

В.Т. Олейников, А.А. Мосягин
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ
БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ

Предлагается метод использования имитационных моделей для прогнозирования поведения систем безопасности, при проектировании и размещении предприятий, замене технологического оборудования и управления системами.

Системная динамика [1, 2, 3], наряду с методом статистических испытаний, также является одним из методов прогнозирования.

Она представляет собой метод моделирования и имитации сложных динамических систем, отличающихся нелинейными и сильно разветвленными структурами контуров регулирования. Этот метод, основанный на отображении в пространстве состояний, был предложен Дж. Форрестером.

Построение имитационных моделей, базирующихся на работах Дж. Форрестера, основано на том, что в качестве математического языка выбран язык численного решения систем дифференциальных и конечно-разностных уравнений. При этом, как правило, в модели отсутствуют случайные величины (не моделируются), а процесс моделирования складывается из этапов: а) установления причинно-следственных связей между явлениями; б) написания конечно-разностных уравнений и в) решение уравнений при различных исследуемых параметрах. В России этот метод реализован с помощью специализированных языков моделирования ДИНОМО и ИМИТАК.

В основе моделей Форрестера лежат общие структурные элементы:

Уровни - параметры системы, получаемые интегрированием соответствующих параметров потоков. Чаще всего - это параметры (факторы) системы, которые численно описывают состояние основных процессов в моделируемой системе, динамику которых мы хотим получить в результате. Закон изменения уровня во времени выражается конечно-разностным уравнением:

$$Y(t) = Y(t - \Delta t) + \Delta t C(t - \Delta t), \quad (1)$$

где t - время;

Δt - изменение времени;

$Y(t)$, $Y(t - \Delta t)$ - значение уровня в моменты t и $(t - \Delta t)$;

$C(t - \Delta t)$ - скорость изменения уровня.

Темпы - параметры потоков, служащие (как переменные состояния) входом интегрирующих звеньев. Темпы указывают, на сколько единиц изменяется за единицу времени уровень, если остальные факторы остаются неизменными. Темпы задают динамику моделируемой системы. Закон изменения темпа задают функциональной зависимостью:

$$C(t) = f(p_1(t), p_2(t), \dots, p_k(t)), \quad (2)$$

где t - время;

$C(t)$ - темп в момент времени t ;

f - произвольная функция от k аргументов. На практике получение вида зависимостей f проводится, как правило, на основе обработки статистической информации по каждой переменной с последующей их аппроксимацией, например, по методу наименьших квадратов;

$p_1(t), p_2(t), \dots, p_k(t)$ - любые переменные (уровни, темпы, дополнительные и вспомогательные переменные), значения которых на момент времени t известны.

Вспомогательные переменные - это, обычно, такие параметры системы, получение изменений динамики которых, не является целью моделирования. Они, однако, отражают и учитывают влияние различных факторов, в том числе и внешних, по отношению к системе. Они влияют на темпы, управляющие изменением уровней модели. Уравнение для расчета вспомогательной переменной аналогично уравнению расчета темпа.

Дополнительные переменные употребляются при выводе результатов моделирования в том случае, если интересующая авторов величина не встречается в модели как уровень, темп, вспомогательная переменная. Уравнение для расчета дополнительной переменной также аналогично уравнению расчета темпа.

Кроме того, в языке ДИНАМО всегда присутствует переменная - время. Время - это дискретная переменная, выбор единицы измерения которой, осуществляется разработчиком модели.

Программа на языке ДИНАМО (одной из разновидностей этого языка в СССР и России является язык ИМИТАК (ИМИТационно-Анализирующий Комплекс)) представляет собой совокупность конечно-разностных уравнений, описывающих взаимную зависимость параметров моделируемого процесса.

Процесс выполнения такой программы заключается в вычислении по значениям величин, характеризующих динамический процесс в предыдущий момент времени, новых значений этих величин в последующий момент времени. Другими словами, в системной динамике способ имитации основан на процессе численного интегрирования систем обыкновенных дифференциальных уравнений по схеме Эйлера, подразумевающей разбиение отрезка интегрирования (моделирования) на интервалы одинаковой длины. При этом интервал должен быть меньше любого запаздывания (задержки во времени) в моделируемой системе. Таким образом, переменный уровень аппроксимируется кусочно-линейной функцией.

Уравнения системной динамики являющиеся имитационной моделью системы, формируются после предварительного формализованного анализа функционирования системы (моделируемого объекта).

Этот анализ основывается на том, что факторы, определяющие поведение моделируемого объекта, порождают информацию, которая служит основой принятия решений, направленных на изменение этих факторов.

Так в модели появляется замкнутый контур, реализующий информационную систему с обратной связью, который осуществляется в виде связи "уровни - темпы - уровни - темпы" и т.д.

В свою очередь это означает, что на основе механизмов обратных связей системы поддержки принятия решений (СППР) может построить модель, которая будет воспроизводить эволюцию системы во времени и одновременно покажет, к чему приведет та или иная структура реальной системы и правила используемые при принятии в ней решений.

В процессе имитации переменная t - время изменяется автоматически от заданного начального значения до конца установленного интервала моделирования. Изменение осуществляется с шагом Δt , равным длине элементарного интервала.

Таким образом, методы системной динамики позволяют решать комплекс задач, связанных с прогнозированием пожаров и ЧС различного характера. Целесообразно внедрять алгоритмы прогнозирования, основанные на системной динамике, в автоматизированные системы безопасности, мониторинга и прогнозирования.

Литература

1. Трахтенгерц Э.А., Степин Ю.П., Андреев А.Ф. Компьютерные методы поддержки принятия управленческих решений в нефтегазовой промышленности. – М.: СИНТЕГ, 2005. – 582 с.
2. Топольский Н.Г., Мосягин А.Б., Коробков В.В., Блудчий Н.П. Информационные технологии управления в Государственной противопожарной службе: Учебное пособие. – М.: Академия ГПС МВД России, 2001. - 172 с.
3. Дудорин В.И., Алексеев Ю.Н. Системный анализ экономики на ЭВМ. – М.: Финансы и статистика, 1986.
4. Новиков К. Диаграмма Исикавы. www.oulink.ru/654/bulletin_654_13/diagr.htm
5. Калянов Г.Н. CASE-технологии: консалтинг и автоматизация бизнес процессов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2000.