

Монастирський¹ Ю.А., Бондар² І.В., Климов¹ Т.А.
¹ДВНЗ «Криворізький національний університет»,
²Сервісний торгово-логістичний центр «БЕЛАЗ-УКРАЇНА»

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ФУНКЦІОНУВАННЯ КАР'ЄРНИХ САМОСКИДІВ БЕЛАЗ З ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЮ ТРАНСМІСІЄЮ

Розроблені математичні моделі функціонування електромеханічної трансмісії кар'єрних самоскидів на основі диференціальних рівнянь А.М. Колмогорова, які дозволяють визначати ймовірність переходів трансмісії з одного стану в інший при різних варіантах підтримання кар'єрного самоскиду у робото здатному стані.

Ключові слова: кар'єрний автосамоскид, електромеханічна трансмісія, функціонування, обслуговування та ремонт.

Постановка проблеми. Основним кар'єрним автосамоскидом при видобутку залізної руди на кар'єрах Криворізького басейну є БЕЛАЗ-75131 вантажопідйомністю 130 т. Щорічно близько 250 цих машин перевозять майже 400 млн. т руди та гірської маси і виконують транспортну роботу більше ніж у 1,1 млрд. т*км. Ефективність роботи кар'єрного автомобільного транспорту визначає практично всі техніко-економічні показники гірничо-збагачувальних комбінатів в цілому. Тому наукові дослідження направлені на підвищення ефективності експлуатації кар'єрних автосамоскидів є актуальними та такими, що мають важливе значення в галузі автомобільного транспорту великих промислових підприємств.

Результати досліджень. Однією з основних складових систем кар'єрних самоскидів вантажопідйомністю більше 100 т є електромеханічна трансмісія яка складається з тягового електроприводу та редуктора електро-мотор-колеса.

Тяговий електропривод самоскидів призначений для створення регульованих тягових зусиль на колесах самоскида що ведуть шляхом перетворення механічної енергії дизельного двигуна в електричну енергію, а також автоматичного регулювання із зворотного перетворення електричної енергії в механічну; для створення регульованих гальмівних моментів на колесах самоскида що ведуть при стандартному і форсованому електричному гальмуванні. При стандартному електричному гальмуванні зусилля формуються за рахунок регульованого перетворення кінетичної енергії, запасеної самоскидом в процесі руху, в електричну. Перетворення кінетичної енергії здійснюється за допомогою переводу тягових електродвигунів в генераторний режим роботи і створення на їх валах гальмівних моментів. Електрична енергія, генерована електродвигунами, перетворюється в гальмівних резисторах в теплову енергію з подальшим розсіянням в довколишнє середовище. Форсоване електричне гальмування здійснюється для підвищення ефективності гальмування при швидкостях руху самоскида нижче 20 - 25 км/год і забезпечення повної його зупинки. Гальмівні зусилля при форсованому електричному гальмуванні, окрім вказаного для стандартного електричного гальмування, формуються за рахунок додаткового споживання енергії від дизель-генераторної установки. Електропривод призначений для роботи в двох модифікаціях самоскида, що відрізняються передатним числом редуктора електромотор-колеса.

Електропривод містить наступні основні компоненти:

- тяговий синхронний генератор змінного струму, приведений в обертання двигуном. Обмотка статора тягового генератора складається з двох електрично не пов'язаних між собою трифазних обмоток, кожна з яких сполучена в зірку. На статорі тягового генератора розташована також однофазна допоміжна обмотка самозбудження, що підключається через зовнішній регулятор і контактні кільця до обмотки збудження, розміщеної на його роторі;
- два тягові електродвигуни електромотор-колес постійного струму з послідовним збудженням, примусовою нагнітальною вентиляцією і вбудованими датчиками частоти обертання і контролю теплового стану;
- два силових трифазних бруківки некерованих випрямляча, до входних затисків яких підключені статори трифазні обмотки тягового генератора;
- установку вентилятованих гальмівних резисторів з індивідуальними для кожного тягового електродвигуна гальмівними резисторами і загальним мотор-вентилятором;

- регулятор струму збудження тягового генератора, силова частина якого є напівкерованим однофазним мостовим випрямлячем, до вхідних затисків якого підключена обмотка самозбудження тягового генератора, а до вихідних - його обмотка збудження;

- загальний регулятор струму збудження тягових електродвигунів (регулятор плавного послаблення поля електродвигунів). Силова частина регулятора є керованим трифазним нульовим випрямлячем, включеним паралельно ланцюгу, що містить анодну групу одного з силових випрямлячів і дві послідовно сполучені обмотки збудження тягових електродвигунів;

- силова комутаційна апаратура, що складається з контакторів, що забезпечують комутацію силових ланцюгів, ланцюгів збудження і реверсування тягових електродвигунів.

Крім перерахованих електричних машин, установок і апаратів до числа основних компонентів електроприводу входить система автоматичного управління (САУ), в яку входять дві підсистеми: система програмного управління (СПУ) і система автоматичного регулювання (САР). Регулятори збудження генератора і електродвигунів також відносяться до підсистем САУ. Система автоматичного управління призначена для управління силовою комутаційною апаратурою і завдання режимів роботи системи автоматичного регулювання. Система автоматичного регулювання призначена для формування тягових і гальмівних характеристик самоскида за допомогою порівняння задаючих сигналів і сигналів зворотного зв'язку, що поступають від датчиків електричних і механічних параметрів. Вона призначена також для регулювання струмів збудження тягового генератора і тягових електродвигунів у функції сигналів розузгодження між вказаними сигналами. Крім того, система автоматичного регулювання виконує функції захисту електроустаткування від аварійних режимів роботи.

Питання експлуатації кар'єрних самоскидів в Україні на сьогодні практично не розглядаються. Існуючі публікації або мають локальний характер для певних вузлів [1], або дуже застарілі [2, 3]. Раніше вже була розроблена математична модель функціонування кар'єрних самоскидів з електромеханічною трансмісією [4], але зміна у 2013 році системи технічного обслуговування та ремонту (ТОіР) кар'єрних автосамоскидів БЕЛАЗ обумовили необхідність створення нової математичної моделі. Крім того накопичений досвід експлуатації кар'єрних автосамоскидів в складних гірничо-технічних умовах кар'єрів ПрАТ «Центральний гірничозбагачувальний комбінат» потребував корегування та розширення складових компонентів запропонованої заводом-виготовлювачем системи ТОіР.

Мета роботи: розробити математичні моделі, які б дозволяли прогнозувати та визначати ймовірність знаходження кар'єрного самоскиду, в першу чергу, в працездатному стані при системі обслуговування і ремонту з різними складовими компонентами.

Кар'єрний автосамоскид у відповідності з прийнятою заводом-виготовлювачем системою ТОіР може знаходитися в працездатному стані, в станах проведення технічних обслуговувань ЩО, ТО-1, ТО-2, ТО-3 та поточному ремонті. Окремо слід виділити стан очкування запасних частин для ремонту (ОЧЗ), який може коливатися від кількох хвилин до кількох діб, в залежності від наявності їх на складі підприємства чи сервісного центру. Стан кар'єрного автосамоскиду в довільний проміжок часу характеризується однією функцією – інтенсивністю потоку подій, яка може бути виражена будь-якою ненегативною функцією часу.

На основі структури переходів з одного в інший стан розроблений граф станів кар'єрного самоскиду, що включає складові функціональні елементи та переходи між ними (рис.1) при існуючій з 2013 року системі ТОіР.

Якщо кар'єрний самоскид має сім станів, то повною характеристикою його функціонування буде квадратна матриця інтенсивностей порядку 7×7 , в цій матриці $\lambda_{i,j} \neq 0$. Матриця інтенсивностей дозволяє описати процес функціонування гідромеханічної трансмісії кар'єрного самоскиду за допомогою диференціальних рівнянь А. М. Колмогорова у тому випадку, коли швидкість переходу з одного стану в інший достатньо велика [5-7].

Модель функціонування кар'єрного самоскиду побудована на наступних основних припущеннях: марківський процес функціонування, за якого стан парку автогосподарства в майбутньому залежить лише від його стану на сьогодні і не залежить від того, як прийшла система в цей стан; стаціонарність процесу, внаслідок якого він залежить від даного інтервалу часу і не залежить, від якого моменту часу цей інтервал починає свій відлік; ординарність потоку переходів подій з i -го стану в j -й, яка означає, що за досить малого інтервалу часу, ймовірність настання двох або більше за події дуже мала в порівнянні з ймовірністю попадання однієї події в даний інтервал.

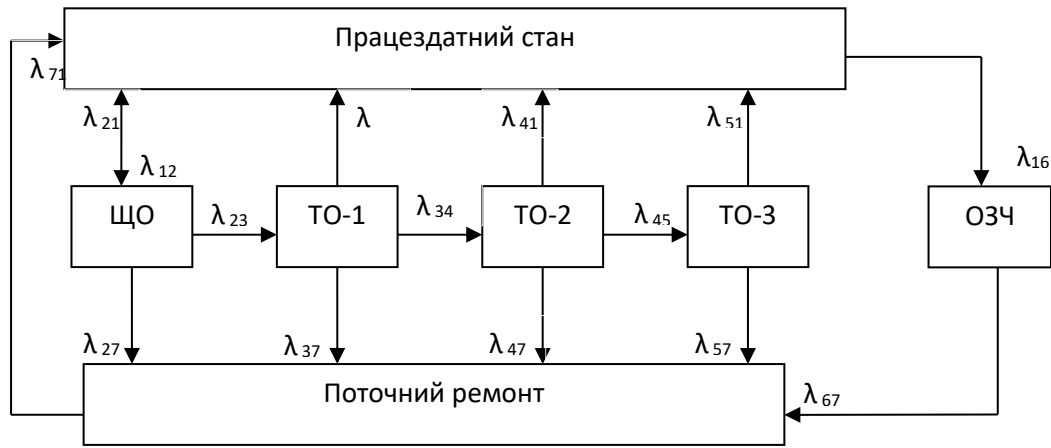


Рис. 1. Граф станів кар'єрного автосамоскиду при існуючій системі ТОiP

Таким чином система рівнянь, в якій шуканими є ймовірності $P_i(t)$ знаходження кар'єрного самоскиду в одному з семи станів, буде мати вид:

$$\begin{cases} \frac{dP_1(t)}{dt} = -(\lambda_{12} + \lambda_{16}) \cdot P_1(t) + \lambda_{21} \cdot P_2(t) + \lambda_{31} \cdot P_3(t) + \lambda_{41} \cdot P_4(t) + \lambda_{51} \cdot P_5(t) + \lambda_{61} \cdot P_6(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = -(\lambda_{27} + \lambda_{23} + \lambda_{21}) \cdot P_2(t) + \lambda_{12} \cdot P_1(t) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = -(\lambda_{31} + \lambda_{34} + \lambda_{37}) \cdot P_3(t) + \lambda_{23} \cdot P_2(t) \\ \frac{dP_4(t)}{dt} = -(\lambda_{41} + \lambda_{45} + \lambda_{47}) \cdot P_4(t) + \lambda_{34} \cdot P_3(t) \\ \frac{dP_5(t)}{dt} = -(\lambda_{51} + \lambda_{57}) \cdot P_5(t) + \lambda_{45} \cdot P_4(t) \\ \frac{dP_6(t)}{dt} = -\lambda_{61} \cdot P_6(t) + \lambda_{16} \cdot P_1(t) \\ \frac{dP_7(t)}{dt} = -\lambda_{71} \cdot P_7(t) + \lambda_{27} \cdot P_2(t) + \lambda_{37} \cdot P_3(t) + \lambda_{47} \cdot P_4(t) + \lambda_{57} \cdot P_5(t) \end{cases}$$

Досвід експлуатації кар'єрних самоскидів в умовах кар'єрів ПрАТ «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат», які є одними з найскладніших на залізничних кар'єрах держави, з максимальними продовжними ухилами, мінімальними шириною проїжджої частини та радіусами поворотів, показує необхідність введення в рекомендовану заводом-виробником системи ТОiP додаткового стану – планового ремонту, який проводиться через 10000 мото-годин. Даний стан був присутній в раніш використаній системі ТОiP, як плановий ремонт 1 (ПР-1), але був виключений разом з плановим ремонтом 2 (ПР-2) (рис.2).

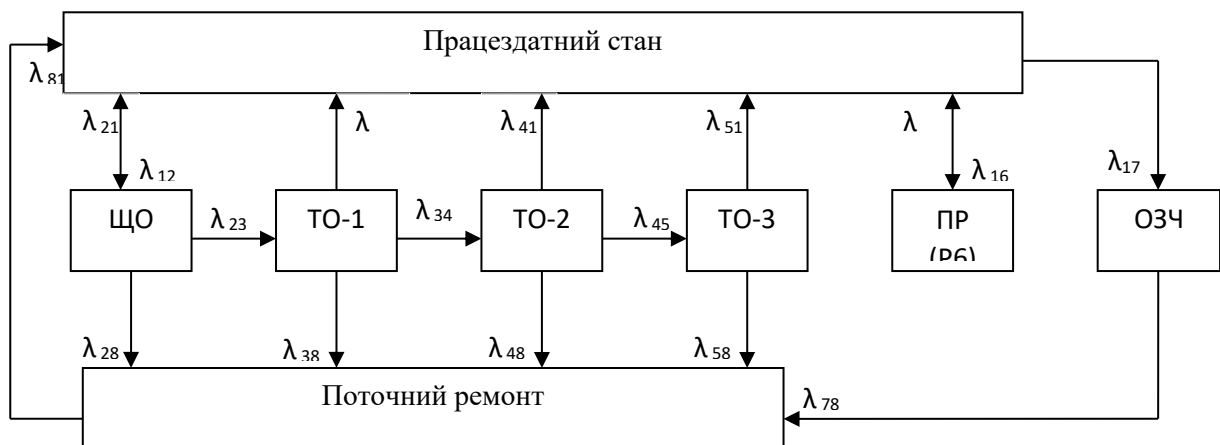


Рис. 2. Граф станів кар'єрного автосамоскиду при запропонованій системі ТОiP

В даному випадку кар'єрний самоскид має вісім станів, і повною характеристикою його функціонування буде квадратна матриця інтенсивностей порядку 8×8 , в цій матриці $\lambda_{i,j} \neq 0$, а система рівнянь має вид.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_1(t)}{dt} = -(\lambda_{12} + \lambda_{16} + \lambda_{17}) \cdot P_1(t) + \lambda_{21} \cdot P_2(t) + \lambda_{31} \cdot P_3(t) + \lambda_{41} \cdot P_4(t) + \lambda_{51} \cdot P_5(t) + \lambda_{61} \cdot P_6(t) + \lambda_{81} \cdot P_8(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = -(\lambda_{28} + \lambda_{23} + \lambda_{21}) \cdot P_2(t) + \lambda_{12} \cdot P_1(t) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = -(\lambda_{31} + \lambda_{34} + \lambda_{38}) \cdot P_3(t) + \lambda_{23} \cdot P_2(t) \\ \frac{dP_4(t)}{dt} = -(\lambda_{41} + \lambda_{45} + \lambda_{48}) \cdot P_4(t) + \lambda_{34} \cdot P_3(t) \\ \frac{dP_5(t)}{dt} = -(\lambda_{51} + \lambda_{58}) \cdot P_5(t) + \lambda_{45} \cdot P_4(t) \\ \frac{dP_6(t)}{dt} = -\lambda_{61} \cdot P_6(t) + \lambda_{16} \cdot P_1(t) \\ \frac{dP_7(t)}{dt} = -\lambda_{78} \cdot P_7(t) + \lambda_{17} \cdot P_1(t) \\ \frac{dP_8(t)}{dt} = -\lambda_{81} \cdot P_8(t) + \lambda_{28} \cdot P_2(t) + \lambda_{38} \cdot P_3(t) + \lambda_{48} \cdot P_4(t) + \lambda_{58} \cdot P_5(t) + \lambda_{78} \cdot P_7(t) \end{array} \right.$$

Розроблені системи диференційних рівнянь, що описують процес переходу з одного стану в інший для системи ТОiP з різними складовими.

Висновки. Розроблені математичні моделі функціонування кар'єрного самоскиду дозволяють визначити ймовірність переходів з одного стану в інший та прогнозувати надійність роботи при різних складових системи технічного обслуговування та ремонту. Наступним кроком досліджень буде вирішення диференційних рівнянь та отримання числових результатів.

1. Монастирський Ю. А. Дослідження надійності роботи агрегатів підвіски кар'єрних автосамоскидів / Ю. А. Монастирський, В. М. Денис // Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг, 2010. – Вип. 26. – С. 132-134.
2. Сироткин З. Л. Надежность карьерных автосамосвалов / Сироткин З. Л., Альтшулер В. М., Казарез А.Н. – М.: Цветметинформация, 1974. – 73 с.
3. Циперфин И. М. Эксплуатация карьерных автосамосвалов: учебн. / И. М. Циперфин, В. Д. Штейн. – М.: Высшая школа, 1987. – 320 с.
4. Монастирський Ю. А. Моделювання функціонування кар'єрних автосамоскидів / Ю. А. Монастирський // Качество минерального сырья: сб. научн. трудов. – Кривой Рог, 2011. – С. 420-424.
5. Авдеев А. М. Теория массового обслуживания и научная организация труда в автомобильном транспорте / Авдеев А. М. – М.: Транспорт, 2002. – 234 с.
6. Кузнецов Е. С. Теоретические и нормативные основы технической эксплуатации и сервиса автомобилей / Кузнецов Е. С. – М.: МАДИ, 2000. – 68 с.
7. Гайдес М. А. Общая теория систем (системы и системный анализ) / Гайдес М. А. – Винница: Глобус-пресс, 2005. – 201 с.

REFERENCES

1. Monastir'skiy Ju., Denis V. (2010) Doslidzhennja nadijnosti roboti agregativ pidviski kar'ernih avtosamoskidiv. [Visnik Krivoriz'kogo tehničnogo universitetu]. Krivij Rig. Vip. 26. pp. 132-134.
2. Sirotkin Z. Al'tshuler V., Kazarez A. (1974) Nadezhnost' kar'ernih avtosamosvalov. Moscow, Cvetmetinformacija. 73 p.
3. Ciperfin I. (1987) Jekspluatacija kar'ernih avtosamosvalov: uchebn. Moscow, Vysshaja shkola. 320 p.
4. Monastir'skiy Ju. (2011) Modeljuvannja funkcionuvannja kar'ernih avtosamoskidiv. [Kachestvo mineral'nogo syr'ja: sb. nauchn. trudov.]. Krivoj Rog. pp. 420-424.
5. Avdeev A. (2002) Teorija massovogo obsluzhivannja i nauchnaja organizacija truda v avtomobil'nom transporte. Moscow, Transport. 234 p.
6. Kuznecov E. (2000) Teoreticheskie i normativnye osnovy tehničeskoj jekspluataciji i servisa avtomobilej. Moscow, MADI. 68 p.
7. Gajdes M. (2005) Obshhaja teorija sistem (sistemy i sistemnyj analiz). Vinnica, Globus-press. 201 p.

Монастирський Ю. А., Бондар І. В. Климов Т. А. Математические модели функционирования карьерных самосвалов БЕЛАЗ с электромеханической трансмиссией

Разработаны математические модели функционирования карьерных самосвалов с электромеханической трансмиссией на основе дифференциальных уравнений А. М. Колмогорова, которые позволяют определять вероятность переходов карьерного самосвала из одного состояния в другой и прогнозировать надежность работы машины.

Ключевые слова: карьерный самосвал, электромеханическая трансмиссия, математическая модель.

Monastyrskiy Yu. A., Bondar I. V., Klimov T. A. The mathematical models of functioning of open-pit dump-trucks BELAZ of elektromechanical transmission

The mathematical model of functioning of open-pit dump-trucks of elektromechanical transmission, which based of differential equalizations of A. M. Kolmogorov These models allow determining the probability of transitions of a mining dump truck from one state to another and predicting the reliability of the machine.

Keywords: open-pit dump-trucks, elektromechanical transmission, mathematical model.

АВТОРИ:

МОНАСТИРСЬКИЙ Юрій Анатолійович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Автомобільний транспорт», ДВНЗ «Криворізький національний університет», e-mail: monastirskiy08@ukr.net

БОНДАРЬ Ігорь Вікторович, директор, Сервісний торгово-логістичний центр «БЕЛАЗ-УКРАЇНА», e-mail: ukr@belaz.com.ua

КЛИМОВ Тарас Анатолійович, аспірант кафедри «Автомобільний транспорт», ДВНЗ «Криворізький національний університет», e-mail: atknu@meta.ua

АВТОРЫ:

МОНАСТЫРСКИЙ Юрий Анатольевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автомобильный транспорт», ГВУЗ «Криворожский национальный университет», e-mail: monastirskiy08@ukr.net

БОНДАРЬ Игорь Викторович, директор, Сервисный торгово-логистический центр «БЕЛАЗ-УКРАИНА», e-mail: ukr@belaz.com.ua

КЛИМОВ Тарас Анатольевич, аспирант кафедры «Автомобильный транспорт», ГВУЗ «Криворожский национальный университет», e-mail: atknu@meta.ua

AUTHORS:

Yuriy MONASTIRSKIY, Doctor of Science in Engineering, Professor, Head of Automobiles Transport Department, KryvyiRih National University, e-mail: monastirskiy08@ukr.net

Igor BONDAR, manager, Service trade and logistics center «BELAZ-UKRAINE» e-mail: ukr@belaz.com.ua

Taras Klimov, Postgraduate Student of Automobiles Transport Department, KryvyiRih National University, e-mail: atknu@meta.ua

Стаття надійшла в редакцію 29.09.2017р.