

**ИМИТАЦИОННЫЕ МОДУЛИ ДЛЯ СИНТЕЗА МОДЕЛЕЙ  
ГОРНОПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТ****В.В. Зиновьев, А.Н. Стародубов, А.Е. Майоров (Кемерово)**

Многообразие горнотехнических и горно-геологических условий определяет множество вариантов организации работ в проходческом забое, применяемого оборудования и его сочетаний. Поэтому при проектировании новых шахт, технологий, развитии и повышении эффективности действующих горнопроходческих предприятий возникают задачи анализа множества технико-организационных вариантов и определения оптимального решения. В настоящее время оборудование проходческого забоя комплектуют исходя из прошлого опыта и интуиции, а параметры технологий рассчитывают, принимая серьезные допущения, так как имеющиеся аналитические методы не позволяют учесть все аспекты горных работ. Кроме того, варианты, посчитанные в статике, не совпадают с результатами в динамике, а пренебрежение случайными факторами может дать существенные отклонения от планируемых показателей. Целесообразно решение обозначенных задач методом имитационного моделирования. Актуальным является разработка типовых программных модулей, которые позволят компоновать имитационные модели, отображающие различные технико-организационные варианты ведения горнопроходческих работ.

Большинство операций в горнопроходческих работах являются дискретными с конечным числом значений переменных. К таким операциям относятся: начало и окончание бурения, погрузка и разгрузка угля, начало и окончание работы комбайна или проходческого комплекса. Функционирование такой системы можно представить как последовательную смену состояний в дискретные моменты времени. В качестве средства программной реализации моделей горнотехнических систем наиболее подходит современная версия языка имитационного моделирования GPSS World. Язык GPSS в настоящее время является одним из самых эффективных и распространенных программных средств моделирования сложных дискретных систем и успешно используется для моделирования процессов различных отраслей промышленности [1-4], в т.ч. и горных работ, формализуемых в виде систем массового обслуживания [5-7].

С использованием GPSS World в ИУ СО РАН разработаны типовые программные модули для построения моделей технологий проведения выработок: «резание с погрузкой», «бурение», «заряжание», «погрузка», «крепление» (таблица 1).

Модуль	Блок-схема	Модель GPSS World
Бурение	<pre> graph TD     B1[ADVANCE (Dlina/vbu)] --&gt; B2[SEIZE BUR]     B2 --&gt; B3[ADVANCE ((nshp/nbu)#(lshp/Peksb+tper))]     B3 --&gt; B4[RELEASE KOM]     B4 --&gt; B5[ADVANCE (Dlina/vos)]           </pre>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ADVANCE (Dlina/vbu); Подгон бурильных установок</li> <li>2. SEIZE BUR; Включение бурильных установок</li> <li>3. ADVANCE ((nshp/nbu)#(lshp/Peksb+tper)); Разметка и бурение</li> <li>4. RELEASE BUR; Выключение бурильных установок</li> <li>5. ADVANCE (Dlina/vbu); Отгон бурильных установок</li> </ol>

Таблица 1. Модели роботизированных модулей

Модуль	Блок-схема	
Резание с погрузкой	<pre> graph TD     B1[ASSIGN kol_r (Qgm/Qos)] --&gt; B2[LOGIC R VSA]     B2 --&gt; B3[ADVANCE (Dlina/vos)]     B3 --&gt; B4[SEIZE KOM]     B4 --&gt; B5[ADVANCE ((Tv#lp#Spr)/(nch))]     B5 --&gt; B6[RELEASE KOM]     B6 --&gt; B7[ADVANCE (Dlina/vos)]     B7 --&gt; B8[LOOP kol_r (PODG)]     B8 --&gt; B4     B8 --&gt; B9[LOGIC S VSA]           </pre>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ASSIGN kol_r,(Qgm/Qos) ; Определение количества рейсов</li> <li>2. LOGIC R VSA; Выемка начата</li> <li>3. PODG ADVANCE (Dlina/vos); Подгон откаточного средства</li> <li>4. SEIZE KOM; Включение комбайна</li> <li>5. ADVANCE ((Tv#lp#Spr)/(nch)); Резание и погрузка</li> <li>6. RELEASE KOM; Выключение комбайна</li> <li>7. ADVANCE (Dlina/vos); Отгон откаточного средства</li> <li>8. LOOP kol_r,PODG; Если все рейсы сделаны, то начать установку крепи</li> <li>9. LOGIC S VSA; Выемка закончена</li> </ol>

<p>Заряжание</p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. LOGIC R OSA; Зарядчик подогнан</li> <li>2. ADVANCE (Dlina/vsu); Подгон зарядчика</li> <li>3. LOGIC R VSA; Штуры не заряжены</li> <li>4. SEIZE KU; Включение зарядчика</li> <li>5. ADVANCE (nshp#tssh); Заряжание штуров</li> <li>6. RELE KU; Выключение зарядчика</li> <li>7. LOGIC S VSA; Штуры заряжены</li> <li>8. ADVANCE (Dlina/vsu); Отгон комплекса</li> <li>9. LOGIC S OSA; Комплекс отогнан</li> </ol>
<p>Погрузка (вариант 1)</p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ADVANCE (Dlina/vpm) ; Подгон комплекса</li> <li>2. SEIZE PM; Включение погрузочной машины</li> <li>3. ADVANCE ((Spr#lshp#kis#kr)/(Peks#npm)); Погрузка</li> <li>4. RELEASE PM; Выключение погрузочной машины</li> <li>5. ADVANCE (Dlina/vpm) ; Отгон комплекса</li> </ol>

Продолжение таблицы 1

<p>Погрузка (вариант 2)</p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. SEIZE PM; Включение погрузочной машины</li> <li>2. ASSIGN kol_n,((Spr#lshp#kr)/(Vos#knz)); Определение количества рейсов</li> <li>3. SAVEVALUE li+lc; Увеличение длины доставки</li> <li>4. REIS SAVEVALUE tpi,(2#(li/vpm)+tsach+tr); Определение времени рейса</li> <li>5. ADVANCE tpi; Рейс</li> <li>6. LOOP kol_n,REIS; Если все рейсы сделаны, то закончить погрузку</li> <li>7. RELEASE PM; Выключение погрузочной машины</li> </ol>
-----------------------------	--	---

Крепление (вариант 1)	<pre> graph TD     1[ADVANCE (Dlina/vau)] --&gt; 2[SEIZE AU]     2 --&gt; 3[ADVANCE (las/Peks+nank#tank)]     3 --&gt; 4[RELE AU]     4 --&gt; 5[ADVANCE tz]     5 --&gt; 6[ADVANCE (Dlina/vau)]           </pre>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ADVANCE (Dlina/vau); Подгон анкероустановщика</li> <li>2. SEIZE AU; Включение анкероустановщика</li> <li>3. ADVANCE (las/Peks+nank#tank); Крепление</li> <li>4. RELEASE AU; Выключение анкероустановщика</li> <li>5. ADVANCE tz; Установка затяжки</li> <li>6. ADVANCE (Dlina/vau); Отгон анкероустановщика</li> </ol>
Крепление (вариант 2)	<pre> graph TD     1[SEIZE AU] --&gt; 2[ADVANCE (las/Peks+nank#tank)]     2 --&gt; 3[RELE AU]     3 --&gt; 4[ADVANCE tz]           </pre>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. SEIZE AU; Включение анкероустановщика</li> <li>2. ADVANCE (las/Peks+nank#tank); Крепление</li> <li>3. RELEASE AU; Выключение анкероустановщика</li> <li>4. ADVANCE tz; Установка затяжки</li> </ol>

Окончание таблицы 1

Для синтеза моделей горнопроходческих работ в целом, кроме вышеуказанных, разработаны дополнительные модули: «Описание и ввод данных», «Запуск» и «Окончание цикла и окончание работы» (рис. 1).

Синтез модулей позволил разработать модели отдельных горнопроходческих работ. Технологии проходки индивидуальными машинами синтезированы модулями «бурение», «заряжание», «погрузка» (вариант 2) и «крепление» (вариант 1).

```

*****
* Модуль "Описание и ввод данных"
*****
Dlina EQU 10 ; Длина выработки, м.
lp EQU 2 ; Подвигание забоя за цикл, м.
priem EQU 15 ; Прием смены, мин.
Qgm EQU 5 ; Объем отделенной горной массы, м3.
vos EQU 10 ; Скорость движения самоходного вагона по выработке, м/мин
Tv EQU 200 ; Трудоемкость выемки, чел.-мин.
nch EQU 4 ; Количество горнорабочих, чел.
Spr EQU 15 ; Сечение выработки в проходке, м2.
Qos EQU 5 ; Ёмкость самоходного вагона, м3.
tz EQU 3 ; Установка затяжки
las EQU 5 ; Суммарная длина устанавливаемых анкеров, м.
Peks EQU 20 ; Эксплуатационная производительность анкероустановщика, м/мин
nank EQU 15 ; Количество устанавливаемых анкеров, шт.
tank EQU 3 ; Время установки одного анкера, мин.

*****
* Модуль "Запуск"
*****
GENERATE ,,,1
ASSIGN kol,(Dlina/lp); Определение количества циклов

CICLE LOGIC R PSS ; Начат прием смены
ADVANCE priem ; Прием смены
LOGIC S PSS ; Прием смены закончен
LOGIC R OKO ; Проходческий цикл начат

*****
* Модуль "Окончание цикла и окончание работы"
*****
LOGIC S OKO ; Проходческий цикл закончен
LOOP kol,CICLE ; Если все циклы сделаны, то закончить проходческие работы
| TERMINATE 1

```

Рис. 1. Фрагменты GPSS World-модели с дополнительными модулями

Технология проходки роботизированным комплексом типа «Сибирь-2» синтезирована из блоков «бурение», «заряжание», «погрузка» (вариант 1) и «крепление» (вариант 2).

Модели позволяют проводить исследования различных параметров оборудования и их влияние на показатели проходческого цикла. Например, в роботизированной технологии проведения выработки индивидуальными машинами средняя продолжительность цикла с увеличением длины выработки возрастает с 200 до 1800 м. Уменьшение вместимости ковша погрузочно-транспортной машины с 7,5 до 1,8 м<sup>3</sup> увеличивает продолжительность проходческого цикла на 24-56% в зависимости от длины проводимой выработки (рис. 2).

Такой подход позволяет создавать модели основных горнопроходческих работ, проводить имитационные эксперименты на моделях, оценивать степень использования применяемого оборудования, эффективность и производительность технологии в целом.

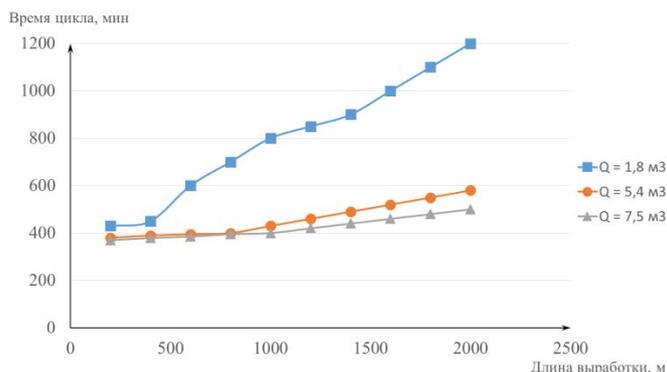


Рис. 2. Влияние длины выработки на продолжительность цикла в технологии с применением индивидуальных машин при различной вместимости ковша погрузочно-транспортной машины

### Литература

1. Полетаев, В.А., Зиновьев, В. В., Стародубов, А. Н., Чичерин, И. В. Проектирование компьютерно-интегрированных производственных систем / под ред. В. А. Полетаева. – М.: Машиностроение, 2011. – 324 с.
2. Зиновьев, В.В. Опыт имитационного моделирования сложных производственных систем / В.В. Зиновьев, В.Н. Кочетков // Вычислительные технологии. – 2008. – № 5. – С. 51-55.
3. Зиновьев, В.В. Имитационный подход при моделировании энерготехнологического комплекса по переработке угля / В.В. Зиновьев, А.Н. Стародубов, А.Е. Майоров, В.Н. Кочетков // Ежемесячный производственно-массовый журнал «Энергетик». №1. Январь 2013 г. С. 26-29.
4. Стародубов, А.Н. Определение рациональной планировки энерготехнологического комплекса Кузбасса методом имитационного моделирования / А.Н. Стародубов, В.В. Зиновьев, М.Ю. Дорофеев // Уголь. – 2010. - №2. – С. 8–11.
5. Стародубов А.Н. О подходе к решению задач многовариантного анализа компоновки оборудования при проектировании новых производств / А.Н. Стародубов, В.В. Зиновьев, М.Ю. Дорофеев// Журнал Уголь. – 2014. – №11. – С. 24-28.
6. Конюх, В.Л. Дискретно-событийное моделирование подземных горных работ / В.Л. Конюх, В.В. Зиновьев. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. – 243 с.
7. Зиновьев В.В. Разработка дискретно-событийных моделей роботизированных технологий проведения горных выработок / В.В. Зиновьев, А.Н. Стародубов // Журнал Уголь. – 2014. – №12. – С. 38-42.