

УДК 681.3

## Об одной технологии исследования сложных систем на имитационных моделях

А. Б. ДЕМУСЬКОВ, Г. И. БОЛЬШАКОВА, Т. П. БЫШИК,  
Т. Я. КАМОРНИКОВА, И. В. МАКСИМЕЙ, В. Л. МЕРЕЖА

### Введение

Проблеме исследования сложных систем (СС) на имитационных моделях (ИМ) посвящено много работ [1, 2]. Однако для каждой предметной области использования ИМ СС каждый раз приходится разрабатывать свой программно-технологический комплекс имитации (ПТКИ). При этом технологии применения ПТКИ в различных предметных областях весьма похожи. Поэтому актуальна разработка универсальной технологии имитационного моделирования СС, которая была бы легко адаптирована к предметной области самими пользователями ПТКИ, не являющимися специалистами по программированию и имитации. В данной работе предлагается универсальная технология исследования с помощью ИМ широкого класса СС, основанная на использовании системы моделирования MICIS [2].

### 1. Описание объекта исследования

Объектами нашего исследования является СС, обладающая свойствами:

- дискретный характер функционирования СС во времени;
- наличие параллелизма взаимодействия компонентов СС и появление конфликтных ситуаций при функционировании СС;
- важное место в алгоритме функционирования СС занимает обслуживание запросов внешней среды;
- необходимо отображение динамики обслуживания компонент СС управляющим элементом СС на высоком уровне детализации;
- вероятностный характер запросов компонентов на ресурсы СС;
- ограниченный состав ресурсов СС, порождающих конкуренцию запросов компонентов СС за эти ресурсы;
- возможность возникновения отказов оборудования СС и необходимость оперативной ликвидации этих отказов;
- организация резервирования оборудования для обеспечения требуемой надёжности функционирования СС.

Перечисленные особенности рассматриваемого класса СС определяют необходимость решения следующих задач исследования:

- оценка пропускной способности запросов технологических процессов (ТП) СС при их обслуживании управляющим элементом СС (чаще всего это ЭВМ);
- поиск узких мест в ТП СС при проектном моделировании СС;
- определение резервных ресурсов для организации безотказного функционирования всей СС.

Перечисленные особенности исследуемого класса СС и состав задач исследования СС определили актуальность разработки универсальной технологии исследования с помощью имитационных моделей СС.

### 2. Формализация объекта исследования

Формализация объекта СС начинается с построения концептуальной модели СС (КОМ). Согласно известного кибернетического подхода к построению КОМ [3], представим СС в виде «чёрного ящика», на вход которого поступают следующие множества воздействий:

$G_R$  – влияние внешней среды СС (обычно считается постоянным на время исследования);  
 $G_S$  – влияние состава и структуры самой СС, определяющее ту область, в которой получена информация о компонентах на прототипах СС (обычно также считается постоянной на время исследования СС);

$X_R$  – множество значений параметров РН, определяющее интенсивности поступления на СС внешних воздействий (обычно они являются искомыми в ходе имитационных экспериментов (ИМ) и меняются от одного варианта СС к другому варианту системы);

$X_S$  – множество параметров структуры и состава СС, являющееся основным фактором, влияющим на систему.

На выходе «чёрного ящика» фиксируется множество откликов  $\{Y_{thj}\}$ , обычно преобразуемое к обобщённому показателю  $Y_h$  h-го варианта организации СС. Поскольку имитация СС является ресурсоёмкой процедурой, то стремимся проводить имитацию СС несколько раз и построить регрессионную зависимость отклика от множества перечисленных входных воздействий

$$Y_h = \varphi_1(X_{Rh}, X_{Sh}, G_R, G_S). \quad (1)$$

Затем дальнейший анализ вариантов организации СС проводится с помощью зависимости (1). Однако, на практике зависимость (1) зачастую трудно получить. Поэтому определим её косвенно следующим образом. В ИМ СС определим множество статистик имитации h-го варианта СС  $ST_h$ , которое в ИМ СС реально измерить и в итоге получить зависимость:

$$ST_h = \psi(X_{Rh}, X_{Sh}, G_R, G_S). \quad (2)$$

При этом обычно удается определить вектор откликов  $Y_h$  с помощью обычного пересчета статистик в отклики имитации:

$$Y_h = \varphi_2(ST_h). \quad (3)$$

Далее остается определить диапазоны изменения компонентов множеств  $\{X_{Rh}\}$  и  $\{X_{Sh}\}$  и составить план имитационного эксперимента (ИЭ), в котором указать порядок изменения комбинаций и значений компонентов этих множеств. После этого нужно поставить серию ИЭ для определения  $\{ST\}$  и последующего расчета  $Y_h$ . Необходимо иметь в виду, что большинство компонентов всех четырех множеств в выражении (2) являются случайными величинами с произвольными значениями вероятностей их распределения. Поэтому необходимо усреднение статистик для каждого h-го варианта комбинации множеств  $\{X_{Rh}\}$ ,  $\{X_{Sh}\}$ ,  $\{G_R\}$ ,  $\{G_S\}$  на основе процедуры Монте-Карло [4].

Далее предлагается комбинировать постановку ИЭ на ИМ систем массового обслуживания [СМО] с управлением [2], построенных на высоком уровне детализации с помощью системы моделирования MICIS [2] с усреднением результатов на основе процедуры Монте-Карло. При этом необходимо фиксировать изменение статистик  $\{ST_j\}$  во времени с последующим построением графиков и диаграмм изменения компонентов СС во времени.

### 3. Особенности описания динамики функционирования компонентов СС

В общем случае сформулировать множество технологических приемов формализации компонентов СС невозможно из-за, как правило, уникального характера самой СС. Обычно ряд технологических приемов формализации компонентов СС все же можно предложить для тех, которые имеют универсальный характер. Прежде всего отметим, что дискретный характер функционирования СС во времени и наличие параллелизма взаимодействия компонентов СС определяют необходимость представления структуры СС в виде блок-схемы взаимодействия компонентов. На этой блок-схеме активные элементы представим в виде устройств  $UST_j$ , число которых обычно фиксировано ( $j = \overline{1, J}$ ).

Для технологического моделирования динамику выполнения  $UST_j$  достаточно представить в виде алгоритмов расчета времени выполнения ( $\tau_j$ ), размера использования общего ресурса ( $V_j$ ), стоимости выполнения ( $C_j$ ), количества комплектующих ( $KO_j$ ), материалов ( $mt_j$ ). В результате динамику расхода ресурсов СС на выполнение  $UST_j$  можно отобразить в ИМ СС в виде вектора расхода ресурсов  $\Omega_j = (\tau_j, V_j, C_j, KO_j, mt_j)$ . Блок-схема связей  $UST_j$  определяет порядок следования  $UST_j$  друг за другом. В качестве откликов имитации СС определим:

$Y_{oh} = T_{pph}$  – пропускная способность h-го варианта организации,

$Y_{jh} = \eta_{jh}$  – коэффициенты использования j-х элементов h-го варианта СС.

В качестве статистик имитации  $ST_j$  можно использовать:

- значение среднего времени ожидания запросов внешней среды к  $UST_j$  ( $t_{ожj}$ );
- средняя длина очереди запросов к  $UST_j$  ( $l_{очj}$ );
- суммарная стоимость обслуживания на момент времени  $t_0$   $UST_j$  запросов ( $\sum_{t_0} c_j$ );
- суммарное количество расходов  $UST_j$  комплектующих ( $\sum_{t_0} KO_j$ ) и интервалов ( $\sum_{t_0} mt_j$ );
- величина остатка на момент  $t_0$  общего ресурса СС ( $\sum_{t_0} V_{os}$ ).

#### 4. Методика решения типовых задач исследования на ИМ СС

*Первая задача* исследования предполагает определение вектора откликов  $Y_h = (T_{pph}, \eta_{jh})$ . На ИМ СС компоненты этого вектора замеряются непосредственно (с минимумом преобразований). Поэтому для случая технологического моделирования СС целевая функция (1) приобретает вид:

$$Y_h = \sum_l \delta_l Y_{lh}^* \quad (4)$$

где  $0 \leq \delta_l \leq 1$  – коэффициент важности для исследования l-го отклика ИМ СС ( $\sum_l \delta_k = 1$ );

$Y_{lh}^*$  – приведенные к одному типу нормированные значения откликов ( $0 \leq Y_{lh}^* \leq 1, 0$ ; все  $Y_{lh}^*$  требуют максимизации).

Для решения *второй задачи* поиск узких мест ведется на основе множества статистик обслуживания  $\{UST_j\}$  запросов внешней среды СС:

$$\{\eta_{jh}, LT_{jh}^*\}, \quad (5)$$

где  $LT_{jh} = t_{очj} l_{очj}$  коэффициент Литла использования очереди  $UST_j$  [1];

$LT_{jh}^* = LT_{jh} / \max LT_{jh}$  (нормированное по максимальному значению).

При решении третьей задачи обычно определяют вероятность ( $P_{оrh}$ ) функционирования  $\{UST_j\}$  за экспертно установленный интервал времени ( $T_3$ ). В ходе серии из N экспериментов (N – число ИЭ согласно процедуре Монте-Карло). С помощью ИМ РС в ходе l-реализации фиксируется появление отказа функционирования хотя бы одной компоненты за  $T_3$  (булева переменная  $z:=1$ ). Если за время  $T_3$  отказа функционирования  $UST_j$ , то  $z:=0$ . По окончании N реализаций в h-ом варианте организации СС определяется итоговое значение переменной z. Далее вероятность отказа функционирования СС будет равна

$$P_{оrh} = z/N \quad (6)$$

#### Заключение

Предложенная технология исследования СС реализует в ходе выполнения НИР «Технология» силами кафедры МПУ. Очевидно, что необходима конкретизация откликов, параметров статистик при адаптации данной универсальной технологии к конкретной предметной области функционирования СС. Поскольку подобная адаптация достаточно проста,

то, по нашему мнению, изложенная технология исследования СС с помощью имитационного моделирования имеет перспективу развития и применения.

**Abstract.** Objects of simulation and problems of their study are formulated in the paper. The conceptual model of the study of the technological processes of the complex systems is given. Technology of the use of a simulation system MICIC for solving the problems of the study is stated.

### Литература

1. Демиденко, О. М. Технология мониторинга и адаптации вычислительного процесса под рабочую нагрузку на ЛВС / О. М. Демиденко // Минск: Белоруская навука, 2002. – 193 с.
2. Левчук, В.Д. Программно-технологические комплексы имитации сложных дискретных систем / В. Д. Левчук, И. В. Максимей // Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2006. – 263 с.
3. Максимей, И.В. Задачи и модели исследования операций, часть 3. Технология имитации и принятия решений: Уч. пособие / И. В. Максимей, В. Д. Левчук, С. П. Жогаль и др. // Гомель: БелГУТ, 1999. – 150 с.
4. Максимей, И.В. Задачи и модели исследования операций. Часть 2. Методы нелинейного и стохастического программирования: Уч. пособие / И. В. Максимей, В. С. Серегина // Гомель: БелГУТ, 1999. – 103 с.

Гомельский государственный  
университет имени Ф. Скорины

Поступило 4.05.07