

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНОЙ СЕТИ ГРУЗОПОТОКОВ

В. Л. Коных (Новосибирск), В. А. Давиденко (Кемерово)

Структура подземной транспортной сети горнодобывающего предприятия складывается в ходе многолетней эксплуатации. Ее особенности: неповторимость и невозможность изменения топологии, распределение и перемещение в пространстве источников грузопотоков с зависящими от множества случайных причинами остановками, зависимость работы источника грузопотока от работы транспорта, распределение грузов по элементам сети, сочетание в одной сети непрерывных и дискретных грузопотоков, ограниченность пропускной способности элементов транспорта.

Для имитации грузопотоков на входе конвейерной линии применялся метод Монте-Карло [1]. Программа имитации работы конвейерного транспорта BELTSIM описана в [2]. В 1977 г. на языке имитации GASPV разработана модель конвейерной сети ВЕТНВБЕЛТ-1 [3]. Сравнение результатов непрерывного и дискретного моделирования потока сыпучих грузов показало, что непрерывный грузопоток может быть представлен как движение по конвейеру дискретных объемов до 1 тонны [4]. Способ представления динамики грузопотока в виде полярной диаграммы предложен А. Ю. Михайлишиным [5]. Для формирования модели транспортной сети предприятия разработаны модели поведения ее элементов «работа источника постоянного грузопотока», «работа источника грузопотока со случайными остановками», «грузопоток на конвейере», «заполнение промежуточного бункера», «движение поезда по блоку участка», «выбор направления на разветвлении», «блокировка движения встречных поездов» в виде временных сетей Петри. Число маркеров, одновременно проходящих по дуге сети, соответствует величине грузопотока. Валидация сформированных моделей проводилась путем сравнения расчетного времени доставки и объема транспортируемой горной массы с результатами, полученными в ходе имитационного моделирования. В имитационных экспериментах в разных комбинациях включались источники грузопотоков и рассчитывалось время появления груза на поверхности.

При имитационном моделировании ставились задачи выбора пропускной способности сборного элемента транспорта при случайной работе источников грузопотоков, согласования работы элементов транспортной цепи, определения емкости подземных бункеров, оценки работоспособности транспортной сети при имитации отказов ее элементов.

Крупнейшая российская шахта «Распадская» (г. Междуреченск) ведет добычу угля из шести рассредоточенных под землей забоев F_1-F_6 (рис. 1).

Транспортная сеть состоит из 9 ленточных конвейеров C_1-C_9 с промежуточными бункерами B_1-B_5 . Превышение пропускной способности звена транспортной сети, например, переполнение промежуточного бункера, потребует остановки связанных с ним источников грузопотока. Поставлена задача определения максимальной пропускной способности сборного конвейера C_1 при случайной работе забоев. Из разработанных модулей была скомпонована сеть Петри, имитирующая процесс транспортирования угля (рис. 2).

Сначала имитировалась случайная работа забоев и оценивался грузопоток по сборному конвейеру C_1 . При одновременной работе всех забоев пиковая величина грузопотока по сборному конвейеру составляла 70 т/мин (рис. 3).

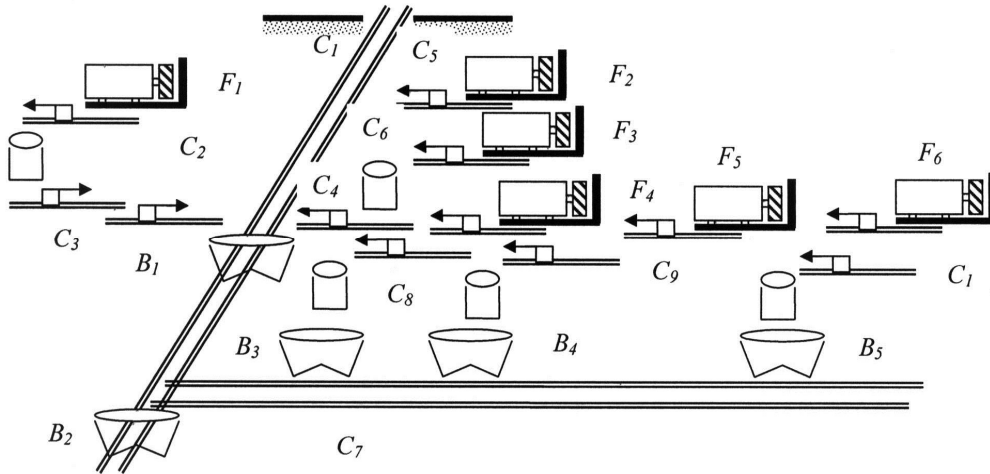


Рис. 1. Схема транспортной сети шахты «Распадская»

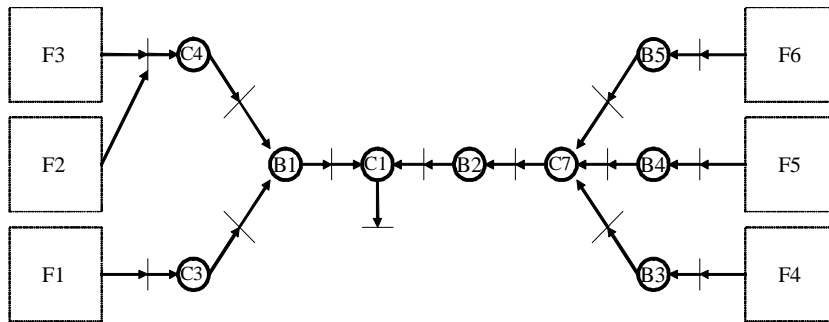


Рис. 2. Сеть Петри, имитирующая транспортирование угля на шахте «Распадская»

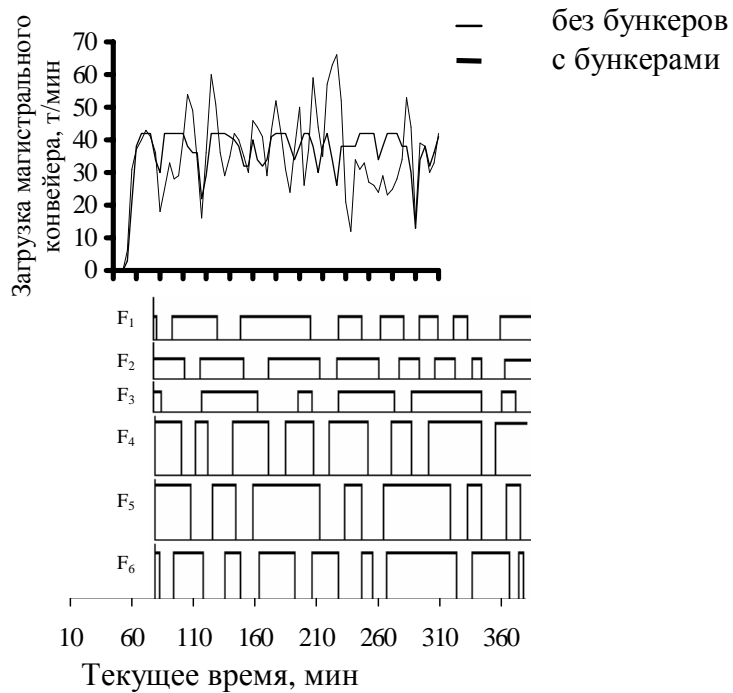


Рис. 3. Влияние промежуточных бункеров на грузопоток по конвейеру C₁

Затем в местах перегрузки вводились пять промежуточных бункеров по 300 тонн. Их ввод позволит снизить пиковую величину грузопотока в 1,6 раза и сократить затраты на установку конвейера. Далее имитировались случайные грузопотоки из забоев при заданных скоростях разгрузки бункеров. Бункер B_2 должен быть рассчитан на 300 тонн, в то время как для бункера B_5 достаточен объем 200 тонн. Остановка сборного конвейера C_1 приведет к заполнению промежуточных бункеров, после чего придется останавливать работу забоев. В результате экспериментов установлено, что через 10 минут переполнится бункер B_2 и надо будет остановить забои F_4, F_5, F_6 . Если увеличить его емкость так, чтобы он заполнился одновременно с B_1 , то время остановки C_1 может быть увеличено до 35 минут. Особенно сложным было согласование грузопотоков Q_1, Q_2 из бункеров B_1, B_2 , распределенных вдоль конвейера с приемной способностью

$$Q < Q_1 + Q_2$$

При интенсивности разгрузки Q_2 , первого по движению бункера B_2 , придется ограничивать интенсивность разгрузки Q_1 последующего бункера B_1 (рис. 4)

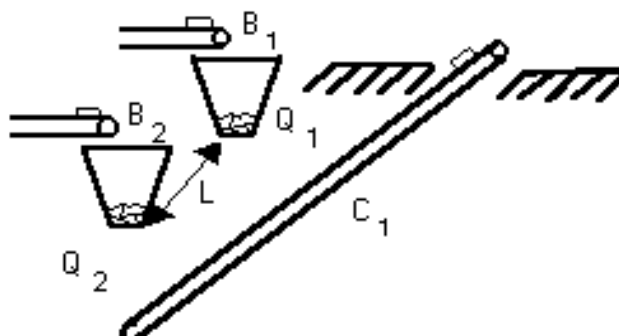


Рис. 4. Разгрузка двух бункеров на один конвейер

В результате B_1 начнет заполняться и после его заполнения придется останавливать связанные с ним источники грузопотоков. В имитационных экспериментах при случайных грузопотоках изменялась интенсивность разгрузки первого по движению бункера B_2 и оценивалась динамика заполнения бункера B_1 .

Задача поддержки решений диспетчера по управлению конвейерно-локомотивным транспортом была поставлена шахтой «Комсомолец» (г. Ленинск-Кузнецкий). Тран-спортная сеть содержит две конвейерных линии, соединяющие забои с двумя пунктами ОПП1, ОПП2 для погрузки угля в состав вагонеток (рис. 5).

Диспетчер должен направить состав к одному из погрузочных пунктов. Неправильный выбор приведет к переполнению бункеров и остановке забоев в другой линии. Имитационная модель транспорта скомпонована из модулей “забой”, “конвейер”, “бункер”, “движение состава”, “рельсовый путь”, “выбор направления”, “погрузка состава” и содержит 50 позиций и 45 переходов сети Петри. Для валидации модели применен метод объемного баланса. Имитационное моделирование ведут синхронно с реальным транспортированием. На этапе «Отображение» на экран выводится мнемосхема транспортной сети и движение грузов в реальном времени. Диспетчер вводит текущее состояние забоев и размещение поездов. В результате имитации на мнемосхеме транспортной сети (рис.6) отображаются движение угля по конвейерам и степени заполнения бункеров.

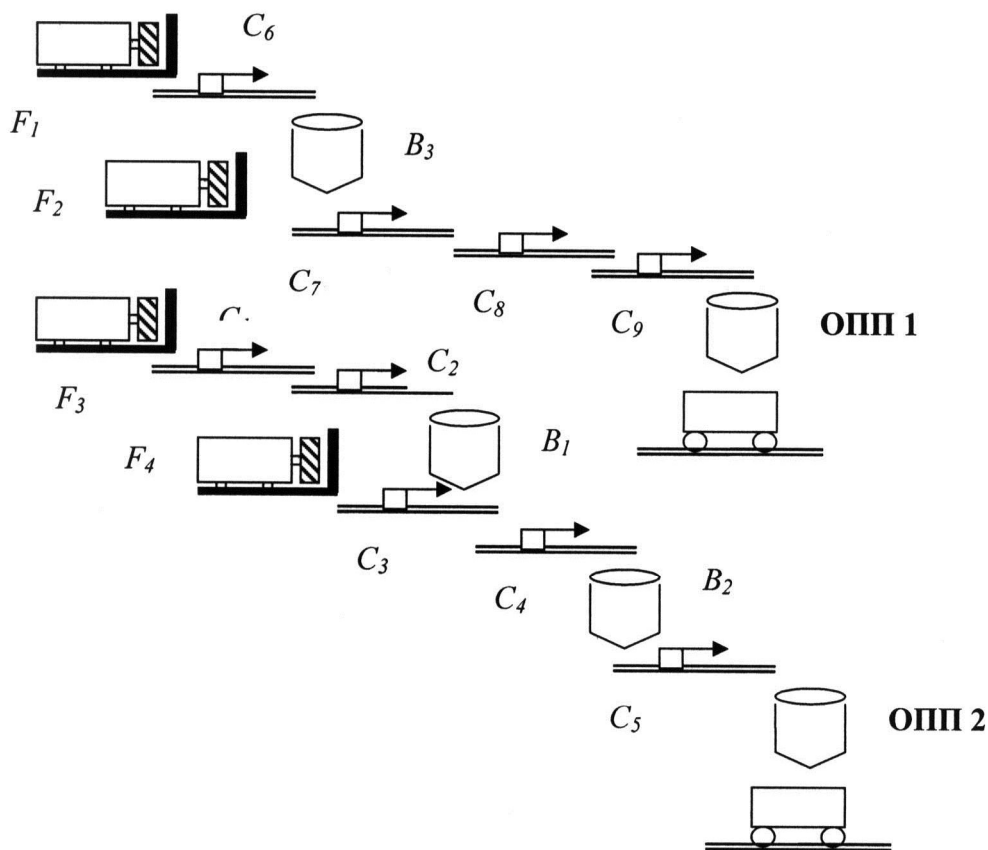


Рис. 5. Схема конвейерной сети шахты «Комсомолец»

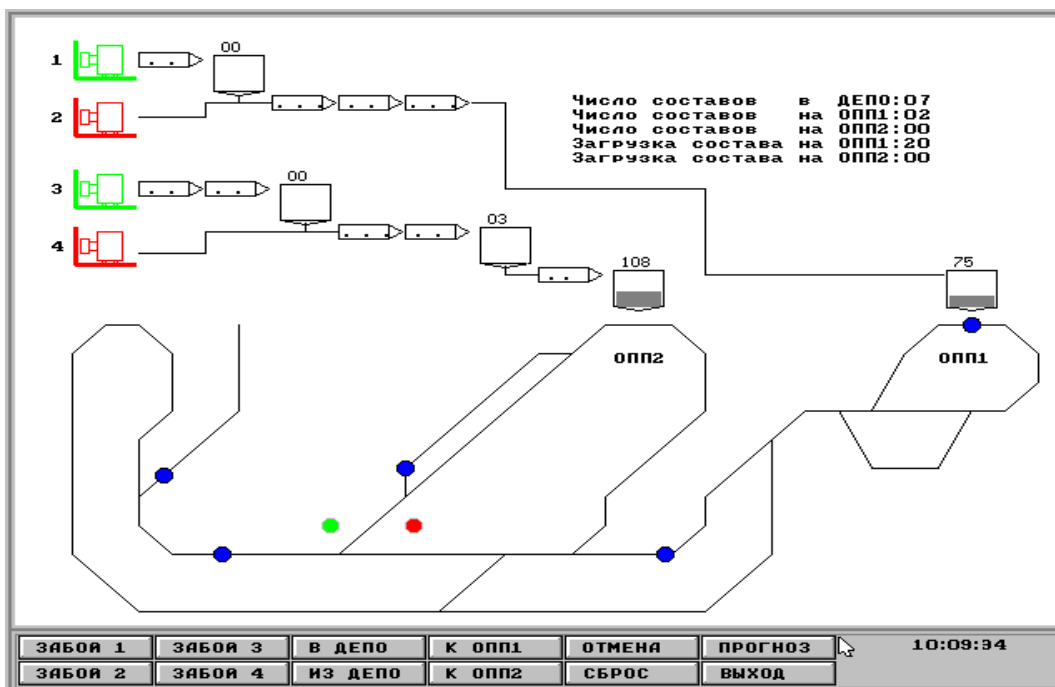


Рис. 6. Кадр анимации транспортной сети угольной шахты «Комсомолец»

На этапе «Оценка» модель первого этапа дополняют оценкой грузопотоков из забоев, на конвейерах и в бункерах, размещением поездов в локомотивной сети. На этапе «Прогноз» модель второго этапа дополняется прогнозированием распределения

грузопотоков для различных решений диспетчера. Путем перехода к ускоренному моделированию диспетчер прогнозирует заполнение бункеров, возвращает модель к реальному времени и направляет поезд к тому пункту, бункер которого заполнится быстрее.

На этапе «Автоматическая корректировка моделирования» в модель третьего этапа вводят сигналы от датчиков грузопотоков из забоев, перемещения угля конвейером, заполнения бункеров, размещения поездов.

Имитационное моделирование процессов транспортирования сыпучих грузов позволяет решать практические задачи улучшения работы транспортных сетей.

Работа выполнялась по гранту Научного Комитета НАТО OTR CRG №960628 «Имитация и анимация процессов добычи угля в России».

Поставлены и решены такие задачи имитационного моделирования транспортных сетей со случайными грузопотоками как влияние промежуточных бункеров на общий грузопоток, выбор емкости подземных бункеров, ограничение времени остановки сборного конвейера, согласование разгрузки на общий конвейер, прогнозирование последствий решений диспетчера.

Литература

1. **Sanford R.** Stochastic Simulation of a Belt Conveyor System. The Proc. of VI APCOM, 1965, USA: Arizona., pp.D1–D18
2. **Bucklen E.** et al. Computer Applications in Underground Mining Systems. Report of the US Dept. of Interior Res. And Dev. #37, Washington, DC
3. **Newhart D.** A Belt Haulage Simulator for Coal Mine Planning. Research Rep. Of Bethlehem Steel Corp., File 1720-2, 1977.
4. **Lebedev A.** Simulation Modelling of Bulk Conveying Systems / Simulation, February 2008/ pp.90-103.
5. **Bury A. , Cech R.** Computer Models and Simulation Programs for Transport Control in Deep Mines / The Proc. of the 11-th Intern.Symp.on Mine Planning and Equipment Selection 2002. Czech Rep.: Ostrava, 2002. pp.416–419.
6. **Konyukh V., Mikhaylishin A.** Simulation of underground transport network / The Proc. of the International Carpathian Control Conference (ICCC'2003), Koshice, May 2003.