

## Применение Имитационного Моделирования в России – Состояние на 2007г.

**Андрей Борщев**  
к.т.н., ген. директор  
**ООО «Экс Джей Текнолоджис» (XJ Technologies)**  
**Санкт-Петербург, пр. Непокорённых д. 49**  
тел. +7 812 4413105, факс +7 812 4413107  
**andrei@xjtek.com**  
**www.anylogic.com**

Рассматривается практическое применение имитационного моделирования у нас в стране, в частности: динамика спроса на ИМ со стороны бизнеса и государства за последние годы, спектр областей, где ИМ сейчас наиболее востребовано, факторы, сдерживающие рост. Кроме того, даётся обзор типичных сценариев (форм) внедрения имитационных моделей, а также технологий, использующихся при их построении. Статья имеет обзорный характер и основана на данных компании XJ Technologies – разработчика продукта AnyLogic и лидера российского рынка ИМ.



**Об авторе.** Андрей Владилениович Борщев, со-основатель и генеральный директор ООО «Экс Джей Текнолоджис» (XJ Technologies), окончил Ленинградский Политехнический институт в 1989г., факультет Технической Кибернетики. В начале 1990х Андрей работал в лабораториях Hewlett-Packard над верификацией и моделированием некоторых сетевых технологий компании. Организовал XJ Technologies в 1992г. Защитил кандидатскую диссертацию в 1995г на тему моделирования и анализа распределённых систем. В 1998г. инициировал и возглавил дизайн и разработку инновационного инструмента имитационного моделирования AnyLogic, а в 2000г. – запуск AnyLogic как коммерческого продукта. Андрей является членом International System Dynamics Society и постоянным участником Winter Simulation Conference, International System Dynamics Conference и других основных событий в международном профессиональном сообществе. Андрей опубликовал более 50 статей и провёл большое число лекций, семинаров и тренингов по имитационному моделированию и AnyLogic.

### 1 О каком ИМ мы говорим

Этот обзор посвящён бизнес-приложениям ИМ, в частности в логистике, производстве, сфере услуг, энергетике, финансах, IT и т.д., в также приложениям, где конечным заказчиком является (или должно бы являться) государство: здравоохранение, оборона, чрезвычайные ситуации, социальная динамика. Мы, не рассматриваем моделирование “физического” уровня (“MATLAB’овское”), использующееся при проектировании, скажем, систем управления или корпуса самолёта или корабля. Статья должна помочь всем участникам российского ИМ-сообщества определить вектор развития, идентифицировать ограничивающие факторы и выбрать направление усилий.

## 2 ИМ в России сегодня – обзор приложений

За последние 3-4 года картина рынка услуг, связанных с применением ИМ, изменилась кардинально. Если в 2003г. (первый ИММОД) спрос на ИМ со стороны бизнеса и государства только робко намечался, а в 2005г (второй ИММОД) происходило интенсивное знакомство потенциальных заказчиков с подобными технологиями, то сейчас можно с уверенностью полагать, что ИМ уже обосновалось в арсенале средств прогноза, анализа, и оптимизации. Свидетельство этому – множественные success stories в производстве, транспорте, обслуживании, маркетинге и т.д. Применяется ИМ пока не очень широко, но рост очевиден и в ближайшей перспективе он не прекратится: нынешнее состояние российского бизнеса и хозяйства вообще – это огромное пространство для улучшения, а, значит, и для применения наших с Вами умений и технологий.

В качестве иллюстрации к этим утверждениям приведём структуру оборота компании XJ Technologies как российского лидера в области ИМ (Рис. 1).

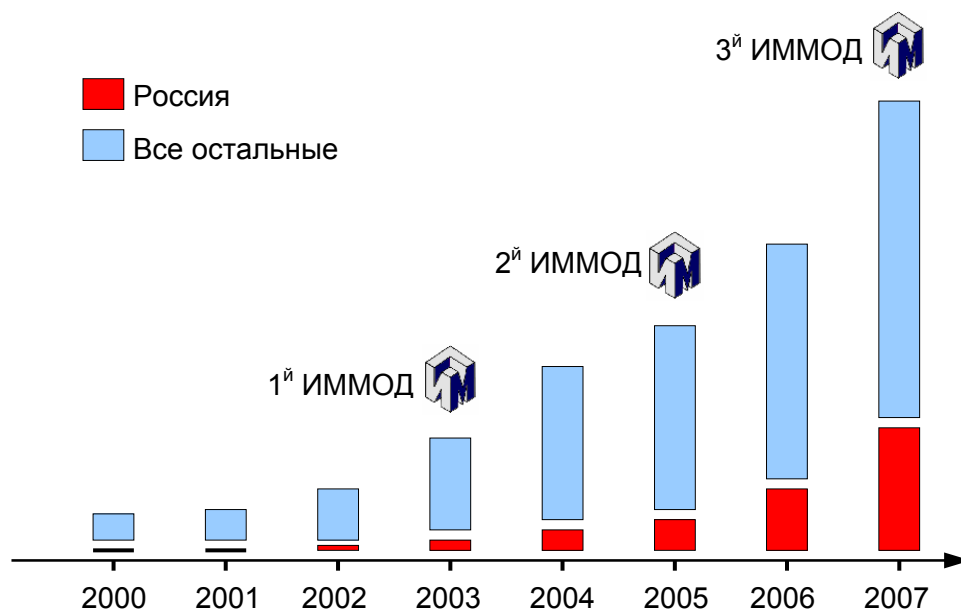


Рис. 1. Рост доли российских пользователей и заказчиков в обороте XJ Technologies

Интересной является структура спроса по областям применения. Диаграмма на Рис. 2. составлена по совокупным данным отделов консалтинга, продаж и технической поддержки XJ Technologies. Абсолютно полной она не является, но в большой мере соответствует действительности, так как спектр применений AnyLogic совпадает со спектром применений ИМ вообще. Картина спроса в России несколько отличается от общемировой, что, впрочем, вполне объяснимо, так как она отражает относительные уровни развития различных типов бизнеса и государственных структур. Области применения расположены сверху вниз по убыванию “градуса интереса”.

Безусловным лидером по “осознанному спросу” и внедрениям ИМ является область логистики: перевозки, работа склада, политики закупок, и, шире, функционирование цепочек поставок. Объясняется это во-первых тем, что логистика в России переживает невероятный подъём, а во-вторых – сложным динамическим характером логистических процессов, обилием временных и причинно-следственных связей, размерностью задач. Невозможность оптимизировать логистические системы “на коленке” (= в Excel’e) настолько очевидна, что заставляет сами компании искать более продвинутые технологии.

Если брать производство, то ИМ наиболее активно интересуются в металлургии, нефтегазовой отрасли, производстве стройматериалов, пищевых продуктов, то есть опять же в наиболее “горячих” отраслях. Потребность в моделировании возникает при модернизации производств, то есть при необходимости оценить и сравнить ещё не реализованные варианты, а также при желании оптимизировать текущие процессы.

Анализ производительности компьютерных систем и сетей при помощи ИМ был известен у нас давно, так что наблюдающийся спрос на это сейчас со стороны телекоммуникационных компаний вполне предсказуем, хотя и не очень велик.

Более или менее массовый спрос ограничивается тремя перечисленными областями и, пожалуй, моделированием разного рода систем обслуживания и связанных с ними бизнес-процессов. Что касается таких традиционных (в мире) приложений как управление активами, портфелями проектов, моделирование потребительского рынка и конкуренции, управление персоналом в больших организациях, то здесь российские проекты с применением ИМ иницируются единичными “продвинутыми” энтузиастами из менеджмента компаний или банков. Успешные внедрения есть, но массового характера они не имеют.

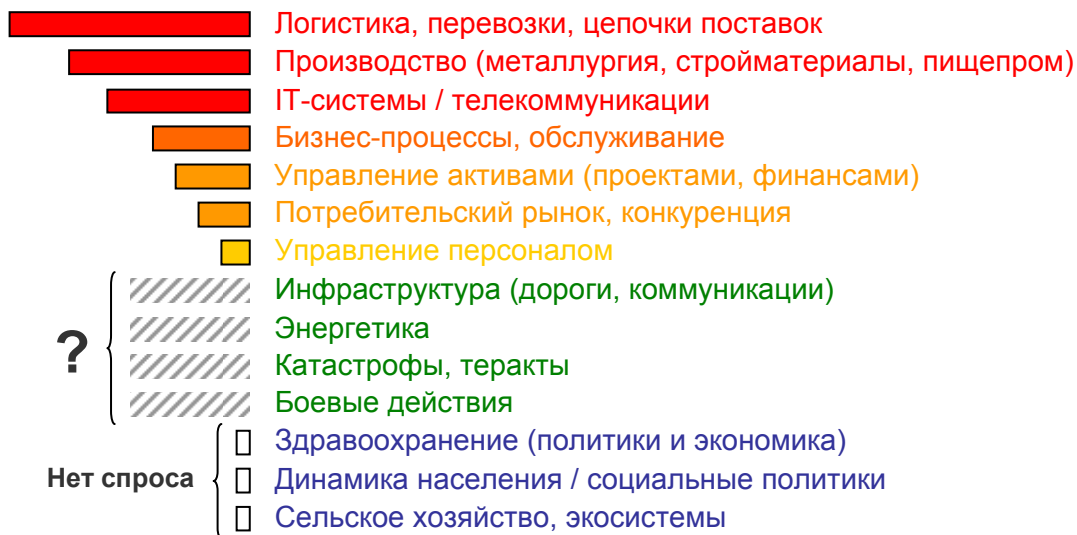


Рис. 2. Структура спроса на ИМ в России по областям применения (сверху вниз по убыванию градуса интереса)

Далее в диаграмме следует группа приложений, о которых мы имеем неполное представление в силу их несколько закрытого характера. Речь идёт о применениях ИМ, где заказчиком выступает государство: инфраструктурные проекты от городского до федерального уровня, моделирование внештатных ситуаций, требующих государственного вмешательства, военные применения ИМ. В России работы этого типа ведутся, их немало, количество их растёт, но оценить объём мы сейчас не можем.

Наконец, последняя группа – это области, где, в отличие от мировой практики, интерес к ИМ в России близок к нулю. Причём если в моделировании, скажем, различных политик в области социальной сферы и здравоохранения, в демографическом и эпидемиологическом моделировании наблюдается хоть какая-то активность, о проектах в области сельского хозяйства или экосистем неизвестно ничего. Повторюсь, я говорю о практических (то есть решающих чьи-то реальные проблемы) проектах, а не об академических упражнениях.

### **3 Как может выглядеть внедрённое ИМ-решение**

Прежде всего заметим, что сама по себе имитационная модель очень редко является целью проекта. Для конечного пользователя важно решение конкретной задачи, например: оптимизировать количество персонала, определиться с планированием территории, управлением парком транспортных средств, политикой закупок и т.д. И естественно, модель одного и того же объекта будет выглядеть совершенно по-разному при разных целях моделирования. А иногда при анализе задачи становится ясно, что изначально планировавшееся ИМ вовсе не необходимо, и можно обойтись более простыми методами (например, линейным программированием). Это важно отследить в самом начале проекта. Если же говорить о сценариях использования имитационных моделей в практике, то наиболее типичные из них таковы:

- Модель полностью встроена в производственный или бизнес-процесс, запускается автоматически при выполнении соответствующих операций
- Модель оформлена в виде утилиты, регулярно запускающейся вручную при принятии оперативных решений
- Модель создаётся для оценки и сравнения вариантов предполагаемых изменений (модернизации), или для выработки оптимальной стратегии
- Модель создаётся ради динамической визуализации (демонстрации) работы проектируемого объекта – как дополнительный аргумент
- Модель оформлена в виде (распределённой) игры, используемой для обучения сотрудников

В первых трёх случаях модель используется в составе так называемой системы поддержки принятия решений (СППР).

Наиболее часто встречающаяся архитектура СППР показана на Рис. 3. Собственно имитационная модель, как видно, – это только часть СППР, причём совсем необязательно самая большая и часто далеко не самая трудоёмкая. Роль оптимизатора – выбрать близкое к

оптимальному решению из числа возможных, запуская модель много раз с различными параметрами. Эвристики “скрывают” от оптимизатора большое число прямых параметров модели, заменяя их небольшим числом “настроечных” параметров, с которыми оптимизатор должен легко справляться. Эвристики могут быть самым интеллектуальным модулем во всей системе, для их разработки часто приглашаются профессиональные математики. Модель часто конфигурируется из базы данных, например, читает оттуда наиболее свежую информацию. Для пользователей создаются специализированные интерфейсы с возможностью задавать параметры, запускать эксперименты, просматривать результаты в виде различных графиков, таблиц, печатать отчёты и т.д. Программирование пользовательских интерфейсов иногда занимает до 60% всего времени разработки.

XJ Technologies использовала подобные архитектуры при разработке СППР для оперативного управления парком транспортных средств компаний ЕВРОСИБ, Балтика, Русский Алюминий. База данных в этом случае содержит текущую дислокацию вагонов (БД МПС), эвристики с оптимизатором могут быть настроены, например, на минимизацию порожнего пробега, пользователи получают конкретные рекомендации по управлению вагонами; то, что эти рекомендации выработаны при помощи ИМ, им может быть и неизвестно.

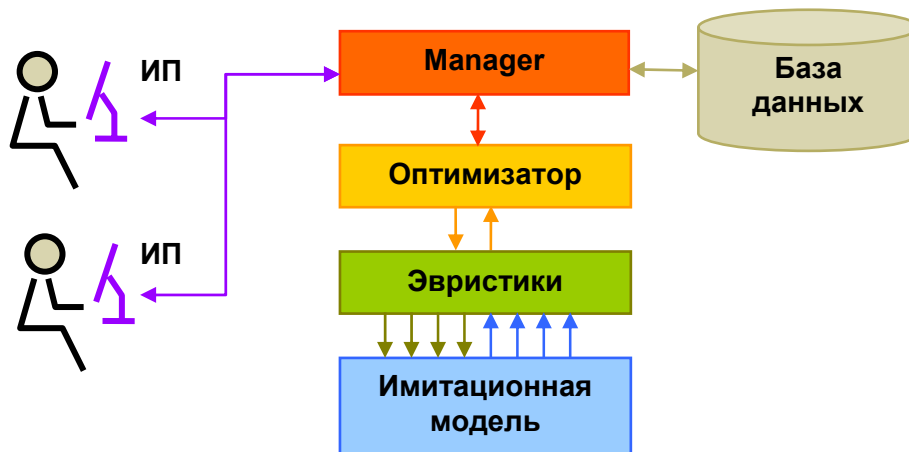


Рис. 3. Типичная архитектура системы поддержки принятия решений

## 4 Применяемые методы ИМ

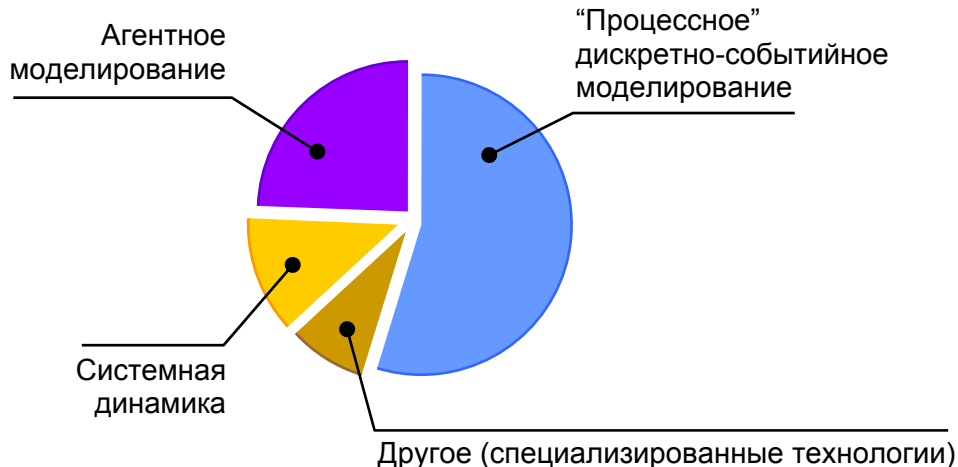
Поскольку большая доля приложений ИМ приходится на оперативно-тактические задачи в сфере логистики, производства и систем обслуживания, основным используемым методом является дискретно-событийное моделирование либо в традиционном его понимании (то есть взгляд на систему как на процесс и задание процесса как последовательности операций и множества ресурсов), либо, реже, в агентном исполнении (взгляд на систему как на совокупность активных объектов и задание их индивидуальных поведений и взаимодействия). Даже в ряде стратегических задач (например: где построить контейнерный терминал?) требуемый уровень абстракции часто опускается до

рассмотрения индивидуальных объектов (вагонов, единиц груза и т.п.) и не позволяет использовать методы системной динамики.

При моделировании потребительского рынка, в особенности динамичных рынков с высокой степенью конкуренции (например, сотовая связь, страхование, банковские услуги), где выбор потребителя зависит от его индивидуальных особенностей, истории, внутренней динамики, сети знакомств, внешних воздействий, агентное моделирование позволяет достичь максимальной адекватности. Построение таких агентных моделей облегчается сейчас тем, что требуемые для этого данные уже накоплены у большинства компаний в CRM-системах, а также в результатах опросов и тому подобных исследований.

В общем, при выборе между “процессным” дискретно-событийным моделированием и агентным моделированием, надо иметь в виду, что агентные модели обычно более трудоёмки в построении и калибровке, поэтому если система хорошо описывается в виде последовательности операций над (пассивными) объектами, разделяющими ресурсы, нет смысла строить агентную модель.

Особые технологии “физического уровня” применяются при моделировании пешеходной и дорожной динамики, боевых действий, терактов, эвакуации. Здесь физическое пространство – это важный разделяемый ресурс и взаимодействие в нём объектов уже не может быть упрощено до уровня процесса “встал в очередь – обслужился – пошел к выходу”. Вот в этой области в ряде случаев может быть оправдано построение специализированных “движков” и инструментов.



**Рис. 4. Применяемые методы ИМ (по частоте использования)**

В области российской системной динамики в последнее время наблюдается некоторая активность, в частности образована российское отделение (Russian Chapter) международного Общества системной динамики (International System Dynamics Society). Про практическое применение системной динамики в России известно мало, успех здесь будет зависеть от взаимодействия специалистов, владеющих методом, с людьми,

принимая стратегические решения – ведь система динамика в основном применима к долгосрочным процессам, интересным только со стратегических позиций.

Отдельно следует сказать о методах оптимизации, использующихся вместе с имитационными моделями. Поскольку результат выполнения имитационной модели обычно зависит от её параметров сложным нелинейным образом, оптимизатор так или иначе должен исследовать большую часть пространства параметров, чтобы не ограничиться локальными минимумами и максимумами. Из универсальных оптимизаторов такого рода в России часто используется встроенный в AnyLogic OptQuest американской фирмы OptTek. Мы часто облегчаем OptQuest'у задачу, дописывая эвристики, позволяющие вести поиск более эффективно за счёт знания специфики проблемы. Иногда используются свои алгоритмы оптимизации, написанные под конкретное приложение.

## 5 Факторы, ограничивающие рост применения ИМ

Прежде, чем говорить о том, почему рост применений ограничен, мы хотим обратить Ваше внимание на следующий факт: основную долю в российской части оборота XJ Technologies составляет консалтинг и гораздо меньшую – продажа продукта, см. Рис. 5. В зарубежной же части эти составляющие более сбалансированы с перевесом продаж продукта (то есть лицензий AnyLogic). Почему это происходит? Почему в России заказчики не берутся сами создавать имитационные модели?

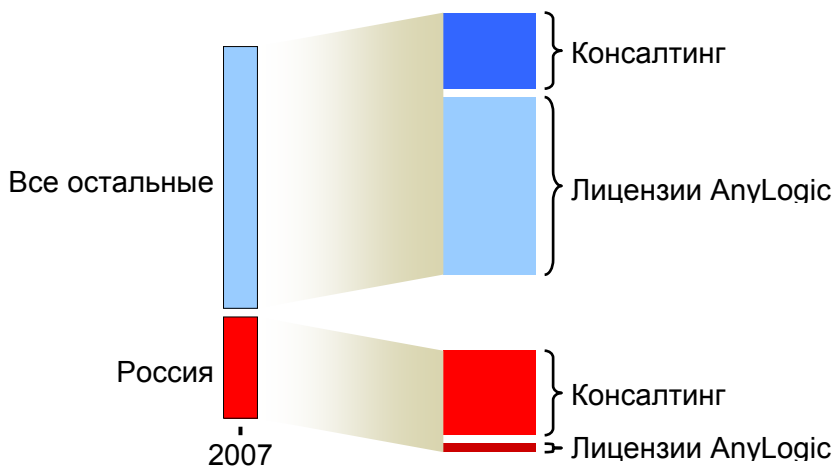


Рис. 5. Структура продаж XJ Technologies в России и за рубежом

Одним из основных препятствий роста практического применения ИМ в России была и остаётся нехватка квалифицированных кадров, что может звучать странно для страны с такими университетскими традициями и наконец-то прекратившимся оттоком мозгов. Действительно, ИМ в том или ином виде преподаётся во многих вузах, но преподаватели часто не могут (или не сильно хотят) вывести студента за рамки чисто “научных” или игрушечных проблем в пространство задач, востребованных в реальной жизни. Вместо этого преподаватели, студенты и аспиранты часто увлекаются, например, созданием собственных симуляторов, или, хуже того, разводят ложное (заумное и

занудное) теоретизирование вокруг понятия “модель”. Вопрос – зачем? Вокруг полно задач, решив – или просто попытавшись решить – которые, Вы не просто получите читаемую и цитируемую публикацию, но и выйдете на новый уровень понимания того, куда должны развиваться Ваши (прикладные!) исследования. Я уже не говорю про возможные материальные выгоды от сотрудничества с реальным заказчиком и уверенное трудоустройство выпускников.

В каждом городе, где есть университет, обязательно есть:

- Склад
- Транспорт
- Супермаркет
- Банк
- Служба такси
- Дорожная инфраструктура
- Производство

Господа преподаватели, Вы пробовали говорить с людьми, которые отвечают за ежедневное функционирование, ремонт, модернизацию, перспективное планирование этих элементов хозяйства? Попробуйте. Узнайте, что их волнует, где, по их мнению, возможна оптимизация, добейтесь от них хотя бы примерной постановки задачи, подумайте, поможет ли им ИМ. Если да – вот Вам как минимум готовая тема диплома. Пошлите студента делать измерения и собирать статистику на реальном объекте с секундомером, рулеткой, камерой – он сразу поймёт, что такое экспоненциальное распределение и почему длину очереди не всегда можно рассчитать по формуле Литтла.

Другой аспект кадровой проблемы следующий. Люди, в обязанности которых входит анализ и улучшение текущих процессов, а также планирование изменений, имеют обычно экономическое образование. В стандартный набор их умений входит владение Excel и, скажем, каким-нибудь статистическим пакетом, а динамическое (то есть имитационное) моделирование им незнакомо. Поэтому модели, которые так или иначе создаются в аналитических отделах компаний по большей части статические, основаны на формулах; время, причинность, смена состояний в них обычно не присутствует. При необходимости повысить адекватность модели такие специалисты иногда пытаются ввести элементы имитации во времени, оставаясь в рамках Excel-подобных инструментов, результатом чего является многократное усложнение моделей, их нечитаемость и, в конечном счёте, невозможность дальнейшей поддержки.

Корни проблемы опять-таки в образовании: ИМ у нас исторически было ближе к инженерно-техническим специальностям (в большой мере это так до сих пор), а экономические программы вузов, за редким исключением, его игнорируют.

Надо понимать, что университеты сами по себе достаточно инерционны, кроме того даже при немедленном изменении программ должно пройти 3-4 года, прежде, чем студенты, по ним учившиеся, пойдут работать, и ещё некоторый срок, прежде чем они смогут принимать какие-то решения, так что кадровая проблема в любом случае быстро не решится. А вот над популяризацией ИМ, над разъяснением того, что оно может дать практически, можно и нужно работать уже сейчас. Это, кстати, одна из целей Российского



Общества ИМ. Важны не просто выступления в своей академической “тусовке”, а там, где Вас может услышать потенциально заинтересованный практик – то есть на отраслевых конференциях, и не разговоры про то, как сети Петри с раскрашенными фишками лучше, чем с нераскрашенными (да простят мне почитатели этой замечательной математической конструкции), а про то, на сколько процентов сократится время ожидания грузовика на въезде в контейнерный терминал, если принять такие-то и такие-то решения, подсказанные имитационной моделью.

К сожалению, российские специалисты практически не посещают основных конференций по ИМ (это Winter Simulation Conference, INFORMS Annual Meeting, ИЕ Annual Conference, International System Dynamics Conference), а это нужно, чтобы быть включённым в мировое ИМ-сообщество. Впрочем, материалы большинства этих конференций, к счастью, находятся в публичном доступе.

## **6 Заключение**

Мы наблюдаем рост спроса на системы поддержки принятия решений, основанные на имитационных моделях со стороны как бизнеса, так и государства. Структура спроса повторяет общую по России картину сравнительного развития отраслей с явным доминированием всего, что связано с логистикой. Для эффективного удовлетворения этого спроса необходимы, прежде всего грамотные специалисты, с одной стороны владеющие различными методами ИМ, а с другой – умеющие быстро вникнуть в предметную область и понять суть проблемы. Нынешние студенты, изучающие ИМ, нуждаются в ориентации на решение практических задач, а студенты экономических и управленческих специальностей – хотя бы в простом знакомстве с ИМ. С другой стороны, необходимо знакомить сотрудников компаний и госорганизаций, ответственных за оптимизацию и вырабатывающих стратегические решения, с тем, какие проблемы позволяет решать ИМ. Недавно созданные Российское Общество ИМ и Russian Chapter of the International System Dynamics Society должны рассматривать эти задачи как приоритетные.