

отсчета, можно определить направление действия рассматриваемых сил (Рис.2). Сила $F_{кр}$ направлена под углом $\alpha + 90^\circ$ к линии ОС. Сила F_y образует с линией ОС угол равный $\alpha + 180^\circ$. Сила F_x образует с линией ОС угол равный 0° , если $A > 0$, и равный 180° , если $A < 0$. Сила F_z образует с линией ОС угол β . При этом $\sin \beta = \frac{a^2}{e\rho}$. Сила F_y образует с линией ОС угол равный углу β , если $A > 0$, и угол равный $180^\circ + \beta$, если $A < 0$.

Таким образом, для рассмотренного ротора полученные зависимости позволяют определить на выбранной скорости все действующие на ротор силы и моменты по величине и направлению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.С.Кельзон, Ю.П.Циманский, В.И.Яковлев. Динамика роторов в упругих опорах//«Наука», М., 1982, 280 с.
2. Я.Кожешник. Динамика машин. // Машгиз, М. 1961г., 423 с.
3. А.Ю.Животов. Особенности вращения ротора со статической неуравновешенностью. // Вестник Восточноукраинского национального Университета, №1(35), Луганск, 2001г, стр.21-26.

УДК 681.5.017:519.711.3

В.В. Смирнов

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ЗАДАЧ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ МОНТАЖА ПРИВОДОВ ТЯЖЕЛОГО ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Запропонована структурна схема імітаційного моделювання для задач адаптивного керування якістю монтажу приводів важкого гірничо-збагачувального обладнання та розглянута її реалізація засобами комп'ютерної техніки в пакеті Microsoft Excel.

Важкой частью процесса решения проблемы адаптивного управления качеством монтажа приводов тяжелого горно-обогательного оборудования является этап выбора критерия оптимизации. Предварительный выбор осуществляется на стадии проектирования. При этом учитывается опыт создания предшествующих систем аналогичного или сходного назначения, а также опыт и интуиция конструкторов объекта управления. В ряде случаев проблема формирования оптимизационного функционала решается итерационным путем. Оценка эффективности выбранного функционала и его корректировка с целью учета противоречивых требований может быть выполнена по результатам экспериментальных исследований. Однако, такой подход требует значительных затрат средств и времени.

Одним из самых распространенных и эффективных способов проектирования является имитационное моделирование [1], позволяющее экспериментировать с моделью реального объекта. При системном подходе оно включает в себя четыре взаимосвязанных этапа:

- разработку имитационной модели,
- планирование процесса ее исследования,
- реализацию эксперимента и

– обработку его результатов.

Структурная схема имитационного моделирования для оценки эффективности оптимизационного функционала представлена на рис. 1.

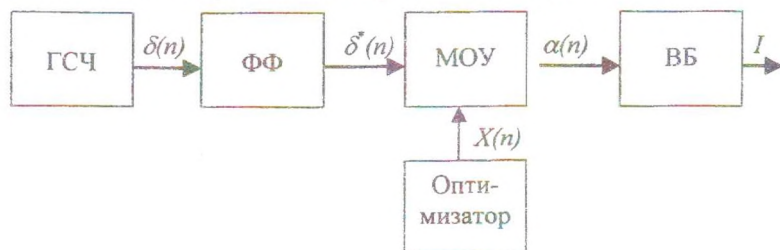


Рис. 1 Структурная схема имитационного моделирования: ГСЧ – генератор случайных чисел; ФФ – формирующий фильтр; МОУ – модель объекта управления; ВБ – вычислительный блок; $\delta(n)$ – последовательность случайных чисел с заданным законом распределения; $\delta^*(n)$ – последовательность случайных чисел с заданной автокорреляционной функцией; $\alpha(n)$ – случайные числа, имитирующие выходные параметры; I – критерий оптимизации; $X(n)$ – сигнал управляющего воздействия.

На примере такого тяжелого горно-обогатительного оборудования как барабанные мельницы модель объекта управления качеством монтажа представляет собой неоднородное дифференциальное уравнение с периодическими коэффициентами [2]:

$$m\ddot{\alpha} + k(\omega)\dot{\alpha} + c(t)\alpha = F_c(t) + F_{\delta c}(t) + F_{\delta}(t). \quad (1)$$

Первое слагаемое в правой части уравнения

$$F_c(t) = -\frac{\Delta c(t)}{c_{\min}} P_{\text{ст}} \quad (2)$$

представляет собой описание возмущающей силы, обусловленной действием передаваемой нагрузки $P_{\text{ст}}$ в сочетании с переменным превышением жесткости зацепления $\Delta c(t)$ над установившемся значением c_{\min} .

Второе слагаемое правой части уравнения (1)

$$F_{\delta c}(t) = -\delta(t)c(t) \quad (3)$$

является описанием возмущающей силы, вызываемой двумя переменными факторами: дополнительной деформацией $\delta(t)$ и суммарной жесткостью зацепления $c(t)$.

Третье слагаемое в правой части уравнения (1)

$$F_{\delta}(t) = -\delta_{cp} c(t) \quad (4)$$

представляет собой описание возмущающей силы, обусловленной перекосом зубьев δ_{cp} в совокупности с переменной жесткостью зацепления $c(t)$.

Исследование на ЭВМ подобных дифференциальных уравнений, может быть выполнено с помощью численно-аналитического метода тригонометрической коллокации [3].

После преобразований по указанному методу уравнение (1) принимает вид

$$\{mD^2 + k(\omega)D + \text{diag}[c(t_i)]\}\alpha^M = \Sigma F^M, \quad (5)$$

где $\text{diag}[c(t_i)]$ - диагональная матрица периодически изменяющейся жесткости зацепления; D^2, D' - матрицы дифференцирования; α^M и ΣF^M - векторы значений соответственно перемещения и суммарной возмущающей силы.

Для рассматриваемой модели объекта управления выходными переменными $\alpha(n)$ являются параметры вибросигнала. Входными переменными $\delta(n)$ и $\delta^*(n)$ принимаются последовательности случайных чисел, имитирующие ошибки монтажа с нормальным законом распределения и с заданной автокорреляционной функцией. Сигнал управляющего воздействия $X(n)$ имитирует ограниченные по величине перемещения регулировочных болтов, установленных на опорных подшипниках барабана мельницы и подвенцовой шестерни.

Методы генерации случайных последовательностей обеспечивают получение случайных чисел RNN с математическим ожиданием, равным 0, и среднеквадратическим отклонением 1. Поэтому переход к требуемому нормальному распределению осуществляется с помощью соотношения

$$\xi = m + (RNN)\sigma, \quad (6)$$

где m и σ - параметры нормального распределения.

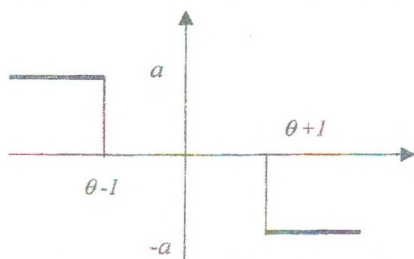
При управлении качеством монтажа приводов барабанных мельниц компоненты случайных последовательностей являются целыми и равномерно распределенными в интервале $[1; N]$, где N - количество видов используемых регулировок, в общем случае не фиксированное. Поэтому для имитации равномерно распределенных целых случайных чисел в интервале любой длины использовано преобразование функции плотности [1]

$$\xi = a + (b-a)RN, \quad 0 \leq RN \leq 1, \quad (7)$$

где $a=1, b=N$.

Для изменения сигнала управляющего воздействия $X(n)$ применен алгоритм

автомата релейного действия. Его характеристика приведена на рис. 2.



a – шаг подналадки; θ – оптимальное значение управляющего воздействия.

Рис.2 Характеристика автомата релейного действия.

Занимаясь организацией процесса исследования имитационной модели, следует учитывать тактические аспекты планирования. Тактическое планирование прежде всего связано с решением двух вопросов:

- 1) определение начальных условий эксперимента;
- 2) уменьшение его ошибки при одновременном сокращении необходимых размеров выборки.

Первый вопрос возникает вследствие искусственного характера функционирования имитационной модели. В отличие от реального объекта она работает эпизодически. Поэтому всякий раз, когда начинается очередной эксперимент, модели требуется определенное время для достижения равновесия, которое соответствует условиям функционирования реальной системы. Разумно выбранные начальные условия могут существенно уменьшить время переходного процесса и возникающие при этом ошибки.

Второй вопрос тактического планирования можно решить двумя способами. Один из них состоит в использовании одного из методов уменьшения дисперсии. Специально для сравнения альтернатив предназначен метод коррелированных выборок [1]. Такие выборки образуются путем использования одной и той же случайной последовательности для обеих альтернатив. Другой способ уменьшения ошибки заключается в простом повторении эксперимента нужное число раз с последующим усреднением полученных результатов.

Необходимый размер выборки при любых законах распределения случайных совокупностей определяется по неравенству Чебышева [4]:

$$P = \{|\xi - m| > k\sigma\} \leq \frac{1}{k^2}. \quad (8)$$

Принимая вероятность P попадания в интервал $m \pm \sigma/4$ равной 0,95, получен размер выборки $L = 320$.

Этап реализации эксперимента основан на разыгрывании выборок по методу статистических испытаний Монте-Карло [5]. Он является основным принципом моделирования систем, содержащих стохастический элемент. Примени-

тельно к задаче проектирования оптимизационного функционала для системы управления качеством монтажа приводов горно-обогатительного оборудования на каждом i -ом прогоне имитационной модели фиксируется количество шагов k_i , выполняемых для достижения требуемого качества монтажа.

Для получения значения критерия оптимизации вычислительный блок обрабатывает полученные данные по следующему алгоритму.

Во-первых, определяются отдельно для каждого из сравниваемых вариантов несмещенные оценки математического ожидания числа выполненных шагов поиска

$$m_j(k) = \sum_{i=1}^L k_i / L, \quad j = 1, 2. \quad (9)$$

Во-вторых, с целью обоснованного выбора лучшего варианта проверяется нулевая гипотеза равенства средних значений с помощью стандартного t -критерия. При этом статистика $t_{расч}$ определяется по выражению [4]

$$t = \frac{m_1(k) - m_2(k)}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^L D_i^2 - \left(\sum_{i=1}^L D_i\right)^2 / L}{L(L-1)}}}, \quad (10)$$

где $D_i = k_{1i} - k_{2i}$ - разность i -ых пар сравниваемых вариантов.

Если табличное значение t -критерия, определяемое при числе степеней свободы $f=L-1$ и принятом уровне значимости $\alpha=0,05$, оказывается меньше расчетного значения, то нулевая гипотеза отвергается. При этом лучшим вариантом признается тот, которому соответствует меньшее количество шагов для достижения требуемого качества монтажа.

Согласно структурной схеме на рис. 1 для имитации случайных последовательностей с заданными характеристиками использована функция «Генерация случайных чисел» из пакета Microsoft Excel, а для расчета значений критерия оптимизации - возможности статистических функций этого же пакета.

Рассмотренные имитационная модель, а также алгоритмы планирования и обработки результатов экспериментов представляют собой ингредиенты САПР систем адаптивного управления. Очевидным преимуществом имитационного подхода к проектированию является легкость воспроизведения условий эксперимента. Благодаря этому различные проектные решения сравниваются при одинаковых условиях. В результате уменьшается разностная вариация усредненных характеристике вариантов, что позволяет, в свою очередь, осуществить статистически значимое различие сравниваемых проектных решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. - М.: Мир, 1978. - 418 с.

2. Смирнов В.В. Диагностическая модель качества монтажа привода измельчительного оборудования // Збагачення корисних копалин.- Дніпропетровськ, 1999.- Вип. 3(44).- С. 148-154.
3. Самойленко А.М., Ронто Н.И. Численно-аналитические методы исследования периодических решений.- Киев: Вища школа, 1976.- 184 с.
4. Хальд А. Математическая статистика с техническими приложениями. - М.: Иностранная литература, 1956. - 654 с.
5. Бусленко Н.П., Шрейдер Ю.А. Метод статистических испытаний (Монте-Карло) и его реализация на цифровых машинах. - М.: Физматгиз, 1961. - 226 с.

УДК 622.647.7

О.В. Рябцев

АНАЛИЗ СПЛОШНЫХ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В УКРАИНЕ

У статті наведено, проаналізовано та визначено області використання основних видів сплошних систем розробки, які зустрічаються у практиці видобудку вугілля найбільш часто. Детально розглянуті можливі варіанти вентиляції та транспортування вугілля, а також варіанти зіп'яжень очисного вибою з підготовчими виробками.

Вопросами классификации систем разработки пластовых месторождений занимались крупнейшие отечественные ученые в области горного дела Б.И. Бокий, А.М. Терпигорев, А.Д. Шевяков и др. [1].

В настоящее время, в связи с совершенствованием средств комплексной механизации, произошли изменения в технологии выемки угля, в результате которых трансформировались многие традиционные системы разработки. В основу их классификации положен бинарный принцип, предполагающий наличие основного и дополнительного классификационных признаков [1]. В качестве основного признака принят способ выемки пласта по мощности (выемка пласта на полную мощность или с делением его на слои). Дополнительным признаком является порядок подготовки и последующей отработки пластов в пределах выемочного поля.

В соответствии с основным и дополнительным классификационными признаками системы разработки можно разделить на следующие группы:

- сплошные системы разработки;
- системы разработки длинными столбами;
- системы разработки короткими очистными забоями;
- системы разработки без постоянного присутствия людей в очистном забое;
- системы разработки наклонными слоями;
- системы разработки поперечно-наклонными слоями;
- системы разработки горизонтальными слоями;
- системы разработки с принудительным обрушением и выпуском угля.

Каждая из перечисленных систем разработки содержит несколько видов, отличающихся друг от друга направлением движения очистного забоя относительно элементов залегания, формой очистной выработки, способом управления кровлей. В свою очередь, виды систем разработки могут иметь разновидности, отличительным признаком которых являются способы охраны выработ-