

Р.С.Каренов

*Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова (E-mail: karenov@mail.ru)*

## **Теоретические и методические основы применения имитационного моделирования в задачах управления**

Отмечено, что широкое применение ЭВМ и создаваемых на их основе систем управления выдвинули ряд задач, для решения которых оказалось недостаточным использование традиционных методов и средств моделирования. Раскрыты идея и преимущества метода имитационного моделирования, позволяющего при необходимости исследовать системы любой сложности и назначения с любой степенью детализации. Рассмотрена сущность метода имитационного моделирования, состоящего в построении имитационной модели исследуемого объекта. Выделены роль и значение метода Монте-Карло как наиболее известного способа, используемого в имитационном моделировании. Предложены методические основы исследования работы добычного комбайна в очистном забое шахты методом имитационного моделирования. Рекомендованы методические принципы имитационного моделирования грузопотока из очистного забоя угольного предприятия.

*Ключевые слова:* модель, имитационное моделирование, метод Монте-Карло, лава, комбайн, производственный цикл, вероятность.

### *Идея метода имитационного моделирования*

Производственные процессы на промышленных предприятиях чрезвычайно сложны и многообразны. Это приводит к тому, что в рамках известных теорий линейного и нелинейного программирования, статистического моделирования, сетевого планирования их описать с достаточной степенью достоверности не всегда представляется возможным. В таких ситуациях, когда известные математические модели и методы оказываются слишком упрощенными и не могут адекватно отразить экономическую и производственную реальность, на помощь приходит метод имитационного моделирования [1–3].

Идея метода имитационного моделирования состоит в том, что вместо аналитического описания взаимосвязей между входами, состояниями и выходами строят алгоритм, отображающий последовательность развития процессов внутри исследуемого объекта, а затем «проигрывают» поведение объекта на ЭВМ. Следует отметить, что, поскольку для имитационного моделирования зачастую требуются мощные ЭВМ, большие выборки статистических данных, издержки, связанные с имитацией, почти всегда высоки по сравнению с расходами, необходимыми для решения задачи на небольшой аналитической модели. Поэтому во всех случаях следует сопоставлять затраты средств и времени, потребные для имитации, с ценностью информации, которую ожидают получить.

Имитационная модель — вычислительная процедура, формализованно описывающая изучаемый объект и имитирующая его поведение. При ее составлении нет необходимости упрощать описание явления, отбрасывая порой даже существенные детали, чтобы втиснуть его в рамки модели, удобной для применения тех или иных известных математических методов анализа. Для имитационного моделирования характерна имитация элементарных явлений, составляющих исследуемый процесс, с сохранением их логической структуры, последовательности протекания во времени, характера и состава информации о состояниях процесса. Модель по своей форме является логико-математической (алгоритмической).

Имитационные модели как подкласс математических моделей можно классифицировать на статические и динамические; детерминированные и стохастические; дискретные и непрерывные [4].

Важно отметить то, что в последние годы широкое использование информационных технологий позволяет эффективно использовать методы математического моделирования в разнообразных задачах управления. В области же имитационного моделирования использование компьютеров становится особенно важным, так как значимую и обоснованную информацию из имитационной модели можно получить только после проведения расчетов для различных случайных чисел. По сути использование компьютеров представляет собой концептуальную основу имитационного моделирования, именно поэтому зачастую эти методы именуют «машинным имитированием».

*Преимущества метода имитационного моделирования  
и основные этапы процесса имитации*

Методы имитационного моделирования применяются для [5]:

- а) выбора из множества возможных вариантов построения производственной и организационных структур системы наилучшего в смысле достижения поставленных перед ней целей на основе вариантов расчетов;
- б) максимально близкого воспроизведения поведения систем и их звеньев на основе фактических данных;
- в) обоснования и выбора на основе воспроизведения существенных черт системы и целей ее развития стратегии ее деятельности;
- г) снижения степени неопределенности в моменты принятия решений.

Они получают наибольшее распространение в современных условиях динамично изменяющейся внешней и внутренней среды менеджмента.

К преимуществам метода имитационного моделирования можно отнести [6]:

- возможность выяснения многочисленных вопросов, связанных с функционированием производственной системы, не прибегая к натурному эксперименту, что избавляет от затрат на дорогостоящие эксперименты;
- возможность использования полученных в ходе имитационных экспериментов данных для статистического прогноза;
- сокращение длительности исследования моделируемого объекта;
- исследование различных вариантов ситуаций, которые могут встретиться на практике, действие системы при изменении входных характеристик или окружающих условий, а также характеристик самой системы за счет использования метода Монте-Карло.

Имитационное моделирование включает следующие этапы реализации (рис. 1): формулировка цели, разработка концепции построения модели, построение модели в виде схемы или алгоритма расчетов, составление методики обработки результатов имитационных экспериментов, разработка программного обеспечения проведения имитационных экспериментов на ЭВМ, проведение расчетов, анализ и обобщение результатов моделирования.

Опыт применения методов имитационного моделирования в менеджменте показал следующее: эффект от их применения существенно возрастает при их использовании в рамках специально организованной имитационной системы поддержки решений и моделирования, обеспечивающей взаимосвязку всего процесса принятия решений — от прогноза и обоснования целей до их достижения.

Под имитационной системой поддержки решений и моделирования следует понимать информационную систему, включающую совокупность логико-лингвистических и математических моделей и методов, необходимые технические средства, программное, информационное и организационное обеспечение (рис. 2).

Используя имитационное моделирование, можно строить модели анализируемых объектов любой сложности, большой размерности.

*Метод Монте-Карло как наиболее известный способ,  
используемый в имитационном моделировании*

Среди различных методов, используемых в имитационном моделировании, достаточно широко известен метод Монте-Карло [7].

Этот метод назван по названию города, известного своими игорными домами. Он представляет собой метод имитации для приближенного воспроизводства реальных явлений, объединяет анализ чувствительности и анализ распределений вероятностей входящих переменных и позволяет построить модель при минимуме данных, а также максимизировать значение данных, используемых в модели. Данный метод может быть применен для решения почти всех задач при условии, что альтернативы могут быть выражены количественно. Построение модели начинается с определения функциональных зависимостей в реальной системе. После этого метод Монте-Карло позволяет получить количественное решение, используя теорию вероятности и таблицы случайных чисел [8].

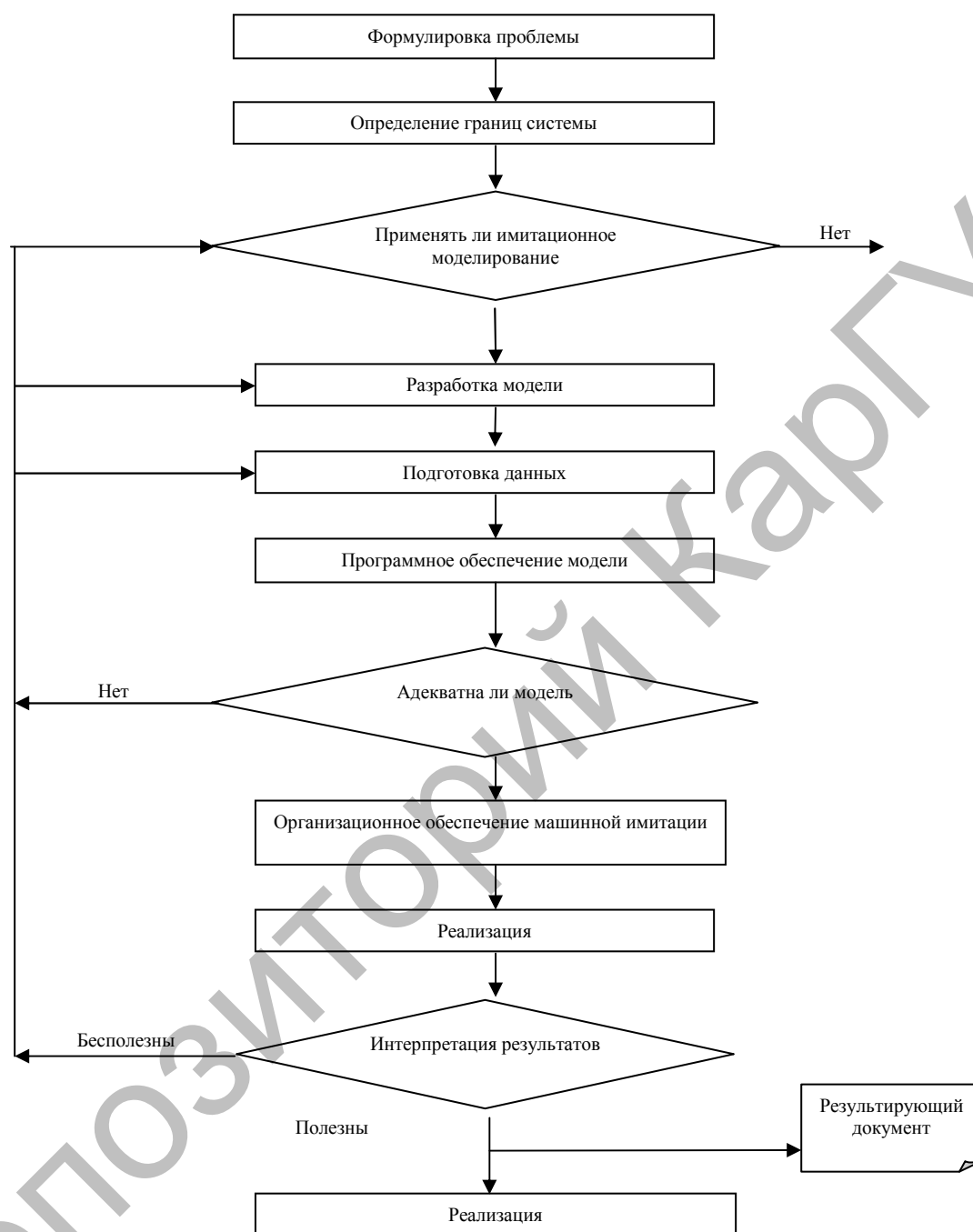


Рисунок 1. Основные этапы процесса имитации\*

\*Примечание. Данные работы [5; 174].

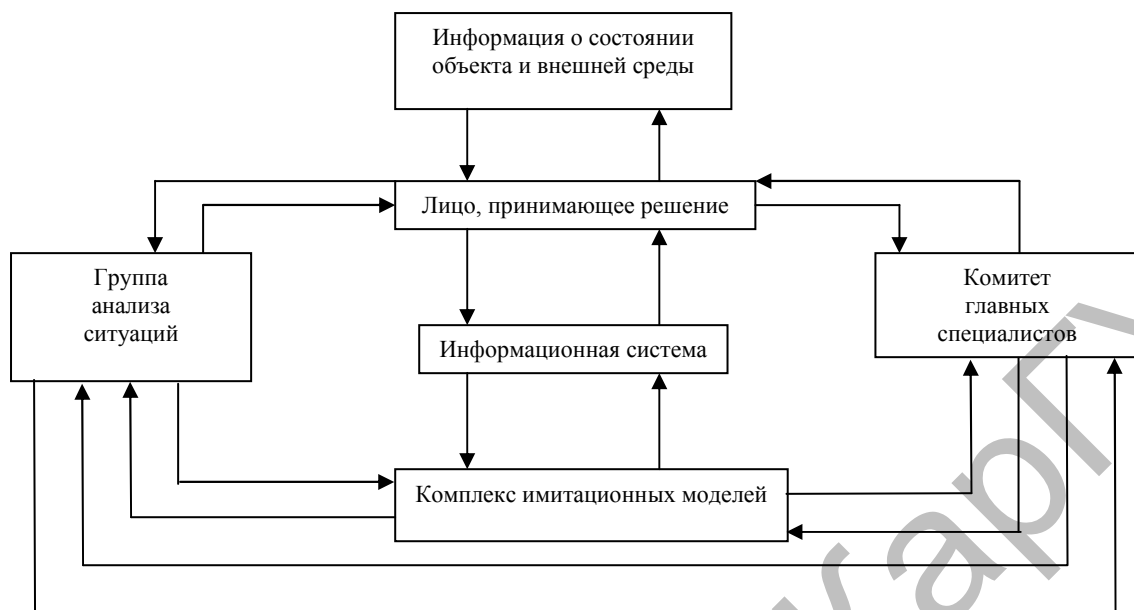


Рисунок 2. Схема имитационной системы поддержки решений и моделирования\*

\*Примечание. Данные работы [5; 175]).

Метод Монте-Карло характеризуется следующими особенностями [9]:

1) для реализации метода используется достаточно простой структуры вычислительный алгоритм. Фактически разрабатывается процедура для проведения одного случайного испытания, а затем по отработанной программе производится повторение испытаний, при этом каждое из них не зависит от остальных. После проведения всех испытаний полученные результаты осредняются;

2) ошибка вычислений, как правило, пропорциональна величине  $\sqrt{D/N}$  (где  $D$  — некоторая постоянная, а  $N$  — число испытаний). Очень высокой точности результатов данный метод не дает, поскольку, как следует из приведенной выше формулы, для увеличения точности расчетов (получения дополнительно еще одного десятичного знака в результате) число испытаний надо увеличить в  $10^2$ , т.е. в 100 раз. Но для решения тех задач, где допустима погрешность 5–10 %, этот метод весьма эффективен;

3) метод позволяет моделировать только такой процесс, на протекание которого влияют случайные факторы. Поэтому для тех задач, которые не связаны с какими-либо случайностями, необходимо придумать искусственно вероятностную модель, с помощью которой эта задача может решаться.

Методом Монте-Карло могут решаться как относительно простые, так и более сложные задачи, при этом последние представляются как композиция более простых распределений. В этом плане показательно решение задач массового обслуживания.

Ниже мы рассмотрим методические основы решения таких задач методом имитационного моделирования применительно к условиям горной промышленности.

*Исследование работы добычного комбайна в очистном забое шахты  
методом имитационного моделирования*

В настоящее время все основные технологические процессы на угольных предприятиях Казахстана (подготовка полезного ископаемого к выемке, погрузка, транспортировка и др.) механизированы.

На современных механизированных горных предприятиях выемка угля осуществляется узкозахватными комбайнами, которые одновременно производят работы по отделению угля от массива, дроблению его и погрузке на доставочный конвейер. Узкозахватный комбайн продвигается вдоль забоя по раме забойного конвейера и снимает полосу угля шириной до 1 м. Подача комбайна вдоль забоя осуществляется с помощью калиброванной цепи, растянутой вдоль забоя и закрепленной по его

концам, и звездочки на приводном валу подающей части комбайна. Выемка угля может производиться по односторонней или челноковой схеме.

Узкозахватный комбайн может входить в состав комплекса, в комплект которого входят изгибающийся забойный конвейер и комплект гидравлической крепи. При включении в комплекс механизированной (самопередвижной) крепи достигается комплексная механизация основных работ в очистных забоях. Особенность работы угледобывающих комплексов — совмещение во времени основных процессов добычи угля в очистном забое: выемки угля, его транспортирования, крепления и управления кровлей.

При исследовании работы выемочного комплекса методом имитационного моделирования могут быть определены следующие показатели:

- среднечасовая, среднесменная и среднесуточная добыча;
- среднесуточное подвигание очистного забоя;
- себестоимость 1 т угля по очистному забою;
- законы распределения часовой, сменной и суточной добычи угля;
- дисперсия часовой, сменной и суточной добычи угля;
- коэффициент простоя выемочного комплекса;
- зависимость производительности от технологических параметров (например, от длины очистного забоя);
- определение оптимальных технологических графиков производственных процессов.

К исходным данным следует отнести:

- параметры, характеризующие надежность технологической схемы добычи (характеристики отказов оборудования);
- порядок чередования операций в очистном забое;
- величины, характеризующие технологический режим (скорость рабочего и холостого хода комбайна, закон распределения длительности операций по монтажу, демонтажу комбайна и подготовке его к выемке очередной полосы угля, периодичность и закон распределения длительности профилактического ремонта и др.);
- технологические параметры очистного забоя (мощность пласта, длина лавы, ширина захвата комбайна и др.);
- экономические параметры (численность рабочих, тарифные ставки, стоимость материалов и др.).

Работа добычного комбайна в очистном забое (лаве) в основном определяет ритм и производительность процесса добычи полезного ископаемого.

Нагрузка на лаву (производительность) определяется по формуле:

$$Q = \int_{l_n}^{l_m} c(t) dl(t), \quad (1)$$

где  $c(t)$  — величина, равная произведению мощности пласта  $H$  на захват комбайна  $r$  и среднюю плотность угля  $\gamma$ ;  $l(t)$  — путь, проходимый комбайном, как функция времени;  $l_n$  и  $l_m$  — начальная и конечная координаты пути.

Для того чтобы задать график движения комбайна  $l(t)$ , необходимо знать закон изменения скорости подачи  $v(t) = \frac{dl(t)}{dt}$ .

Если учитывать только регламентированные перерывы, а движение комбайна считать происходящим с постоянной скоростью, то графиком функции  $l(t)$  окажется ступенчатая ломаная линия, горизонтальные участки которой соответствуют перерывам в работе комбайна, а наклонные — интервалам его движения (рис. 3, а).

Регламентированные перерывы обусловлены технологией и организацией работ в очистном забое. Момент их возникновения зависит от текущего времени смены (например, осмотр рабочего места в начале смены, отдых в середине смены и др.), а также от положения комбайна в лаве (например, конечные операции с комбайном). Продолжительность регламентированных перерывов устанавливается нормативами, а их моменты возникновения можно определить заранее.

При более глубоком исследовании вопросов организации работ в лавах, динамики грузопотоков полезного ископаемого с учетом надежности забойного оборудования и других факторов такой идеализированный график недостаточно точно описывает процесс движения комбайна.

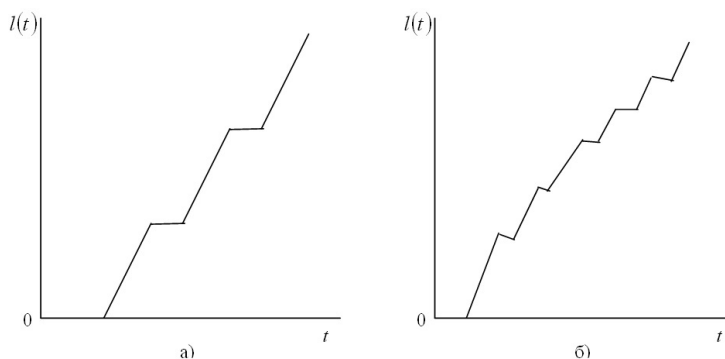


Рисунок 3. Графики движения комбайна в очистном забое шахты

В этих случаях необходимо учитывать случайные перерывы и неравномерность скорости подачи комбайна. При этом график  $l(t)$  примет вид, изображенный на рисунке 3, б. На горных предприятиях существует множество различных причин возникновения перерывов, которые, в зависимости от конкретных горнотехнических условий, могут взаимодействовать между собой в различных комбинациях.

Перерывы в работе очистного забоя угольной шахты можно классифицировать в соответствии со схемой, изображенной на рисунке 4.

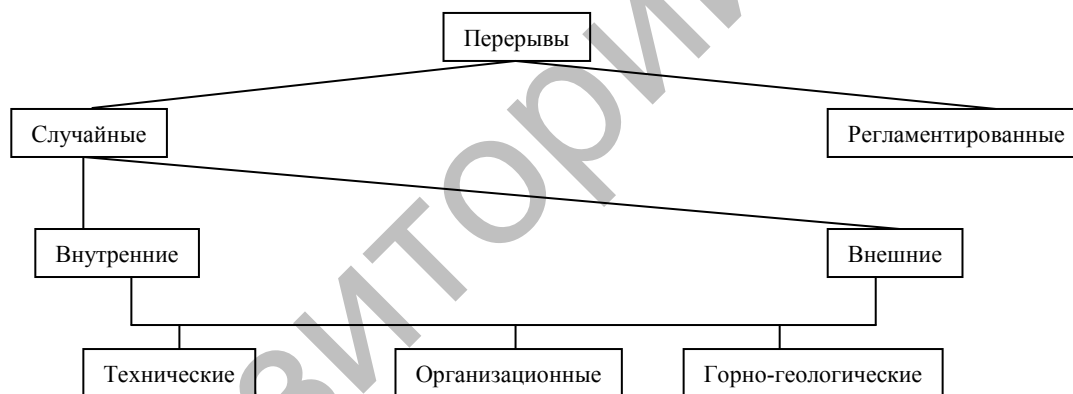


Рисунок 4. Классификация перерывов в работе очистного забоя шахты

Моменты возникновения и продолжительность случайных перерывов случайны, поэтому для их математического описания нужно знать законы распределения длительности перерывов, а также числа их появлений на отрезке пути движения комбайна.

Причины возникновения перерывов могут быть связаны либо непосредственно с ведением производственного процесса в очистном забое (внутренние причины), либо с работой последующих технологических звеньев, обслуживающих очистной забой (внешние причины). В целом работа горных машин и механизмов на шахтах подвержена влиянию случайных факторов трех групп [10]:

- к первой группе относятся природные факторы (изменения горно-геологических условий, физико-механические свойства пород, климатические условия);
- ко второй — технические (аварии и поломки оборудования, частота и продолжительность которых определяются надежностью машин);
- к третьей — организационные (социально-психологические) факторы.

Все элементарные периоды работы и остановок комбайна можно сгруппировать в некоторые множества.

Длительность  $T_u$  производственного цикла в очистном забое складывается из множества  $T_{раб}$  периодов работы комбайна и множества  $T_{пер}$  перерывов:

$$T_u = T_{раб} + T_{пер};$$

причем

$$T_{пер} = T_{пер.регл} \cup T_{пер.внеш} \cup T_{пер.внутр},$$

где  $T_{пер.регл}$  — регламентированные перерывы,  $T_{пер.внеш}$ ;  $T_{пер.внутр}$  — случайные перерывы соответственно по внешним и внутренним причинам;  $\cup$  — знак объединения множеств.

Множества  $T_{раб}$  и  $T_{пер}$  являются непересекающимися, поэтому  $T_{раб} \cap T_{пер} = 0$ , где  $\cap$  — знак пересечения множеств.

В противоположность этому множества  $T_{пер.регл}$ ,  $T_{пер.внеш}$ ,  $T_{пер.внутр}$  являются пересекающимися, т.е.  $T_{пер.регл} \cap T_{пер.внеш} \cap T_{пер.внутр} \neq 0$ .

При этом возможно полное или частичное наложение одних перерывов на другие. Например, перерывы по внешним причинам могут пересекаться со всеми другими перерывами. Пусть  $t_{раб}$ ,  $t_{пер.регл}$  и  $t_{пер}$  — соответственно длительность отдельного периода работы, регламентированного и случайного перерывов.

Из указанных выше величин детерминированными можно считать только  $t_{пер.регл}$ . В связи с тем, что число перерывов, выпадающих на один цикл, случайно, суммы  $T_{раб} = \sum t_{раб}$  и  $T_{пер} = \sum t_{пер}$  состоят из случайного числа случайных слагаемых.

Существуют два метода моделирования возникновения перерывов в очистном забое:

- а) возникновение перерывов привязывается к текущему времени смены и распределение их частот дается из расчета на смену;
- б) возникновение перерывов привязывается к пути, проходимому комбайном вдоль лавы за один цикл.

В ряде случаев для упрощения процедуры моделирования более удобным является второй метод. В связи с тем, что длина лав в очистных забоях может быть различной, частоту возникновения перерывов удобно характеризовать средним числом перерывов, приходящимся на 1 м пути движения комбайна.

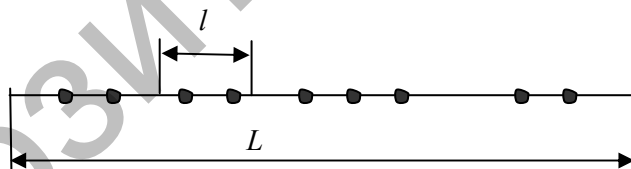


Рисунок 5. Схема, применяемая для математического описания потока перерывов

Для математического описания потока перерывов обратимся к следующей схеме. Будем отмечать возникновения перерывов точками на отрезке  $L$  (где  $L$  — длина лавы), расположенными в тех местах, где произошла остановка комбайна (рис. 5). При этом точки на отрезке  $L$  располагаются случайным образом.

Примем следующие допущения:

- 1) в очистном забое отсутствуют нарушения, сосредоточенные в одном и том же месте;
- 2) число перерывов на отрезке  $l$  (рис. 5) зависит от длины отрезка и не зависит от его положения, которое он занимает на линии  $L$ . Таким образом, на различных участках пути движения комбайна средняя плотность числа перерывов на единицу длины одна и та же;
- 3) возникновение каждого перерыва не зависит от предыдущих;
- 4) вероятность появления двух (и более) перерывов по одной и той же причине на элементарном отрезке пути является величиной высшего порядка малости по сравнению с вероятностью появления одного перерыва на этом отрезке;

5) длительность перерыва не зависит от положения точки на отрезке  $L$ . Таким образом, вероятность возникновения перерывов любой длительности не связана с тем, где в данный момент находится комбайн;

6) длительность перерыва не зависит от длительности предыдущих перерывов.

Указанные выше допущения подтверждаются статистическими исследованиями работы очистных забоев на ряде шахт России [11, 12].

Разделим произвольный участок  $l$  на пути комбайна на  $n$  равных отрезков. Длину каждого элементарного отрезка примем равной 1 м. Обозначим через  $p$  вероятность появления перерыва на отдельном отрезке. Вероятность противоположного события, заключающегося в том, что на нем не произойдет перерывов, равна  $1 - p$ . Из приведенных условий можно заключить, что попадание или непопадание точек на элементарные отрезки можно рассматривать как результаты  $n$  независимых опытов.

В тех случаях, когда вероятность появления события в каждом испытании  $p$  достаточно мала, а  $n$  велико, вероятность того, что в результате  $n$  независимых испытаний это событие произойдет  $k$  раз, выражается формулой Пуассона:

$$p(k, \lambda) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}, \quad (2)$$

где  $p(k, \lambda)$  — вероятность появления  $k$  перерывов на отрезке длиной  $l$ ;  $\lambda = np$  — интенсивность потока перерывов.

Как указывалось выше, в одной и той же лаве для любых отрезков  $l$  среднюю плотность количества перерывов на единицу длины можно считать постоянной, поэтому величина  $p$  на всех участках также является постоянной.

Для лав с одинаковой вероятностью появления перерывов, но имеющих разные длины  $L_1, L_2, \dots$ , число возникновений перерывов подчиняется соответственно законам распределения  $p_1(k, \lambda_1)$ ,  $p_2(k, \lambda_2)$ , ..., где  $\lambda_1 = L_1 p$ ;  $\lambda_2 = L_2 p$ , ... Параметр  $\lambda_i$  представляет собой среднее число перерывов, приходящихся на один цикл.

Анализ статистических данных на горных предприятиях подтвердил устойчивость характера распределения (2). Однако значения параметра  $\lambda$  для различных лав отличаются друг от друга.

Было также установлено, что:

1) длительность перерывов по внутренним и внешним техническим причинам подчиняется гамма-распределению с функцией плотности

$$f(t) = \frac{\lambda^\eta}{\Gamma(\eta)} t^{\eta-1} e^{-\lambda t} \quad (t > 0),$$

где  $\Gamma(\eta)$  — гамма-функция;

2) длительность перерывов по внешним организационным причинам подчиняется гамма-распределению, а по внутренним причинам — показательному распределению с функцией плотности:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (t > 0);$$

3) длительность перерывов из-за горно-геологических нарушений подчинена показательному распределению;

4) скорость движения комбайна распределена по нормальному закону:

$$f(\vartheta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(\vartheta-\mu)/(2\sigma^2)},$$

где  $\mu$  в зависимости от условий изменяется в пределах от 0,78 до 2,14, а  $\sigma$  — в пределах от 0,150 до 0,496;

5) вероятность возникновения перерывов всех видов распределена по закону Пуассона:

$$P(k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}.$$

Анализ физических предпосылок также подтверждает справедливость указанных выше законов распределения. Из теории надежности известно, что закону Пуассона подчиняется поток событий,

происходящих независимо друг от друга с постоянной интенсивностью. Такой модели соответствует возникновение перерывов в работе очистных забоев, происходящих из-за многих не зависящих друг от друга причин.

Показательное и гамма-распределение широко используются в теории массового обслуживания, теории надежности, причем показательное распределение используется для описания длительности восстановления простых отказов, а гамма-распределение — более сложных. Перерывы из-за технических неисправностей, вызванные поломками комбайна, конвейера, крепи и другого забойного оборудования, можно считать сложными событиями. К таким событиям можно также отнести перерывы по внешним организационным причинам (из-за отсутствия порожних составов, доставки оборудования и др.). Нормальное распределение скорости движения комбайна обусловлено действием большого числа факторов (крепости угля, нагрева электродвигателя, организационных причин и др.).

Рассмотренные выше распределения следует использовать при решении задач, связанных с устранением причин перерывов или снижением их интенсивности и длительности.

Для решения задач при неизменной технологии и организации работ в очистном забое нет необходимости в подразделении перерывов по причинам. В этом случае достаточно располагать тремя распределениями: длительности перерывов, числа их возникновения на отрезке пути движения комбайна и скорости его движения. Тогда вместо распределения числа возникновений перерывов можно воспользоваться распределением длительности работы комбайна, которое подчиняется показательному закону.

#### *Имитационное моделирование работы очистного забоя угольной шахты*

Рассмотрим работу очистного забоя на угольном предприятии, оборудованного механизированным комплексом. Лава имеет следующие параметры и режим работы: длина лавы  $L$ , м; мощность пласта  $H$ , м; объемный вес угля  $\lambda$ , т/м<sup>3</sup>; нормативное время работы в течение суток  $T$ , мин; лава может работать в несколько добычных смен.

Функционирование лавы представляет собой чередование интервалов времени работы комбайна (уголь из лавы поступает) и простоя (уголь из лавы не поступает).

В течение времени, когда комбайн ведет выемку угля, могут быть пройдены различные участки длины лавы; длина участка определяется средней скоростью подачи комбайна на данном участке и временем его безотказной работы. Средняя скорость подачи комбайна на участке лавы является случайной величиной, зависящей от крепости угля и других причин. Общее время работы лавы в течение суток  $T$  можно определить следующим образом:

$$T = \sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^k \tau_i + \sum_{i=1}^m \theta_i, \quad (3)$$

где  $t_i$  — длительность  $i$ -го интервала времени, в течение которого комбайн ведет выемку угля;  $\tau_i$  — длительность  $i$ -го простоя лавы;  $\theta_i$  — длительность  $i$ -го ремонта комбайна.

Общая длина вынудой полосы угля в течение суток составляет

$$l = \sum_{i=1}^n v_i t_i, \quad (4)$$

где  $v_i$  — средняя скорость комбайна на  $i$ -м рабочем интервале времени.

Общую добычу угля из лавы в течение суток можно выразить формулой:

$$Q = rH\gamma c \sum_{i=1}^n l_i, \quad (5)$$

где  $r$  — ширина захвата комбайна;  $c$  — коэффициент извлечения угля ( $c < 1$ ).

Таким образом, суточная добыча лавы  $Q$  является функцией случайных величин  $t$ ,  $\tau$ ,  $\theta$ ,  $v$ , т.е.  $Q = f(t, \tau, \theta, v)$ . Пусть законы распределения указанных выше случайных величин известны. Задача состоит в определении закона распределения случайной величины  $Q$ , средней суточной добычи  $Q_{cp}$ , оценки дисперсии суточной добычи  $S_Q^2$  и других показателей, что позволит обоснованно установить план добычи.

Перейдем к построению блок-схемы моделирующего алгоритма, для чего введем следующие операторы:

- $\Phi_1$  — формирование реализаций длительности  $t_i$  работы комбайна в соответствии с законом распределения  $f(t)$ ;
- $A_2$  — вычисление времени  $t_i^n = t_i^{hp} + t_i$  начала  $i$ -го интервала простоя комбайна (здесь  $t_i^{hp}$  — время начала  $i$ -го интервала работы комбайна);
- $P_3$  — проверка условия  $t_i^n < T$ ;
- $\Phi_4$  — формирование реализаций средней скорости  $v_i$  подачи комбайна в соответствии с законом распределения  $\varphi(v)$ ;
- $A_5$  — вычисление длины  $l_i = v_i t_i$  вынуженного участка лавы за время  $t_i$ ;
- $A_6$  — вычисление суммарной длины  $\sum_i l_i$  вынуженного участка лавы;
- $P_7$  — проверка условия  $\sum_i l_i < L$ ;
- $\Phi_8$  — формирование реализаций  $\tau_i$  случайной величины длительности простоя в соответствии с законом распределения  $\varphi(\tau)$ ;
- $A_9$  — вычисление времени  $t_{i+1}^{hp} = t_i^n + \tau_i$  начала  $(i+1)$ -го интервала работы комбайна;
- $P_{10}$  — проверка условия  $t_{i+1}^{hp} < T$ ;
- $\Phi_{11}$  — формирование реализаций длительности  $\theta_i$  подготовки комбайна к выемке следующего цикла (перемонтажа комбайна) в соответствии с законом распределения  $\omega(\theta)$ ;
- $A_{12}$  — вычисление времени начала работы комбайна после его перемонтажа, т.е. величины 
$$\overline{t_i^{hp}} = \sum_i t_i + \sum_i \tau_i + \sum_i \theta_i;$$
- $P_{13}$  — проверка условия  $\overline{t_i^{hp}} < T$ ;
- $A_{14}$  — запоминание полученных за один цикл значений  $\sum_i l_i = l_u$  и вычисление  $l_u - L$ ;
- $K_{15}$  — счетчик количества реализаций;
- $P_{16}$  — проверка условия  $N < N^*$ , где  $N^*$  — количество реализаций, необходимое для получения требуемой точности оценок искоемых величин;
- $A_{17}$  — вычисление значения  $l_T = \sum_{i=1}^n l_i$  за сутки;
- $A_{18}$  — обработка результатов моделирования;
- $Я_{19}$  — окончание вычислений и выдача результатов моделирования.

Блок-схема моделирующего алгоритма изображена на рисунке 6. Рассматриваемый алгоритм работает следующим образом.

В начальный момент  $t_i = 0$ ,  $l_i = 0$ ,  $\tau_i = 0$ ,  $\theta_i = 0$ ,  $N = 0$ , оператор  $\Phi_1$  формирует очередное значение  $t_i$  путем розыгрыша случайной величины, распределенной по закону  $f(t)$ . Оператор  $A_2$  вычисляет время начала простоя комбайна  $t_i^n$ . Оператор  $P_3$  сравнивает  $t_i^n$  с  $T$ . Если условие, проверяемое оператором  $P_3$ , не выполняется, то управление от этого оператора по стрелке (0) передается оператору  $K_{15}$ , который фиксирует число реализаций производственного процесса. Как только оператор  $K_{15}$  получит управление, он увеличивает на единицу количество реализаций, т.е. вычисляет

$$N_{i+1} = N_i + 1.$$

От оператора  $K_{15}$  управление поступает к оператору  $P_{16}$ , который проверяет условие  $N < N^*$ . Если это условие оказывается выполненным, т.е. количество реализаций еще недостаточно для обеспечения заданной точности, то управление от оператора  $P_{16}$  по стрелке (1) передается оператору  $A_{17}$ ,

который подсчитывает значение  $\sum_{i=1}^n l_i = l_T$ , достигнутое за время  $T$ ; тем самым фиксируется численное

значение длины вынужтой полосы угля в лаве за одни сутки. От оператора  $A_{17}$  управление передается оператору  $\Phi_1$  и начинается моделирование работы очистного забоя в следующие сутки. Если условие, проверяемое оператором  $P_{16}$ , не выполнено, т.е.  $N = N^*$ , то необходимое количество реализации выполнено и можно приступить к обработке результатов моделирования. В этом случае управление от оператора  $P_{16}$  по стрелке (0) передается к оператору  $A_{18}$  для обработки результатов моделирования, а от последнего — к оператору  $Y_{19}$  для выдачи результатов.

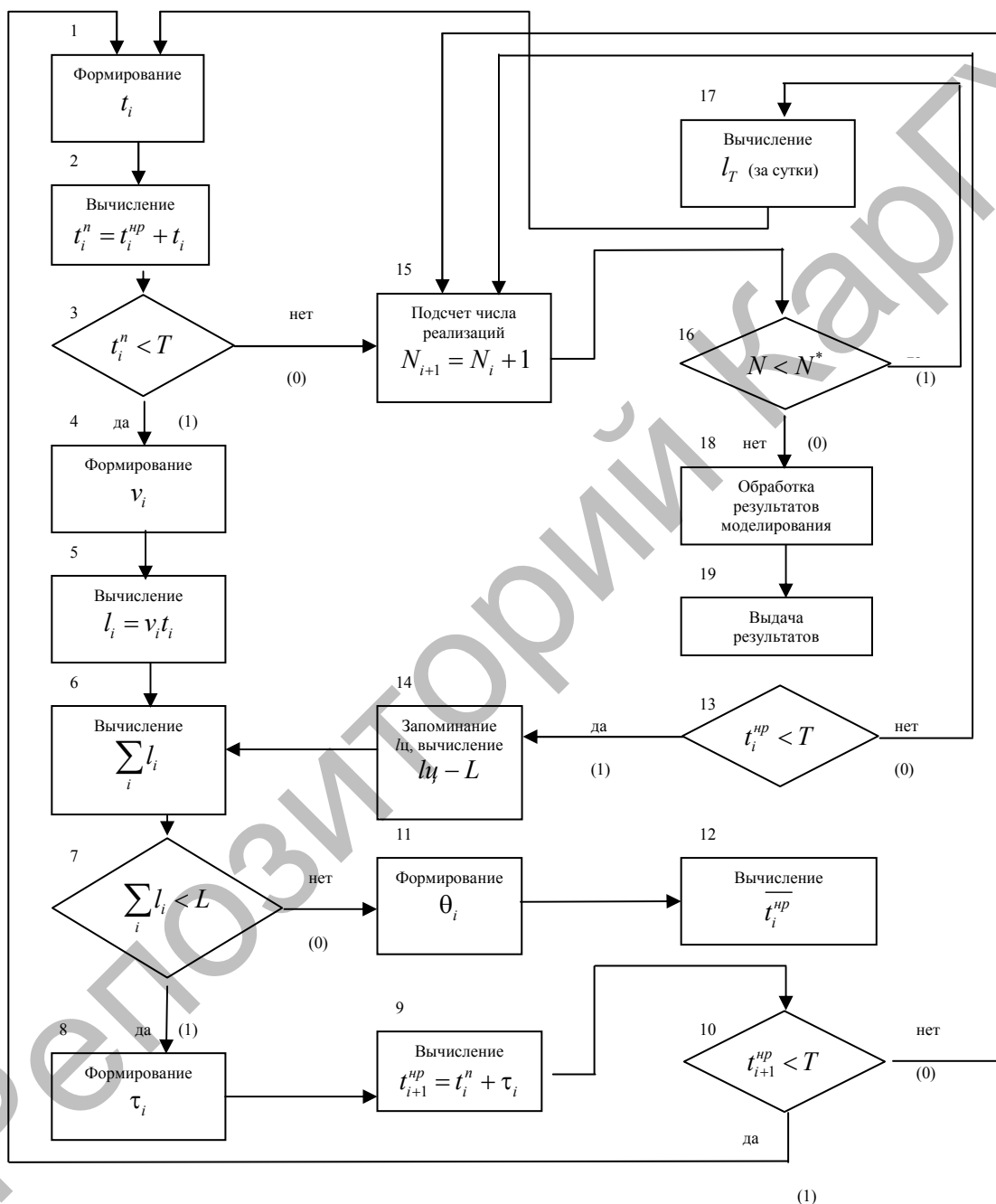


Рисунок 6. Блок-схема моделирующего алгоритма\*

\*Примечание. Данные работы [13].

Вернемся теперь к оператору  $P_3$ . Если условие, проверяемое этим оператором, окажется выполненным, то управление от  $P_3$  по стрелке (1) передается оператору  $\Phi_4$ , который формирует значение

$v_i$  путем розыгрыша случайной величины, распределенной по закону  $\varphi(v)$ . Оператор  $A_5$  вычисляет  $l_i$ , произведя умножение  $v_i$  и  $t_i$ .

Далее управление передается оператору  $A_6$ , подсчитывающему и запоминаящему  $\sum_i l_i$ . От оператора  $A_6$  управление передается оператору  $P_7$ , который проверяет условие  $\sum_i l_i < L$ . Если данное условие выполняется, то комбайн не достиг конца лавы. Передача управления оператору  $\Phi_8$  означает, что наступил момент простоя комбайна. Величина  $\tau_i$  этого простоя формируется оператором  $\Phi_8$  путем розыгрыша случайной величины  $\tau$ . Затем управление передается оператору  $A_9$ , который вычисляет время  $t_{i+1}^{np}$  начала работы комбайна после очередного простоя. Оператор  $P_{10}$  сравнивает  $t_{i+1}^{np}$  с  $T$ . Если окажется, что  $t_{i+1}^{np} < T$ , то управление по стрелке (1) от оператора  $P_{10}$  передается оператору  $\Phi_1$  и начинается новое формирование длительности рабочего интервала комбайна. Если же окажется, что  $t_{i+1}^{np} > T$ , то управление от оператора  $P_{10}$  по стрелке (0) передается оператору  $K_{15}$ , добавляющему единицу к прежнему количеству реализаций. Передача управления оператору  $K_{15}$  указывает на окончание добычных суток  $T$ .

Вернемся теперь к оператору  $P_7$ . Если окажется, что условие, проверяемое оператором  $P_7$ , не выполнено, то от него управление по стрелке (0) передается оператору  $\Phi_{11}$ . Это означает, что комбайн достиг конца лавы (окончание цикла).

В этом случае нужно произвести ремонт рабочего органа комбайна и подготовить его к выемке следующей полосы угля. Поскольку в лаве существует поточная организация работы, этот момент может наступить в любое время суток. После ремонта комбайна выемка угля в лаве продолжается. Оператор  $\Phi_{11}$  формирует значение  $\theta_i$  путем розыгрыша случайной величины  $\theta$ .

Оператор  $A_{12}$  подсчитывает время начала работы комбайна после его ремонта, а оператор  $P_{13}$  сравнивает его с  $T$ . Если условие, проверяемое оператором  $P_{13}$ , окажется выполненным, то от него по стрелке (1) управление передается оператору  $A_{14}$ , который запоминает значение  $l_i$  и вычисляет  $l_i - L$ , т.е. учитывает длину той части лавы, которую пройдет комбайн после ремонта до момента наступления первого простоя на новом цикле. Таким образом, при моделировании следующего цикла выемка угля в лаве, т.е. величина  $\sum_i l_i$ , в общем случае не равна нулю. От оператора  $A_{14}$  в связи с этим передается управление оператору  $A_6$ . Если окажется, что условие, проверяемое оператором  $P_{13}$ , не выполнено, то управление передается оператору  $K_{15}$ . Каждая реализация соответствует работе лавы в течение суток и дает значение  $\sum_{i=1}^n l_i$ , позволяющее вычислить суточную добычу лавы.

Средняя суточная добыча из лавы определяется на основании статистической обработки множества реализаций:

$$Q_{cp} = (1 / N^*) \sum_{i=1}^{N^*} Q_i.$$

Оценка дисперсии суточной добычи составляет

$$s_Q^2 = \frac{1}{N^* - 1} \sum_{i=1}^{N^*} Q_i^2 - \frac{1}{N^* - 1} \cdot \frac{1}{N^*} \left( \sum_{i=1}^{N^*} Q_i \right)^2.$$

Операторная схема моделирующего алгоритма имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} &^{10, 17} \Phi_1 A_2 P_3 \downarrow_{15} \Phi_4 A_5^{14} A_6 P_7 \downarrow_{11} \Phi_8 A_9; \\ &P_{10}^{\uparrow 1} \downarrow_{15} \Phi_{11} A_{12} P_3 \downarrow_{15} A_{14}^{6, 3, 10, 13} K_{15} P_{16} \downarrow_{18} A_{17}^1 \downarrow_{16} A_{18} \mathcal{Y}_{19}. \end{aligned}$$

*Имитационное моделирование грузопотока из очистного забоя шахты*

Подземный транспорт на горном предприятии часто может являться «узким местом», сдерживающим добычу полезного ископаемого, что приводит к значительным экономическим потерям. Для улучшения работы транспорта и выявления резервов важное значение имеет моделирование его работы, на основе которого можно выбрать наиболее эффективные мероприятия по устранению обнаруженных недостатков. Основная трудность решения этой задачи состоит в неравномерном поступлении полезного ископаемого из очистного забоя, а также в сложном характере взаимодействия работы очистного забоя и транспорта.

Решение этой задачи методом имитационного моделирования не только обеспечивает исследование характеристик фактических грузопотоков, но и дает возможность получить рекомендации по формированию новых грузопотоков в случае изменения организации производства и горнотехнических условий в очистном забое.

Пусть на шахте имеется некоторое постоянное число ЧПП погрузочных пунктов ПП, по одному пункту на каждый забой, расположенных на разных расстояниях от околоствольного двора, и К локомотивов, не закрепленных за ПП. Погрузочные пункты, локомотивы с вагонетками и разгрузочное устройство на околоствольном дворе являются элементами системы массового обслуживания.

К моменту начала моделирования на каждом  $ПП_i$  ( $i = \overline{1, ЧПП}$  — номер погрузочного пункта) находится  $M_i$  пустых вагонеток. В качестве потока заявок на обслуживание здесь выступает поток угля, поступающий из забоя на ПП для погрузки в вагонетки. В модели поток угля принят простейшим пуассоновским с интенсивностью  $ПУ_i$  вагонеток/ч. На  $ПП_i$  происходит загрузка вагонеток с постоянной для данного  $ПП_i$  интенсивностью  $ЗУ_i$  вагонеток/ч.

Погрузка при поступлении угля может прерываться по разным причинам (нет свободных вагонеток, отказ погрузочного устройства) с постоянной интенсивностью  $ПО_i$  остановок/ч и возобновляться с постоянной интенсивностью восстановлений погрузки  $ДО_i$  восстановлений/ч.

Таким образом, каждый  $ПП_i$  может находиться в одном из трех состояний:

- $ПП_i$  свободен, но не производит погрузку из-за отсутствия угля;
- $ПП_i$  производит погрузку с интенсивностью  $ЗУ_i$ ;
- $ПП_i$  простаивает при наличии угля.

После того как на данном  $ПП_i$  будет загружено некоторое критическое число вагонеток  $ЧВ_i$ , на диспетчерский пункт шахты поступает заявка на подачу локомотива. Значение  $ЧВ_i$  выбирается исходя из того, что при нормальной работе  $ПП_i$  к моменту прихода локомотива на нем будут загружены  $L > ЧВ_i$  вагонеток, где  $L$  — максимальная длина состава.

Если на околоствольном дворе имеется свободный локомотив, он с  $L$  пустыми вагонетками отправляется на вызвавший его  $ПП_i$ ; если же свободного локомотива нет — данный  $ПП_i$  ставится на очередь.

Через случайное время  $T_{i1}$  после отправления пустой состав приходит на  $ПП_i$ , где застаёт  $ЧЗВ_i$  фактически загруженных вагонеток. В зависимости от времени, прошедшего от момента подачи с  $ПП_i$  заявки на локомотив до момента его прихода с  $L$  пустыми вагонетками на  $ПП_i$ , величина  $ЧЗВ_i$  может быть и меньше  $L$ , и больше  $L$ .

Локомотив забирает на погрузочном пункте  $p = \min(ЧЗВ_i, L)$  загруженные вагонетки, оставляя пустые, и отправляется на околоствольный двор, куда и прибывает через случайное время  $T_{i2}$ .

На околоствольном дворе состав либо сразу начинают разгружать, если разгрузочное устройство свободно, либо ставят в очередь на разгрузку. Разгрузка составов происходит непрерывно, если есть загруженные вагонетки, с интенсивностью  $S$  вагонеток/ч, прерываний работы разгрузочного устройства из-за его неисправности в модели не происходит. После разгрузки состава локомотив свободен и может отправиться на погрузочный пункт.

Составленная программа позволяет провести моделирование при различном порядке обслуживания заявок, т.е. подачи локомотива на вызвавшие его погрузочные пункты. Были опробованы два варианта обслуживания: «первый подал заявку — первый получил локомотив» и вариант с приоритетами, при котором локомотив направлялся в первую очередь на погрузочный пункт, имеющий перед

началом работы наибольшее число порожних вагонеток. Моделирование показало, что введение приоритета полезно, так как позволяет обеспечить вывозку из забоев всего добытого угля при использовании лишь части локомотивов из имеющихся на шахте.

В модели были приняты постоянные число ЧПП погрузочных пунктов, число имеющихся на шахте локомотивов  $K$ , длина состава  $L$ , а также интенсивность потока разгрузки  $S$ . Постоянными для каждого данного погрузочного пункта принимались интенсивности потоков поступления угля  $ПУ_i$ , количество отказов погрузочного устройства  $ПО_i$ , восстановлений погрузки  $ДО_i$ , причем все потоки принимались простейшими пуассоновскими. Время движения пустого состава до  $i$ -го погрузочного пункта и время возвращения груженого состава на околоствольный двор принимались случайными величинами, разными для каждого  $ПП_i$ .

Модель позволяет достаточно полно отобразить функционирование внутришахтной системы вывозки угля с учетом многих случайных факторов и тем самым провести анализ этой системы при различных условиях, т.е. при различных значениях параметров, ее характеризующих, и выбрать оптимальные по разным критериям значения параметров, обеспечивающие наибольшую технико-экономическую эффективность.

### References

- 1 *Bolshakov A.S.* Modeling in management: Manual. — Moscow: Filin information publishing house, Rilant, 2000. — 464 p.
- 2 *Bagrinsky K.A., Egorov N.E., Radchenko V.V.* Imitating models in economic planning. — Moscow: Economy, 1980. — 200 p.
- 3 *Avdulov P.V., Goyzman E.I., Kutuzov V.A., Fedorenko N.P.* Economic-mathematical methods and models for the head. — Moscow: Economy, 1984. — 232 p.
- 4 *Iozaytis V.S., Lviv Yu.A.* Economic-mathematical modeling of production systems: Manual. — Moscow: The higher school, 1991. — P. 93.
- 5 *Kazantsev A.K., Nikolenko A.A., Kabakov V.S., Puzhayev A.V. Serova L.S.* General management. Digest of a training course. — Moscow: INFRA — M., 1999. — 252 p.
- 6 *Larionov A.I., Yurchenko T.I.* New settlers A.L. Economic-mathematical methods in planning: Textbook. — Moscow: The higher school, 1991. — P. 169.
- 7 *Bazhin I.I.* Information systems of management. — M.: GU-VShE, 2000. — P. 271.
- 8 *Ermasov S.V., Ermasova N.B.* Innovative management: Textbook. — Moscow: The higher education, 2007. — P. 109.
- 9 *Larionov A.I., Yurchenko T.I.* Economic-mathematical methods in planning: Textbook. — Moscow: Subsoil, 1984. — P. 112, 113.
- 10 *Reznichenko S.S., Podolsk L.S., Ashikhmin A.A.* Economic-mathematical methods and modeling in planning and management of mining: Textbook. — Moscow: Subsoil, 1991. — P. 341.
- 11 *Goyzman E.I.* Modeling of productions on mines. — Moscow: Subsoil, 1977. — 192 p.
- 12 *Astakhov A.S., Goyzman E.I.* Economic-mathematical models of the organization of works in lavas. — Moscow: Nauka, 1967. — 140 p.
- 13 *Potapov V.D., Yarizov A.D.* Imitating modeling of productions in mining industry: Manual. — Moscow: The higher school, 1981. — P. 167.

Р.С.Каренов

### Басқару есептерінде имитациялық модельдеуді қолданудың ілімдік және әдістемелік негіздері

Электронды есептеу машиналарын және олардың негізінде жасалатын басқару жүйелерін кеңінен қолдану модельдеудің дәстүрлі тәсілдері мен құралдары арқылы шешу жеткіліксіз болатын бірқатар міндеттердің алға қойғаны айтылған. Қажет болған жағдайда күрделілігі және қолдану аясы қандай болатынына қарамастан, кез келген дәрежеде егжей-тегжейлі бөлшектеп қарастыруға мүмкіндік беретін имитациялық модельдеу тәсілі идеясы және оның артықшылықтары ашылып көрсетілген. Зерттелетін нысанның имитациялық моделін құруға келіп саятын имитациялық модельдеу тәсілінің мәні қарастырылған. Имитациялық модельдеуде қолданылатын барынша танымал әдіс ретіндегі Монте-Карло тәсілінің рөлі мен маңызы бөлекше көрсетілген. Имитациялық модельдеу тәсілімен шахтаның жұмыс забойындағы көмір өндіруші комбайнның жұмысын зерттеудің әдістемелік негіздері ұсынылған. Көмір өндіру кәсіпорнының жұмыс забойындағы жүк ағынын имитациялық модельдеудің әдістемелік принциптері келтірілген.

R.S.Karenov

## Theoretical and methodical bases of application of imitating modeling in problems of management

It is noted that wide use of the computer and control systems created on their basis have put forward a number of tasks for which decision there was insufficient use of traditional methods and simulators. Reveal idea and advantages of a method of the imitating modeling allowing if necessary to investigate systems of any complexity and appointment with any extent of specification. The essence of a method of the imitating modeling consisting in creation of imitating model of studied object is considered. The role and value of the Monte-Carlo method as the most known way used in imitating modeling are allocated. Methodical bases of research of operation of the dobychny combine in a clearing face of mine are offered by a method of imitating modeling. Are recommended methodical principles imitating modeling. Methodical principles of imitating modeling of freight traffic from a clearing face of the coal enterprise are recommended.

ӨЖ 517 .518

Қ.Е.Кервенев

*Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті (E-mail: kervenev@bk.ru)*

### Математиканы оқытуда дидактикалық ойындарды қолдану мәселесі жайында

Мақалада математика сабақтарында дидактикалық ойындарды қолдану мен ұйымдастырудың негізгі принциптері мен оның оқушылардың танымдық қызметін белсендірудегі рөлі айтылған. Сонымен қоса «Суретшілер жарысы», «Математикалық дото», «Сиқырлы шаршылар», «Дөңгелене жүгір», «Ең жақсы есепші», «Гүл», «Өз жауабыңды тап» тәрізді негізгі ойын түрлері қарастырылған. Дидактикалық ойындарды жүргізудің негізгі шарттары мен оларды дайындауға қойылатын талаптар анықталған. Дидактикалық ойынның құрылымы, функциялары, түрлері мен кезеңдері, таным процесінің қандай да бір бағытына әсер ететін ойын қызметінің әдістері мен формалары айқындалған.

*Кілтті сөздер:* дидактикалық ойындар, дидактикалық ойын материалдары, технология, халық педагогикасы, суретшілер жарысы.

Қазіргі кезеңдегі ғылыми-техникалық үрдістің қарқыны білім беруде жаңа міндеттер қойып отыр. Ол — техникалық тізбекте технологияның үздіксіз өзгерістеріне бейімделе алатын тұлға қалыптастыру. Ол үшін білім беру саласында қазіргі дидактикалық мүмкіндіктерді, жаңа идеяларды және білім беру технологияларын сарқа пайдалану. Әр түрлі оқыту технологияларын оқу мазмұны мен оқушылардың жас және психикалық ерекшеліктеріне орай таңдап, тәжірибеде сынап қарауда мұғалім іс-әрекетінің маңызы зор. Қазақстан Республикасының «Білім туралы» Заңында білім беру жүйесінің алдында тұрған міндеттер ретінде ұлттық және жалпы адамзаттық құндылықтар, ғылым мен практика жетістіктері негізінде жеке адамды жан-жақты дамытуға, іскерлік дағдыларын қалыптастыруға және кәсіби бағытта шындалуға бағытталған білім алу үшін қажетті жағдайлар жасау мақсаты көзделген.

Оқушылардың іс-әрекетінің ерекше түрлерінің бірі ойын болып табылады. Ойын оқу қызметіне тән бірқатар қасиеттерге ие екендігі баршаға мәлім. Мұны мектеп оқушыларының білімі мен дағдыларын қалыптастыруға бағыттауына мақсатталуы айқын көрсетеді. Сондай-ақ ойын оқушыларға қозғау салуға, оларға түрткі болуға да бағытталған. Ол жайында келесі бірқатар қайталанбас қасиеттерді айтуға болады: балалар мен жасөспірім жеткіншектер үшін оның оңайлығы мен игерімділігі, игерілуі тиіс шынайы ақиқаттың барынша әр алуан қырларын модельдеуге мүмкіндік беретін ойындық құралдардың бейімділігі, демократиялылығы (ойын барлық жағдайды да қабылдайды) және де балалар үшін ойынның тартымды жақтары. Ұлы ақын Абай Құнанбаев «Ойын ойнап ән салмай, өсер бала бола ма?» деп айтқандай, бала өмірінде ерекше орынды ойын алады. Баланың қоршаған ортаны танып білу, еңбекке араласуы, психологиялық ерекшеліктері ойын үстінде