Известия Гомельского государственного университета
имени Ф. Скорины, №5(32), 2005

*УДК 681.3*

# Верификация библиотеки имитационных моделей почтовых услуг

В. В. Старченко

## Введение

В соответствии с разработанной методикой построения имитационных моделей (ИМ) технологических производственных процессов мною была реализована библиотека ИМ почтовых услуг (ПУ), состоящая из семи имитационных моделей [1]. Они соответствуют тем ПУ, которые являются структурообразующими для почтовой связи Республики Беларусь. Каждая ИМ верифицировалась по одной и той же схеме. Рассмотри ее применение на базе ИМ ПУ3 «Реализация товаров народного потребления (ТНП)». Граф–схема названной ИМ согласно базовой схемы формализации (БСФ) системы моделирования MICIC4 [2] представлена на рис. 1.

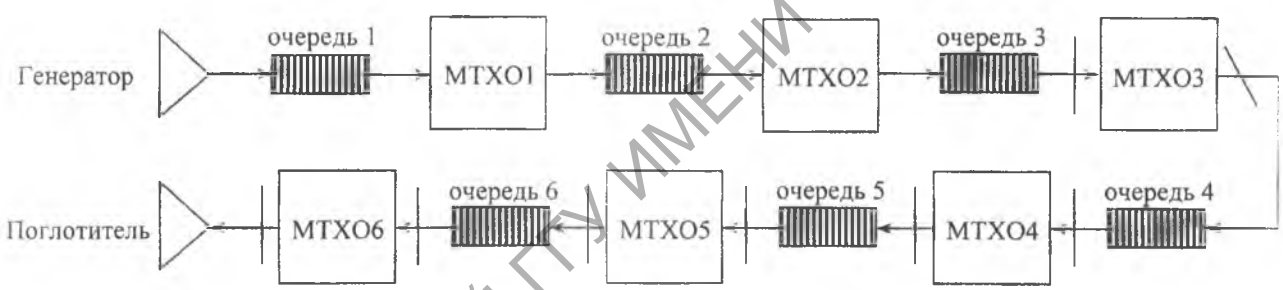


Рис. 1. Граф–схема имитационной модели «Реализация ТНП»

Одной из особенностей данной ИМ является нетривиальный способ обслуживания заявок на устройствах. Так, на третью микротехнологическую операцию (МТХО3) заявки поступают исключительно в моменты открытия МТХО3 и обслуживаются там в порядке очереди; а на МТХО4, МТХО5 и МТХО6 накопившиеся в очередях заявки поступают одновременно в моменты открытия соответствующих МТХО, обслуживаются там группой и вместе покидают устройство.

Верификация ИМ состоит в проверке достоверности преобразования концептуальной модели в компьютерную программу–симулятор [3]. Неформальные исследования включают в себя ряд процедур проверки, выполненных в ходе комплексной отладки алгоритмов процессов, входящих в состав $МТХО_i$. При имитации ПУ формальные методы заключаются в обработке результатов по прогонам ИМ. Далее рассматриваются наиболее эффективные формальные методы, использовавшиеся при верификации ИМ ПУ.

## Контроль графа активностей

Для ИМ разработанной библиотеки существенным является наличие строго определенного графа переходов между активностями согласно БСФ MICIC4. Например, в ИМ ПУ3 фрагмент данного графа имеет вид, представленный на рис 2.

Задача состоит в том, чтобы убедиться в правильности переходов и отсутствии ошибочных переходов между активностями в прогоне ИМ для всех типов транзактов. Для реали-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

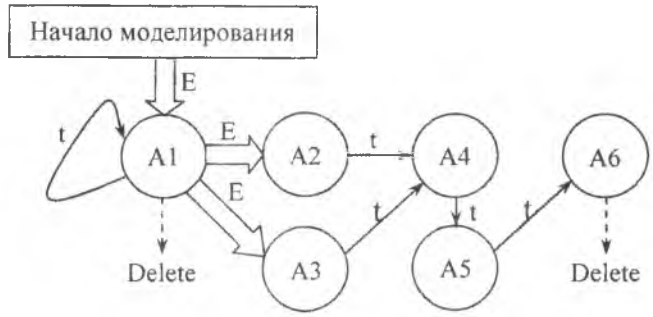


Рис. 2. Граф перехода между активностями ИМ «Реализация ТНП»

зации указанной задачи в программу ИМ были добавлены функциональные возможности построения трассы выполняемых активностей в следующем виде:

| Модельное время | Имя активности | Значения вектора переменных состояния |
|---|---|---|
| 608,15 | Queue1_begin | {0; 4; …} |
| … | … | … |

Получившая управление активность заносит в трассу своё имя, модельное время наступления произошедшего события и значения контролируемых переменных состояния, например, типа заявки и текущей длины очереди. Проанализировав полученную трассу при помощи средств табличного процессора Excel, можно убедиться в том, что:

1) все активности графа получают управление в соответствующих ситуациях;

2) отслеживаемая заявка любого из типов проходит по требуемым устройствам в правильной последовательности.

Чтобы сделать выводы по данному способу верификации, достаточно провести имитационный эксперимент (ИЭ) из одного прогона с несколькими вариантами рабочей нагрузки.

### Контроль динамики изменения откликов в модельном времени

При варьировании переменных ИМ некоторым образом изменяются её отклики. Анализ динамики изменения откликов может многое сказать о правильности развития алгоритма имитации во времени. Для иллюстрации этого приёма проведём три опыта в выбранной ИМ, варьируя интенсивность поступления заявок в систему следующим образом: А) высокая; Б) сбалансированная; В) низкая.

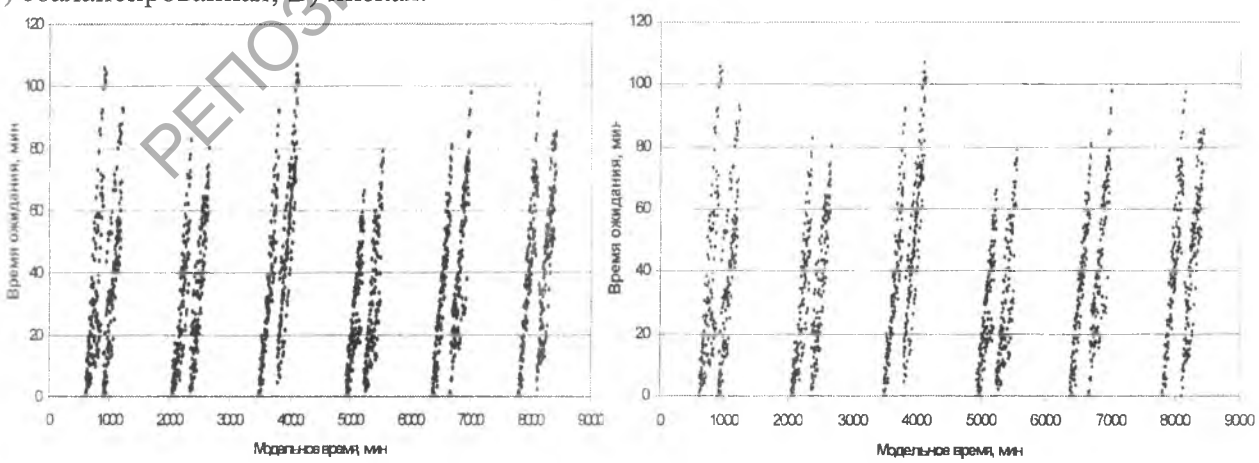


Рис. 3. Время ожидания заявок в очереди №1 в опыте А (слева) и опыте Б (справа)

По результатам реализации ИЭ были построены диаграммы изменения контролируемых откликов в модельном времени, пример которых представлен на рис. 3. Диаграмма опы-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

та В отсутствует, т.к. почти все времена ожидания заявок в очереди №1 оказались равными нулю, а расположение точек на оси абсцисс имеет такую же природу, как и в опыте Б. На диаграммах чётко прослеживается работа устройств по расписанию (начало и конец рабочего дня, обед), неотрицательность, ограниченность времени ожидания, максимальные и минимальные значения времён ухода заявок очереди в пределах суток и всего интервала моделирования. Полученные результаты соответствуют ожидаемой картине, что подтверждает правильность функционирования ИМ при заданной нагрузке.

Ярусность, обнуление, спад, периодичность, неубывание, невозрастание, разрывность, разброс и скопления точек, наблюдаемые в динамике могут помочь при решении задачи проверки правильности функционирования ИМ. Чтобы сделать выводы по данному способу верификации, достаточно реализовать ИЭ из 3-5 прогонов с несколькими вариантами рабочей нагрузки.

**Проверка эвристических гипотез**

Ошибки в ИМ нередко удаётся найти при помощи постановки серии ИЭ для проверки эвристических гипотез. Типичным примером такого рода задач является выявление взаимосвязи параметров ИМ и её откликов. Это по сути ответ на следующий вопрос: как изменятся отклики (увеличатся, уменьшатся или останутся прежними) при варьировании рабочей нагрузки.

К примеру, для ИМ ПУ5 «Реализация ТНП» можно предположить, что при увеличении интенсивности поступления заявок время ожидания транзактов в очереди №3 будет расти, но на время обслуживания заявок на MTXO4, MTXO5, MTXO6, а также на время ожидания транзактов в очередях к ним это никак не повлияет в силу применяемого группового способа обслуживания заявок. Если же увеличить границы выполнения MTXO1, то, очевидно, должен расти коэффициент загрузки этого устройства и увеличиваться время ожидания транзактов в его очереди. Время же ожидания заявок в очереди №3 скорее всего уменьшится, так как заявки будут поступать на него более рассредоточено во времени в результате «фильтрации» со стороны MTXO1. Вносимые изменения снова никак не должны повлиять на времена обслуживания заявок на MTXO4, MTXO5, MTXO6, а также на времена ожидания транзактов в их очередях.

По результатам постановки ИЭ были построены выборочные уравнения линейной регрессии, как на рис. 4, подтверждающие выдвинутые зависимости. Чтобы сделать выводы по данному способу верификации, достаточно реализовать однофакторный ИЭ, как правило, из одного прогона по каждой гипотезе. Большее количество прогонов не требуется в силу очевидности эвристических гипотез. Возможные нехарактерные колебания отклика на некотором уровне изменения фактора должны компенсироваться ожидаемыми значениями на соседних уровнях.

Рис. 4. Диаграмма зависимости среднего времени ожидания заявки в очереди №3 от интенсивности поступления запроса

**Abstract.** The most effective methods to be used for verification of simulation models of post services are considered in this article.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

**Литература**

1. И. В. Максимей, В. Д. Левчук, Г. А. Терещенко, В. В. Старченко, *Имитационная модель технологических процессов сети почтовой связи*, Реєстрація, зберігання і обробка даних, **6**, № 1 (2004), 34–46.

2. В. Д. Левчук, *Базовая схема формализации системы моделирования MICIC4*, Проблеми програмування, №1 (2005), 85–96.

3. А. Лоу, В. Кельтон, *Имитационное моделирование. Классика CS*, 3-е изд, Санкт-Петербург, Питер; Киев, BHV, 2004.

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины

Поступило 14.06.05

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ