

теле TR_i находится сама маршрутная карта МК_i и номер K_i очередной выполняемой строки МК_i, определяющей номер остановки, где пассажир осуществляет пересадку или переходит в фазу ожидания или следующего обслуживания пассажиров. В ПТКИ ГТС кроме библиотеки ИМ ГТС (LIB.MODEL) имеются подсистемы: обработки данных мониторинга структуры пассажиропотока (PS.MONITORING); обработки статистики имитации (PS.OBRABOT); реализации метода статистических испытаний (PS.MONTEK); формирования из библиотеки очередного варианта ИМ ГТС (PS.FORMOD); ввода исходной информации (PS.IMPOT); сбора статистики (PS.STAT); окончания имитационного эксперимента (PS.FINAL). Отметим, что подсистемы PS.FORMOD, PS.IMPOT, PS.MONTEK, PS.OBRABOT и PS.FINAL являются универсальными для всех версий ПТКИ. Кроме того используются средства базовой системы моделирования по расширению ее функций и формирования новых версий комплекса имитации.

Литература

1. Левчук В. Д., Максимей И. В. Программно-технологические комплексы имитации сложных систем/ ВД – Левчук В. Д., Максимей И. В.; Минобразов. РБ, ГТУ м. Ф. Скорины, – Гомель, 2006, –263с.
2. Старченко В.В. Программно-технологический инструментарий автоматизации имитационного моделирования процессов производства услуг. Автореф. дисс. уч. степ. к.т.н./ Старченко В.В., ГТУ м. Ф. Скорины, – Гомель, 2006, –24с.
3. Попова Е. О. Метод и средства имитационного моделирования технологических процессов сборочно-разборочных операций ремонта изделий сложной структуры. Автореф. дисс. уч. степ. к.т.н./ Попова Е. О., ГТУ м. Ф. Скорины, – Гомель, 2006, –22с.
4. Галушко В. Н. Метод имитационного моделирования функционирования городского транспорта / Галушко В. Н. // Известия ГТУ им. Ф.Скорины. - Гомель, 2006. -№5. -С. 20-22.

ПРОГРАММНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ИМИТАЦИИ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА

А.Н. Гончаров, И.В. Максимей, В.С. Смородин, А.В. Клименко
Беларусь, г. Гомель

Введение

Программное обеспечение имитационного моделирования вероятностных технологических процессов производства (ВТПП) состоит из трех взаимно дополняющих друг друга систем автоматизации имитационного моделирования (САИМ), разработанных для исследования технологических процессов разных типов. При исследовании последовательных технологических процессов была разработана первая версия (САИМ-1), реализующая процессный способ имитации. Для исследования систем управления вероятностными технологическими

процессами [1] разработана вторая версия системы автоматизации (САИМ-2). Третья версия САИМ, реализующая агрегатно-процессный способ имитации (САИМ-3), автоматизирует этапы создания, испытания и эксплуатации имитационной модели (ИМ) вероятностного сетевого графика (ВСГР).

1. Универсальные средства системы для испытания и эксплуатации имитационных моделей

Для исследования вероятностных технологических процессов производства названные версии системы автоматизации имитационного моделирования используют три базовые подсистемы: испытания имитационных моделей (*PS.ISPIM*); обработки результатов имитации (*PS.OBRABOT*); визуализации оперативной статистики имитации и поведения откликов модели в модельном времени (*PS.VIZUAL*). Подсистема *PS.ISPIM* автоматизирует этап испытания и исследования свойств имитационной модели ВТПП. Оценивается ошибка имитации ($\varepsilon\%$), означающая максимальный процент ошибки откликов модели и определяется длина переходного периода имитации ($T_{пр}$), которая означает максимальное время стабилизации отклика модели, позже всех переходящего в установившееся состояние. Важным шагом испытания имитационной модели является проверка «устойчивости» режима имитации. Проверяются отсутствие переходов ИМ в такой режим, когда у любого из откликов модели возможен рост амплитуды его изменения с ростом модельного времени t_0 . Следующим шагом испытания является проверка «чувствительности» откликов к изменениям параметров моделирования. Каждая составляющая вектора параметров модели (X_i) изменяется в диапазоне от минимального (X_i^-) до максимального (X_i^+), а остальные компоненты вектора параметров X устанавливаются в середине интервалов их изменения. Вычисляется приращение компонентов вектора откликов $\Delta Y_i\%$ и проверяется их чувствительность к вариациям вектора параметров. Если приращение откликов $\Delta Y_i\% < \varepsilon\%$, то считают, что имитационная модель не чувствительна к вариациям вектора параметров. Последним шагом этапа испытания является проверка адекватности имитационной модели реальному ВТПП. Сравниваются средние значения откликов модели и указывается, какой из откликов реального ВТПП можно выбрать в качестве контролируемого. При этом используется методика проверки адекватности, основанная на гипотезе о близости средних значений j -го отклика ИМ и реального ВТПП, после чего организуется серия многократных имитационных экспериментов (ИЭ) согласно процедуре Монте-Карло, в которой каждый ИЭ представляет l -ю реализацию ИМ ВТПП. После завершения N реализаций ИМ в *IBDSGR* будут сформированы выборки откликов реализации событий в ВСГР, а также выборки откликов использования ресурсов. С помощью *PS.OBRABOT* из этих выборок формируются функции распределения перечисленных откликов, математических ожиданий и дисперсий этих откликов. Фактически программы

PS.OBRABOT завершают усреднение статистик имитации согласно процедуре Монте-Карло.

2. Возможности версии системы САИМ-1, реализующей процессный способ имитации

В состав версии САИМ-1 входят: библиотека процессов-имитаторов компонентов ПММ (*LIB.PROCES*); подсистемы *PS.FORMPMM*, *PS.ISPIM*, *PS.OBRABOT*, *PS.VIZUAL*, *PS.RESHEN*; управляющая программа моделирования (*UPMPMM*) и база данных *IBDM*. Библиотека *LIB.PROCES* содержит универсальную программу-имитатор *PR.UZEL*, являющуюся имитатором узла; десять программ процессов-имитаторов состояний ($\{PR.SOST_i\}$, где $i = \overline{1,10}$) последовательного ВТПП; процесс-имитатор использования оборудования индивидуального пользования и процесс-имитатор использования оборудования общего пользования *PR.OBOP*. Программа *AUZEL* взаимодействует с десятью процессами $ASOST_j$ ($j = \overline{1,10}$), имеющими одну программу имитатора состояния. Настройка формальных переменных программы $ASOST_j$ проводится путем указания таблиц исходной информации. Эта операция реализуется с помощью подсистемы формирования варианта полумарковской модели технологического процесса (*PS.FORMPMM*). Ориентируясь на пользователя непрофессионала по программированию, исходная информация о технологическом цикле задается в диалоговом режиме с использованием оконной технологии системы. Управляющая программа моделирования (*UPMPMM*) организует взаимодействие процессов $PR.SOST_i$ и *PR.UZEL* на основе процессного способа имитации [2]. Каждый процесс представляет собой объединение нескольких программ активностей, заканчивающихся одним из операторов синхронизации и возвращающих управление УПМ. Для компоновки процессов в имитационной модели ПММ пользователю достаточно указать только исходную информацию для имитации ВТПП полумарковской моделью. Последовательный характер следования процессов *PR.UZEL* и $PR.SOST_i$ позволил ограничиться только двумя программами этих процессов, обеспечив при этом необходимое количество узлов и переходов ПММ из состояния в состояние за счет дублирования информации в базе данных ПММ, необходимой для имитации ВТПП в каждом состоянии. Эти программы являются реентерабельными, чем обеспечивается выполнение всех процедур $PR.SOST_i$. Алгоритмическая часть процессов-имитаторов реализована в среде системы программирования *Delphi 5.0*. Поэтому язык моделирования САИМ-1 представляет собой расширение объектно-ориентированного языка программирования *Object Pascal* за счет добавления типовых операторов организации квазипараллелизма между компонентами ИМ: «ждать», «запустить», «продолжить», «остановить». Организация взаимодействия этих процессов обеспечиваются УПМ на основании использо-

вания следующих операторов: пуска процессов, продолжения выполнения процессов, ожидания выполнения условий активизации процессов, ожидания времени выполнения процессов.

3. Возможности версии системы САИМ-2, реализующей агрегатный способ имитации

Версия САИМ-2 содержит следующие компоненты: библиотеку агрегатов-имитаторов элементов имитационной модели системы управления ВТПП (*LIB.ELEMENT*); подсистему формирования состава и структуры имитационной модели системы управления (*PS.FORMSUP*); универсальные подсистемы испытания, обработки статистики и визуализации (*PS.ISPIM*, *PS.OBRABOT*, *PS.VIZUAL*); подсистему принятия решений (*PS.RESHEN2*); управляющую программу имитации системы управления (*UMPSUP*) и базу данных *IBDM2*. В библиотеку *LIB.ELEMENT* входят универсальные реентерабельные программы агрегатов-имитаторов: входных воздействий на систему управления (*AINIG₀*); завершающего действия СУ на оборудование ВТПП (*AFINL₀*); исполнительных функций элемента (*AISPF₀*); корректировки значений переменных контроля функционирования (*ACORF₀*); элемента, ликвидирующего последствия возникновения аварийной обстановки (*ALICV₀*); универсального элемента управления, корректирующего значение U и ликвидирующего аварийную ситуацию (*AUPRV₀*); элементов индикации состояний ВТПП и значений переменных управления (*AIND₀*); синхронизации по логической схеме типа «и», у которого «спусковая функция» формируется в момент прихода самого позднего сигнала управления на один из входов агрегатов (*ASLAST₀*); синхронизации по логической схеме типа «или», у которого «спусковая функция» формируется в момент прихода самого раннего сигнала управления на один из входов агрегатов (*ASFIRST₀*); функций оборудования индивидуального пользования (*PROBIN₀*); функций оборудования общего пользования (*PROBOP₀*); использования каналов r_i оборудования общего пользования (*PR.KAN₀*). Каждая программа библиотеки является реентерабельной и реализована в среде системы программирования *Delphi* 5.0. Поэтому операторы языка моделирования САИМ-2 являются объектно-ориентированным расширением *Object Pascal* за счёт добавления операторов организации квазипараллелизма компонентов имитационной модели и формирования сигналов взаимодействия агрегатов [3].

4. Возможности версии системы САИМ-3, реализующей агрегатно-процессный способ имитации

Версия САИМ-3 состоит из следующих компонентов: библиотеки агрегатов элементов (*LIB.AGREG*), являющихся множеством сложным образом орга-

низованных агрегатов-процессов, используемых для построения имитационной модели (ИМ) вероятностного сетевого графика (ВСГР); подсистемы формирования ИМ ВСГР (*PS.FORMSGR*); универсальных подсистем испытания, обработки статистики и визуализации имитационной модели (*PS.ISPIM*, *PS.OBRABOT*, *PS.VIZUAL*); подсистемы принятия решений (*PS.RESHEN3*); управляющей программы реализации имитации ВСГР (*UPMSGR*) и базы данных модели (*IBDM3*). Библиотека *LIB.AGREG* содержит следующие универсальные реентерабельные программы агрегатов-процессов: имитатор микро-технологических операций *MTXO_i* (*ATOP_i*); имитатор событий в ВСГР (*ASOB_i*); имитатор функций оборудования индивидуального пользования (*AOBIN_i*); имитатор функций оборудования общего пользования (*AOBOP_i*); имитатор функционирования каналов оборудования общего пользования (*AKAN_i*); имитатор процедур ликвидации аварийной обстановки в ВСГР (*APROC_i*).

Программы библиотеки *LIB.AGREG* являются реентерабельными и реализованы в системе программирования *Delphi* 5.0. За счет добавления операторов организации квазипараллелизма, операторов установки сигналов и операторов сбора статистики сформирован язык моделирования САИМ-3. Каждая из программ агрегатов состоит из набора активностей, завершающихся операторами организации квазипараллельного функционирования агрегатов-процессов. В алгоритме агрегата-имитатора *MTXO_i* можно выделить следующие группы активностей: ожидания сигналов в режимах прямой и инверсной имитации; розыгрыша запросов ресурсов в *l*-й реализации ВСГР; заказа ресурсов системы; закрепления за агрегатом ресурсов ВТПП; формирования выходных сигналов; возврата ресурсов; запуска устройств оборудования индивидуального и общего пользования.

Информация о составе и структуре заказываемых ресурсов и устройств оборудования ВТПП и структуре версии агрегата *ATOP_i* для *l*-й реализации процедуры Монте-Карло хранится в базе данных модели. Подсистема *PS.FORMSGR* организует ввод исходной информации о структуре ИМ ВТПП, проверку правильности описания структуры ВСГР, определение ошибок коммутации агрегатов в ВСГР, «запитку» базы данных агрегатов исходной информацией, верификацию функционирования вновь составленных имитационных моделей и их хранение в библиотеке *LIB.AGREG*.

Заключение

Рассмотренные версии САИМ являются предметно-ориентированными средствами автоматизации имитационного моделирования вероятностных технологических процессов, имеющих графовую структуру и сложным образом организованных. ВТПП первого типа, исследуемые с помощью САИМ-1, пред-