



**Владимир Васильевич Девятков** - к.т.н., д.э.н., зав. лабораторией Академии наук Республики Татарстан, Казань, директор ООО «Элина-Компьютер».

Область профессиональных интересов – методология и технологии разработки систем автоматизации имитационных исследований.

## **СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ИМИТАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ – РАЗРАБОТКА, РАЗВИТИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ**

**В.В. Девятков (Казань)**

**Тел.: 292-38-67, 8(903) 341-44-35, e-mail: [vladimir@elina-computer.ru](mailto:vladimir@elina-computer.ru)**

В данной статье приведены результаты разработки концептуальных принципов разработки и совершенствования систем автоматизации имитационных исследований (САИИ), обеспечивающих функциональность, простоту и массовость исследования. Сформулирован «желаемый» пользователем образ системы имитации. Приведены примеры реализации новых подходов, базирующиеся на технологии массовой разработки САИИ.

### **Введение**

Первые языки и системы имитационного моделирования (далее ИМ) возникли еще в 60-е годы прошлого столетия. Наибольшую роль в последующем развитии ИМ сыграли семейства языков GPSS [1], Simula [2], SIMSCRIPT [3]. Всего, за всю историю развития ИМ, было разработано свыше 500 языков. Многие из этих языков уже не поддерживаются разработчиками и практически не используются (например, SIMULA). Другие стали менее популярны в силу отставания от современного уровня IT технологий (например, SIMSCRIPT и GPSS). Появились и новые языки, получающие все большее распространение среди исследователей (например, AnyLogic [4]). Главной отличительной особенностью всех существующих языков является то, что методологической основой их создания и применения является концепция «Этапов и состояний». В мире ИМ ее чаще называют традиционным (классическим) подходом к ИМ. Создателями этого подхода стали независимо друг от друга целый ряд советских и зарубежных ученых – Н.П. Бусленко [5], В.В. Калашников, но наибольшее применение

она приобрела после публикации фундаментальных трудов Т. Нейлора и Р. Шеннона [6], [7].

Несмотря на существенно возросший уровень возможностей существующих языков и систем ИМ, все более четко, особенно на фоне современных информационных технологий, выделяются следующие основные недостатки классического подхода:

- Отсутствует нацеленность на автоматизацию всех действий исследователя. В процессе исследования остается еще много ручных операций. Многие этапы информационно разобщены.
- Не заложены системные основы для сокращения времени проведения исследования. В результате оно остается длительным (месяцы) и не соответствует требованиям Заказчиков, которым необходим результат исследования существенно быстрее (недели а, иногда, и дни). И только тогда они готовы платить деньги.
- Не рассматриваются вопросы упрощения процесса исследования. Это приводит к невозможности массового применения метода ИМ среди инженеров, экономистов и менеджеров.
- Жизненный цикл моделей очень мал. Стандартной является ситуация - разработал модель, провел исследование, отчитался перед Заказчиком и все. А ведь модель, как и сама система, может (и должна) существовать с момента ее создания и до исчезновения самой системы.

### **Системы автоматизации имитационных исследований**

Понятие системы автоматизации имитационных исследований (САИИ) было введено достаточно давно, но не получило такого распространения, как термин ИМ. Постепенно ученые пришли к выводу, что помимо последовательного описания и использования отдельных теоретических методов и алгоритмов по созданию и использованию модели, требуется расширенная трактовка всего цикла исследования с использованием имитационной модели. Эта трактовка несколько раз дополнялась и уточнялась [8], [9], особенно в связи с развитием возможностей информационных технологий. В настоящее время основную суть САИИ можно сформулировать следующим образом:

*САИИ – это интегрированный программный комплекс, позволяющий исследователю проводить весь цикл имитационных исследований на своем компьютере и обеспечивать при этом исследователя набором необходимых профессионально исполненных и математически адекватных методов и средств.*

Как должна строиться современная САИИ? Из каких программных модулей должна складываться? Каким должен быть язык взаимодействия исследователя с САИИ? Ответы на эти и многие другие вопросы всегда волновали как разработчиков, так и исследователей.

### **Желаемый пользователем «образ» системы имитации**

В настоящее время резко возрос уровень ожиданий пользователей языков и систем ИМ. Пользователь хочет работать с понятной ему, функционально мощной и технологически совершенной системой. Желаемый пользователем «образ» системы

имитации, собранный нами из опыта взаимодействия с исследователями и Заказчиками, в самом общем виде можно сформулировать следующим образом:

- Удобные и понятные графические диалоги разработки моделей и работы с ней на всех этапах исследования;
- Полностью автоматизированные и взаимодополняющие действия пользователя в рамках одной программной среды;
- Единые базы данных моделей и результатов;
- Возможность осуществлять моделирование оперативно (быстро и в любом месте) на мобильных электронных устройствах (например, планшетах и смартфонах);
- Создание, для коллективного или индивидуального использования, удаленных облачных сервисов, охватывающих весь цикл исследования;
- Возможность связи с другими программами - системами мониторинга, офисными системами, ERP системами, для оперативного обмена исходными данными и результатами моделирования;
- Наличие средств автоматизации подготовки отчетов об исследовании и выработки рекомендаций на основе системного анализа и обработки накапливаемых в базе данных результатов экспериментов.

### **Эволюция методов и средств проведения исследования.**

Все последующие годы с момента описания традиционного подхода непрерывно осуществлялось совершенствование приемов, методов и технологии проведения имитационного исследования сложных систем (далее ИИСС). Многие годы шла эволюция процесса организации и проведения ИИСС. Появлялись новые теоретические методы, вносились некоторые методические изменения при реализации тех или иных действий пользователя на отдельных этапах ИИСС. Но наибольшее развитие требовали технологии организации и проведения ИИСС.

Можно выделить следующие естественные направления эволюции процесса ИИСС:

1. Автоматизация ручных операций и действий исследователя на всех этапах ИИСС посредством создания новых программ.
2. Совершенствование существующих программных средств с целью улучшения их функциональных свойств, в частности, за счет внедрения новых теоретических разработок и использования современных информационных технологий.
3. Изменение структуры ИИСС – добавление новых этапов, модернизация или объединение существующих этапов.
4. Введение методов и технологии коллективной работы при проведении ИИСС, разграничение функций пользователей.
5. Модернизации технологии проведения вычислений в процессе ИИСС – перевод наиболее сложных вычислений на более высокопроизводительные компьютеры, а интерфейс пользователя с системой ИМ на персональные и мобильные устройства (планшеты, телефоны и др.).

За более чем 50 летний период эволюции ИИСС на каждом из этих направлений были достигнуты определенные локальные успехи, чаще всего для отдельных этапов ИИСС. В последние годы, в связи с колоссальным прогрессом информационных технологий, стало возможным прервать монотонный процесс естественной эволюции процесса ИИСС и сделать революционный скачок. Суть идеи проста и очевидна - подойти к вопросу совершенствования проведения ИИСС комплексно – автоматизировать не один, а сразу все этапы процесса, объединить это в единую программную систему.

Т.е. превратить желаемый пользователем «образ» системы ИМ в реальную САИИ - с универсальным языком общения, интегрированными базами данных, распределенными вычислениями и использовать многие другие возможности современных информационных технологий.

### **Основные концептуальные принципы разработки САИИ**

На основе стремительного роста возможностей информационных технологий, эволюции методов и подходов в проведении ИМ, стремления расширить круг пользователей ИМ, а также по результатам множества проведенных исследований и опыта практической работы нами были сформулированы следующие концептуальные принципы совершенствования САИИ:

- - принцип «Единое исследовательское пространство»;
- - принцип «Стандартизация процесса имитационных исследований»;
- - принцип «Коллективных исследований»;
- - принцип «Распределенных вычислений».

Принцип «Единое исследовательское пространство». Он заключается в интеграции в рамках одного программного комплекса всех расчетных и модельных процедур, которые необходимы для проведения всего цикла исследования в данной предметной области. Это не только построение имитационной модели и работа с ней, а и различные аналитические, технологические, экономические и другие расчеты необходимые в процессе исследования. Например, при моделировании транспортных систем это использование электронных карт местности, файлов мониторинга интенсивности движения транспорта, аналитических моделей управления траекторией движением транспортных средств, расчет себестоимости, окупаемости, транспортно-экономического баланса и т.д. Реализация этой концепции позволяет существенно приблизить специалиста любой предметной области к модели и в целом расширить границы применения метода.

Принцип «Стандартизация процесса имитационных исследований». Исполнение различных этапов имитационного исследования требует от исследователя исполнения множества разнотипных операций и действий. Программы, автоматизирующие эти действия, как правило, созданы разными разработчиками, используют сильно отличающиеся диалоги ввода данных и анализа результатов, чаще всего информационно никак не связанных друг с другом. Тем более это присуще ручным операциям. Очевидно, что систематизировать годами сложившийся «разнобой» и сбалансировать исследование возможно только используя стандартизацию при описании структур данных и результатов, введения унифицированного языка взаимодействия пользователя с программой. Все это позволит одновременно не только

ускорить процесс исследования, но и сделать его более простым в использовании, управляемым и доступным более широкому кругу исследователей.

Объективно имеются существенные различия в составе и формах представления исходных данных и результатов моделирования для каждой модели, и они зависят от уровня их детализации, предметной области, предпочтений исследователей и т.д. Также различаются исходные данные и результаты каждого этапа исследования. Системную основу унификации данных имитационного исследования составляет структурно-логистическая цепочка, сопровождающая любой процесс ИИСС:

**«проект – модель – исходные данные модели - эксперимент с моделью - серия экспериментов с моделью - результаты моделирования».**

Разработанная на основе данной цепочки концептуальные структуры БД «Исходных данных» и «Результатов моделирования» приведена на рис. 1 и 2.

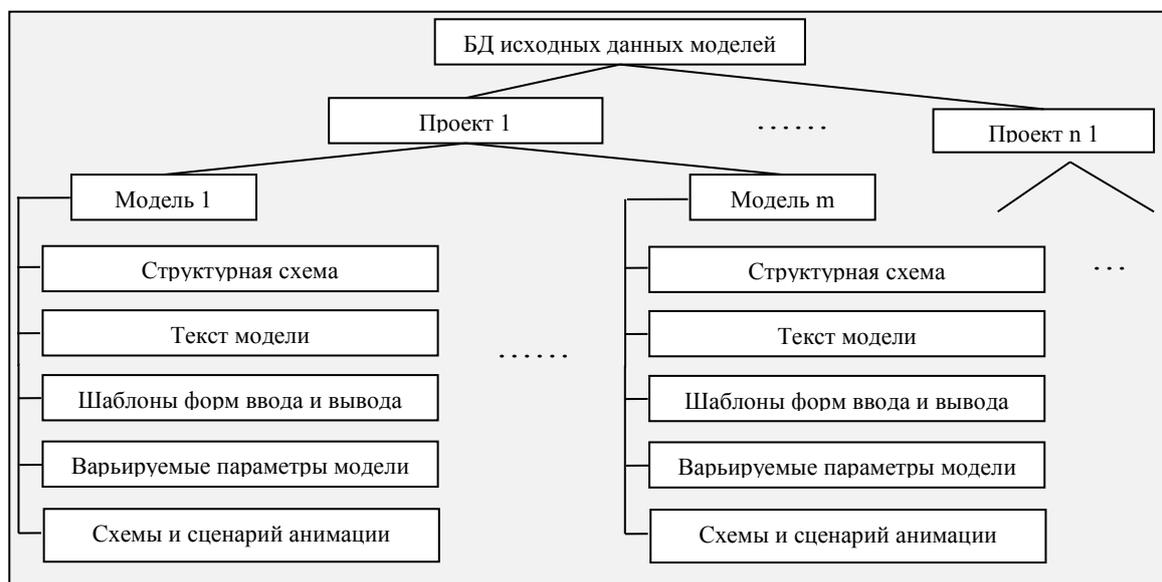


Рис. 1 – Концептуальная структура БД «Исходных данных».

Принцип «Распределенных вычислений». Современные архитектуры организации вычислительного процесса, позволяют перенести часть вычислений с персонального вычислительного устройства на другие компьютеры. Например, организовать облачные сервисы - сложные и унифицированные вычисления переходят на высокопроизводительные компьютеры (сервера и СУПЕР ЭВМ), а интерфейс исследователя – на мобильные вычислительные устройства (ноутбуки, смартфоны и планшеты). Все это также упрощает процесс ИИСС.

Такая архитектура может быть органично применена в проведении ИИСС, так как функционально он разбит на отдельные этапы. Наиболее сложные в вычислительном плане действия на этих этапах могут выполняться в облаке – создание и работа с БД, планирование экспериментов, само моделирование, анализ и интерпретация результатов моделирования, оптимизация и т.д.



Рис. 2 – Концептуальная структура БД «Результатов моделирования»

Принцип «Коллективных исследований». Во многих случаях имитационное исследование требует возможности проведения коллективных исследований. Либо когда за ввод данных отвечают одни, за подготовку и проведение экспериментов другие, а за анализ и обобщение результатов третьи. Либо для очень сложных систем и в случае обеспечения уровней конфиденциальности доступа к различным этапам ИИСС.

Реализация этого принципа позволит обеспечить доступ к одному и тому же исследованию нескольких исследователей, в соответствии с уровнем их полномочий, синхронизировать их работу, обеспечить управление версиями модели и изменениями данными (рис. 3).

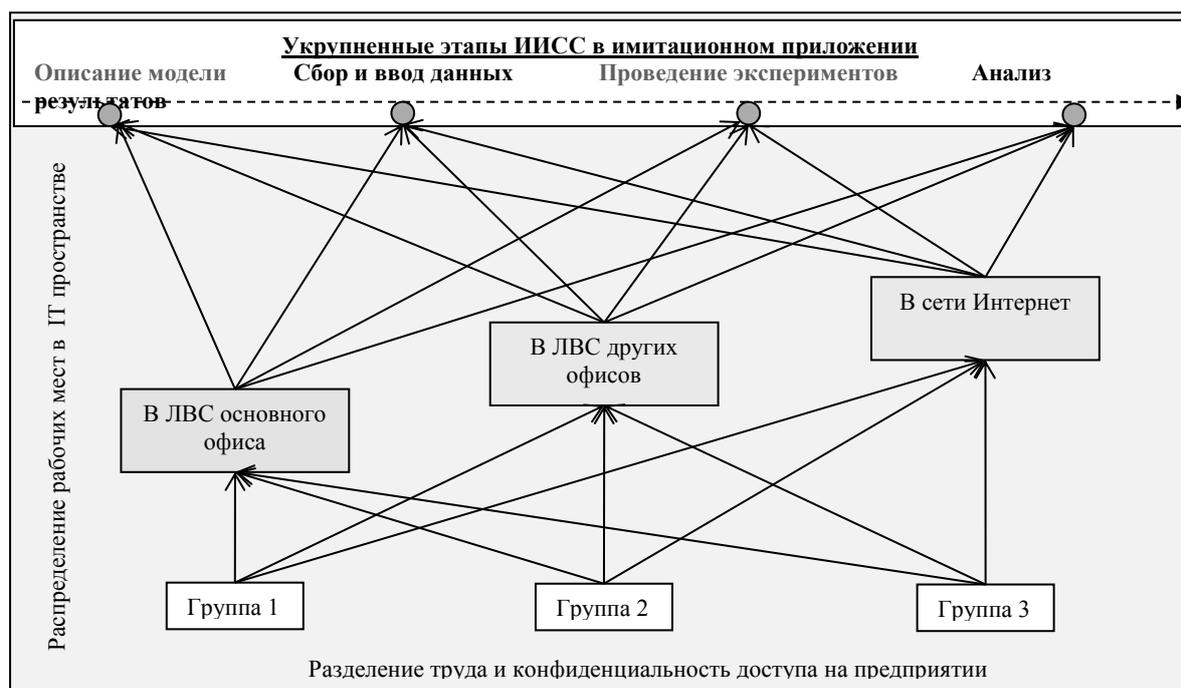


Рис. 3 – Коллективная работа в процессе ИИСС.

### Массовая разработка САИИ

Возможность наполнения единого исследовательского пространства необходимыми модельными и расчетными процедурами, разработка новых облачных сервисов, реализующих все большее количество расчетов в имитационном исследовании, унификация языка взаимодействия исследователя с моделью, создание множества типовых моделей и приложений – все это создало практические предпосылки создания технологии массовой разработки САИИ для различных областей науки и экономики.

И такая технология была создана. Базисом технологии является «Расширенный редактор GPSS World» [9]. В первую очередь это инструмент проведения процесса ИИСС для профессионалов ИМ по усовершенствованной методологии и на современном технологическом уровне. В нем в качестве «моделирующего ядра» используется система моделирования GPSS World. Среди множества новых функциональных возможностей расширенный редактор обладает рядом инструментов, позволяющих создать специализированное имитационное приложение для углубленного применения в той или иной предметной области.

Успех создания технологии массовой разработки САИИ от прочности союза профессионала ИМ и специалистов предметной области, для которой будет строиться имитационное приложение. Сначала специалист определяет закономерности и описывает типовые элементы и структуры, характерные для предметной области. На основе результатов этой работы и с помощью средств №Расширенного редактора GPSS World» профессионал ИМ и специалист предметной области совместно формируют библиотеку типовых моделей и элементарных блоков предметной области. Далее из элементов этой библиотеки, используя разработанные методики и графический редактор структурных схем, можно как в конструкторе «собирать» требуемые для исследования модели. Средства расширенного редактора GPSS World обеспечивают при этом работоспособность, адекватность модели и возможность

проведения полноценного имитационного исследования. Следует отметить, что технология массовой разработки означает для конечного пользователя полное отсутствие элементов программирования и позволяет ему сосредоточиться на самом исследовании.

Данная технология успешно апробирована в ряде реальных проектов: исследовании транспортной логистики агропромышленного парка, анализе транспортной системы Универсиады-2013 в городе Казани, оценке эффективности проектов для канатных дорог и т.д.

В результате получаются полнофункциональные имитационные приложения, которые позволяют проводить детальное исследование в выбранной предметной области. Для примера эффективности технологии, на рис. 4 приведены изображения разработанной исследователем структурной схемы и одной из форм динамического анализа результатов, полученные при работе САИИ - «Канатная дорога».

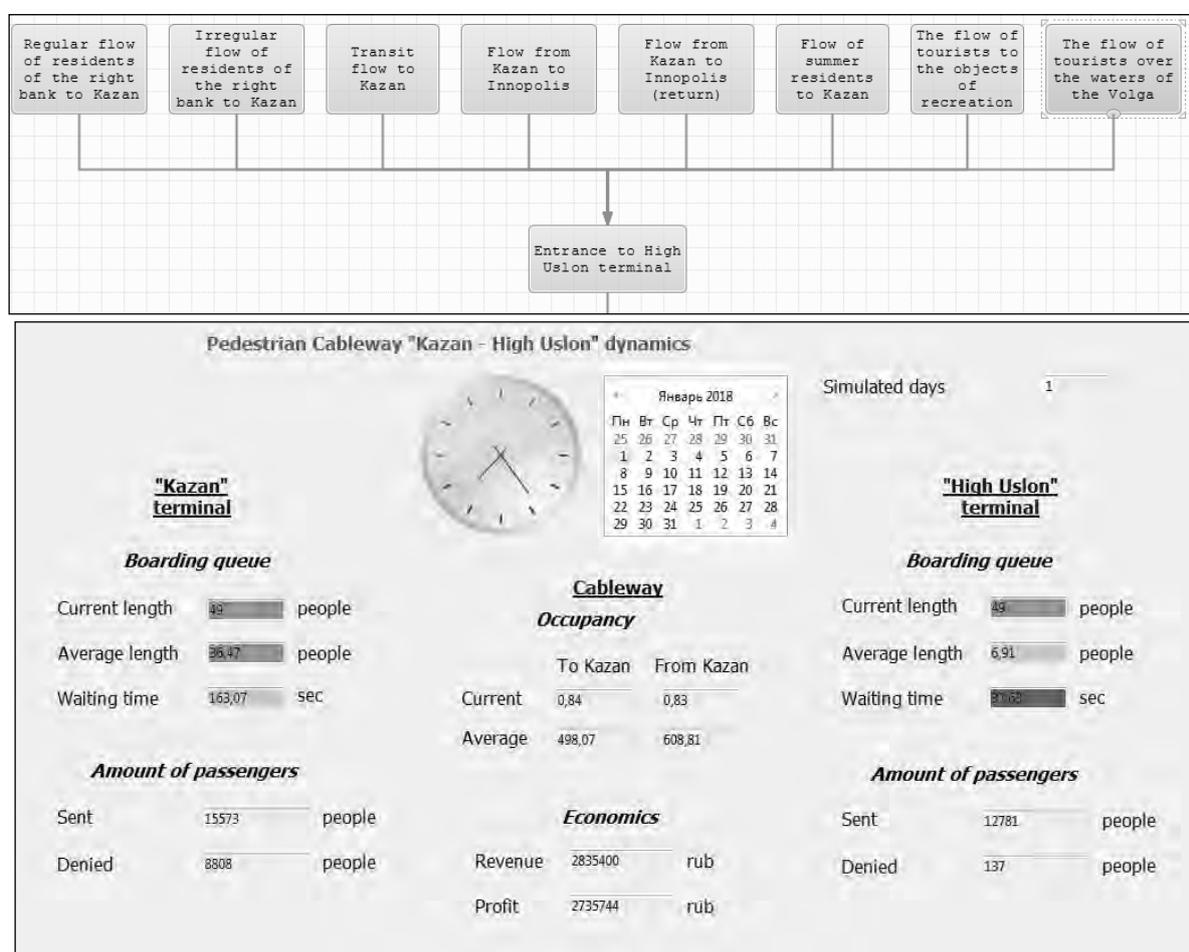


Рис. 4 – Примеры использования технологии массовой разработки САИИ

## Выводы

Потенциал применения моделирования был достаточно велик, но классический подход к проведению исследования ограничивал реализацию этого потенциала высокими профессиональными требованиями к исследователю.

Разработка и практическая реализация концептуальных принципов разработки САИИ позволила существенно повысить возможность реальных применений метода ИМ:

Во-первых, за счет существенного ускорения времени разработки проведения ИИСС, в среднем с нескольких месяцев до одного месяца и менее.

Во-вторых, за счет расширения круга пользователей ИМ в результате возможности создания специализированных САИИ, применение которых не требует специальных навыков программирования.

### Литература

1. Gordon, Geoffrey. A General Purpose Simulation Systems Simulation Program / Geoffrey Gordon // Proc. EJCC. – Washington: D.C., Macmillan Publishing Co., Inc., New-York, 1961, P. 87-104.
2. Дал, У. СИМУЛА-67 / У. Дал, Б. Мюрхауг, К. Ньюгорд. – М.: Мир, 1967. – 127 с.
3. Марковиц Г. SIMSCRIPT. Алгоритмический язык моделирования / Г. Марковиц, Б. Хауснер, Г. Карр; пер. с англ. под редакцией чл.-кор. АН СССР Бусленко Н.П. – М.: Советское радио, 1966. – 151 с.
4. Карпов, Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 / Ю.Г. Карпов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 400 с.
5. Бусленко, Н.П. Метод статистического моделирования / Н.П. Бусленко. – М.: Статистика, 1970. – 112 с.
6. Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон. – М.: Мир, 1978. – 418 с.
7. Нейлор, Т. «Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем / Т. Нейлор; пер. с англ. – М.: Мир, 1975. – 500 с.
8. Девятков, Т.В. Некоторые вопросы создания систем автоматизации имитационных исследований / Т.В. Девятков // Прикладная информатика. – 2010. – №5(29). – С. 102–116
9. Девятков, В.В. Методология и технология имитационных исследований сложных систем: современное состояние и перспективы развития: монография / В.В. Девятков – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2013. – 448 с.