

Ю.В. Бабенко, А.И. Михалёв, Р.В. Кирия

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМ КОНВЕЙЕРНОГО ПОДЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА С БУНКЕРАМИ

Аннотация. Разработана имитационная модель функционирования системы подземного транспорта древовидной структуры с аккумулятивными бункерами. Данная имитационная модель предоставляет возможность проводить моделирование работы систем подземного транспорта при различных входных параметрах, что позволяет детальнее исследовать процесс ее работы. Проведено сравнение основных показателей имитационной модели, полученных в результате имитационного моделирования, с теоретическими расчетами.

Ключевые слова: системы конвейерного транспорта, аккумулятивный бункер, имитационная модель, функционирование, пропускная способность, самоподобная структура.

Введение

Сложная система подземного конвейерного транспорта, состоящего из большого количества конвейерных линий, бункеров и различных узлов перегрузки, приводит к невозможности проведения натуральных экспериментов. Это связано, прежде всего, с тем, что остановка системы подземного конвейерного транспорта (СПКТ) даже на короткое время ведет к большим убыткам.

В настоящее время разработаны математические модели функционирования систем конвейерного транспорта без бункеров, применяемые, в основном, на открытых разработках полезного ископаемого [3, 4]. Вопросами моделирования функционирования систем конвейерного транспорта с бункерами занимались многие исследователи [1, 5 - 7]. При этом полученные математические модели функционирования системы конвейерного транспорта, в основном, касались системы с простой структурой «конвейер – бункер – конвейер».

Существующие математические модели СПКТ не всегда возможно применять на практике. Это связано с отсутствием необходимого программного обеспечения, которое позволило бы не только сле-

дять за работой системы, но и оптимизировать процесс ее работы. В этой связи разработка имитационных моделей СПКТ, для которых в реальных условиях сложно провести эксперимент, является актуальной задачей.

Постановка задачи

Целью данной работы является разработка имитационной модели функционирования СПКТ, которая позволит не только промоделировать поведение СПКТ в различных, в том числе и аварийных, условиях, но и исследовать влияние параметров отдельных элементов СПКТ на ее работу.

В данной работе имплементирована имитационная модель функционирования СПКТ при наличии аккумулирующих бункеров [2]. Здесь аккумулирующие бункера применяются для повышения надежности и пропускной способности системы подземного конвейерного транспорта, а также в качестве временного резервирования, которым можно воспользоваться в аварийной ситуации. Кроме того, скорости питателей бункеров выступают в качестве одного из параметров оптимизации работы всей СПКТ.

Древовидную структуру подземного конвейерного транспорта угольных шахт можно объяснить цикличностью технологии добычи угля: проходка – добыча – проходка. В результате каждый новый участок конвейерного транспорта подсоединяется к уже существующей системе, образованной в результате множества циклов добычи угля. На рисунке 1 представлена система конвейерного транспорта самоподобной древовидной структуры с бункерами.

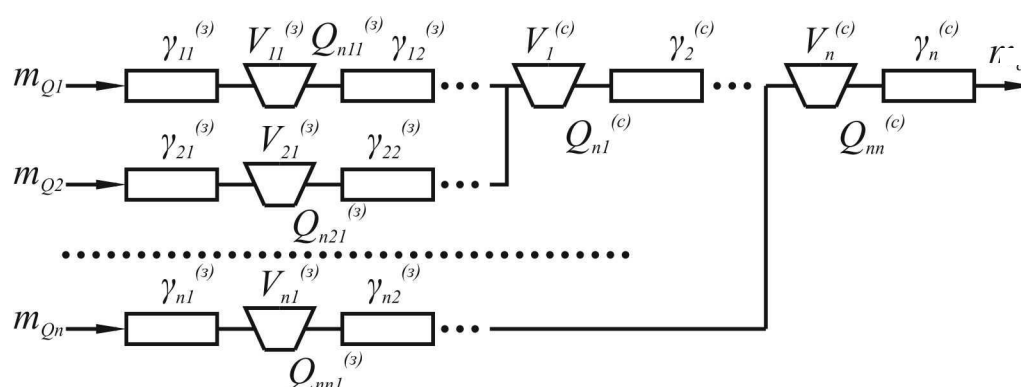


Рисунок 1 - Расчетная схема самоподобной древовидной структуры соединения бункеров

Для этой системы получены рекуррентные соотношения, определяющие среднюю пропускную способность системы при $m_{Q_i} \leq Q_{n_i}$, где m_{Q_i} – средняя производительность, Q_{n_1} – производительность питателя:

$$m_{c_i} = \left[\frac{1 + \frac{(Q_{n_i}^{(c)} - \bar{Q}_{n_i}^{(c)})}{(Q_{n_i}^{(c)} - m_i^{(s)})} (1 - e^{A_{2i} \gamma V_i^{(c)}})}{1 + \gamma_{i+1}^{(c)} e^{A_{2i} \gamma V_i^{(c)}} + \frac{(Q_{n_i}^{(c)} - \bar{Q}_{n_i}^{(c)})}{(Q_{n_i}^{(c)} - m_i^{(s)})} (1 - e^{A_{2i} \gamma V_i^{(c)}})} \right] m_i^{(s)}, \quad (1)$$

где $A_{2i} = \frac{\mu_c [m_i^{(s)}(1 + \gamma_{i+1}^{(c)}) - Q_{n_i}^{(c)}]}{m_i^{(s)}(Q_{n_i}^{(c)} - m_i^{(s)})}$, ($\mu_c = \mu_i$; $i = 1, n$), ,

$$\bar{Q}_{n_i}^{(c)} = \frac{Q_{n_i}^{(c)}}{1 + \gamma_{i+1}^{(c)}}, \quad m_i^{(s)} = m_{c_{i-1}} + \frac{m_{Q_i}}{1 + \gamma_{\partial_i}^{(s)}}$$

Здесь эффективные коэффициенты аварийности забойных путей с бункерами определяются по формулам:

$$\gamma_{\partial_i}^{(s)} = \frac{m_{Q_i}}{m_{c_i}^{(s)}} - 1, \quad (\gamma_{\partial_1}^{(c)} = \gamma_{\partial_1}^{(s)}, i = 1, n), \quad (2)$$

где $m_{c_i}^{(s)}$ – средняя пропускная способности i -го забойного пути системы конвейерного транспорта с бункерами.

На основании полученных аналитических выражений были проведены расчеты пропускной способности систем конвейерного транспорта самоподобной древовидной структуры с бункерами (рис. 1). Система проектировалась со следующими параметрами:

1. $m_{Q_i} = 5,6 \text{ т / мин}$;
2. $Q_{n_1}^{(c)} = 12 \text{ т / мин}$, $Q_{n_2}^{(c)} = 18 \text{ т / мин}$, $Q_{n_3}^{(c)} = 24 \text{ т / мин}$;
3. $Q_{n_i}^{(s)} = 6 \text{ т / мин}$;
4. $\gamma_i^{(c)} = 0,037$, $\gamma_{ij}^{(s)} = 0,193$, $\mu_i = 0,054$;
5. $V_1^{(c)} = 200 \text{ м}$, $V_2^{(c)} = 300 \text{ м}$, $V_3^{(c)} = 400 \text{ м}$, $V_{ij}^{(s)} = 100 \text{ м}$.

При таких параметрах системы теоретические расчеты показывают, что $m_c \approx 15.65 \text{ т / мин}$.

Построение имитационной модели

Используя аналитические формулы, полученные выше, в пакете построения имитационных моделей Anylogic была создана имитационная модель СПКТ древовидной структуры, представленная на рисунке 2.

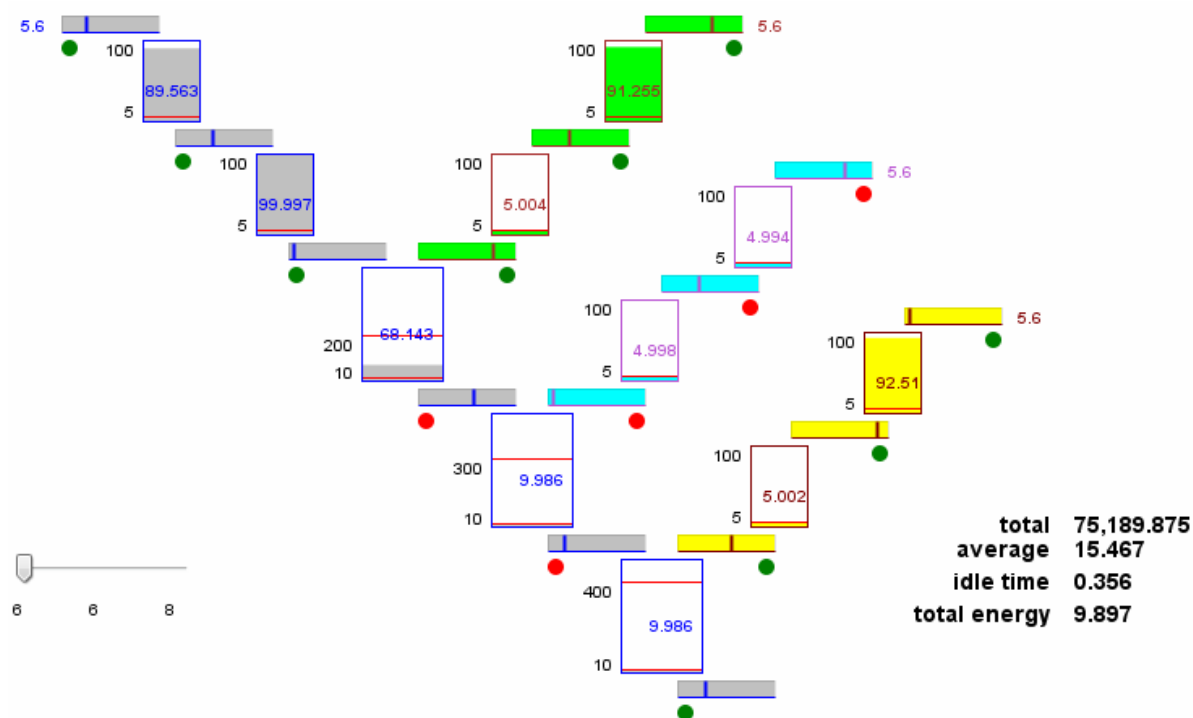


Рисунок 2 - Имитационная модель СПКТ древовидной структуры

Рассмотрим подробнее, что представляет данная модель. Она состоит из стволового пути, содержащего 6 конвейерных линий и 5 аккумулирующих бункеров, и трёх забойных путей, каждый из которых состоит из 3 конвейерных линий и 2 аккумулирующих бункеров. Разработанная модель также показывает, в каком состоянии находится каждая конвейерная линия (красный кружок – линия не работает, зеленый – работает). Так как имитационная модель является моделью реального времени, то имеется возможность отслеживать некоторые параметры СПКТ:

- объем груза в каждом бункере;
- общий объем транспортируемого груза (total);
- средний объем транспортируемого груза (average);
- среднее время простоя СПКТ из-за остановок конвейеров или переполнения бункеров;

- средние энергозатраты СПКТ.

У пользователя имеется возможность варьирования скоростей питателей путем движения ползунка слайдера.

Разработанная имитационная модель также позволяет просматривать следующие графики:

1. Среднее время простоя системы из-за поломки последней конвейерной линии или отсутствия груза в последнем бункере системы.

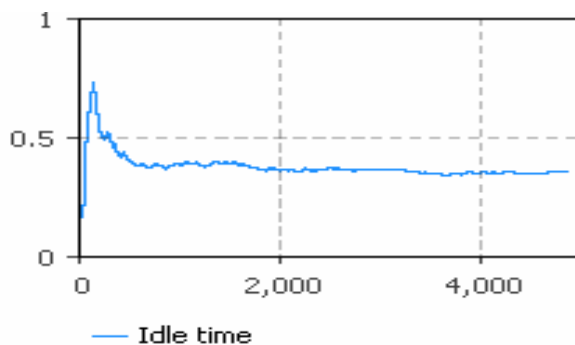


Рисунок 3 - График среднего времени простоя системы

2. Средний транспортируемый объем груза.

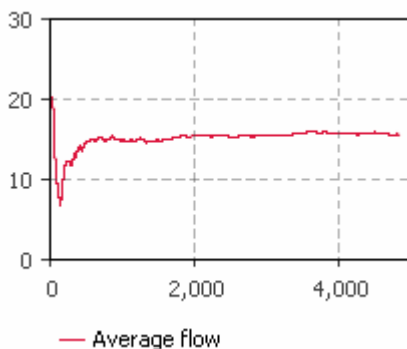


Рисунок 4 - График среднего транспортируемого объема груза

3. Средние энергозатраты транспортировки груза.

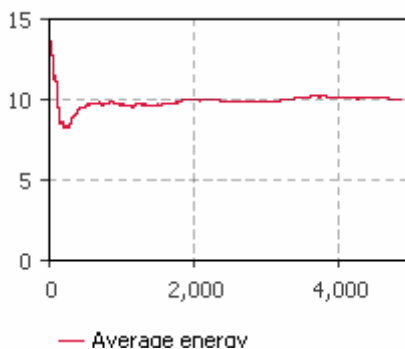


Рисунок 5 - График средних энергозатрат

Из приведенных выше графиков, можно сделать следующие выводы:

1. Во время старта работы модели СПКТ среднее время простоя системы выше 50%, так как бункер, который находится в самом конце стволового пути пустой и необходимо время на транспортировку груза до него. Когда же груз поступает в последний бункер, то этот показатель уравнивается до 25-30% и остается стабильным во время всей работы имитационной модели.

2. Средний грузопоток в начале работы системы не превышает 10 т/мин, однако, при накоплении последнего бункера и бесперебойной работе всей модели, данный показатель устанавливается на уровне 15-16 т/мин. При этом стоит отметить, что при возникновении аварийных ситуаций, средний грузопоток не падает моментально, а держится на среднем уровне до тех пор пока не опустошится последний бункер.

В результате моделирования модели СПКТ в пакете Anylogic было получено, что результаты имитационного моделирования хорошо согласуются с теоретическими расчетами полученными ранее.

Выводы

Разработанная имитационная модель позволяет следить за работой всей СПКТ одновременно, вести учет количества транспортируемого груза и энергозатрат на его транспортировку, среднего грузопотока в единицу времени. У пользователя имеется возможность идентифицировать причину остановки конвейерной линии (поломка конвейерной линии или переполнение бункера), варьировать скорость отгружаемого грузопотока. Благодаря разработанной имитационной модели появилась возможность детальнее исследовать процесс функционирования СПКТ без значительных материальных затрат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Системы подземного транспорта на угольных шахтах / В. А. Пономаренко, Е. Л. Креймер, Г. А. Дунаев [и др.]. – М.: Недра, 1975. – 309 с.
2. Бабенко Ю. В. Имитационное моделирование процесса функционирования систем конвейерного подземного транспорта / Ю. В. Бабенко, Р. В. Кирия, А. И. Михалёв, – Тези доповідей XI міжнародної науково-практичної конференції «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (MPZIS-2014)». – Дніпропетровськ, 2014. – с. 21-22.с.
3. Кирия Р. В. Применение фракталов к определению пропускной способности систем конвейерного транспорта горных предприятий / Р. В. Кирия // Системні технології: Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Дніпропетровськ, 2010. – Випуск 2(67). – С. 167–174.
4. Спиваковский А.О. Карьерный конвейерный транспорт / А.О. Спиваковский, М.Г. Потапов, Г.В. Приседский. – М.: Недра, 1979. – 264 с.
5. Кирия Р. В. Математическая модель функционирования аккумулирующего бункера в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах / Р. В. Кирия, Ю. В. Бабенко, Т.Ф. Мищенко // Сучасні проблемиметалургії: Науковий вісник. – Дніпропетровськ, 2012. – Випуск 15. – С. 85–96.
6. Степанов П. Б. Надежность многобункерных конвейерных линий / П. Б. Степанов, Л. М. Алотин // Изв. ВУЗов. Горный журнал. – 1978. – №1. – С. 94-99.
7. Климов Б. Г. Оценка эффективности функционирования шахтных транспортных систем с бункерами / Б. Г. Климов, В. Я. Богуславский // Изв. ВУЗов. Горный журнал. – 1976. – № 5. – С. 93–96.