

ЭВОЛЮЦИЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ – ОТ «ИСКУССТВА И НАУКИ» К МАССОВОМУ ПРИМЕНЕНИЮ

В.В. Девятков (Казань)

Введение

В настоящее время в арсенале исследователя для проведения имитационного моделирования (ИМ) существует множество языков и систем. Наиболее популярными и используемыми из них являются: SIMIO [1], AnyLogic [2], ExtendSim [3], Arena [4], GPSS World [5]. Моделирующие возможности этих систем впечатляют, имеется реальная возможность создания модели практически любой сложной системы. Но вопросы практического применения инструментов ИМ в реальной экономике, несмотря на очевидные успехи в их развитии, остаются практически на том же уровне, что и сорок лет назад. До сих пор ИМ не стало массовым инженерным инструментом и остается в основном уделом профессионалов, жизнь требует создания простых, удобных и понятных многим аналитикам инструментов.

Наши многолетние исследования показывают, что потенциал рынка ИМ в России (впрочем, как и в любой стране мира) чрезвычайно велик. В табл. 1 приведены основные направления исследования при создании, эксплуатации и модернизации различных типов дискретно-событийных организационно-технических систем.

Таблица 1

Основные области применения метода ИМ в экономике

Тип системы	Основные направления исследования
Промышленность	Логистика поставок сырья, материалов, комплектующих, логистика сбыта продукции, внутренняя логистика, совершенствование технологии и организации производства, планирование и баланс мощностей и т.д.
Транспортные и логистические системы	Оптимизация пропускной и провозной способности, совершение транспортных схем и парковочного пространства, планирование расписаний и маршрутов, обеспечение транспортно-экономического баланса и т.д.
Сервисное обслуживание	Снижение экономических издержек обслуживания, повышение оперативности обработки запросов, логистика сервиса, анализ вариантов размещения сервисных центров и т.д.
Торговля	Совершенствование цепей поставок, размещение логистических и распределительных центров, улучшение организации и технологии продаж, планирование потока клиентов и т.д.
Сельское хозяйство	Снижение времени и издержек сельскохозяйственных кампаний (посевных, уборочных), совершенствование технологических процессов в животноводческих комплексах, улучшение организации хранения и сбыта продукции и т.д.
Строительство	Экспертиза графика и ресурсов строительства, логистика поставок стройматериалов, совершенствование транспортных схем и парковок вокруг объекта и т.д.
Системы связи и телекоммуникаций	Анализ достаточности или избыточности структуры и мощностей, путей повышения надежности функционирования, потоков заявок, пакетов и сообщений и т.д.
Вычислительные системы	Совершенствование архитектуры построения, анализ времени реакции системы, проверка различных алгоритмов вычислений и программных инструментов и т.д.
Инфраструктурные проекты	Планирование и координация проекта, снижение экономических затрат, проверка проектных решений и т.д.
Банки и финансы	Тестирование алгоритмов и систем защиты, подбор необходимой конфигурации аппаратно-программных средств, проверка различных стратегий управления и т.д.
Предоставление государственных услуг	Совершенствование структуры обслуживания, уменьшения возникающих очередей, снижение сроков обслуживания, обеспечение исполнения регламентных сроков и т.д.
Военное дело	Планирование проведения операций, логистика материально-технического обеспечения, снижение времени прохождения приказов, обучение на тренажерах-моделях и т.д.

Понятно, что это лишь часть возможных областей применения ИМ, но даже столь ограниченный список показывает, насколько велико многообразие систем и задач, которые требуют практических имитационных исследований. И чаще всего альтернативы имитационному исследованию нет, учитывая существующую и постоянно повышающуюся сложность задач. Так как в большинстве случаев большая размерность системы, сложная логика ее работы и случайный характер многих параметров не позволяют построить адекватную аналитическую модель.

Огромный потенциал и реалии применения ИМ

Особенно очевидна перспектива применения ИМ, если в качестве исследуемой системы рассматривать предприятие или его часть (цех, отдел, технологию). Мы не встречали еще ни одного руководителя, который бы нам сказал, что все оперативные задачи решены – логистика отлажена до нюансов, производственный процесс, планирование мощностей и технология работают без сбоев. А проблем в стратегическом планировании и прогнозировании развития и модернизации предприятия тоже нет. Наоборот, везде говорили, что возможности ИМ жизненно необходимы для решения этих задач и, возможно, они обязательно применят моделирование в будущем. На рис. 1 приведена выполненная автором оценка количества потенциальных и реальных имитационных исследований в год в России.

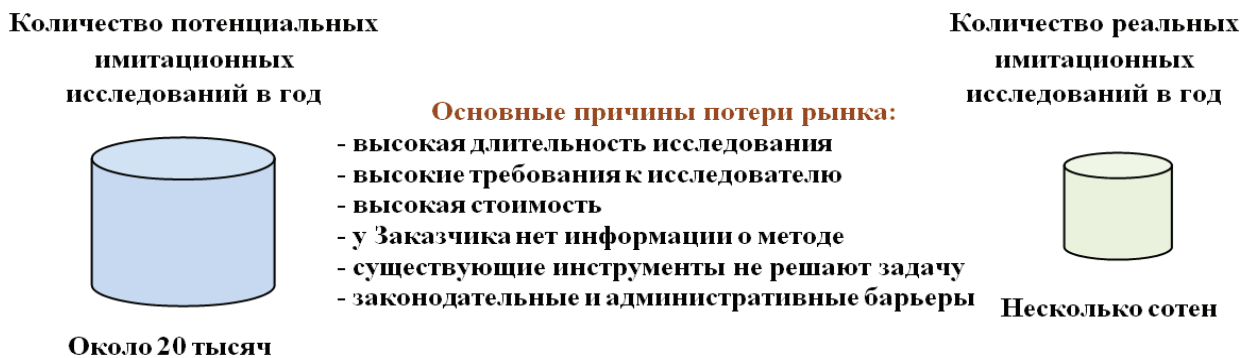


Рис. 1. Потенциальное и реальное применение ИМ

Как были получены эти цифры? По информации Госкомстата на 2016 г. в России насчитывалось более 270 тыс. малых, а также более 52 тыс. средних и крупных предприятий. При подсчете потенциального числа исследований учитывалось количество малых, средних и крупных предприятий. Если включение всех средних и крупных предприятий в потенциал пользователей ИМ понятно, то не каждое малое предприятие может себе позволить проведение имитационного моделирования. Но, учитывая, что в реестре субъектов малого предпринимательства под малым предприятием понимается предприятие, которое может достигать ста работников, а доход предприятия до 800 млн. руб. в год, то, как минимум, 10-15% предприятий этого типа уже достаточно сложные системы. Управление, планирование и прогнозирование их работы уже невозможно осуществлять вручную, и поэтому для оптимизации своих издержек такие предприятия также нуждаются в применении моделирования. Таким образом, потенциальная база предприятий для проведения имитационных исследований составляет примерно 80-100 тысяч предприятий. На каждом предприятии с целью снижения издержек может одновременно возникнуть не одна задача поиска «узких мест». Опыт нашего взаимодействия с крупными и средними предприятиями говорит, что число типов таких задач может достигать как минимум двух – анализ функционирования существующей системы с целью уменьшения издержек и прогнозирование результатов планируемой модернизации предприятия. Кроме того, могут исследоваться более детально проблемы отдельных частей производственной системы (технологии, логистики, планирования мощностей и т.д.). Таким образом, ежегодное количество потенциальных имитационных исследований в России может

достигать 200 тысяч. Допуская, что из них ежегодно нуждается в ИМ 10% из них, получаем 20 тысяч потенциальных имитационных исследований.

Сейчас в экономике создается и используется всего несколько сот моделей в год, без учета учебных моделей. Эта цифра близка к реальности и получена из регулярного обзора публикаций по тематике, обмена информацией с коллегами, анализа материалов конференций. Т.е. фактически используется лишь один процент потенциала метода ИМ. В итоге это упущенная прибыль предприятий, отказ от возможности увеличения объемов выпуска продукции, невозможность детальной проверки планов модернизации и т.д. Если отдельные предприятия теряют из-за этого миллионы рублей дополнительных доходов, то экономика в целом – миллиарды рублей.

Снятие законодательных и административных барьеров

Важным сдерживающим фактором в применении ИМ является практически полное отсутствие нормативной базы, регламентирующей проведение имитационных исследований. А если в обязательных для исполнения законах, стандартах, регламентах и инструкциях не прописаны какие-то работы, то очень сложно их включить в техническое задание и смету, как бы нам этого не хотелось.

Структурно нормативную базу для любого вида экономической деятельности можно разбить на несколько уровней – общегосударственный (федеральные законы), отраслевой (государственные стандарты, строительные нормы и правила, регламенты и т.д.), региональный (региональные законы).

Что в части нормативной базы, регламентирующей проведение имитационных исследований, мы имеем сейчас?

На федеральном уровне имеется только закон от 28 июня 2014 г. № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации». Некоторые члены нашего общества имитационного моделирования принимали экспертное участие в его разработке. В каждом регионе России в 2015-2016 г.г. были также приняты законы о стратегическом планировании. В частности, 20 февраля 2015 года был принят закон Республики Татарстан «О стратегическом планировании в Республике Татарстан». К сожалению, данные законы пока не работают, так как нет четкого административного механизма и средств на их реализацию. Хотя возможность исполнения многих задач, которые должны решать федеральные и региональные чиновники, можно проверить только на имитационной модели.

Во многих отраслях и регионах приняты стратегии развития на длительный период. Например, в министерстве транспорта России принята «Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года». В Республике Татарстан были приняты в форме законов стратегия развития республики и стратегия развития каждого отдельного района до 2030 года. В некоторых из них даже есть перечень НИР и ОКР, где без ИМ не обойтись. Но по тем же причинам (отсутствие административных механизмов и средств) они не исполняются.

В любом случае необходимо пытаться извлечь максимальную выгоду для реализации потенциала ИМ, опираясь на все эти законы и стратегии, проводя каждодневную работу с министерствами и ведомствами. Но большую перспективу для реализации потенциала ИМ имеет активизация работы Национального общества имитационного моделирования (НОИМ) по разработке федерального закона об имитационной экспертизе. Появление такого закона послужило бы мощнейшим аргументом при переговорах с собственниками систем и основанием для принятия соответствующих стандартов и регламентов в отраслях. Международная практика говорит о положительном влиянии таких законов на рынок исследований.

Тем не менее, в ряде отраслей уже имеются нормативные акты разрешающие (но не обязывающие) использование имитационного моделирования. Больше преуспела в этом транспортная отрасль – разработаны методики оценки пропускной способности для

автомобильных дорог, железнодорожных магистралей и воздушных коридоров, в которых основным методом идет аналитический расчет, а альтернативным и достаточно используемым методом является имитационное моделирование. Из собственной практики констатирую, что большинство руководителей РЖД уже не отвергают имитационное моделирование, а понимают, что это один из важнейших инструментов оптимизации издержек в компании.

К сожалению, в других отраслях дела обстоят хуже. Например, по прямому указанию одного из министерств Республики Татарстан мы работали с двумя мощными проектными институтами строительного профиля в Казани над оптимизацией транспортных схем вокруг проектируемых ими объектов. Раньше для расчетов они использовали аналитику и получали статическую картинку. Результаты и возможности ИМ, особенно учет динамики движения, впечатлили проектантов. Но в другие проекты (а их в год они выполняют десятки) мы так и не смогли войти, так как в первом случае нам просто сделали исключение. Ни в каких строительных нормах и правилах (СНИП) не регулируются вопросы применения ИМ. И даже если ГИП проекта захочет включить эту работу в смету, ему будет сложно это обосновать. Любая контролирующая инстанция просто накажет за это. Но зато есть СНИП, регулирующие различные виды экспертиз, например, экологическую экспертизу.

Резонно возникает вопрос – почему бы не направить усилия на создание подобных стандартов в различных отраслях для обязательного проведения имитационной экспертизы?

Если все же удастся выйти на поток создания моделей, то вопросы длительности экспертизы встанут очень остро. Так как планирование сроков исполнения обязательных работ в таких организациях стоят очень остро и ссылки на различные неопределенности, творческие аспекты никого не удовлетворяют. Также многие проектные институты сами захотят выполнять эту функцию, и инструмент моделирования должен обеспечить возможность работы с ним на инженерном уровне.

Методические проблемы исследования

При анализе ситуации с реализацией потенциала применения ИМ возникает вопрос – почему имеющийся арсенал современных языков и систем ИМ не может существенно расширить рынок имитационных исследований? Ведь моделирующая мощь этих инструментов огромна, они постоянно совершенствуются, расширяется уровень автоматизации этапов ИМ, используются мощные вычислительные ресурсы.

Вариантов ответов на данный вопрос достаточно много, ряд из них приведен на рис. 1. Но основной причиной является использование устаревшей классической концепции организации и проведения ИМ, предложенной еще в 60-70 годы прошлого столетия Н.П. Бусленко, Т. Нейлором и Р. Шенноном. В ней все исследование разделено на наиболее значимые и структурированные функциональные этапы. Именно под эту структуру много лет разрабатывались и использовались автономные программные инструменты, что затрудняло организацию комплексного исследования. Наиболее лаконично процесс моделирования в рамках этой концепции дал Р. Шеннон названием своего бестселлера «Имитационное моделирование систем – искусство и наука» [6]. Т.е. по его мнению, в полном объеме и качественно смогут выполнить имитационное исследование только профессионалы высокой квалификации, и при этом они должны проявить тонкую импровизацию и научную интуицию.

Исторически сложилось, что в языках и системах ИМ в основном идет ориентация на автоматизацию хоть и основной, но только части имитационного исследования – создание и отладку модели, а также проведение с ней экспериментов. Чаше всего для обработки используемых при исследовании статистических данных, оптимизации результатов экспериментов и выработки рекомендаций заказчику необходимо использовать другие

программные средства, обеспечивать экспорт/импорт данных и результатов между этими программами и системой моделирования. А в некоторых случаях и вовсе некоторые операции во время исследования необходимо выполнять вручную. В частности, для большинства систем это происходит при формулировании проблемы, постановке задачи и выработке рекомендаций. Это разрывает процесс имитационных исследований на отдельные части, «говорящие» на различных языках, требующих различный уровень компетенции и никак информационно не связанных друг с другом.

Конечно, в существующих языках ИМ чувствуется нацеленность на расширение автоматизации этапов исследования. В языках моделирования появляются отдельные, интегрированные в язык подсистемы: мониторинга, обработки статистики, планирования экспериментов и т.д. Но системного подхода при реализации процесса имитационных исследований в большинстве современных языков нет. В основном каждый разработчик действует по принципу разумной целесообразности и собственной выгоды. В результате проблемы, так ярко сформулированные Шенноном, немного сгладились, но все равно остались и в настоящее время.

Во-первых, разработчики не могут добиться длительности исследования, которая бы удовлетворила заказчиков. Хотя надо признать, что удалось ее снизить для крупных проектов в разы, в среднем с года до нескольких месяцев. Но необходимость использования программных продуктов различных производителей и возникающие при этом технологические и информационные разрывы процесса исследования не позволяет достичь приемлемого времени. А заказчику результаты нужны практически сразу, так как темпы принятия решений, создания проектов и проведения модернизаций непрерывно сокращаются. И сейчас, по крайней мере, первый экспресс-результат, требуется уже в течение нескольких недель.

Во-вторых, квалификационные требования к исследователю также остаются на очень высоком уровне. Он должен уметь ставить задачу, обрабатывать статистику, программировать, планировать эксперименты, интерпретировать результаты, находить оптимальные решения, формулировать рекомендации. Получается большой перечень квалификационных требований. Усугубляет все это разобщенность исследования по отдельным программам с различным интерфейсом и стандартами обмена данными.

Единое исследовательское пространство

Текущее состояние методологии и технологии моделирования [7] и мощь современных информационных технологий позволяет говорить о возможности и даже необходимости построения единого исследовательского пространства в рамках одного программного инструмента. Исследователь, находясь в любой точке мира, со своего компьютера должен иметь возможность выполнить любой этап имитационного исследования, воспользоваться результатами автоматического мониторинга исходных данных системы, произвести необходимые аналитические, инженерные и экономические расчеты. При этом он может использовать вычислительные и информационные ресурсы локальной сети и сети Интернет. Только такой подход может снизить время исследования и упростить процесс проведения ИМ. На рис. 2 схематично представлена концепция единого исследовательского пространства.

Классический подход базировался только на структурно-функциональном уровне независимых этапов ИМ. Единое исследовательское пространство является современным развитием классического подхода, и представляет собой уже парадигму, включающую четыре взаимосвязанных уровня – структурно-функциональный уровень, язык взаимодействия пользователя с программой, систему организации и обработки данных и уровень архитектуры вычислений.

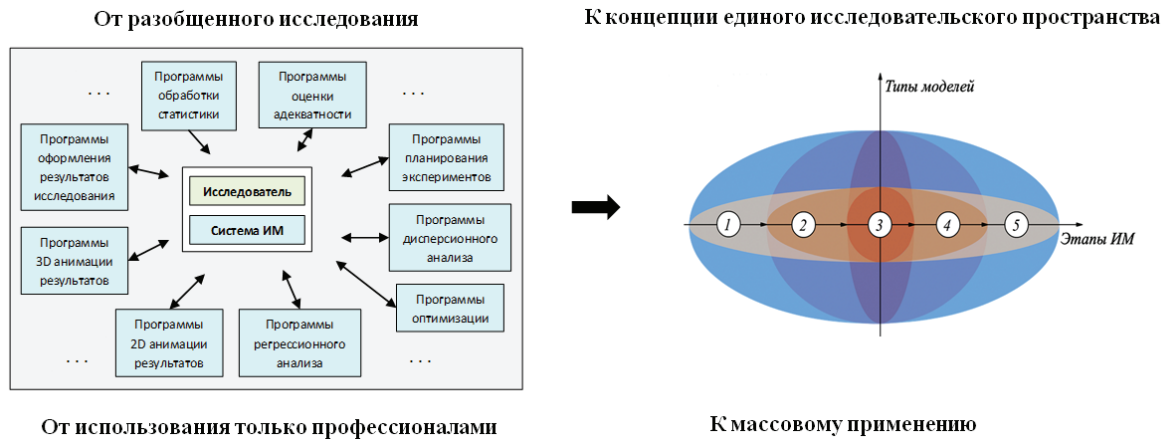


Рис. 2. Концепция единого исследовательского пространства

Построение единого исследовательского пространства позволяет достичь:

- интеграции этапов ИМ, аналитических, инженерных и экономических расчетов в единую программную среду;
- унификации языка взаимодействия пользователя с программой, баз исходных данных и результатов моделирования;
- проведения коллективного исследования несколькими специалистами;
- организации распределения вычислений между мобильными устройствами, ПЭВМ, серверами и облачными сервисами.

Ликвидация методических и информационных разрывов при проведении исследовании позволит уменьшить время исследования. А единообразие языка взаимодействия и информационного обмена упростит процесс исследования и превратит ИМ в массовый инженерный инструмент.

Среда моделирования GPSS STUDIO

На основе полученных нами результатов совершенствования методологии ИМ, формулирования принципов единого исследовательского пространства была разработана и совершенствуется технология массового моделирования. Первым шагом в практической реализации технологии стало создание в 2013 г. расширенного редактора GPSS World. По результатам апробации редактора, учета замечаний пользователя и реализации ряда новых идей в 2017 г. была разработана среда моделирования, получившая название GPSS STUDIO [8]. Название полностью соответствует ее основной сути и предназначению – стать для исследователя мастерской по быстрому и массовому конструированию понятных, адекватных и ориентированных на необходимую предметную область моделей и проведению с ее использованием имитационного исследования. На рис. 3 приведен состав основных подсистем среды и их взаимодействие друг с другом в процессе исследования.

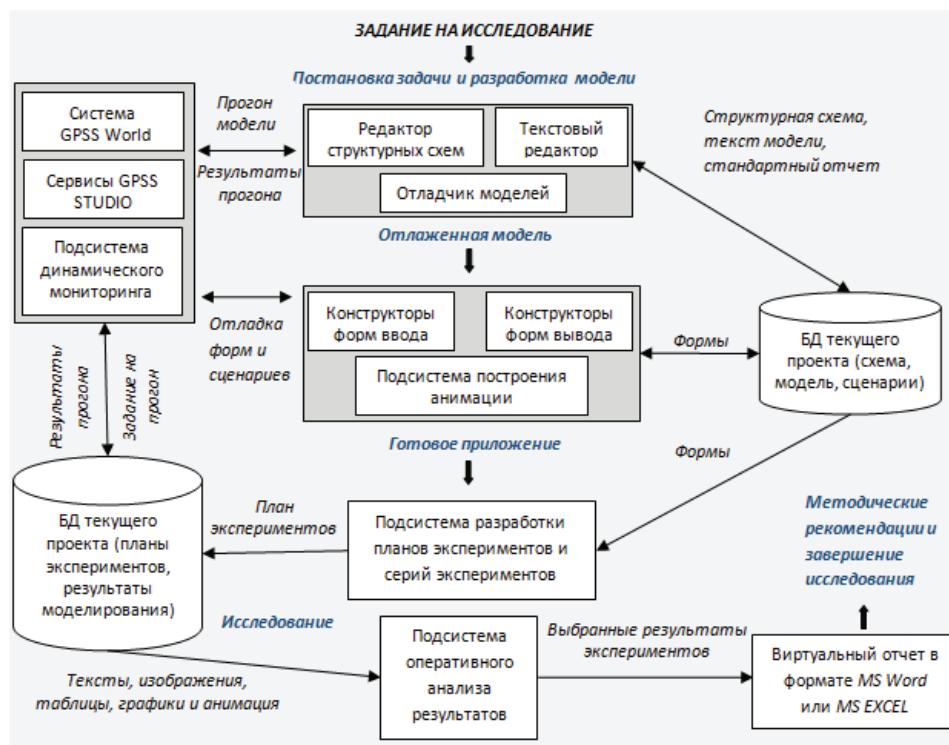


Рис. 3. Структура среды моделирования GPSS STUDIO

В GPSS STUDIO концептуально заложены основы автоматизации операций и действий исследователя при проведении всего цикла проведения имитационного исследования сложных систем (ИИСС). Сейчас охвачен еще не весь процесс исследования: автоматизированы частично постановка задачи, планирования экспериментов, оптимизация и формулирование выводов и рекомендаций по результатам исследования. Тем не менее, ручных операций в исследовании стало значительно меньше, а дополнительного функционала для исследователя стало больше. Самое главное, дальнейшее включение программ, автоматизирующих ручные операции, предусмотрено концептуально. Методически все происходит внутри единого исследовательского пространства и не требует от разработчика существенных переделок. Таким образом, создан программный «скелет» процесса ИИСС. Некоторые элементы в этом процессе отсутствуют (но они предусмотрены), другие элементы недостаточно функциональны (их доводка дело недалекого будущего).

Базисным объектом среды является проект, интегрирующий все, что связано с конкретным имитационным исследованием (рис. 4).

Выделим следующие основные методические преимущества GPSS STUDIO перед другими языками и системами имитационного моделирования:

- для каждой модели жизненный цикл процесса ИИСС объединен в рамках общего проекта, а модели, исходные данные и результаты всех экспериментов хранятся в единой базе данных;
- этапы исследования связаны методически и информационно друг с другом в рамках единого комплекса программ, запускаемого с компьютера пользователя, хотя и могут обращаться к другим ресурсам сети, в том числе и к облачным сервисам;
- используется единый стандарт языка общения исследователя с программой, достигаемый за счет создания унифицированных интерфейсов.

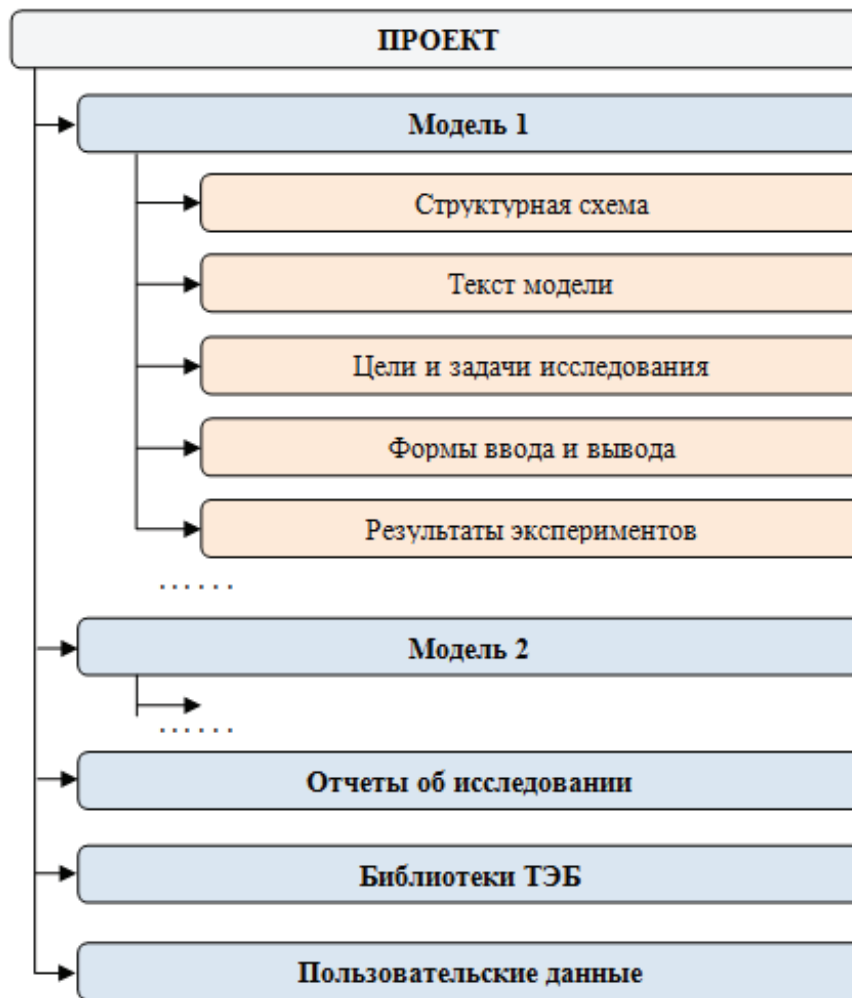


Рис. 4. Структура имитационного проекта

Как и в любой современной системе моделирования, модель в GPSS STUDIO конструируется с помощью графической структурной схемы. В данной схеме любой элемент может быть составным и иметь другой, более детальный уровень иерархии и проектирование модели идет постепенно сверху вниз. Для каждого элемента схемы на всех уровнях описывается его предназначение, задаются входы и выходы, устанавливаются необходимые связи между элементами и уровнями, определяются состояния и параметры элементов. Пример различных уровней структурной схемы показан на рис. 5.

Наш многолетний опыт разработки и внедрения имитационных моделей показывает, что реально находит применение только та имитационная модель, которая «говорит» на языке предметной области исследования. Причем этот язык должен быть настолько прост, понятен и доступен, чтобы использовать модель могли даже те, кто далек от математики и программирования. Необходимо, чтобы они могли реально участвовать и даже самостоятельно проводить имитационное исследование. Поэтому в среде моделирования была реализована технология создания имитационных приложений на базе созданной и отлаженной модели. Это конструирование множества различных форм ввода данных в модель и анализа результатов моделирования.

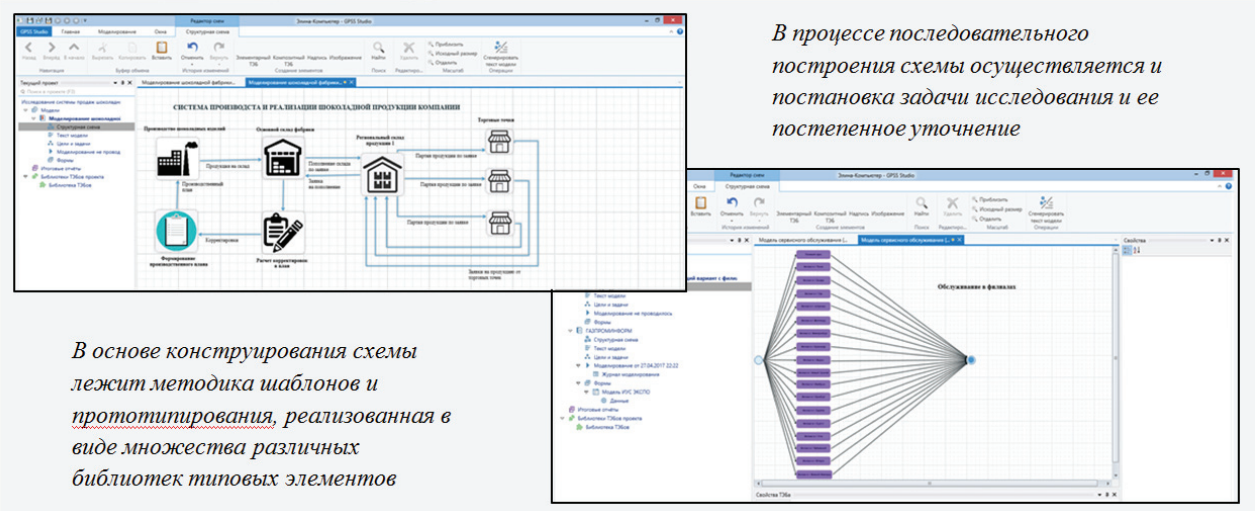


Рис. 5. Структурная схема среды GPSS STUDIO

Примеры различных форм, созданных в имитационных приложениях реальных систем, приведены на рис. 6.

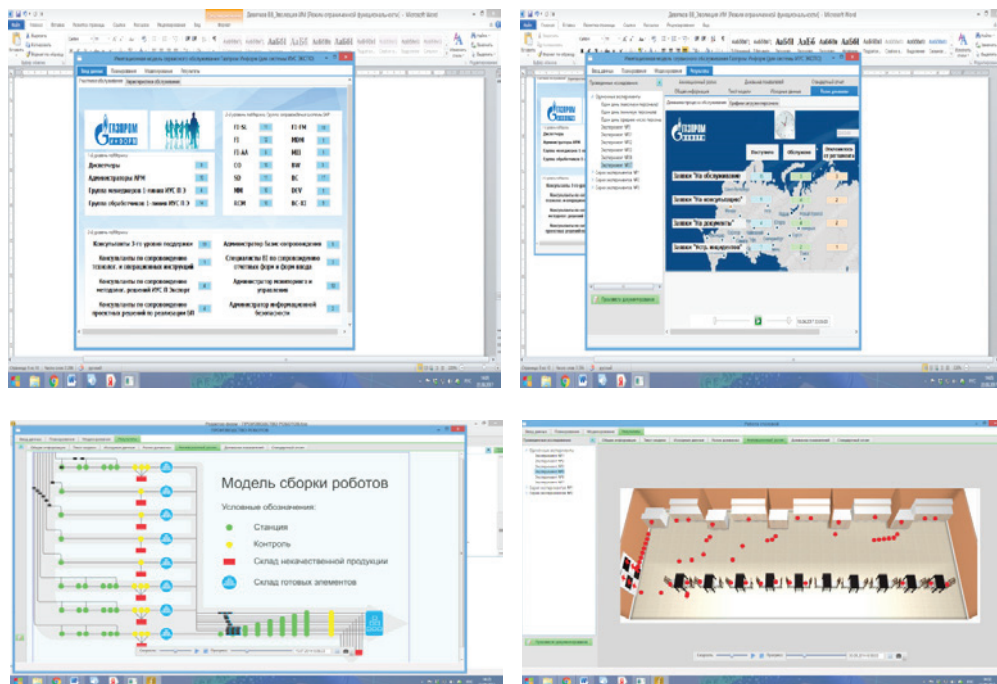


Рис. 6. Примеры форм ввода и вывода в среде моделирования

Практическое использование инструментов, имеющихся в среде моделирования GPSS STUDIO, показало, что время имитационного исследования сокращается до приемлемого для заказчиков исследования сроков, а технология создания массовых приложений позволяет использовать модель специалистам предметной области после минимального изучения и освоения.

Заключение

По результатам исследований и разработок, представленных в данной статье можно сделать следующие основные выводы:

- вопросы реализации потенциала практического использования метода ИМ в настоящее время исключительно актуальны. В настоящее время имеются все необходимые методические, технологические и программные условия для их разрешения;
- массовое использование моделей специалистами предметных областей при исследовании сложных систем в различных областях может стать одним из инструментов решения важнейшей задачи, стоящей перед экономикой – повышение производительности труда за счет минимизации издержек и ликвидации «узких мест»;
- в настоящее время уже разработаны, могут эффективно использоваться, но требуют наполнения типовыми моделями, шаблонами и предметными библиотеками, различные технологии массового моделирования, например, среда моделирования GPSS STUDIO.

Литература

1. Официальный сайт компании SIMIO LLC (США) – Режим доступа <http://www.simio.com/index.php> (дата обращения 20.09.2017).
2. Официальный сайт компании AnyLogic Company – Режим доступа <http://www.anylogic.ru/> (дата обращения 20.09.2017).
3. Официальный сайт продукта ExtendSim компании Imagine That., Inc. (Сан-Хосе, Калифорния, США) - Режим доступа <http://www.extendsim.com> (дата обращения 20.09.2017).
4. Официальный сайт продукта Arena Simulation Software компании Rockwell Automation – Режим доступа www.arenasimulation.com (дата обращения 20.09.2017).
5. Руководство пользователя по GPSS World / Пер. с англ. К.В. Кудашова, В.В. Девяткова; под общ. ред. В.В. Девяткова. Казань: Мастер Лайн, 2002. 384 с.
6. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. Р. Шеннон. М.: Мир, 1978. 418 с.
7. **Девятков В.В.** Методология и технология имитационных исследований сложных систем: современное состояние и перспективы развития: монография. М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2013. 448 с.
8. Имитационные исследования в среде моделирования GPSS STUDIO: учеб. пособие/ В.В. Девятков, Т.В. Девятков, М.В. Федотов; под общ. ред. В.В. Девяткова. М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2018. 283 с.