УДК 629.353:622.682

І.Б. Степанкіна
Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет»

МОДЕЛЮВАННЯ АВТОМОБІЛЬНО-КОНВЕЄРНОГО КОМПЛЕКСУ КАР'ЄРУ

Розроблена модель автомобільно-конвеєрного комплексу як одноканальної системи масового обслуговування, що дає можливість управління комплексом за допомогою двох керуючих впливів: коригуванням інтенсивності потоку кар'єрних самоскидів, які транспортують гірничу масу, та регулюванням інтенсивності вивантаження породи. Планується виконання математичного моделювання комплексу як многоканальної системи масового обслуговування з відмовами.

Ключові слова: *автомобільно-конвеєрний комплекс, надійність взаємодії, система масового обслуговування, канал обслуговування, заявка, відмова.*

И.Б. Степанкина
Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет»

МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНО-КОНВЕЙЕРНОГО КОМПЛЕКСА КАРЬЕРА

Разработана модель автомобильно-конвейерного комплекса как одноканальной системы массового обслуживания, что дает возможность руководства комплексом при помощи двух управляющих воздействий: корректированием интенсивности потока карьерных самосвалов, которые транспортируют горную массу, и регулированием интенсивности выгрузки породы. Планируется выполнение математического моделирования комплекса как многоканальной системы массового обслуживания с отказами.

Ключевые слова: *автомобильно-конвейерный комплекс, надежность взаимодействия, система массового обслуживания, канал обслуживания, заявка, отказ.*

I. Stepankina
Kryvyi Rih National University

THE SIMULATION OF MOTOR-CAR-CONVEYER COMPLEX THE OPEN PITS'

The model of motor-car-conveyer complex is developed by author as the single-channel queuing system. This gives you the opportunity to manage the complex by means of two control actions. This is the intensity's adjustment of the mining trucks' queue and the intensity's regulation of the mountain rock's unloading. It is planned to perform the simulation of the complex as the multi-channel queuing system with refusals.

Keywords*: motor-car-conveyer complex, interaction reliability, queuing system, channel of service, request, refusal.*

Постановка проблеми. В сучасних умовах відкритий спосіб розробки корисних копалин характеризується подальшим поглибленням кар'єрів і, внаслідок цього, більш жорсткими вимогами до стабільності функціонування транспортно-технологічного комплексу.

Як показує світовий досвід, найбільш ефективними технологіями глибоких кар'єрів є циклічно-поточні (ЦПТ) [1]. При цьому найпрогресивнішою комбінованою схемою транспортування є поєднання кар'єрного автотранспорту і конвеєрного в автомобільно-конвеєрний комплекс (АКК). Результати роботи гірничо-збагачувального підприємства суттєво залежать від якості взаємодії складових АКК.

Забезпечення стабільної роботи автомобільно-конвеєрного комплексу при збільшенні жорсткості взаємозв'язків між підсистемами є важливою науково-практичною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковці, які досліджували питання організації функціонування транспортного комплексу, сходяться на думці, що найважливішим є створення умов ефективної взаємодії автомобільної та конвеєрної складових на основі відповідності технічних параметрів, узгодженості продуктивності та тривалості роботи.

В роботі [2] зазначається вплив характеристик процесу розвантаження самоскидів, а саме інтенсивності автомобільного потоку, тривалості очікування, тривалості дій маневрування та загального часу розвантаження на стабільність роботи комплексу. Розроблені методи вибору раціональної організації роботи автотранспорту в періоди аварійних відмов та відновлення дробильної установки або конвеєрної системи.

У публікації [3] описана модель складної транспортної системи кар'єру, яка може бути використана для визначення закономірностей зміни її характеристик, та дозволяє вирішувати питання урахування впливу гірничотехнічних умов експлуатації, оптимізації ємності перевантажувальних складів, організації раціональної взаємодії екскаваторно-автомобільного та дробильно-конвеєрного комплексів.

© І.Б. Степанкіна

Автори робіт [4, 5] виконали моделювання транспортної системи кар'єру, результатами якого є визначення парку самоскидів та його поповнення та розрахунок техніко-економічних показників роботи.

У публікації [6] описано розроблену на основі положень теорії масового обслуговування програму автоматичних розрахунків параметрів системи. Пропонується її використання для вирішення задач оптимізації, зокрема для вибору раціональної кількості самоскидів, закріплених за одним екскаватором.

Аналіз досліджень і публікацій показав, що питанню оптимізації параметрів надійності взаємодії складових транспортної системи не приділено достатньої уваги.

Мета дослідження, постановка завдання. Метою дослідження є підвищення ефективності роботи автомобільно-конвеєрного комплексу на основі математичної моделі його функціонування, створення якої дозволить вирішити задачу обґрунтування параметрів надійності взаємодії автомобільної та конвеєрної складових комплексу.

Результати досліджень. Використання системного аналізу дозволяє виділити в автомобільно-конвеєрному комплексі дві підсистеми: 1) технологічного автотранспорту; 2) конвеєрного транспорту (з можливістю включення дробильно-перевантажувальних установок (ДПУ)).

Перша підсистема реалізує задачу транспортування заданого об'єму гірничої маси із забоїв на дробильно-перевантажувальний пункт (ДПП) у полі кар'єра. Рішення цього завдання забезпечують кар'єрні самоскиди, здійснюючи дискретну доставку. Призначення другої підсистеми полягає в тому, щоб цю гірничу масу в дробарці ДПУ довести до заданої грудкуватості та вивантажити на стрічковий конвеєр, який безперервно транспортує її до приймального бункера збагачувальної фабрики.

Математичне моделювання комплексу проводилось на основі теорії масового обслуговування. Кожна система масового обслуговування (СМО) є комбінацією певного числа каналів, що її обслуговують. В автомобільно-конвеєрному комплексі такими каналами є дробильно-перевантажувальні установки на вході конвеєрної підсистеми.

Призначення будь-якої СМО полягає в обслуговуванні потоку заявок, що надходять у деякі випадкові моменти часу. При рішенні сформульованої задачі заявками є кар'єрні самоскиди, що доставили гірничу масу до приймального бункеру ДПУ. Такий процес доставки розглядається як дискретний потік та має стохастичний характер. Крім того, тривалість обслуговування (розвантаження) самоскида на ДПУ також є величиною випадковою. Реалізація заявки – це можливість вивантаження гірничої маси зі самоскида для попереднього подрібнення та подальшого транспортування конвеєром.

При математичному моделюванні функціонування АКК потік кар'єрних самоскидів, що транспортують гірничу масу, представлений у вигляді найпростішого. Тому припускається, що інтервал часу між доставками і час розвантаження є випадковими величинами, розподіленими за показниковими законами.

В найбільш простій ситуації, яку розглянуто при моделюванні, кар'єрний самоскид доставляє гірничу масу на пункт попереднього подрібнення та за наявності вільного місця біля ДПУ розвантажується за певний час. Якщо розвантаження неможливе (за відсутності вільного місця), самоскид від'їжджає від приймального майданчика та або транспортує гірничу масу за магістральною схемою на борт кар'єру, чи вивантажується у внутрішньокар'єрний склад (бункер).

У такому випадку транспортний комплекс можна розглядати як одно канальну систему масового обслуговування з відмовами. Граф станів такої системи показано на рис.1.

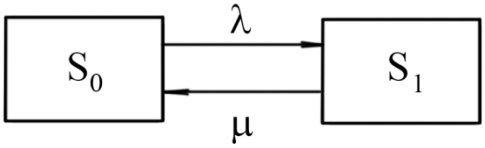

Рис. 1. **Граф одноканальної системи масового обслуговування з відмовами**

© І.Б. Степанкіна

Тут S_0 – стан системи, коли можливе пряме розвантаження кар'єрного самоскида, тобто ДПУ вільна; S_1 – стан неможливості розвантаження самоскида, тобто зайнятість ДПУ.

Дугам графа відповідають інтенсивності переходів потоків подій від першого стану до другого із значенням λ (інтенсивність потоку заявок) та зворотного з параметром μ (середнє число заявок, які обслуговує канал за одиницю часу).

Математична модель функціонування автомобільно-конвеєрного комплексу кар'єру представлена системою диференціальних рівнянь Колмогорова [7, 8]:

$$\begin{cases} \dfrac{dp_0}{dt} = -\lambda p_0 + \mu p_1; \\ \dfrac{dp_1}{dt} = -\mu p_1 + \lambda p_0, \end{cases} \tag{1}$$

де $p_0 = p_0(t)$ – ймовірність знаходження автомобільно-конвеєрного комплексу в стані S_0; $p_1 = p_1(t)$ – ймовірність знаходження АКК у стані S_1.

Крім того, повинна виконуватись умова:

$$p_0 + p_1 = 1, \tag{2}$$

яка вказує на те, що стани S_0 і S_1 утворюють повну групу подій.

Для розв'язання системи (1) необхідно скористатись умовою (2) і звести систему до одного диференціального рівняння з одним невідомим:

$$\frac{dp_0}{dt} = -(\lambda + \mu)p_0 + \mu. \tag{3}$$

Рівняння (3) є лінійним диференціальним рівнянням першого порядку. Для знаходження його загального розв'язку використовуємо метод Бернуллі, тому загальне рішення представляємо у вигляді добутку двох невідомих функцій:

$$p_0 = u \cdot v. \tag{4}$$

При підстановці виразу (4) в рівняння (3) та після виконання ряду групувань і математичних перетворень, отримуємо систему двох диференціальних рівнянь першого порядку зі змінними, що розділяються:

$$\begin{cases} \dot{v} + (\lambda + \mu)v = 0; \\ \dot{u}v = \mu, \end{cases} \tag{5}$$

де $\dot{v} = \dfrac{dv}{dt}$, $\dot{u} = \dfrac{du}{dt}$.

Перше з рівнянь системи (5) розв'язуємо розділенням змінних за умови, що інтенсивності λ та μ є сталими. Результат розв'язання має вигляд:

$$v = e^{-(\lambda+\mu)t}. \tag{6}$$

Розв'язок другого рівняння системи (5):

$$u = \frac{\mu}{\lambda + \mu} e^{(\lambda+\mu)t} + C, \tag{7}$$

© І.Б. Степанкіна

де C – стала інтегрування.

Тоді загальний розв'язок рівняння (3) отримує вигляд:

$$p_0 = \left(\frac{\mu}{\lambda + \mu} e^{(\lambda+\mu)t} + C \right) e^{-(\lambda+\mu)t}. \tag{8}$$

Сталу інтегрування визначаємо за початковою умовою $p_0(t=0)=1$, тобто у початковий момент комплекс знаходився у стані S_0 (ДПУ була вільною для розвантаження самоскида):

$$C = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}. \tag{9}$$

Підстановка виразу (9) в рівняння (8) дає необхідний результат

$$p_0 = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda+\mu)t}. \tag{10}$$

Аналогічно отримуємо другий розв'язок системи (1):

$$p_1 = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} + \frac{\mu}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda+\mu)t}. \tag{11}$$

Для зручності дослідження отриманих рішень, які дозволяють визначати ймовірності знаходження АКК у кожному стані, представляємо їх у безрозмірному вигляді:

$$p_0 = \frac{1}{1+\psi}\left(\psi + e^{-(1+\psi)\theta}\right); \tag{12}$$

$$p_1 = \frac{1}{1+\psi}\left(1 + \psi e^{-(1+\psi)\theta}\right), \tag{13}$$

де $\psi = \frac{\mu}{\lambda}$ – наведена інтенсивність вивантаження самоскидом гірничої маси;

$\theta = \lambda t$ – середнє число самоскидів, що прибули на розвантаження гірничої маси.

За визначенням для одноканальної системи масового обслуговування з відмовами відносна пропускна здатність обчислюється за виразом

$$q(t) = p_0(t).$$

Абсолютна пропускна здатність має значення

$$A = \lambda q.$$

Для системи АКК абсолютну пропускну здатність знаходимо із виразу

$$A(t) = \lambda \cdot p_0(t).$$

З часом відносна та абсолютна пропускні здатності автомобільно-конвеєрного комплексу зменшуються, досягаючи асимптотичних величин, які визначаються рівностями:

$$q = \frac{\psi}{1+\psi}; \tag{14}$$

$$A = \frac{\lambda\psi}{1+\psi}. \tag{15}$$

Оскільки ймовірність відмови системи визначається за формулою $P_{відм} = 1 - q$, то враховуючи вищесказане, отримуємо:

$$P_{відм}(t) = 1 - p_0(t), \tag{16}$$

тобто із часом ймовірність відмови автомобільно-конвеєрного комплексу зростає, досягаючи асимптотичної величини, що визначається рівністю:

$$P_{відм} = \frac{1}{1+\psi}. \tag{17}$$

Висновки. Розроблена модель автомобільно-конвеєрного комплексу як одноканальної системи масового обслуговування дає можливість управління комплексом лише за допомогою двох керуючих впливів: коригуванням інтенсивності потоку кар'єрних самоскидів, які транспортують гірничу масу та регулюванням інтенсивності вивантаження породи. Для збалансованої та надійної роботи комплексу в реальних умовах експлуатації таких дій недостатньо. Для вирішення задачі та подальшого дослідження надійності взаємодії підсистем АКК планується виконати математичне моделювання комплексу як многоканальної системи масового обслуговування з відмовами.

Література

1. Яковлев В.Л. Перспективные решения в области циклично-поточной технологии глубоких карьеров / В.Л. Яковлев // Горный журнал. – 2003. – № 4-5. – С. 51-56.

2. Смирнов В.П. Теория карьерного большегрузного автотранспорта / В.П.Смирнов, Ю.И.Лель; под ред. В.Л.Яковлева. – Екатеринбург: УРО РАН, 2002. – 355 с.

3. Бахтурин Ю.А. Моделирование работы сложных транспортных систем карьеров / Ю.А.Бахтурин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 1. – С. 82-90.

4. Безлуцкий Ю.Б. Анализ результатов моделирования процессов эксплуатации транспорта глубоких карьеров Украины / Ю.Б.Безлуцкий // Разработка рудных месторождений. – 2001. – №74. – С.131-136.

5. Бояндинова А.А. Методическое обеспечение имитационного моделирования работы экскаваторно-автомобильно-конвейерного комплекса / А.А.Бояндинова, Ж.А.Адилханова // Проблемы карьерного транспорта: материалы XI Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 12-14 октября 2011 г. – Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – С. 59-63.

6. Веретенова Т.А. Моделирование функционирования систем массового обслуживания при организации транспортных работ на карьерах / Т.А.Веретенова, В.Н.Вокин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – Т. 2, № 12. – С.88-98.

7. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1988. – 208 с.

8. Волков И.К. Исследование операций / И.К. Волков, Е.А. Загоруйко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 436 с.

Стаття надійшла в редакцію 22.04.2016

© І.Б. Степанкіна