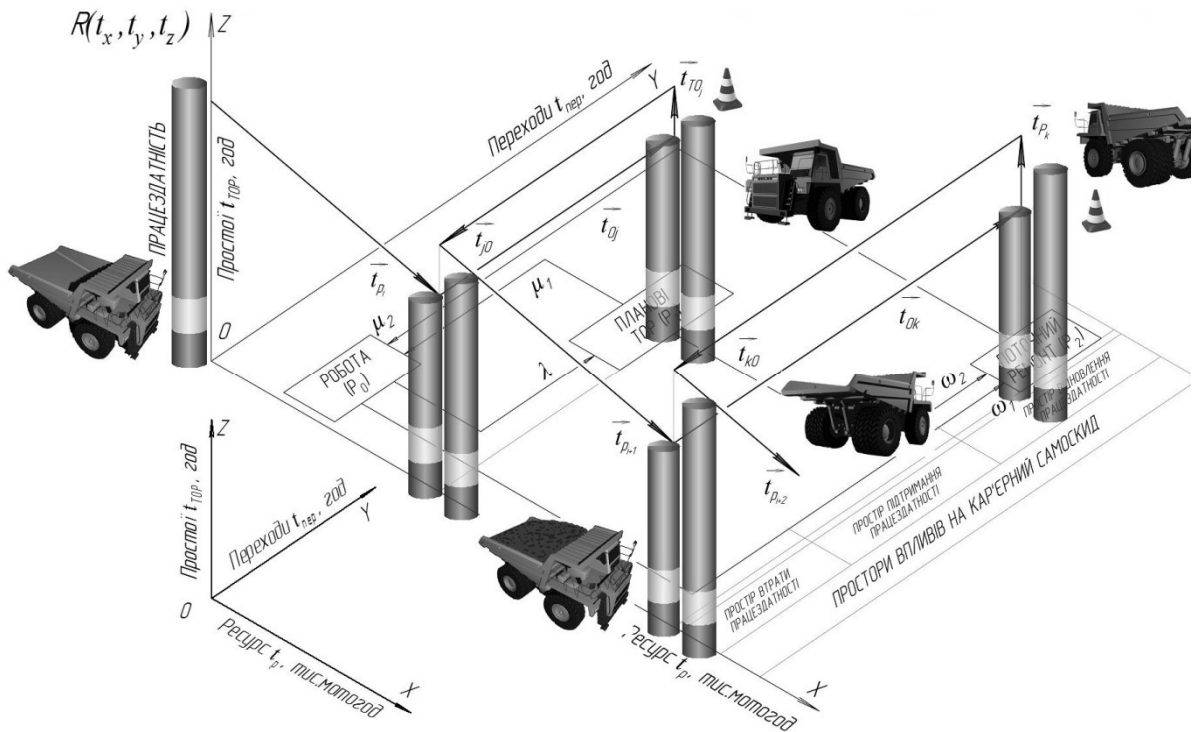


Рисунок 1 – Сполучені моделі просторів впливів і ресурсних переходів кар'єрного самоскида БЕЛАЗ

Параметр  $\omega_1$  – параметр раптових відмов, що відбуваються при роботі кар'єрного самоскида, параметр переходу від роботи до непланових поточних ремонтів. Параметр  $\omega_2$  – параметр переходу від планових техобслуговувань і ремонтів до непланових поточних ремонтів, необхідність у яких визначається на посту технічного обслуговування й ремонтів (ТОР) при діагностиці діагностичні поточних ремонтів.

У свою чергу, параметри  $\mu_1$  та  $\mu_2$  можуть виступати в якості керуючих впливів, оскільки визначаються періодичністю й особливостями проведення заходів планового технічного обслуговування й ремонтів, непланових поточних ремонтів. Параметр  $\mu_1$  – параметр потоку відновлень після планових ТОР. Параметр  $\mu_2$  – параметр потоку відновлень після непланових поточних ремонтів. Для знаходження цих керуючих впливів необхідно розв'язати систему рівнянь (20), (21) щодо невідомих  $\mu_1$  і  $\mu_2$ . Розділивши рівняння (20) на (21), отримаємо для потоку відновлень машин після планових технічних обслуговувань і ремонтів ТОР:

$$\mu_1 = \lambda \cdot \frac{c_1 + c_2}{c_2} \cdot \frac{\sqrt{\frac{M\Delta t}{NTm}}}{1 - \sqrt{\frac{M\Delta t}{NTm}}} - \omega_2. \quad (22)$$

Підставляючи (22) у рівняння (21) і вирішуючи відносно  $\mu_2$ , знаходимо для потоку відновлень самоскидів після непланових поточних ремонтів

$$\mu_2 = \omega_1 \frac{c_1 + c_2}{c_1} \cdot \frac{\sqrt{\frac{M\Delta t}{NTm}}}{1 - \sqrt{\frac{M\Delta t}{NTm}}} + \omega_2 \frac{c_2}{c_1}. \quad (23)$$

Окремого розгляду заслуговує параметр  $\lambda$ . З одного боку, інтенсивність  $\lambda$  є відносно постійним параметром, що збурює та визначає періодичність планового переходу самоскида з підсистеми роботи у підсистему ТОР. З іншої сторони параметр  $\lambda$  є керуючим змінним впливом, зміна якого в рамках нормативів і допусків, визначених діючим «Положенням» [6] дозволяє прямо управляти параметром потоку відновлень  $\mu_1$ , що ілюструє рівняння (22). Виходячи з лінійної залежності  $\mu_1(\lambda)$  цього виразу, перетворимо його в залежність  $\lambda(\mu_1)$  для інтенсивності планових впливів ТОР на кар'єрні самоскиди БЕЛАЗ:

$$\lambda = (\mu_1 + \omega_2) \cdot \frac{c_2}{c_1 + c_2} \cdot \frac{1 - \sqrt{\frac{M\Delta t}{NTm}}}{\sqrt{\frac{M\Delta t}{NTm}}}. \quad (24)$$

Значення керуючих впливів, розраховані по формулах (22), (23) і (24), представляють розв'язок завдання синтезу управління АСК.

Ураховуючи (8), отримуємо для цих формул:

$$\mu_1 = \lambda \frac{c_1 + c_2}{c_2} \cdot \frac{P_0}{1 - P_0} - \omega_2 = \lambda \frac{c_1 + c_2}{c_2} \cdot \frac{P_0}{Q_0} - \omega_2 = \lambda \frac{c_1 + c_2}{c_2} \cdot \frac{P_0}{P_1 + P_2} - \omega_2; \quad (25)$$

$$\mu_2 = \omega_1 \frac{c_1 + c_2}{c_1} \cdot \frac{P_0}{1 - P_0} + \omega_2 \frac{c_2}{c_1} = \omega_1 \frac{c_1 + c_2}{c_1} \cdot \frac{P_0}{Q_0} + \omega_2 \frac{c_2}{c_1} = \omega_1 \frac{c_1 + c_2}{c_1} \cdot \frac{P_0}{(P_1 + P_2)} + \omega_2 \frac{c_2}{c_1}; \quad (26)$$

$$\lambda = (\mu_1 + \omega_2) \frac{c_2}{c_1 + c_2} \cdot \frac{1 - P_0}{P_0} = (\mu_1 + \omega_2) \frac{c_2}{c_1 + c_2} \cdot \frac{Q_0}{P_0} = (\mu_1 + \omega_2) \frac{c_2}{c_1 + c_2} \cdot \frac{P_1 + P_2}{P_0}; \quad (27)$$

де  $Q_0 = 1 - P_0 = P_1 + P_2$  – імовірність знаходження кар'єрних самоскидів у станах  $P_1$  або  $P_2$ , тобто ймовірність простою.

Модель відповідає перехідному етапу від планово-попереджувальних ремонтів (ППР) до обслуговування по фактичному стану (ФС). Принцип ППР – планові техобслуговування й ремонт ТОР з інтенсивністю  $\lambda$ , попереджувальний ремонт по ФС із інтенсивністю  $\omega_2$  та ремонт по необхідності з інтенсивністю  $\omega_1$ . ППР не рятує кар'єрний самоскид БЕЛАЗ від аварійних відмов.

Оптимальні керуючі впливи, обчислені по формулах (25), (26) і (27) є результатом математичного моделювання, тому реалізація цих впливів на практиці вимагає окремого розгляду з урахуванням особливостей технологічних станів системи кар'єрних самоскидів.

**Висновки.** На основі розробленої математичної моделі АСК, яка враховує технологічні стани парку кар'єрних самоскидів шляхом розрахунків імовірнісних числових характеристик цих станів, синтезоване управління технічною експлуатацією автотранспортної системи кар'єру на основі економічного критерію, як екстремальної задачі з урахуванням обмежень, пов'язаних із технологічними станами системи. Планується виконати розрахунок оптимальних керуючих впливів у вигляді інтенсивності планових робіт технічного обслуговування, діагностування й ремонту кар'єрних самоскидів.

1. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы / П.Л. Мариев, А.А. Кулешов, А.Н. Егоров, И.В. Зырянов. – СПб.: Наука, 2004. – 429 с.
2. Карьерный автотранспорт стран СНГ в XXI веке / П.Л. Мариев, А.А. Кулешов, А.Н. Егоров, И.В. Зырянов. – СПб.: Наука, 2006. – 387 с.
3. Карьерные самосвалы особо большой грузоподъемности. Проектирование, технологии, маркетинг / П.Л. Мариев [и др.]. – Минск: Интегралполиграф, 2008. – 320 с.
4. Диллон Б. Инженерные методы обеспечения надежности систем / Б. Диллон, Ч. Сингх: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 318 с., ил.
5. Хенли Э. Дж. Надежность технических систем и оценка риска / Э. Дж. Хенли, Х. Кумamoto : Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с., ил.
6. Положение о техническом обслуживании, диагностировании и ремонте карьерных самосвалов «БЕЛАЗ» / ОАО «БЕЛАЗ» – управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ». – Жодино: ОАО «БЕЛАЗ», 2013. – 20 с.

## REFERENCES

1. P.L. Mariev, A.A. Kuleshov, A.N. Egorov, I.V. Zyryanov. (2004). *Kar'ernyj avtotransport: sostojanie i perspektivy*. SPb.: Nauka, 429 p.
2. P.L. Mariev, A.A. Kuleshov, A.N. Egorov, I.V. Zyryanov. (2006). *Kar'ernyj avtotransport stran SNG v XXI veke*. SPb.: Nauka, 387 p.
3. P.L. Mariev, et al. (2008). *Kar'ernye samosvaly osobo bol'shoj gruzopodjomnosti. Proektirovanie, tehnologii, marketing*. Minsk, Integralpoligraf, 320 p.
4. B. Dillon, Ch. Singh : Per. s angl. Dillon B. Inzhenernye metody obespechenija nadezhnosti sistem. M.: Mir, 1984. – 318vp.
5. Je. Dzh. Henli, X. Kumamoto : Per. s angl. Henli Je. Dzh. (1984). *Nadezhnost' tehniceskikh sistem i ocenka riska*. M.: Mashinostroenie, – 528 p.
6. ОАО «БЕЛАЗ» – upravljajushhaja kompanija holdinga «BELAZ-HOLDING». (2013). *Polozhenie o tehniceskom obsluzhivanii, diagnostirovanii i remonte kar'ernih samosvalov «BELAZ»*. Zhodino: ОАО «БЕЛАЗ», 20 p.

### **Монастирський Ю.А., Потапенко В.В. Синтез управління технічної експлуатацією автотранспортної системи залізничного кар'єра.**

На основе разработанной математической модели автотранспортной системы железорудного карьера, которая учитывает технологические состояния парка автосамосвалов БЕЛАЗ путем расчетов вероятностных числовых характеристик этих состояний, синтезировано управление технической эксплуатацией системы на основе экономического критерия, как экстремальной задачи с учетом ограничений, связанных с технологическими состояниями системы. Планируется выполнить расчеты оптимальных управляющих воздействий в виде интенсивности плановых работ технического обслуживания, диагностирования и ремонта карьерных самосвалов.

**Ключевые слова:** автотранспортная система карьера, математическая модель, карьерный самосвал, синтез управления, техническая эксплуатация.

### **Yu. Monastyrskiy, V. Potapenko. Synthesis of management of technical operation of motor transportation system of iron ore open pit.**

On the basis of the developed mathematical model of motor transportation system of an iron ore open pit, which takes into account technological conditions of fleet of dump trucks BELAZ by calculations of probabilistic numerical characteristics of these states, the synthesized management of technical operation of system on the basis of economic criterion as extreme task taking into account the restrictions, connected with technological conditions of system. It is planned to calculate optimum managing influences in the form of intensity of planned works of technical operation, diagnosing and repair of dump trucks.

**Keywords:** motor transportation system of an open pit, mathematical model, dump truck, synthesis of management, technical operation.

### **АВТОРИ:**

*МОНАСТИРСЬКИЙ Юрій Анатолійович*, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобільного транспорту ДВНЗ «Криворізький національний університет», e-mail: [monastirskiy08@rambler.ru](mailto:monastirskiy08@rambler.ru);

*ПОТАПЕНКО Володимир Володимирович*, старший викладач кафедри автомобільного транспорту ДВНЗ «Криворізький національний університет», e-mail: [romantihk@mail.ru](mailto:romantihk@mail.ru).

### **AUTHORS:**

*Yu. MONASTYRSKIY*, Sc.D (Eng), Professor, Head of Automobile Facilities Department, Kryvyi Rih National University, e-mail: [monastirskiy08@rambler.ru](mailto:monastirskiy08@rambler.ru);

*V. POTAPENKO*, Senior lecturer of Automobile Facilities Department, Kryvyi Rih National University, e-mail: [romantihk@mail.ru](mailto:romantihk@mail.ru).