

УДК 681.3

## Влияние современных информационных технологий на развитие средств автоматизации имитационного моделирования сложных дискретных систем

В. Д. ЛЕВЧУК

### Введение

Имитационное моделирование, как метод изучения сложных систем (СС) применяется уже почти 50 лет и существенно зависит от возможностей вычислительной техники. Первоначально значительное внимание уделялось вопросам воспроизведения на компьютерах случайных величин и процессов. Для решения более сложных задач, в первую очередь, не хватало вычислительных мощностей. С появлением ЭВМ третьего и четвертого поколения акцент переместился на программные вопросы: схемы объединения и формирования моделирующих алгоритмов, способы организации квазипараллелизма, развитие языковых средств, статистические методы постановки, реализации и обработки результатов имитационных экспериментов (ИЭ). Параллельно усилия исследователей были направлены в сторону создания формальных схем представления СС и развития технологических средств, позволяющих автоматизировать переход от формального описания к программе модели.

В результате многочисленных исследований во всем мире был накоплен положительный опыт внедрения имитационного моделирования в различных предметных областях. В частности, были предложены различные методо-ориентированные и предметно-ориентированные схемы описания взаимодействия структурных компонентов объекта моделирования [1, 2]. На их основе разработчики стремились создать язык моделирования, позволяющий решать задачи исследования на уровне понятий предметной области. Более того, неожиданным эффектом реализации специального класса для имитации в языке моделирования SIMULA стало обобщение предложенного подхода, что выразилось в разработке концепции объектно-ориентированного программирования [3], изменившей стандарты программирования. В настоящий момент она является тем базисом, на основе которого разрабатываются огромные программные комплексы. В силу глобального распространения высокопроизводительных персональных компьютеров создание таких комплексов требует массового «производства» специалистов в области информационных технологий, прежде всего, программистов.

Обзор возможностей инструментария, использовавшегося при проектном моделировании на ЭВМ вплоть до 90-х годов прошлого века [2, 4, 5], т.е. в эпоху до глобальной компьютеризации, показывает, что методология постановки ИЭ и технологический уровень исследований на имитационных моделях (ИМ) не отвечают современным требованиям. Не удивительно поэтому, что такие распространенные еще совсем недавно системы и языки моделирования, как НЕДИС, ИМСС, ДИНАМО, СИМУЛА-ИПМ, МПЛ/1, PL SIM и др. [4] вышли из употребления, так как оказались нереализованными на персональных ЭВМ в среде распространенных сегодня операционных систем. Ко всему прочему, на протяжении, как минимум, десяти лет в периодической научной печати, распространявшейся на постсоветском пространстве, практически отсутствовали публикации по средствам автоматизации имитационного моделирования. А немногочисленные монографии по данной тематике [5–8] отражали результаты и дорогостоящий программный инструментарий иностранных научных центров, подавляющее большинство из которых находится в США и Канаде.

За последние пять лет ситуация с публикациями изменяется к лучшему, чему способствовало в том числе открытие в 2002 году информационных ресурсов <http://www.gpss.ru> и

<http://www.simulation.org.ua>, где отражены новейшие результаты, полученные исследователями из России и Украины. В настоящей статье обобщаются новые тенденции развития средств автоматизации имитационного моделирования. На основе проведенного анализа был разработан программно–технологический инструментарий, позволяющий эффективно выполнять проекты на имитационное моделирование сложных дискретных систем.

### **1 Задачи разработки программно–технологического инструментария автоматизации имитационного моделирования**

Как выше отмечалось, с наступлением эпохи глобальной компьютеризации образовался разрыв между современным состоянием информационных технологий и инструментарием автоматизации имитационного моделирования. Факторы, препятствующие использованию данного метода исследования, устарели и требуют переосмысления. В частности:

- «разработка хорошей имитационной модели часто обходится дорого и требует много времени, а также наличия высокоодаренных специалистов» [9];
- «дороговизна: разработка хорошей ИМ часто обходится дороже создания аналитической модели и требует больших временных затрат [5];
- «большой расход машинного времени» [10];
- «языки моделирования и системы программирования лишь частично решают проблему построения и эксплуатации моделей сложных систем, так как программирование достаточно сложных моделей даже с использованием специальных языков моделирования мало отличается от разработки аналогичного по сложности комплекса программ любого другого назначения» [2].

Приведенные выше цитаты сводятся к выводу, что реализация проекта на имитационное моделирование – это ресурсоемкий в различных аспектах процесс. Полностью с данным тезисом нельзя согласиться. В любом имитационном исследовании присутствуют, по меньшей мере, три стадии: подготовка к программированию, программирование, постановка экспериментов с программой ИМ. Первая стадия связана со сбором данных о моделируемом объекте, изучением исследователем его функционирования и представлением объекта с помощью формализма того симулятора, с помощью которого будет создана программа имитационной модели. Две следующие стадии связаны с использованием различных инструментальных средств, где как раз и был достигнут огромный прогресс в области информационных технологий. Сегодня существует огромная армия высококлассных программистов, которым под силу быстрое и качественное написание больших объемов кода при использовании объектно–ориентированного подхода в реализации проектов.

Однако изначально такие популярные языки моделирования, как GPSS [5], SLAM [8], Simulink [7], Simscript [3], АСИМ [4] были ориентированы, в первую очередь, на пользователя, имеющего отдаленное представление о программировании. В силу данного обстоятельства разработчики моделей зачастую не имеют возможности адекватно отразить функционирование изучаемого объекта в достаточной степени. Упрощение исходных предпосылок (концептуальных моделей) ставит под сомнение у заказчиков проектов ценность получаемых результатов.

С другой стороны, пользователь при таком подходе в едином лице представляет и разработчика, и исследователя, и заказчика ИМ. Однако в реальности ИМ создаются не одиночками, а, как правило, научными коллективами, в которых существует жесткая иерархия и распределение труда. Новые информационные технологии как раз и направлены на согласование коллективного характера работы. Поэтому востребованным будет тот моделирующий инструментарий, который позволяет эффективно объединять усилия различных специалистов для решения задач исследования и проектирования СС.

В настоящее время имеется несколько зарекомендовавших себя симуляторов: GPSS World [10], AnyLogic [11], Arena [1], eM–Plant [12]. Их главный недостаток заключается в том, что расходы на приобретение коммерческой версии, несоизмеримо высоки по сравнению с расходами на создание библиотеки имитации, позволяющей выполнять проекты грамотным

инженерам, владеющим методами программирования. При этом необязательно требовать владения самыми последними достижениями в области объектно–ориентированного анализа, в частности, шаблонами проектирования [13]. Достаточно уметь обрабатывать такие базовые структуры данных, как массив или коллекция объектов. Последнее, опять же в силу развития методик обучения информационным технологиям, – повседневная действительность.

Таким образом, задача разработки программно–технологического инструментария, который позволит на основе единого методологического базиса создавать проблемно–ориентированные средства имитационного моделирования различных СС включает в себя комплекс следующих частных подзадач:

- предложить концепцию структуризации объекта моделирования с точки зрения специалиста предметной области;
- предложить базовую схему формализации компонентов объекта моделирования, отвечающую представлениям исследователя предметной области;
- создать методику преобразования формальной модели в программу ИМ, которая по своей сути представляет собой платформно–независимый язык моделирования, вложенный в базовый распространенный универсальный язык программирования и интегрированную среду разработки программ на данном языке;
- реализовать управляющую программу моделирования, объединяющую различные способы организации квазипараллелизма в ИМ и поддерживающую введенную базовую схему формализации объекта моделирования;
- классифицировать проектные задачи различных предметных областей, на основе чего предложить сценарии ИЭ, позволяющие проводить испытание модели и исследование ее свойств, принимать качественные управленческие решения по результатам постановки экспериментов;
- предложить схему организации интерфейса программного и информационного обеспечения предметной области с инструментарием имитационного моделирования;
- обеспечить возможности адресной презентации и изучения объекта, процесса и результатов моделирования различными категориями специалистов, представляющих коллектив предметной области.

## 2 Базовое обеспечение имитационного моделирования

Ядром базового обеспечения имитационного моделирования является разработанная под руководством автора данной статьи система моделирования (СМ) MICIC4 [14]. В основу СМ MICIC4 положена давно изобретенная и успешно апробированная концепция разделения труда.

Рассмотрим взаимодействие специалистов, вовлеченных в процесс моделирования. Идея воспользоваться инструментальными средствами моделирования может прийти к администратору, который имеет внутри своего предприятия научное подразделение, где по определению должны быть системные аналитики (математики) и прикладные программисты (далее просто программисты). При этом новое поколение системных аналитиков владеет технологиями программирования и основами алгоритмизации. Если заказчик не вправе рассчитывать на собственные силы, то он оплачивает разработку проектов внешней научной организации, укомплектованной, как правило, еще более профессиональными кадрами.

С другой стороны, реализованные модели (приложения или некоторые подсистемы приложения) являются составной частью инструментария инженерного подразделения заказчика, которое решает повседневные задачи функционирования и управления предприятием. От сотрудников данного подразделения ни в коем случае нельзя требовать знания программирования. С системным аналитиком инженера объединяет знание методики постановки натуральных и модельных экспериментов.

Естественно предполагать, что каждый специалист имеет свое представление о СС. Оно соответствует его профессиональным интересам, знаниям, опыту. Администратор склонен рассматривать управляемую им систему как «черный ящик», который в ответ на входные

воздействия получает определенные результаты. Инженер и системный аналитик рассматривают отклики системы как следствие заданной структуры объекта моделирования и значений параметров отдельных его подсистем и элементов. При этом они четко представляют механизм взаимодействия всех составных частей СС. Передача информации идет от инженера к аналитику. Последний в результате абстрагирования должен формализовать задачу и сузить ее до отдельных конструкций и понятий, с которыми работают программисты.

Таким образом, функционирование СС необходимо рассматривать на нескольких уровнях. Для каждого уровня специалистам следует разрабатывать соответствующую модель. Можно выделить следующие задачи при реализации проекта на моделирование СС:

- создание концептуальной модели, отражающей, в первую очередь, взгляд на объект моделирования со стороны коллектива заказчика;
- преобразование концептуальной модели в формальное описание СС, соответствующее представлениям аналитика и служащее исходным заданием для программиста;
- алгоритмизация, кодирование и отладка механизмов информационного взаимодействия отдельных элементов ИМ;
- описание вариантов использования ИМ, т.е. схемы постановки, реализации и обработки результатов ИЭ, настроенных на квалификацию инженера;
- демонстрация результатов моделирования и их следствий администратору и потенциальным клиентам предприятия, заказавшего проект на моделирование.

При построении концептуальной модели следует придерживаться блочно–сетевой концепции структуризации, принятой в МІСІС4. Это позволит системному аналитику естественным образом построить описание объекта в соответствии с базовой схемой формализации МІСІС4. Центральное место в данной иерархии задач занимает этап программирования ИМ. Программист должен воспользоваться языком моделирования МІСІС4, чтобы обеспечить реализацию ИЭ. Поскольку в настоящее время существуют очень развитые технологии программирования, то данный язык моделирования реализован как библиотека к широко распространенному объектно–ориентированному языку программирования С++. В таком случае от программиста не потребуется дополнительно изучать новый язык моделирования, детально вникать в синтаксические конструкции, приобретать опыт отладки и верификации программ ИМ. Он будет использовать привычный ему полнофункциональный инструментальный интегрированной среды разработки приложений на С++. Именно отсутствие необходимости специального обучения может привести к решению реализации проекта силами собственного научно–исследовательского подразделения заказчика.

Таким образом, разработчик языка моделирования МІСІС4 предоставляет программисту интерфейс для определения структуры ИМ, описания информационного взаимодействия между ее элементами, обработки результатов моделирования в процессе реализации ИЭ. После завершения ИЭ важно обеспечить передачу результатов моделирования во внешнюю программную среду, позволяющую наилучшим для заказчика образом презентовать достигнутый эффект, или для дальнейшего использования.

В соответствии с поставленными задачами в языке моделирования МІСІС4 предлагается трехмодульная структура программы ИМ. Назначение каждого модуля представлено в таблице 1. Из таблицы следует, что в процессе написания программы ИМ участвуют три класса специалистов. Аналитик занимается постановкой экспериментов с некоторым семейством моделей, которое в обобщенном виде создает программист, и обработкой результатов моделирования. Все множество ИМ соответствует концептуальному описанию исходной СС. Программист, в свою очередь, использует тот интерфейс, который предоставляет ему разработчик МІСІС4. То есть именно программист, активно использующий язык моделирования для определения структуры ИМ и описания информационного взаимодействия элементов в общем виде, должен владеть технологией объектно–ориентированного программирования. Программный интерфейс является постоянным и функционально полным в рамках базовой схемы формализации МІСІС4, что позволяет создавать ИМ различных по своей природе СС.

В силу того, что разработчик МІСІС4 всегда один и тот же, системный модуль является уникальным и неизменным для всех ИМ, написанных на языке моделирования МІСІС4.

Аналитик и программист модели представляют различные научные или производственные коллективы. Так как в любом эксперименте независимо от конкретной структуры ИМ ее элементы взаимодействуют по фиксированным алгоритмам, то информационный модуль, создаваемый программистом, соответствует определенной концептуальной модели СС. Наконец, с одной и той же ИМ можно решить различные задачи, поставив произвольное количество ИЭ. Поэтому аналитик наиболее подходящим образом формирует способы постановки планов ИЭ и обработки результатов моделирования, определяя функциональные модули ИМ на основе одного и того же информационного модуля. При этом, если ИЭ будут встроены в некоторый стандартизированный пользовательский диалог, то непосредственно решением проблем исследования и проектирования СС будет заниматься инженер, который принимал активное участие в постановке задачи на моделирование. Таким образом, предложенная схема реализации проектов, образно представленная на рисунке 1, органично сочетает знания и опыт различных коллективов специалистов.

Таблица 1

Назначение модулей в программе на языке MICIC4.

Модуль	Назначение	Содержание
Функциональный	Определение и реализация эксперимента с моделью	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Определение глобальных данных;</li> <li>• выбор типа эксперимента;</li> <li>• инициализация параметров модели;</li> <li>• определение откликов;</li> <li>• запуск модели на имитацию;</li> <li>• обработка и вывод результатов.</li> </ul>
Информационный	Описание информационного взаимодействия элементов модели	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Определение иерархической структуры ИМ;</li> <li>• описание интерфейсов компонентов модели;</li> <li>• определение типов экспериментов;</li> <li>• программирование активностей;</li> <li>• переопределение необходимого для данной модели множества функций и методов;</li> <li>• предоставление требуемых аналитиком возможностей по постановке экспериментов.</li> </ul>
Системный	Предоставление интерфейса для программиста ИМ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Реализация базовых классов для компонентов модели, статистики, откликов, постановки эксперимента и стохастических потоков внешних событий;</li> <li>• разработка множества системных функций;</li> <li>• обеспечение корректной работы алгоритмов организации квазипараллелизма и управления имитацией;</li> <li>• предоставление механизмов работы с датчиками псевдослучайных чисел;</li> <li>• настройка типовых и часто используемых внутренних переменных для объектов модели;</li> <li>• программирование функций и свойств элементов в соответствии с базовой схемой формализации.</li> </ul>

Общий программно-технологический инструментарий имитационного моделирования можно сравнить с цветочной клумбой. Системный модуль MICIC4 – это одновременно почва, питательная среда и техника выращивания уникальных цветков, т.е. информационных модулей. Лепестки каждого цветка, или функциональные модули, соответствуют задачам, решение которых может обеспечить данный цветок. По своей сути отдельный цветок является предметно-ориентированной системой моделирования. Ее возможности определяются рамками концептуальной модели изучаемой СС. Таким образом, проблемная ориентация базового инструментария имитационного моделирования реализуется посредством информационного модуля.

### 3 Инструменты предметной ориентации имитационных моделей

Одна из ключевых парадигм новой информационной технологии предполагает интегрированность различных программных продуктов для достижения единой цели. Следовательно, инструментам предметной ориентации ИМ необходимо уделять важное внимание. Более того, ИМ по своей природе не являются самодостаточными программными продуктами. Они могут идеально дополнять программное обеспечение заказчика блоком решения задач исследования функционирования СС или даже ее управления. Следовательно, разрабатываемые ИМ должны обеспечивать гибкий интерфейс с БД предметной области, вызываться на выполнение из внешней программной среды, импортировать результаты ИЭ в OLAP-пакеты пользователей. Необходимость решения данных задач учитывалась при проектировании MICIS4. При этом ключевая роль принадлежит следующим ее возможностям:

- вложенность языка моделирования в стандартный язык программирования C++, что обеспечивает кодирование и отладку ИМ внутри любой интегрированной среды разработки C++ приложений и, как следствие, на произвольной платформе;
- открытость кода MICIS4, предоставляющая неограниченные возможности по адаптации ИМ под решение собственных задач;
- ИМ на MICIS4 кодируются на стандартном языке программирования, что не требует от разработчиков моделей специального обучения методам программирования (но не методу формализации ИМ);
- модульный подход при программировании ИМ, при этом предоставляется интерфейс для внедрения модулей MICIS4 в программное обеспечение заказчика;
- компактность объектных модулей программы ИМ и, как следствие, наличие достаточного ресурса памяти для учета взаимодействия элементов СС на высоком уровне детализации;
- эффективность ИМ, под чем понимается выполнение ИЭ в разумное время;
- реализация множества классов для генерации стандартных и пользовательских отчетов;
- предоставление надстроек для обработки и отображения результатов моделирования.

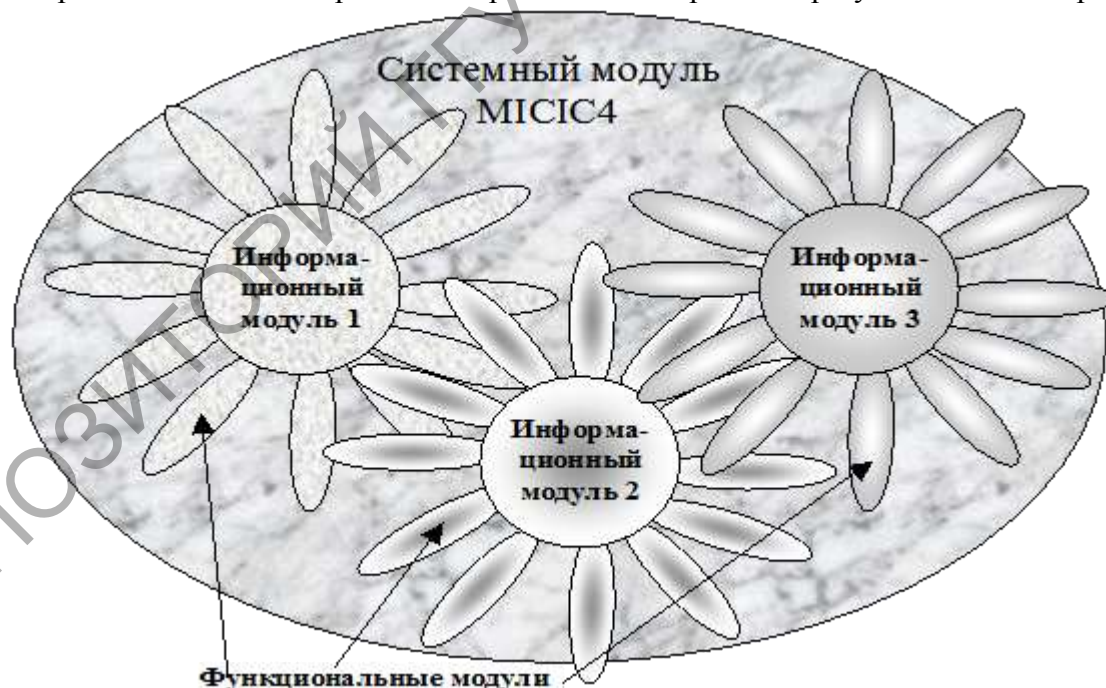


Рисунок 1 – Образная интерпретация схемы реализации проектов на моделирование в MICIS4

Форма предметной ориентации определяется функциональным модулем ИМ. В настоящее время наше внимание сосредоточено на трех вариантах организации загрузочного модуля.

1. Консольное приложение, выходом которого является выборка, как правило, в текстовом формате. Далее эта выборка импортируется в наиболее подходящую исследователю

программную среду статистической обработки данных. Данный вариант приемлем в тех случаях, когда ИМ используются одноразово для решения уникальных задач, а также при отсутствии какой-либо информационной системы у заказчика ИМ.

2. Стандартное приложение с диалоговым интерфейсом, выходом которого может быть как детальная выборка, так и окончательное множество оценок откликов, по виду которого исследователь сразу принимает управленческое решение. Данный способ имеет смысл реализовать при многократных запусках ИМ для решения типовых задач.

3. Функциональным модулем служит информационная система заказчика, которая расширяется множеством форм, обеспечивающих реализацию ИЭ и обработку результатов моделирования. Именно в данном случае достигается полноценная предметная ориентация средств автоматизации имитационного моделирования. При этом множество имитационных моделей оказывается неотъемлемой частью программного обеспечения заказчика, которое по своей сути является автоматизированной системой управления предметной областью.

#### 4 Стратегия и тактика решения задач предметной области

Несмотря на многообразие СС их имитационное моделирование возможно за счет универсального формального способа организации квазипараллелизма. Аналогично, множество возникающих задач также необходимо решать на основе ограниченного количества планов ИЭ. Разработка формальной схемы организации ИЭ облегчается тем фактором, что ИМ в первую очередь предназначены для ликвидации дефицита натурной информации от функционирования СС. Моделью натурной информации служит выборка, полученная от эксперимента с адекватной ИМ. Невозможно добиться адекватности ИМ без правильного решения тактических и стратегических задач постановки ИЭ [2].

В МІСІС4 плану ИЭ соответствует отдельный класс, который основан на следующей иерархии. План ИЭ представляет собой совокупность опытов, которые различаются между собой начальными состояниями ИМ. Опыт состоит из множества прогонов, т.е. множества реализаций запуска программы ИМ на отрезке  $[T_{нач}; T_{кон}]$ . Каждый прогон в опыте выполняется с одним и тем же начальным состоянием ИМ, но с различными начальными значениями базовых генераторов псевдослучайных чисел. При этом для каждой стохастической переменной используется уникальная последовательность чисел.

В МІСІС4 разработаны и реализованы следующие классы процедур для решения тактических задач (то есть относящихся к прогону и опыту) планирования ИЭ:

- задания начального состояния опыта;
- определения окончания опыта;
- оценки чувствительности откликов к варьированию переменных модели;
- уменьшения дисперсии в опыте с ИМ;
- определения окончания переходного периода в прогоне ИМ;
- определения времени окончания прогона;
- оценки адекватности ИМ.

Для решения стратегических задач разработаны следующие процедуры:

- простейший анализ типа «что-если», когда исследователя интересует количественная оценка, характеризующая функционирование одного из вариантов СС;
- выявление эффектов воздействия некоторых факторов на состояние СС или показатели ее функционирования;
- построение поверхности отклика, которая может дать качественную оценку характеристик системы: количество экстремумов, крутизна поверхности, наличие седловой точки или гребня и т.д.;
- поиск такой комбинации уровней количественных факторов, которая обеспечивает оптимальное значение критерия качества системы, используя, например, методологию поверхности отклика;
- сравнение по критерию эффективности различных вариантов СС или стратегий их

применения с целью определения такого подмножества, которое наиболее предпочтительно по принятому критерию эффективности.

## **5 Место и границы визуальных компонентов в технологии имитационного моделирования**

Общеизвестно, что большую часть информации человек воспринимает через зрительные органы. Неудивительно поэтому, что визуализация стала частью имитационного моделирования с самого начала зарождения данного научного направления. Более того, известно множество специализированных средств, где написание программы модели существенно облегчается при представлении функционирования объекта либо его подсистем в форме некоторой графической схемы. Это замечание справедливо также для MICIC4. В ее основе находится базовая схема формализации СС, где большинство положений имеет наглядную графическую интерпретацию. Так, статическая структура объекта моделирования представляет собой дерево. Горизонтальные связи между вершинами дерева (обслуживаемыми устройствами) соответствуют некоторым маршрутам следования динамических единиц – транзактов. Механизм обслуживания транзакта на устройстве есть множество активностей, которое также удобно представить графом. Естественно, для повышения уровня автоматизации имитационного моделирования в среде MICIC4 апробируются следующие идеи:

- отображения в графическом приложении процессов первичного изучения, формализации и будущей презентации СС и результатов ее моделирования;
- объединения формального описания с созданием программы модели путем преобразования графических образов в соответствующие языковые конструкции языка моделирования MICIC4;
- отображения динамики функционирования ИМ в рамках разработанной формальной модели для ее наглядной верификации.

Следует, однако, отметить, что стремление использовать богатые функциональные возможности мощных графических продуктов может легко привести к зависимости от этих систем и нерациональным затратам времени. Поставив задачу использования графического материала, например, для отображения структуры ИМ, необходимо найти эффективный путь ее решения знакомыми и несложными средствами, обеспечив при этом доступ к созданным образам. Это особенно важно, поскольку, как показывает практический опыт, процесс подготовки уникальной в некотором смысле презентации, демонстрации и внедрения моделирующего комплекса у заказчика в итоге занимает большую часть работы в целом. Поэтому предлагаются специализированные средства, обеспечивающие необходимую для имитационного моделирования функциональность и позволяющие избежать указанные выше трудности.

### **Заключение**

Создание высокопроизводительных персональных компьютеров и распространение технологии объектно-ориентированного программирования было неразрывно связано с ростом профессионального мастерства и количества прикладных программистов. В связи с этим обстоятельством многие приложения поставляются вместе со встроенным языком, позволяющим автоматизировать взаимосвязанные этапы работы в приложении, расширяя тем самым его возможности. Причем для программистов предпочтительнее, когда в качестве встроенного языка используется не уникальный, а известный язык программирования. Именно такой подход был применен при разработке MICIC4, где язык моделирования реализован как библиотека к широко распространенному объектно-ориентированному языку программирования С++.

При разработке инструментария автоматизации имитационного моделирования независимо от уровня развития информационных технологий важная роль принадлежит базовой схеме формализации объектов моделирования. С нашей точки зрения очень перспективно



объединение транзактного и процессного способов организации квазипараллелизма в ИМ. Нами предложен такой вариант объединения, при котором функционирование СС отображается по транзактной схеме (т.е. как поток обслуживания динамических элементов – транзактов на статических устройствах), а обслуживание транзакта на устройстве представляет собой процесс.

В соответствии со сделанными предпосылками в языке моделирования MICIC4 предложена трехмодульная структура программы ИМ. Разработчик языка моделирования MICIC4 предоставляет прикладному программисту системный модуль, содержащий интерфейс для определения структуры ИМ, описания информационного взаимодействия между ее элементами, обработки результатов моделирования в процессе реализации ИЭ. В результате выполнения данных этапов создается информационный модуль, который служит исходным шаблоном для написания множества тривиальных по своему синтаксису и семантике функциональных модулей. С их помощью исследователь реализует решение задач моделирования предметной области. Таким образом, проблемная ориентация базового инструментария имитационного моделирования обеспечивается информационным модулем. Форма предметной ориентации определяется функциональным модулем ИМ.

В контексте предложенного программно–технологического инструментария не стоит придавать ключевую роль визуальным компонентам построения программ ИМ. В противном случае, прежде всего в попытках создания универсальной моделирующей среды, необходимо постоянно увеличивать количество визуальных блоков и связей между ними на уровне базовой схемы формализации. Как следствие, программистам придется обременять себя фактически изучением новой технологии проектирования ИМ, что является весьма сдерживающим субъективным фактором, который изначально не принимается во внимание даже опытными исследователями. В то же время визуальные компоненты могут быть полезны для отображения процессов первичного изучения и формализации СС, презентации результатов моделирования и наглядной верификации ИМ.

В настоящее время MICIC4 апробируется в следующих предметных областях: технологические процессы производства [15], транспортные потоки [16], вычислительные процессы в телекоммуникационных сетях [17, 18], коммерческая деятельность [19] и др. Результаты апробации представляют отдельный интерес и выходят за рамки данной статьи.

**Abstract.** The creation of powerful personal computers and the expansion of object-oriented programming technology have presented new possibilities for complex simulation systems. Various factors influencing the development of automation environments of simulation experiments are considered and the conception of method-oriented simulation toolkit MICIC4 is offered in the paper.

### Литература

1. Лоу, А. Имитационное моделирование. Классика CS/ А. Лоу, В. Кельтон. – 3-е изд. – СПб.: Питер; Киев: BHV. – 2004. – 847 с.
2. Технология системного моделирования / Е.Ф. Аврамчук, А.А. Вавилов, С.В. Емельянов, под общ. ред. С.В. Емельянова, Калашникова В.В. [и др.]. – М.: Машиностроение; Берлин: Техник, 1988. – 520 с.
3. Киндлер, Е. Языки моделирования / Е. Киндлер. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 288 с.
4. Максимей, И.В. Имитационное моделирование на ЭВМ/ И.В. Максимей. – М.: Радио и связь, 1988. – 232 с.
5. Харин, Ю.С. Основы имитационного и статистического моделирования: учебное пособие/ Ю.С. Харин, В.И. Малюгин, В.П. Кирлица [и др.]. – Мн.: Дизайн ПРО, 1997. – 288 с.
6. Задачи и модели ИСО. Ч.3. Технология имитации на ЭВМ и принятие решений: Уч. пособие / И.В. Максимей, В.Д. Левчук, С.П. Жогаль, В.Н. Подобедов; под общ. ред. И.В. Максимея. – Гомель: БелГУТ, 1999. – 150 с.

7. Гультаев, А.К. MATLAB 5.2. Имитационное моделирование в среде Windows: Практическое пособие / А.К. Гультаев. – СПб.: КОРОНА принт, 1999. – 288 с.
8. Прицкер, А. Введение в имитационное моделирование и язык СЛЭМ-II / А. Прицкер. – М.: Мир, 1987. – 647 с.
9. Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука/ Р. Шеннон. – М.: Мир, 1978. – 418 с.
10. Рыжиков, Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технологии / Ю.И. Рыжиков. – СПб.: КОРОНА принт; М.: Альтекс-А, 2004. – 384 с.
11. Карпов, Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5/ Ю.Г. Карпов.– СПб.: БХВ–Петербург, 2006.– 400 с.
12. Томашевський, В.М. Моделювання систем/ В.М. Томашевський.– К.: Видавнична група ВНУ, 2005.– 352 с.
13. Гамма, Э. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования/ Э. Гамма, Р. Хелм, Р. Джонсон, Дж. Влиссидес. – СПб.: Питер, 2001. — 368 с
14. Левчук, В.Д. Программно–технологические комплексы имитации сложных дискретных систем/ В.Д. Левчук.– Гомель: ГГУ им. Ф.Скорины, 2006. –263 с.
15. Левчук, В.Д. Имитационное моделирование технологического процесса производства с иерархической структурой/ В.Д. Левчук// Реєстрація, зберігання і обробка даних Т. 8, №3, 2006. –С. 89–103.
16. Максимей, И.В. Имитационная модель технологических процессов на городском транспорте/ И.В. Максимей, В.Д. Левчук, В.Н. Галушко [и др.] // Информатика.– 2006.– №2.– С. 124-134.
17. Маслович, С.Ф. Технологическое обеспечение имитационного моделирования организации распределенной обработки информации в ЛВС/ С.Ф. Маслович// Известия ГГУ им. Ф. Скорины. – 2003.– №3.– С. 42–46.
18. Никишаев, В.А. Ресурсно–ориентированная имитационная модель вычислительного процесса в узле ЛВС/ В.А. Никишаев// Известия ГГУ им. Ф. Скорины. – 2003.– №4.– С.37–40.
19. Левчук, Е.А. Применение имитационного моделирования для исследования обслуживания клиентов в оптовом магазине / Е.А. Левчук // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. – 2003, №4. С.13–17.