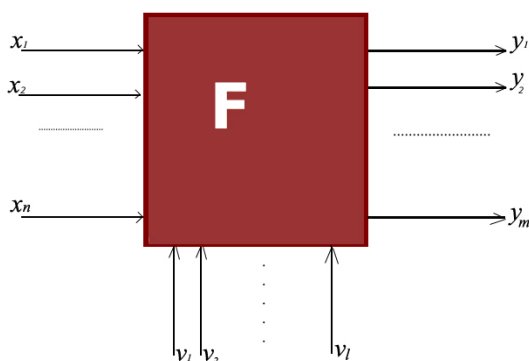


## МОНИТОРИНГ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ В СРЕДЕ GPSS WORLD И АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Д. И. Усанов (Казань)

Имитационное моделирование – один из самых мощных инструментов анализа, которыми располагают специалисты в области разработки и функционирования сложных процессов и систем. Оно дает возможность пользователю экспериментировать с системами (существующими или предлагаемыми) в тех случаях, когда выполнить это на реальном объекте практически нецелесообразно или невозможно.

В самом общем виде модель системы можно представить структурной схемой «вход–выход» (черный ящик) (рис. 1).



**Рис. 1. Структурная схема имитационной модели:**

$y_i (i = \overline{1, m})$  – реакции системы;  $x_j (j = \overline{1, n})$  – факторы;

$v_k (k = \overline{1, l})$  – случайные величины, F – поверхность реакции

Значения некоторых параметров ( $x_j, y_i, v_k$ ) могут быть известны и детерминированы, однако большинство из них изменяются во времени случайным образом и представляют основной интерес при исследовании.

*В рамках данной работы в качестве основной цели была поставлена задача разработки удобного и интуитивно понятного инструментального средства исследования динамики изменения значения реакции системы  $y_i (i = \overline{1, m})$  в процессе одного имитационного эксперимента, т.е. исследования зависимостей реакций системы Y от времени t.*

Причем необходимо, чтобы эти средства были разработаны не для одной конкретной имитационной модели, а носили обобщенный характер, и их можно было бы использовать для любой модели, написанной на языке GPSS.

Для достижения цели работы с учетом имеющихся возможностей GPSS World следовало разработать два принципиально новых программных компонента:

- подсистему мониторинга моделей, которая позволила бы исследователю быстро и эффективно выбрать перечень регистрируемых статистических данных, обеспечить их накопление;
- подсистему анализа динамики моделирования, которая в свою очередь предоставляла бы пользователю удобные и наглядные средства анализа динамики изменения параметров по завершении моделирования.

**Подсистема мониторинга.** Каждому объекту в модели на GPSS соответствуют атрибуты, описывающие его состояние в любой момент модельного времени. Они доступны для использования в течение всего процесса моделирования и называются системными числовыми атрибутами (СЧА).

Таким образом, реакции, факторы и случайные величины, значения которых интересуют исследователя при работе с динамической имитационной моделью, представляются в каждый момент времени  $t$  значениями тех или иных СЧА.

Разработанная подсистема мониторинга производит регистрацию состояния объекта в моменты времени

$$t_i = i \cdot t_{инт} (i = 1, 2, \dots, k),$$

где  $t_{инт}$  – временной интервал, через который подсистема будет активизироваться, и регистрировать состояния всех заданных объектов. Временной интервал  $t_{инт}$  задается исследователем.

Исследователь должен явно задать подсистеме мониторинга совокупность СЧА объектов, которые он хочет зарегистрировать. Объект добавляется в группу объектов. Все объекты группы должны быть одного и того же типа (очереди, устройства, памяти и т. д.).

Регистрируемые характеристики размещаются в древовидной списочной структуре данных, которая имеет строгие правила построения.

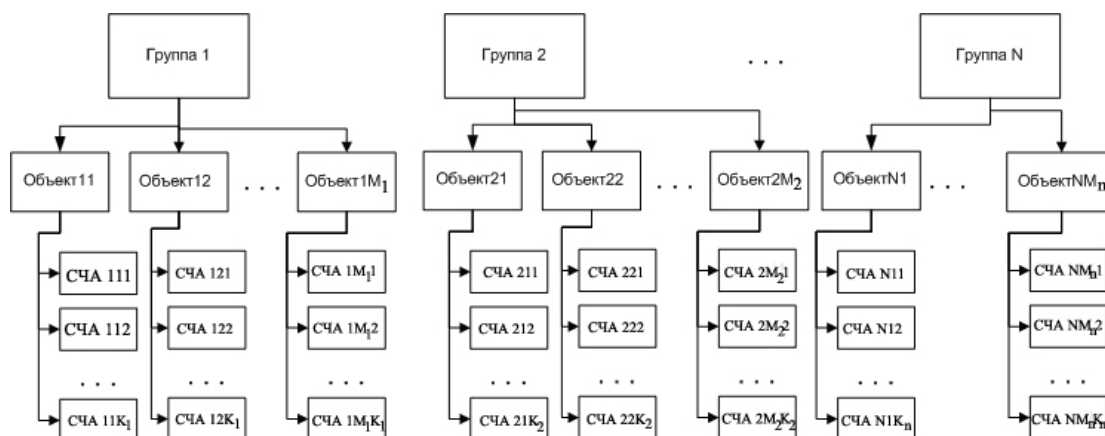


Рис. 2. Списочная структура данных

При передаче данных необходимо идентифицировать передаваемые данные, чтобы знать, значение какого СЧА было получено. Это осуществляется с помощью «адресного префикса», который передается вместе со значением СЧА. В программе реализованы специальные алгоритмы формирования «адресного префикса», которые должен соблюдать разработчик имитационной модели.

«Адресный префикс» фактически задает «координату» списка в трехмерном пространстве:  $(x, y, z)$ , где  $x$  – номер группы объектов,  $y$  – номер объекта в этой группе,  $z$  – номер СЧА объекта. В качестве примера приведем вызов Plus процедуры

```
Plus(Call_String(«D:\work\GPSSCom.dll», «GPSSCom», Polycatenate(«1_2_6», «|», Q$och_kulanga)))
```

Данная Plus процедура передает подсистеме мониторинга строку вида «1\_2\_6|значение\_СЧА». Таким образом, текущее количество транзактов в очереди

*och\_kulanga* добавляется в список соответствующий 6-му СЧА 2-го объекта в 1-й группе.

Программная компонента мониторинга реализована в виде автономного визуального СОМ объекта, который может быть с легкостью подключен к любому имитационному приложению. Работа системы мониторинга основывается на Plus процедуре *Call\_String*, которая позволяет вызывать из GPSS World функции динамических библиотек, написанные на языке С++ и передавать им строковые параметры. Получив строку данных от GPSS World, функция отправляет ее дальше, непосредственно подсистеме накопления данных.

Таким «пересылочным пунктом» в данном случае выступает разработанная библиотека *GPSSCom.dll*, которая содержит функцию *GPSSCom*.

После разработки модели, задания имен по алгоритмам «адресного префикса» и ввода всех необходимых данных, автоматически генерируется отдельный сегмент GPSS кода (в основном PLUS процедуры), в котором циркулирует единственный транзакт, активизирующийся в моменты времени  $t_i = i \cdot t_{\text{unit}}$  и осуществляющий вызов PLUS процедур для передачи данных в подсистему накопления результатов. Пример фрагмента такого кода из такого сегмента приведен ниже:

```
.....
Plus(Call_String("C:\RZD\GPSSCom.dll", "GPSSCom", Polycatenate("NEWLOOP")))
Plus(Call_String("C:\RZD\GPSSCom.dll", "GPSSCom", Polycatenate("0_0_0", "|", MX$Lok_Mas(1,1), "^", "0_0_1", "|", MX$Lok_Mas(1,2), "^", "0_0_2", "|", MX$Lok_Mas(1,3), "^", "0_0_3", "|", MX$Lok_Mas(1,4), "^", "0_0_4", "|", MX$Lok_Mas(1,5), "^", "0_0_5", "|", MX$Lok_Mas(1,6), "^", "0_0_6", "|", MX$Lok_Mas(1,7), "^", "0_0_7", "|", MX$Lok_Mas(1,8), "^", "0_0_8", "|", MX$Lok_Mas(1,9))))
.....
```

Данный код формируется подсистемой автоматически, без вмешательства извне, недоступен для корректировки пользователем и добавляется отдельным сегментом в разработанную пользователем имитационную модель. После этого модель готова и пользователь может начать очередной эксперимент.

**Подсистема анализа динамики моделирования.** Система GPSS традиционно предоставляет пользователю огромные массивы результатов моделирования, в форме стандартного отчета. Это может быть конечное значение параметра, в ряде случаев предоставляются средние значения (коэффициенты использования, времена пребывания в очередях и т. д.). Но во многих случаях требуется анализ динамики поведения системы, как в целом, так и отдельных ее параметров. Поэтому была поставлена задача – предоставить исследователю возможность по завершении моделирования анализировать, в удобном и наглядном виде, динамику изменения параметров модели в процессе одного эксперимента. Для этих целей была разработанная программная компонента, которая позволяет не только представить динамику изменения характеристик исследуемых объектов системы в процессе моделирования, но и имеет математический аппарат для вычисления статистических характеристик результатов.

Подсистему анализа результатов можно разбить на три подсистемы: графическую, обработки результатов и аналитическую.

**Графическая** подсистема предназначена для графического отображения изменения СЧА объекта во времени. **Подсистема обработки результатов** позволяет исследователю проводить требуемые вычисления над результатами моделирования. Например, построение функции плотности распределения по результативной функции распределения, построение индексов производительности на основе совокупности различных показателей эффективности. **Аналитическая подсистема** позволяет расчи-

тывать основные числовые характеристики результатов моделирования, которые в сжатой форме выражают наиболее существенные особенности распределения.

Пользователь может настраивать графическую подсистему с помощью диалога настройки (рис. 3).

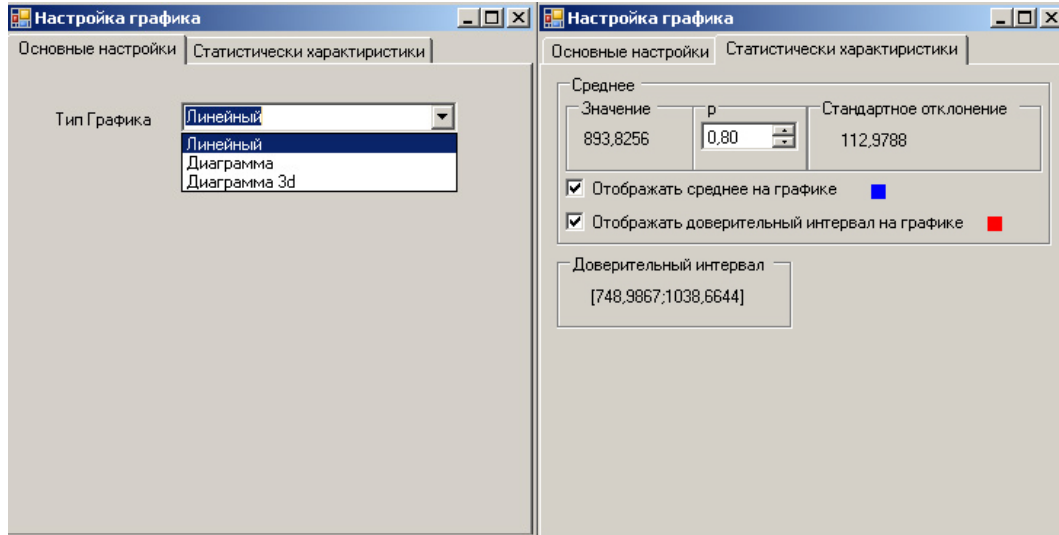


Рис. 3. Диалоговое окно настройки параметров графика

Подсистемы анализа результатов дает возможность графически отразить функциональную зависимость исследуемого показателя от времени, а также среднее значение и доверительный интервал (рис. 4, 5).

Исследователь получает динамику изменения характеристик моделируемой системы. Подсистема анализа результатов моделирования автоматически рассчитывает среднее значение, стандартное отклонение и определяет доверительный интервал. На рисунке синей линией показано среднее значение, двумя вертикальными пунктирными линиями показаны границы доверительного интервала.

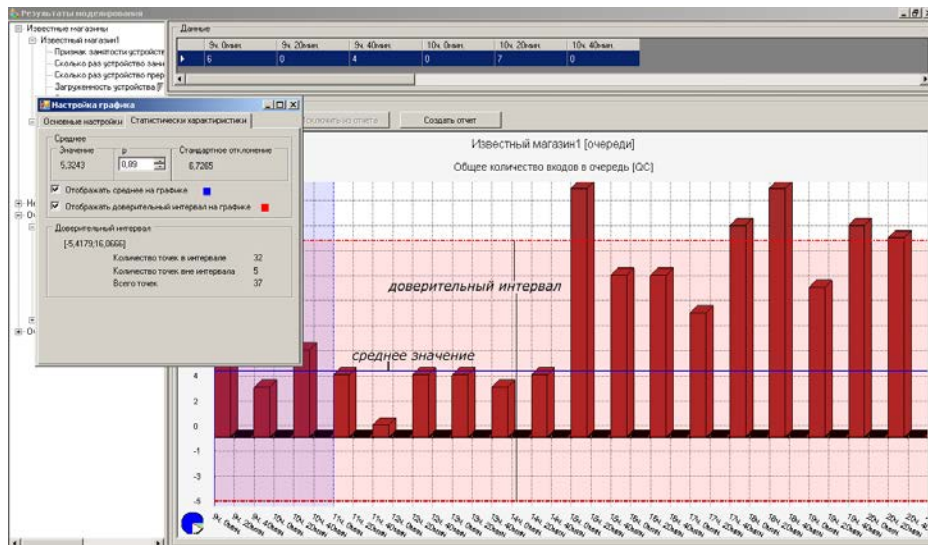
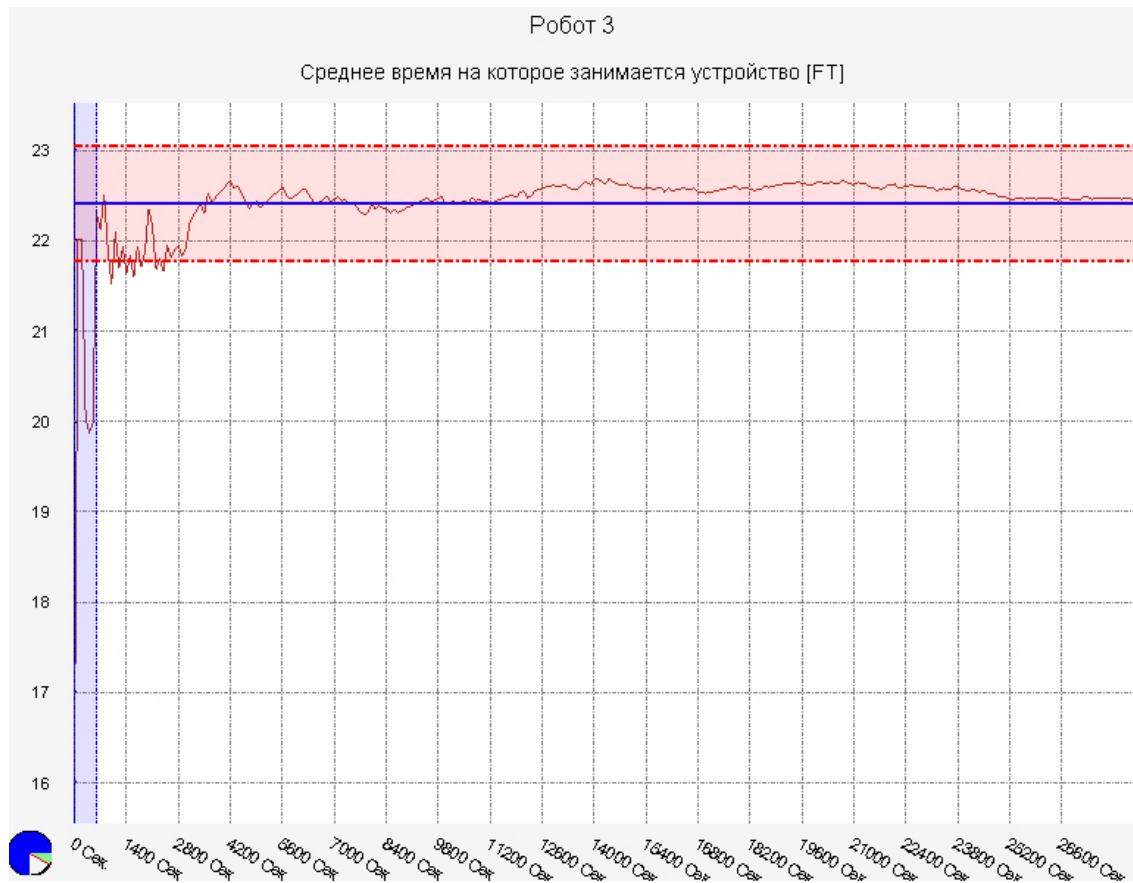


Рис. 4. Представление результатов моделирования



**Рис. 5. Отображение среднего и стандартного отклонения на графике**

Таким образом, разработанные подсистемы мониторинга модели и анализа автономны и полностью независимы от конкретики моделей и предметной области. Они могут быть использованы как при создании отдельных и абсолютно произвольных имитационных моделей GPSS World, так и быть частью крупных имитационных приложений.