

УДК 681.3+519.5

В.А. Пепеляев

О МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТАХ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СТОХАСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Работа посвящена вопросам анализа методолого-технологических аспектов разработки разноплатформенных версий системы имитационного моделирования стохастических процессов. Рассмотрены особенности реализации программных средств поддержки такого рода инструментария и разработки проблемно-ориентированных приложений.

Введение

Имитационное моделирование как новое научное направление прикладной математики и кибернетики начало интенсивно развиваться в 60-х годах прошлого столетия, когда стали разрабатываться и широко внедряются сложные технические системы в самых разнообразных областях человеческой деятельности (космос, транспорт, медицина, биология, экономика, новые технологии на производстве и др.). Подобные системы, как правило, базируются на средствах вычислительной техники, включают в свой состав сложные измерительные и управляющие комплексы, людей-операторов и являются стохастическими по своей природе.

В имитационном моделировании как и в любой области системного анализа сложились различные подходы к исследованию такого типа систем в зависимости от используемых методологических схем (схем абстракций) представления процессов их функционирования. Наиболее известные схемы подобного плана такие: модели теории массового обслуживания и теории автоматов; модели сетей Петри; модели динамических систем; агрегативные модели; модели системной динамики; модели событийного и процессионного подхода, принятые в высокоразвитых языках моделирования.

Следует заметить, что значительная часть вышеперечисленных методологических схем, за исключением моделей высокоразвитых языков моделирования оказалась практически неприемлемой для многих классов сложных систем в силу следующих причин: отсутствие или недопускающая практическую реализацию

сложность математических соотношений, описывающих процессы функционирования таких систем; обусловленные влиянием человеческого фактора неопределенности; уникальность систем (отсутствия аналогов); крупномасштабность и многофункциональность; наличие большого числа составляющих для оценки качества работы указанных систем.

В этих условиях именно имитационное моделирование на основе специальных и универсальных языков моделирования стало одним из наиболее эффективных инструментариев исследования.

Заметим, что в работе будет идти речь только о методах имитационного моделирования, базирующихся на высокоразвитых языках моделирования (программирования).

Цель данной работы – представление результатов и опыта разработки систем дискретно-событийного имитационного моделирования стохастических процессов, выполненных в отделе методов системного моделирования Института кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины.

Особенности развития методов и систем имитационного моделирования

История развития методов и подходов в области моделирования включает несколько этапов. Определяющими факторами здесь были поколения языков моделирования, средств вычислительной техники, технологии и парадигмы программирования [1].

Характерной особенностью современного этапа развития имитационного моделирования, как эффективной методологии исследования и проектирования сложных систем, является "сосуществование" трёх

различных направлений, ориентированных на процессы последовательного моделирования, распределённого моделирования и моделирования на основе концепции виртуальной реальности (VR – Virtual Reality) соответственно.

В представленной таблице приведен перечень наиболее известных систем имитационного моделирования, базированных на соответствующих подходах.

Таблица

Вид имитационного моделирования	Имитационные системы или программные продукты
Последовательное моделирование	GPSS, ARENA, EM-Plant, QUEST, AutoMod, WITNESS, ProModel, SIMUL8, ISS2000, Crystal Ball, AnyLogic, НЕДИС-90
Распределенное моделирование	SIMNET, SPEEDES, ParaSol, HLA, NEDIS_D, NEDISOPT_D, РСИМ
Моделирование на основе VR	Продукт фирмы Tecnomatix, продукт фирмы DELMIA

Термин "последовательное моделирование" (синонимы – сосредоточенное или нераспределенное) здесь и далее используется для представления подходов, реализуемых на однопроцессорных платформах. Последовательное моделирование связано с созданием и внедрением на современных вычислительных платформах языков и систем в традиционном для имитационного моделирования стиле. Коммерческие системы семейства GPSS, ISS 2000, ARENA, SIMUL8, QUEST, ProModel, AutoMod, WITNESS, Crystal Ball, базируются на технологических стандартах последовательного моделирования с использованием возможностей визуализации и анимации. Система AnyLogic разработана российской фирмой XJ Technology, Санкт-Петербург (Россия) [2].

Указанные системы моделирования ориентированы на решение задач бизне-

са, образования, управления финансами, социально-экономическими и производственными процессами, исследование транспортных и логистических систем. За сравнительно короткий период пользователями указанных систем стали очень многие солидные фирмы: IBM, Bell Laboratories, Motorola, Ford Motor Company, Boeing Aircraft, British Airways, Virgin Atlantic, Hewlett Packard Corporation, USA Air Force, British Steel, Nissan Motors, ИМПЭКС БАНК, Русский Алюминий.

Интерактивная система ISS 2000 разработана в Киевском национальном техническом университете "КПИ" [3], а система НЕДИС-90 разработана в Институте кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины.

Второе направление в области современного имитационного моделирования связано с методологией и технологическими аспектами распределенного, реализуемого на сетевой архитектуре моделирования [4, 5]. Наиболее известными являются такие системы: SIMNET, SPEEDES, ParaSol. Система SIMNET в свое время интенсивно использовалась для обучения воинского персонала в чрезвычайных ситуациях, SPEEDES специализировалась главным образом, на выполнении заказов NASA, ParaSol – для реализации различных научно-исследовательских проектов. Следует отметить, что разработанная по инициативе Министерства обороны США технология HLA (High Level Architecture) принята в качестве стандарта создания и реализации распределенных имитационных приложений. В 1998 году HLA номинирована в НАТО [6].

К классу отечественных распределенных систем имитационного моделирования относятся разработанная в Институте проблем математических машин и систем НАН Украины под условным названием РСИМ [7], системы NEDIS_D и NEDISOPT_D, разработанные в Институте кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины [8, 9].

Моделирование на основе схем VR ведет свое начало от видеоигровой индустрии. В конце 90-х годов успехи в автомобильно-строительной промышленности Германии (создание условий для автоматизации процессов на всех этапах жизненного цикла изделий, начиная от их эскизного проектиро-

вания вплоть до этапа утилизации) способствовали развитию и реализации концепции e-Manufacturing. Основная суть e-Manufacturing определяется непрерывным использованием имитационных моделей в процессе проектирования и эксплуатации производственных систем. Базированные на концепции e-Manufacturing схемы VR нашли широкое применение в практике исследования и проектирования различного рода производственных и логистических систем. Лидерство здесь принадлежит Германским фирмам Tecnomatix и DELMIA [10].

Постановка задачи

Одной из основных тенденций, наметившихся в последние годы в области разработки и практического применения методов и средств имитационного моделирования является повышение требований к эффективности имитационного инструментария. Сегодня на смену традиционным системам имитации, обеспечивающих, главным образом, получение широкого спектра статистических характеристик основных показателей функционирования исследуемых и проектируемых систем, приходят новые имитационные инструментари, ориентированные на решение разноплановых стратегических проблем. Это прежде всего проблемы глобальной оптимизации, которые возникают в рамках как национальных, так и международных программ, проблемы управления бизнес-процессами, финансами, маркетингом и др. При этом на передний план выступают задачи получения оптимальных решений в условиях значительного сокращения временных и финансовых ресурсов.

В мировой практике имитационного моделирования к настоящему времени сложились следующие наиболее известные подходы к повышению эффективности методов имитации: использование технологий распределенных вычислений; использование концепций и методов оптимизационно-имитационной интеграции; применение методолого-технологических стандартов для разработки основных компонент имитационных про-

ложений и решения задач оценки достоверности имитационных моделей; использование развитых схем тактико-стратегического планирования имитационных экспериментов, ориентированных на поиск оптимальных решений; использование средств визуализации и анимации входных и выходных данных экспериментов в персонализированных форматах, предназначенных для различных участников эксперимента (исследователей, экспертов, лиц принимающих решения).

В настоящее время в Институте кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины выполняются исследования, основной целью которых является создание программной среды поддержки процессов имитационного моделирования, базированной на указанных подходах к повышению эффективности методов имитации.

О развитии поколений системы НЕДИС

В отделе методов системного моделирования Института кибернетики накоплен значительный опыт разработки, реализации и практического применения методов и средств имитационного моделирования. Выполненные при этом исследования опирались на тенденции и подходы, принятые в мировой и отечественной практике имитационного моделирования на соответствующих этапах [1].

В целом было разработано несколько поколений систем имитационного моделирования, начиная от системы СЛЭНГ и заканчивая системой распределенного моделирования NEDISOPT_D.

Разработанная в течении 1966–1968 гг. система СЛЭНГ (научный руководитель разработки – Т.П. Марьянович, автор языка – Л.А. Калиниченко) была первой отечественной системой и положила начало развитию методов имитационного моделирования в Украине. Реализованная на М-20 и платформенно совместимых с ней машинах М-220, БЭСМ-3М, БЭСМ-4М система внедрена в 20 различных организациях (г. Москва, Ленинград, Минск, Ульяновск, Свердловск, Казань, Фрунзе и др.)

В течении 1974–1975 гг. была разработана и реализована на БЭСМ-6 система моделирования непрерывно-дискретных про-

цессов НЕДИС (научный руководитель разработки – Т.П. Марьянович, автор языка – В.В. Гусев) [11].

При разработке языка НЕДИС были использованы отдельные детали известных в то время по публикациям языков СИМУЛА-67 и АЛГОЛ-68. Система не имела аналогов в практике отечественного моделирования в СССР и по своим возможностям система НЕДИС близка к системам на базе таких языков, как СИМУЛА-67, GASP-IV, SLAM-II.

Разработчики системы НЕДИС, кроме работ по внедрению и сопровождению системы, выполнили большой объем работ по адаптации системы НЕДИС в различных прикладных областях. Встроенный в язык НЕДИС механизм библиотечных вступлений и заключений позволял создавать многоуровневые библиотеки приложений.

Система использовалась для проведения исследований и различного рода проектных работ в таких областях как: проектирование вычислительных машин, систем и сетей передачи данных; подземные пожары в угольных шахтах; технологические процессы на железнодорожном транспорте и судостроительной промышленности; планирование ремонтных и профилактических работ для различных парков самолетов; системы управления и контроля в конвертерном производстве; систем управления и контроля системами и средствами связи на морских судах; проектирование средств и систем ракетно-космической техники.

Разработанные на базе системы НЕДИС приложения, как правило, использовались не только для получения широкого спектра статистических характеристик основных показателей функционирования соответствующих прикладных систем, а и для решения разноплановых стратегических проблем.

Например, результаты моделирования процессов пожаротушения в угольных шахтах, полученных с помощью проблемно-ориентированной системы СИМПО (система имитационного моделирования пожарной охраны), с одной стороны, по-

зволяли оценивать внедряемые на шахтах новые средства пожарной охраны и применяемые тактики пожаротушения, а с другой – использовались как информационная база для выбора оптимальных стратегий защиты шахт от пожаров, ориентированных прежде всего на дифференцированное распределение финансов, необходимых для пожарной охраны шахт с учетом состояния их пожароопасности.

Результаты моделирования системы управления и контроля средствами и системами связи на морских судах позволили подтвердить эффективность одного из предложенных проектов реализации такой системы.

Система НЕДИС послужила основой разработки нескольких последующих поколений систем имитационного моделирования. Линейка таких поколений показана на рис. 1.

В течении 1991–1993 гг. выполнялись работы по созданию технологической системы программирования НЕДИС-90 и реализации ее на ПЭВМ IBM PC AT/386.

Система предназначалась для оперативной разработки проблемно-ориентированных языков для самого широкого круга применений. Пользователи системы получают возможность строить свои собственные функциональные эквиваленты таких языков, как SIMULA, GASP-IV, VHDL. Разработана технология создания новых языков моделирования для различных приложений базируется на использовании механизма контекстных модулей. Система реализована в 1994 г. как компилятор на языке C для компьютеров, совместимых с IBM PC.

В конце 2002 г. завершена работа по созданию распределенной системы имитационного моделирования NEDIS_D. Система реализована на платформе Windows 2000 с использованием возможностей Visual C++ 6.0, технологии распределенных вычислений DCOM (Distributed Component Object Model), парадигмы объектно-ориентированного программирования и компонентной архитектуры.

Система поддерживает последовательное и распределенное моделирование дискретно-событийных процессов на основе трех схем реализации имитационных экспериментов:

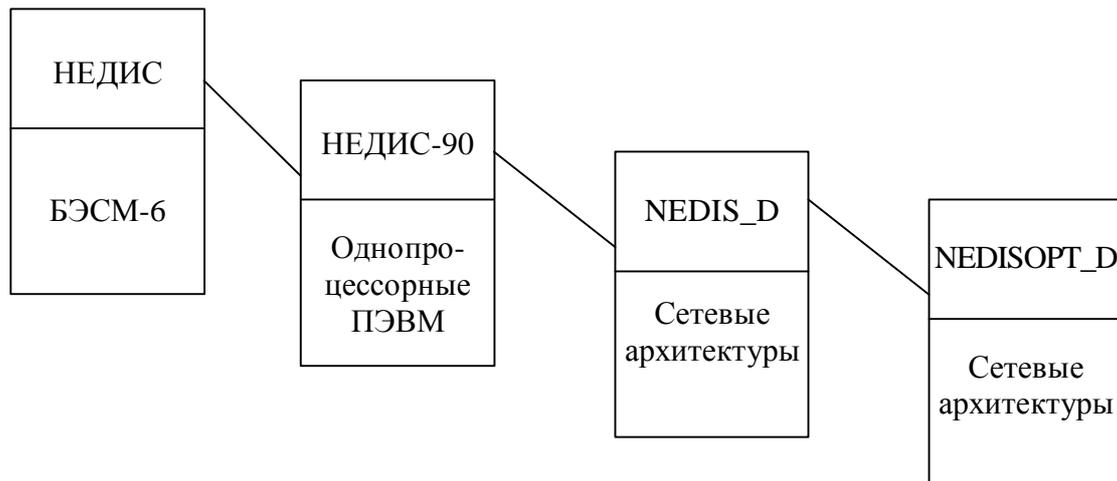


Рис. 1. Линейка версий системы имитационного моделирования

- последовательное моделирование;
- локальное (на однопроцессорном компьютере) распределенное моделирование;
- распределенное моделирование на сетевой архитектуре.

Каждая из указанных схем базируется на собственной методологии разработки имитационных моделей и моделей сценариев имитационных экспериментов. При этом обеспечивается автоматическое формирование распределенных имитационных моделей на основе их сосредоточенных аналогов для консервативной и оптимистической схем синхронизации.

Система не имеет аналогов в отечественной практике имитационного моделирования [8].

В основу разработки системы NEDISOPT_D положена концепция оптимизационно-имитационной интеграции, которая предполагает направленный поиск оптимальных решений на основе использования результатов многократных прогонов соответствующих имитационных моделей, реализуемых на сетевой архитектуре.

Имитационная компонента системы базируется на NEDIS_D. Оптимизационная компонента использует метаэвристические стратегии оптимизации, в частности генетический алгоритм [12].

Методологические аспекты последовательного имитационного моделирования

Методы имитационного моделирования в отличие от классических подходов

не предоставляют в распоряжение исследователя или разработчика сложных систем строгого математического аппарата для формализации соответствующих процессов. Они предлагают соответствующие средства в виде множества методологических схем и технологических стандартов, предусмотренных общей методологией имитационного моделирования и поддерживаемых специально разработанными языками и системами моделирования.

Такие схемы служат методологической основой для формирования требований к изобразительным средствам языков моделирования, к функциональным возможностям соответствующих имитационных систем, определения особенностей разработки проблемно-ориентированных приложений и специфики реализации исследований в формате компьютерных имитационных экспериментов.

Основными компонентами указанных приложений являются: имитационная модель исследуемой системы, схема (сценарий) эксперимента, структурированные наборы входных и выходных данных эксперимента.

Причем для каждого языка характерна своя "собственная" методологическая схема: для систем с дискретными событиями, непрерывных систем и непрерывно-дискретных (гибридных) систем.

Применительно к языкам моделирования каждая такая схема включает концептуальную базу языка моделирования и обобщенную модель функционирования реальных систем.

Концептуальная база определяет способ мышления (world view) разработчика имитационных моделей, т.е. способ представления и последующего отображения исследуемой системы, и включает множество понятий, с помощью которых описываются системы (процессы) и их компоненты. Такими понятиями являются: объект, атрибут объекта, класс объектов, приоритет объектов, группы объектов, время, календарь. Изобразительные средства языков моделирования поддерживают указанные понятия и на основе системы определений и операторов позволяют описывать различные классы объектов, а также их поведение (алгоритмы функционирования).

Обобщенная модель описывает развитие событий в реальной системе во времени, опираясь на представление процесса функционирования сложных систем как совокупности параллельно протекающих действий и взаимодействий объектов различных классов, а процесс функционирования каждого отдельного объекта представляется как цепочка дискретных событий.

К настоящему времени в зарубежной и отечественной практике последовательного имитационного моделирования накоплен значительный опыт разработки и применения методолого-технологических стандартов, в первую очередь касающихся методологии создания имитационных моделей, проектирования сценариев и программ имитационных экспериментов, организации и структурирования данных, решения проблем оценки достоверности имитационных моделей [8, 9].

На рис. 2 показана типовая схема Балчи процесса поэтапной разработки, реализации (акроним M&S - Modeling and Simulation) и оценки достоверности (акроним VV&T - Verification Validation and Tetsting) нераспределенных имитационных приложений. Международным сообществом имитаторов приняты стандартные подходы к решению проблемы оценки достоверности, включающие 15 принципов и порядка 70 эвристических приемов. Сплошные стрелки на

рис. 2 указывают на переход от одного этапа процесса разработки приложения к другому. Пунктирные стрелки – используются для представления процедур, оценивающих достоверность таких переходов.

Концептуальная модель представляет выраженное в терминах концептуальной базы выбранного языка моделирования определения иерархически структурированного множества объектов, описывающих соответствующие компоненты исследуемой системы, а модель взаимодействий определяет функциональные взаимосвязи между такими компонентами. Определяемая на основании указанных моделей имитационная модель описывает в терминах входного языка имитационной системы процесс функционирования исследуемой системы согласно принятому (установленному и согласованному в процессе постановки задачи) уровню детализации. Схема экспериментов предназначена для реализации различных сценариев.

Как следует из рис. 2 оценка достоверности процесса моделирования сопровождается все реализуемые итерационно этапы разработки имитационных приложений.

Особенности реализации имитационных экспериментов в последовательном моделировании

Системы имитационного моделирования (имитационные системы) включают следующие компоненты: язык моделирования в качестве входного языка системы, транслятор (компилятор), обеспечивающий перевод языков определения модели в пригодный для исполнения на компьютере код, интерпретатор. Компонента "интерпретатор" отсутствует в традиционных системах программирования.

Ядро имитатора представлено модулем СХЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ, являющегося программной реализацией принятой во входном языке обобщенной модели функционирования сложных систем. В состав интерпретатора включены определения объектов и средств, специфических для задач моделирования сложных систем: ВРЕМЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ (играет роль часов и используется для отсчета системного време-

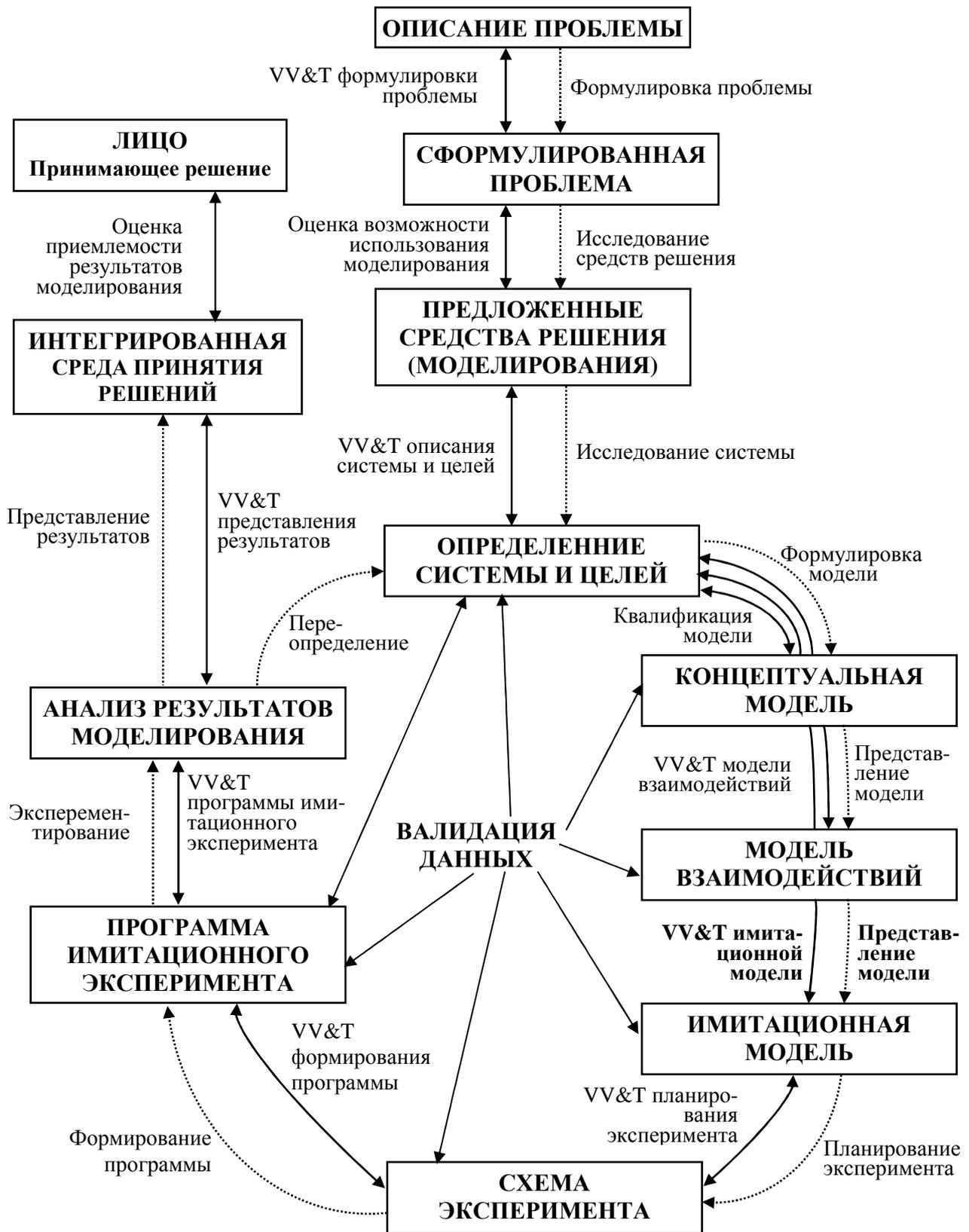


Рис. 2. Схема О. Балчи разработки и реализации имитационных приложений

ни эволюции системы); КАЛЕНДАРЬ – механизм наблюдения за временем и фиксации его изменения; встроенные объекты УСТРОЙСТВО, ПАМЯТЬ,

ОЧЕРЕДЬ, ГИСТОГРАММА; средства синхронизации процессов, порождения и удаления объектов различных классов, формирование очередей и д.р.

СХЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ обеспечивает контроль и управление процессом развития событий во времени (упорядочение и синхронизация событий, исполнение событий в квазипараллельном режиме). Основными компонентами программной среды поддержки имитационных экспериментов являются: системная компонента (имитатор или симулятор) и проблемно-ориентированная составляющая, представленная имитационной моделью вместе с соответствующей схемой эксперимента.

На рис. 3 показана общая структура и функциональные взаимосвязи указанных компонент.

В определении имитационной модели наряду с описанием пассивных и ак-

тивных объектов (PASOBJ и AKTOBJ) включается описание факторов, откликов и переменных модели. Множество факторов характеризует оцениваемые альтернативы, а значения откликов выступают в роли оценки таких альтернатив. Переменные модели включают данные, содержащие функциональные, структурные и потоковые характеристики исследуемой системы.

Сценарий эксперимента включает определение наблюдаемых переменных, функции цели и стандартного набора модулей, ориентированных на поддержку соответствующих этапов эксперимента. Набор таких модулей является инвариантным по отношению к приложениям, но их функциональность определяется спецификой самих приложений. Основное функциональное назна-

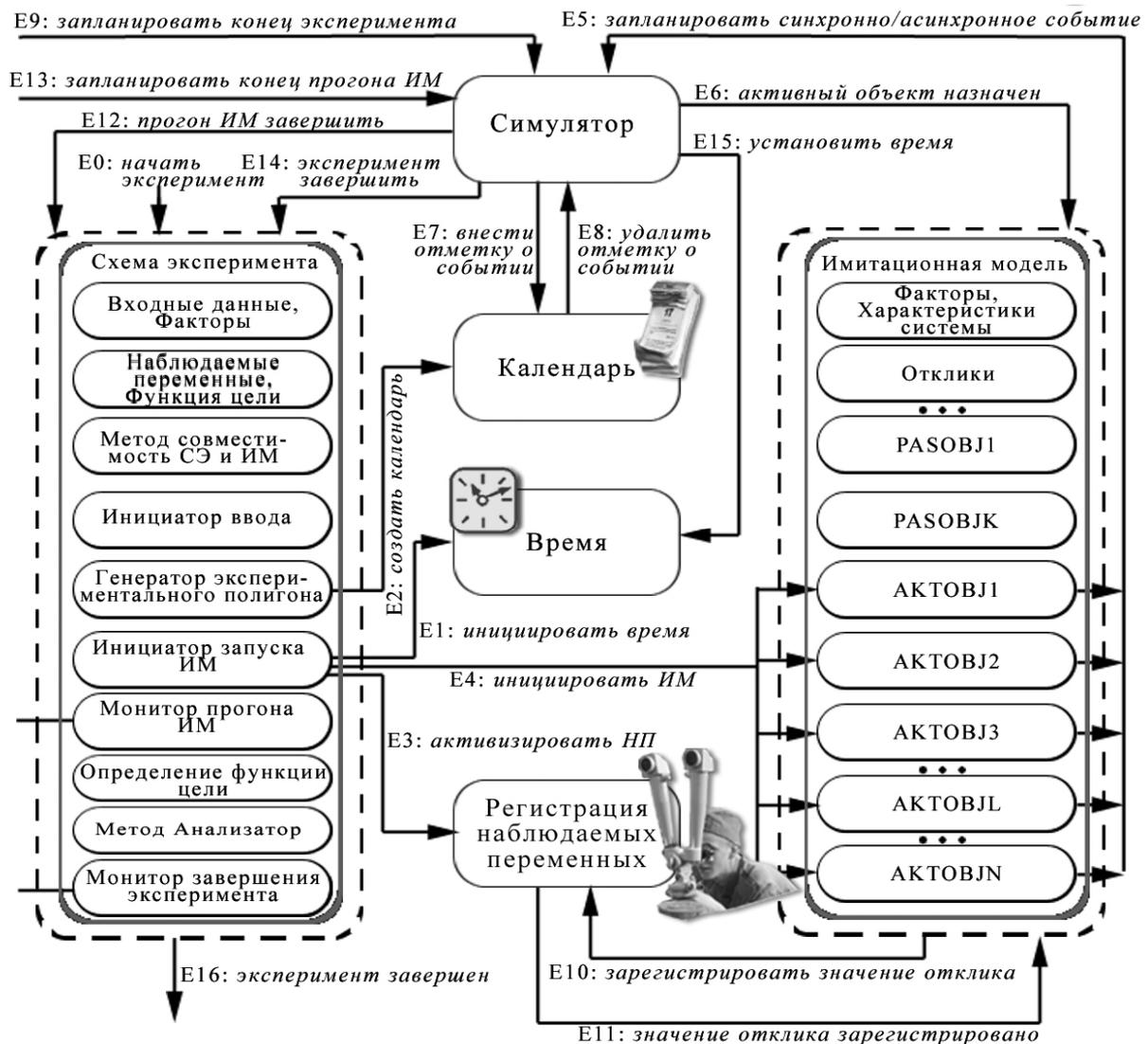


Рис. 3. Стандартная схема реализации типовых сценариев последовательных имитационных экспериментов

чение модулей сценария отражается в их названии. Наблюдаемые переменные являются множеством регистрируемых в процессе эксперимента откликов модели. Имитационная модель передает значения своих откликов процедурам-измерителям, которые управляют регистрацией последних. Значение функции цели определяются на основании факторов и полученных значений откликов.

В процессе реализации компьютерных экспериментов имитационная модель и соответствующая схема эксперимента интегрируются в рамках программы имитационных экспериментов с такими общесистемными компонентами как симулятор, время моделирования, календарь.

Особенности реализации распределенных оптимизационно-имитационных экспериментов

На рис. 4 показана виртуальная среда поддержки оптимизационно-имитационных экспериментов, реализуемых на базе системы NEDOPT_D [12].

В соответствии с парадигмой компонентной архитектуры данная среда реализована в виде двух автономно функционирующих компонент (имитатора – NEDIS_D и оптимизатора), взаимодействующих через специально разработанный механизм интерфейса. Оптимизационная стратегия NEDOPT_D базируется на метаэвристических стратегиях оптимизации, в том числе генетический алгоритм, и использует концепцию популяции хромосом-решений.

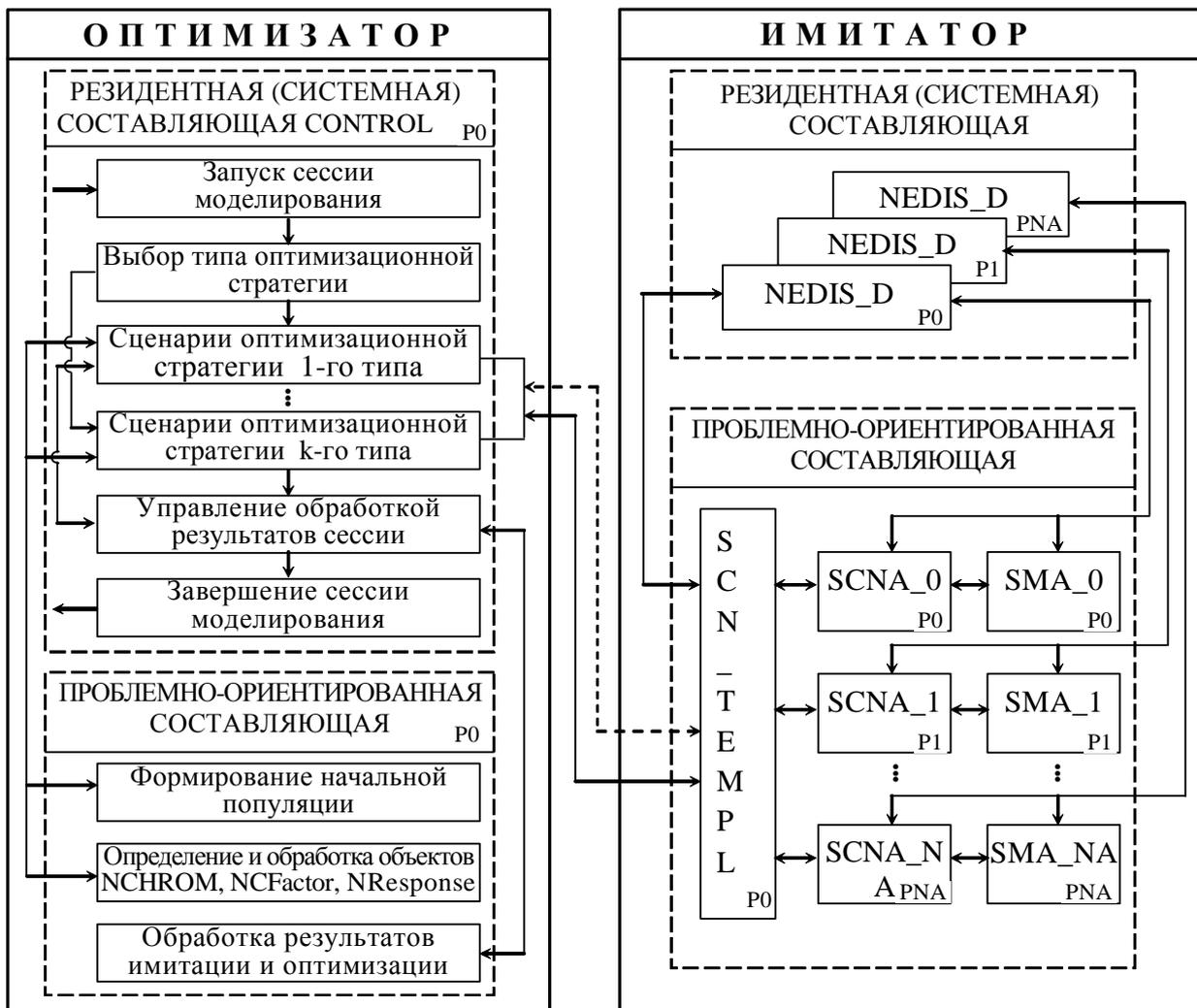


Рис. 4. Виртуальная среда поддержки системы NEDISOPT_D

Определяющая соответствующую оцениваемую альтернативу каждая хромосома-решения состоит из множества факторов, интерпретируемых как гены хромосомы.

Система NEDOPT_D допускает направленный поиск оптимальных решений как в режиме последовательного моделирования, так и в режиме распределенного моделирования (на сетевой архитектуре). Все исследования осуществляются согласно специально разработанной унифицированной схемы реализации оптимизационно-имитационных экспериментов [14].

На рис. 4 приняты такие обозначения:

- NCHROM, NCFactor, NResponse – специально введенные стандартные объекты системы NEDISOPT_D, используемые для представления хромосом – решений, наборов факторов и результатов прогонов приложений соответственно;

- P0,...,PNA – номера сетевых компьютеров, на которых осуществляются прогоны отдельных приложений в соответствии со схемой, представленной на рис. 3;

- SCNA_0,...,SCNA_NA – сценарии отдельных приложений;

- SMA_0,...,SMA_NA – соответствующие указанным сценариям версии имитационных моделей;

- SCN_TEMPL – сценарий-шаблон, обеспечивающий запуск заданного числа параллельно исполняемых приложений.

Заключение

Созданные в отделе методов системного моделирования имитационные системы различных поколений являются оригинальными разработками, выполненными на уровне зарубежных достижений. В процессе создания этих систем были разработаны оригинальные входные языки, методологии и технологии моделирования, обеспечена их программная реализация. Следует отметить, что все работы проводились в связи с выполнением ответственной прикладной тематики и получили в свое время широкое внедрение и применение.

К перспективным направлениям развития представленных исследований следует отнести: использование мультипарадигменных подходов в системах имитационного моделирования; использование имитационного моделирования в качестве неотъемлемой составляющей бизнес-процессов; разработка распределенных интегрированных сред моделирования, базирующихся на концепции оптимизационно-имитационной интеграции; использование программных платформ на основе кластерных архитектур; Web-базируемая реализация распределенных имитационных приложений. В принципе, квалифицированный пользователь должен получить доступ к имитационным ресурсам в пределах локальной вычислительной сети, корпоративной сети или Internet, оформив свои приложения в соответствии с общепринятыми типами архитектурных шаблонов.

1. *Становление и развитие имитационного моделирования в Украине / В.Б. Бигдан, В.В. Гусев, Т.П. Марьянович и др. // Тр. Международного симпозиума "Компьютеры в Европе. Прошлое, настоящее и будущее". – Киев: Феникс, 1998. – С. 182–193.*
2. *Борщев А.В., Карпов Ю.Г. Профессиональный инструмент имитационного моделирования AnyLogic // Тр. первой всероссийской научно-практической конференции ИММОД-2003. – Санкт-Петербург: ФГУП ЦНИИ технологии судостроения, 2003. – Том 1. – С. 64 – 69.*
3. *Томашевский В.Н., Богушевская Н.В. Интерактивная система имитационного моделирования ISS-2000. // Тр. первой всероссийской научно-практической конференции ИММОД-2003. – Санкт-Петербург: ФГУП ЦНИИ технологии судостроения, 2003. – Том 1. – С. 190 – 194.*
4. *Fujimoto R.M. Parallel and Distributed Simulation // in Proceedings of the Winter Simulation Conference. –1999. – P. 122 – 131.*
5. *Бигдан В.Б, Марьянович Т.П., Сахнюк М.А. От последовательных к распределенным технологиям в имитационном моделировании // Тр. первой всероссийской научно-практической конференции ИММОД-2003. – Санкт-Петербург: ФГУП ЦНИИ техно-*

- логии судостроения, 2003. – Том 1. – С. 59 - 63.
6. *HLA – High Level Architecture* <http://www.dms0.mil/public/transition/hla>
 7. *Литвинов В.В., Казимир В.В., Гавсиевич И.Б.* Распределенная система имитационного моделирования на основе архитектуры CORBA // Математичні машини і системи. – 2000. – № 2/3. – С. 111 – 114.
 8. *Гусев В.В., Галаган Т.Н., Яценко Н.М.* Технологическая система распределённого имитационного моделирования NEDIS_D // Тр. первой научно-практической конференции с международным участием "Математичне та імітаційне моделювання – МОДС `2006". – С. 139–144.
 9. *К вопросу о реализации метаэвристических стратегий оптимизации моделирования / В.А. Пепеляев, М.А.Сахнюк, Ю.М. Черный и др.* // Компьютерная математика.– 2005. – № 2. – С. 26–33.
 10. *Талуев Ю.И., Рихтер К.* Комплексное применение имитационного моделирования при моделировании при реализации концепции e-Manufacturing // Тр. первой всероссийской научно-практической конференции ИММОД-2003.– Санкт-Петербург: ФГУП ЦНИИ технологии судостроения, 2003. – Том 1. – С. 23 – 27.
 11. Программные средства моделирования непрерывно-дискретных систем / В.М. Глушков, В.В. Гусев, Т.П. Марьянович и др. // Киев: Наук. думка, 1975. – 152 С.
 12. *Пепеляев В.А.* О некоторых аспектах применения метаэвристических стратегий оптимизации // Теорія оптимальних рішень. – 2005. – № 4. – С. 42 – 48.
 13. *Пепеляев В.А., Черный Ю.М.* О современных подходах к оценке достоверности имитационных моделей // Тр. первой всероссийской научно-практической конференции ИММОД-2003.– Санкт-Петербург: ФГУП ЦНИИ технологии судостроения, 2003. – Том 1. – С. 142 - 147.
 14. *Бігдан В.Б., Пепеляєв В.А., Чорний Ю.М.* Уніфікована схема реалізації оптимізаційно-імітаційних експериментів // Проблеми програмування. – 2006. – № 2/3. – С. 728 – 733.

Получено:17.05.2007

Об авторе:

Пепеляев Владимир Анатольевич,

кандидат физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник.

Место работы автора:

Институт кибернетики им. В.М. Глушкова
НАН Украины,
Киев-187, просп. Академика Глушкова, 40.
Тел.: 526 3507.
e-mail pepelaev@yahoo.com