

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДУЛЯ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ДЛЯ СРАВНЕНИЯ СХЕМ ОТРАБОТКИ ЗАХОДОК ПРИ ПРОХОДКЕ ШТРЕКОВ

В.В. Зиновьев, А.Н. Стародубов, П.И. Николаев, И.С. Кузнецов (Кемерово)

При добыче угля, когда сложная гипсометрия пласта, его геологические нарушения, повышенное горное давление и высокая газоносность ограничивают использование механизированных очистных комплексов, применяют систему отработки короткими забоями (КСО) [1-3].

При ведении проходческих работ с использованием КСО комбайн «А» последовательно осуществляет отработку заходок «В» с одновременной погрузкой угля в самоходные вагоны «Б», которые транспортируют отбитый уголь к бункеру-перегрузателю «Г» и после разгрузки возвращаются к проходческому комбайну для повторения рейса. Самоходный анкероустановщик «Д» осуществляет крепление выработанного пространства. Параллельно с транспортировкой угля и креплением выработки выполняются перегоны комбайна между заходками (рис. 1).

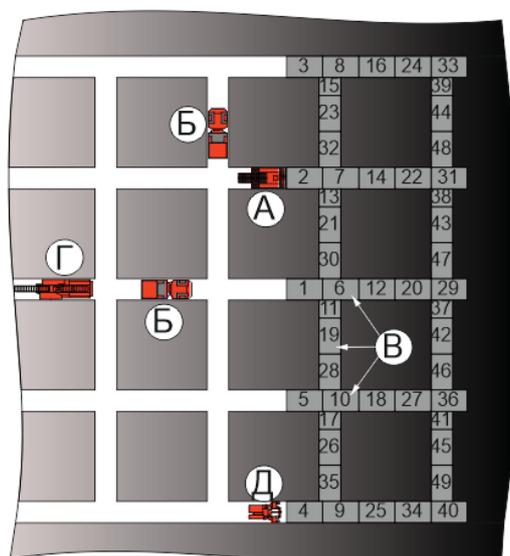


Рис. 1. Схема №1 - отработка заходок при проведении штреков (А - проходческий комбайн, Б - самоходный вагон, В - заходки, Г - бункер перегрузатель, Д - анкероустановщик)

Система отработки короткими забоями находит все большее применение при добыче угля. Так на одной из шахт угледобывающей компании "Колмар" применяют пятиштрековую короткозабойную систему отработки с полным обрушением. Штреки проходят путем последовательной отработки заходок по схеме, представленной на рис. 1, в угольном пласте полезной мощностью 2,10-4,28 м, сложного строения, углом падения в среднем 4°. Вмещающие пласт породы составляют алевролит и песчаник с преобладающим коэффициентом крепости по шкале проф. Протоdjяконова 10-12.

Применяемое оборудование:

- комбайн непрерывного действия DBT CM-25 M3 с заявленной производительностью 14-31 т/мин;
- два самоходных вагона DBT FBR-15Ram-car грузоподъемностью 15 т;
- бункер-питатель DBT 7MFBH-48;
- электрогидравлический самоходный анкероустановщик с вышкой и двумя буровыми станками для бурения в кровле Fletcher «CHDDR».

Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

Предложена новая схема проходки штреков(рис. 2), которая благодаря более ранней отработке заходок с 1 по 22 позволит освободить средний штрек и произвести более раннее наращивание конвейера на 25 м. В результате предполагается уменьшение длины пути самоходных вагонов, транспортирующих уголь от комбайна до бункера-перегрузателя, и вследствие этого увеличение средней скорости проходки штреков.

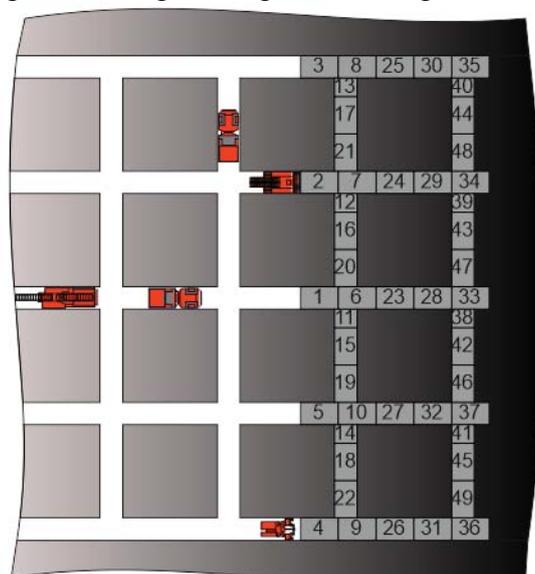


Рис. 2. Схема №2 - отработка заходок при проведении штрека с наращиванием конвейера после крепления 22 заходки

Чтобы принять решение по переходу на предложенную схему руководство компании хотело бы увидеть, как изменится средняя скорость проведения штреков и коэффициенты использования оборудования.

Для решения указанной задачи разработан дополнительный модуль к системе имитационного моделирования технологий проведения горных выработок [4], который позволяет отображать взаимодействие оборудования во времени и пространстве и сравнивать схемы отработки угольных пластов короткими забоями.

Для построения концептуальной модели имитационного модуля использованы элементы теории массового обслуживания (СМО) [5], так как операции при КСО являются дискретными с конечным числом значений переменных (начало и окончание работы комбайна, погрузка и разгрузка угля, начало и окончание бурения шпура под анкер и т.д.). Процесс отработки заходок при проведении штреков представлен замкнутой многоканальной сетью систем массового обслуживания (СсСМО) (рис. 3).

Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

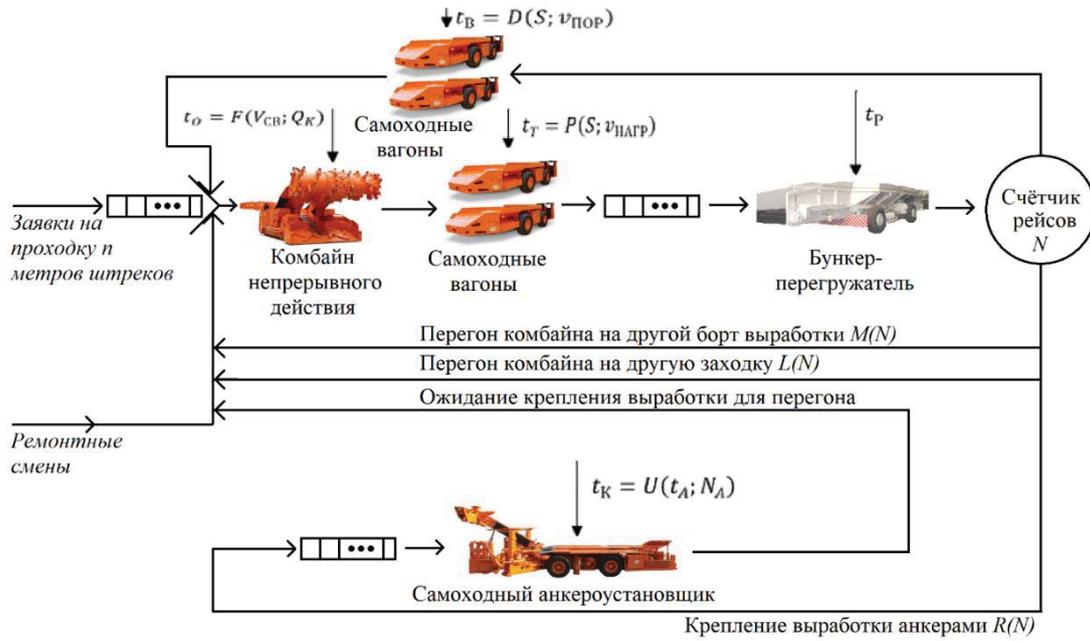


Рис.3. Концептуальная модель проведения штреков в виде СеСМО

Динамическими объектами в СеСМО являются заявки на проведение n метров выработки, где n зависит от объёма горной массы, помещающейся в самоходный вагон. Число заявок - Z равно числу используемых самоходных вагонов. Обслуживание заявки прибором «Комбайн», имитирует отбойку угля и его погрузку в самоходный вагон. Длительность отбойки и погрузки угля t_0 зависит от максимального объёма угля, вмещающегося в самоходный вагон - V_{CB} и производительности комбайна по углю Q_K . После отбойки и погрузки заявка обслуживается одним из приборов, отображающих самоходный вагон, имитируя транспортировку угля до бункера-перегрузателя. Длительность транспортировки t_T зависит от длины пути до бункера-перегрузателя S и скорости гружёного самоходного вагона $v_{НАГР}$. Задержкой заявки в приборе "Бункер-питатель" имитируется разгрузка самоходного вагона за время t_P . Затем отображается возврат порожнего вагона к комбайну за время t_B , зависящего от длины пути до бункера-перегрузателя S и скорости порожнего самоходного вагона $v_{ПОР}$. Каждый рейс самоходного вагона прибавляет единицу в специальный счётчик N , по которому отслеживаются события, прекращающие основной производственный процесс. К таким событиям относятся перегон комбайна на другой борт выработки и на следующую заходку. Начало этих событий отслеживается по счётчику функциями $M(N)$ и $L(N)$ соответственно. Кроме того, основной производственный процесс останавливается, если начинается ремонтно-профилактическая смена. В этом случае формируется заявка – «Ремонтные смены», прерывающая основной производственный процесс проходческих работ и запускающая моделирование ремонтно-профилактических работ. Указанные заявки генерируются с периодичностью T . В момент, когда комбайн заканчивает обработку заходки и начинается его перегон на следующую, счётчик рейсов самоходных вагонов формирует управляющий сигнал на генерацию заявки на крепление отработанного пространства анкерами, время которого определяется по функции $R(N)$ от значения счётчика. Созданные заявки на крепление отработанного пространства обслуживаются на устройстве «Крепеустановщик» со временем t_K , определяемым функцией U , зависимой от времени установки одного анкера t_A и числа анкеров в заходке N_A .

Для расчетов сетей массового обслуживания как правило используют теорию вероятностных сетей, которая основывается на марковских и полумарковских процессах. Но большинство расчетов получено только для экспоненциальных законов распределения. Кроме того, при количестве узлов в сети больше трех СМО практически не поддается аналитическому решению [6]. В связи с этим для реализации созданной сети СМО нами применен имитационный подход с использованием программного продукта GPSS World (ООО«Элина-Компьютер»,

Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

Россия), который наиболее успешно используют для отображения дискретных систем, в том числе в горном деле [7]. В GPSS World - моделях возможно учесть большое количество случайных факторов и отказаться от многих ограничений и допущений, применяемых при аналитических и численных методах исследования СМО[8, 9].

Основными объектами в GPSS-модели являются транзакты и блоки. Транзакты представляют собой аналоги заявок в СМО. Они, перемещаясь от блока к блоку, имитируют технологические операции: перегон комбайна, подгон - отгон самоходных вагонов, их загрузку и разгрузку, крепление выработанного пространства и т.п. Блоки задают логику функционирования модели и определяют пути движения транзактов по ней. Блоками представлены приборы СМО, отображающие комбайн, самоходные вагоны, крепеустановщик и бункер-перегрузчик.

Имитационная модель состоит из нескольких параллельно работающих сегментов, отображающих организацию ремонтных и проходческих смен, работу комбайна и самоходных вагонов, перегоны комбайна на другой борт выработки, перегон комбайна на следующую заходку, наращивание конвейера и пересчета путей самоходных вагонов, крепление выработки крепеустановщиком. На рис. 4 представлена часть блок-схемы GPSS-модели.

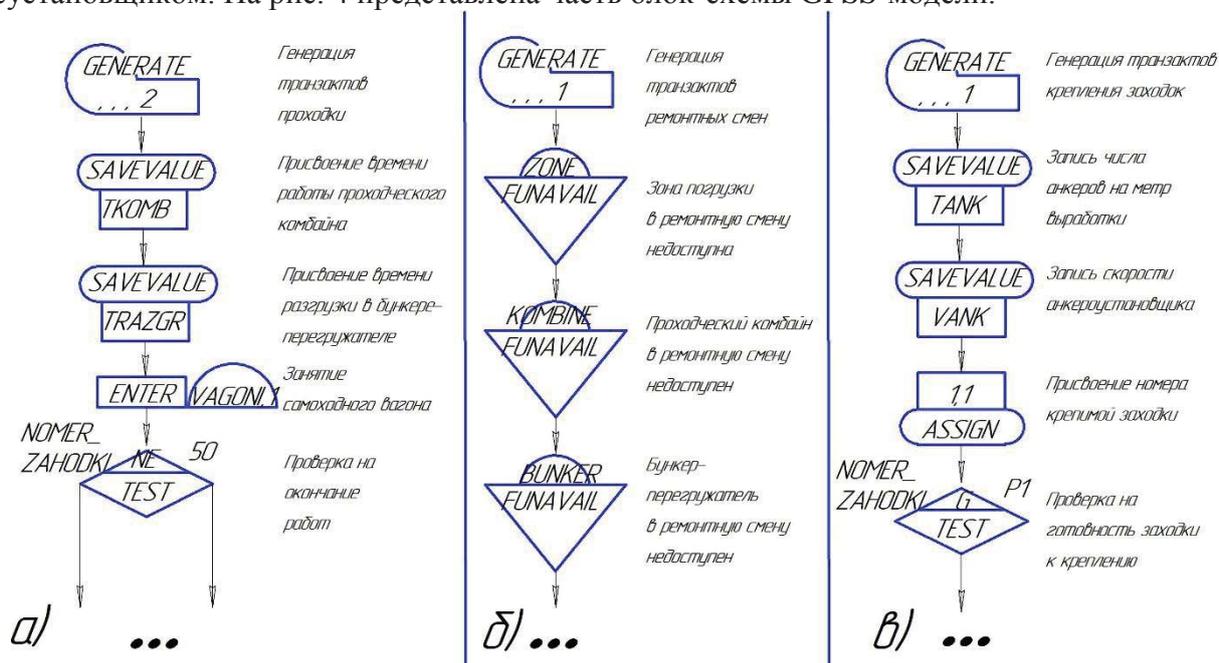


Рис. 4. Сегменты GPSS-модели, отображающие: а) работу комбайна и самоходных вагонов; б) чередование ремонтных и рабочих смен; в) работу крепеустановщика

Все сегменты модели находятся во взаимной связи через переменные, изменяющие свои значения в GPSS-блоках SAVEVALUE. Основной сегмент отображает работу проходческого комбайна, самоходных вагонов и бункера-перегрузчика. В нём находится счётчик циклов проходческих работ, в зависимости от которого запускаются сегменты перегона комбайна на другой борт выработки или к следующей заходке. Сегмент чередования ремонтных и рабочих смен содержит блоки FUNAVAIL и FAVAIL, приостанавливающие деятельность основного сегмента на время ремонтной смены в зависимости от времени суток.

Проверка адекватности созданной имитационной модели проводилась путем построения планограммы проходческих работ, созданной по модельным результатам и ее сравнением с планограммой работ по отработке выемочного блока реальной шахты.

В имитационных экспериментах вводились горно-геологические и горнотехнические условия, а также порядок отработки заходок в соответствии со схемами, представленными на рис. 1 и рис. 2. На выходе оценивались средняя скорость отработки всех 49 заходок, а также коэффициенты использования комбайна и самоходных вагонов (табл. 1).

Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

Таблица 1. Сравнение схем обработки заходок по результатам имитационных экспериментов

	Схема №1	Схема №2	Отклонение
Средняя скорость обработки всех заходок, м/сут.	63,8	62,6	1,8%
Коэффициент использования комбайна, %	28,1%	30,4%	7,6%
Коэффициент использования самоходных вагонов	94,8%	93,0%	1,9%

Установлено, что не наблюдается существенных отличий измеряемых параметров при проведении штреков по разным схемам. Так, проведение штреков по схеме №2 (рис. 2) уменьшит среднюю скорость обработки заходок на 1,8% (с 63,8 до 62,6 м/сут). Коэффициент использования комбайна увеличится на 7,6%, а самоходных вагонов уменьшится на 1,9%. По результатам имитационных экспериментов построен график динамики обработки заходок (рис. 5).

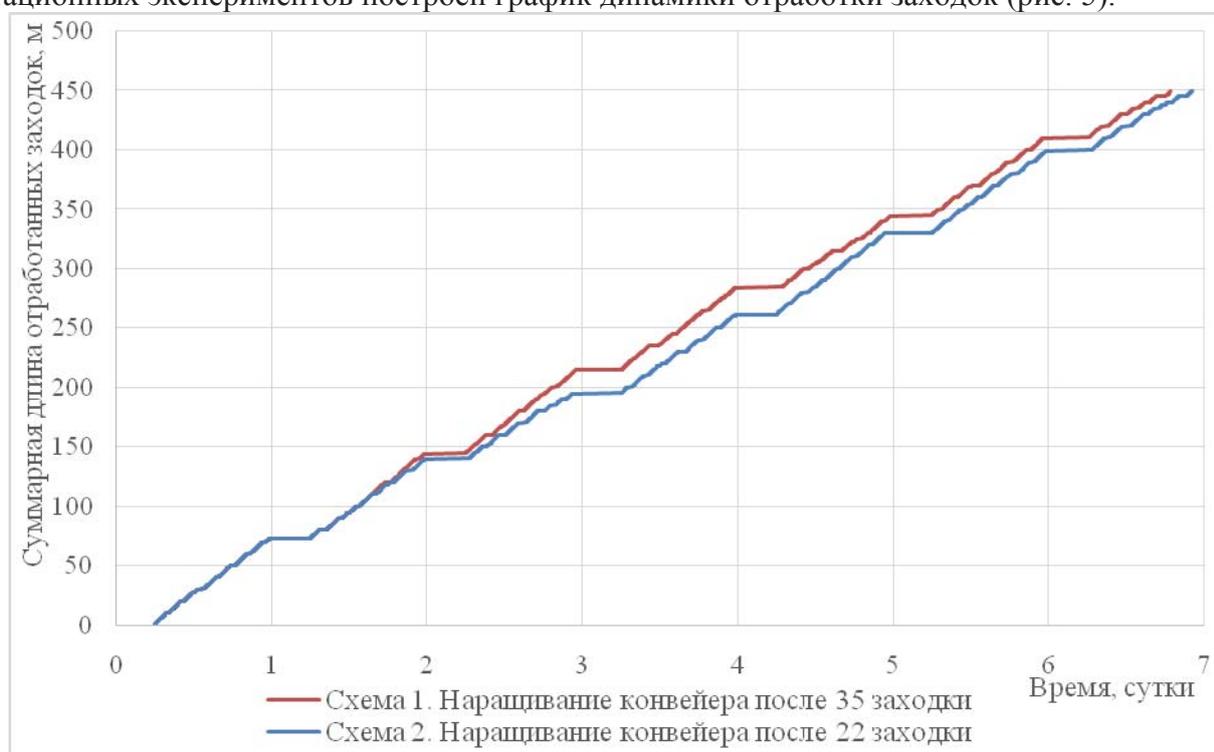


Рис. 5. Динамика обработки заходок

Из графика видно, что со вторых по третьи сутки заходки по схеме №1 обрабатываются быстрее чем по схеме №2. Это происходит из-за разницы суммарного расстояния перегона комбайна с 11-й заходки последовательно по 18-ю. На схеме №1 это расстояние – 612 м, а на схеме №2 - 1096 м. С четвертых по шестые сутки работы заходки по схеме №2 обрабатываются быстрее, чем в варианте №1. Это происходит из-за сокращения расстояния откатки самоходными вагонами с 22-ой по 35-ую заходки за счёт более раннего чем в схеме №1 наращивания конвейера. В итоге обе схемы обработки дают приблизительно равные временные затраты на транспортировку, переезд и ожидание разгрузки, несмотря на различную длину пути самоходных вагонов от пункта загрузки к пункту разгрузки.

Анализ результатов имитационных экспериментов показал, что наращивание конвейера после 22 заходки, предполагающее повышение скорости проходки штреков за счет сокращения расстояния доставки отбитого угля самоходными вагонами, не даст значимого эффекта.

Таким образом, применение разработанного имитационного модуля позволяет отображать варианты проведения штреков по различным схемам обработки выемочных блоков короткими

Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

забоями и по результатам моделирования в кратчайшие сроки принимать решения, исключая дорогостоящие технологические риски.

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились в рамках Государственного задания ФИЦ УУХ СО РАН № 075-00459-19-01 на 2019 год.

Литература

1. Айкин А. В. Опыт повышения коэффициента извлечения запасов угля при камерно-столбовой системе разработки / А. В. Айкин, И. П. Трандин, А. С. Позолотин, М. В. Лысенко, Д. Ф. Заятдинов // Уголь. – 2019. – №3. – с. 55-60.
2. Хомченко В.Н. Зависимость расчётных размеров целиков от глубины разработки в системах с короткими очистными забоями / В.Н. Хомченко, В.А. Карасев, Ю.А. Масаев // Вестник КузГТУ. - 2015. - №1. - С. 45-49.
3. Дегтярёв Д.Н. Технологические схемы отработки мощных пологих пластов камерно-столбовой системой на полную мощность. Область применения / Д.Н. Дегтярёв, С.И. Калинин, К.А. Филимонов // Вестник КузГТУ. - 2012. - №3. - С. 68-73.
4. Зиновьев В. В. Новый подход к обоснованию геотехнологий без постоянного присутствия людей в забое / В. В. Зиновьев, А. Н. Стародубов, П. И. Николаев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2017. – №5. – С. 37-44.
5. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. М.: Машиностроение, 1979, 432 с.
6. Томашевский, В. Н. Имитационное моделирование в среде GPSS / В. Н. Томашевский, Е. Г. Жданова // М.: Бестселлер. – 2003. – 412 с.
7. Зиновьев В. В. Моделирование многозабойной проходки с использованием имитационного подхода // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – №6. – с. 138-144.
8. Девятков, В.В. Эволюция имитационного моделирования - от "искусства и науки" к массовому применению / В.В. Девятков // Имитационное моделирование. Теория и практика. XIII Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности. 2017. С. 27-36.
9. Девятков, В.В. Опыт системного анализа транспортных систем с использованием метода имитационного моделирования / В.В. Девятков // Вестник НЦБЖД. - 2017. - №1 (31). - С. 18-28.