**BC/NW 2021№ 2 (37):8.1**

**ОБЗОР МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ БИЗНЕСА, ПРОИЗВОДСТВА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

**Семочкина Е.В.**

*Современное развитие экономических систем предполагает применение моделирования для анализа, прогнозирования, управления экономическими процессами. В статье описываются основные парадигмы при построении имитационных моделей, приводятся примеры программ - симуляторов бизнес-, технологических и производственных процессов. Приводится более подробное описание некоторых из них.*

*Пандемия covid-19 дополнительно стимулирует имитационное динамическое моделирование эпидемиологического процесса. В производстве и технологических процессах дополнительно увеличивается спрос на автоматизированные системы управления и автоматизированные системы принятия решений. Возможно ускорение работ по развитию искусственного интеллекта, возрастание предложений для эффективной удалённой работы в среде моделирования. Перспективно также моделирование с применением облачных технологий.*

*В соответствии с российским законодательством системы, обеспечивающие удаленный доступ, должны быть работоспособны в суверенном интернете.*

**Ключевые слова:** *моделирование процесса, симуляция*

Преобразования социально-экономических систем XХI века происходят в условиях обострения экологического кризиса, бурного развития и применения нано, био, инфо, когно, социо технологий (NBIC – technologis). Прорыв в развитии науки и производства связан с конвергенцией этих технологий. Предполагается широкое внедрение достижений одних областей науки в другие ее области. Инструменты применения данных технологий и их достижения являются общими для всех наук. Преобладает конструктивистское начало в отношении к реальности, отсюда, моделирование как один из главных познавательных методов с широким привлечением вычислительных ресурсов [13].

Как частный случай, современное развитие экономических систем предполагает применение моделирования для анализа, прогнозирования, управления экономическими процессами.

С позиций системного подхода, технологический и производственный процессы - это сложные динамические системы. В них взаимодействуют: оборудование, средства контроля и управления, вспомогательные и транспортные устройства, обрабатывающий инструмент или среды, находящиеся в постоянном движении и изменении, объекты производства, люди осуществляющие процесс и управляющие им. Бизнес-процессы тоже представляют собой крупные системы взаимосвязанных элементов: сотрудников различных отделов, организационной техники, ИТ-техники и т.д. Абсолютно точную модель сложного процесса построить невозможно. Декомпозиция системы на подсистемы позволяет вскрыть иерархию структуры и рассматривать систему на разных уровнях ее детализации [1].

Моделирование сложных систем невозможно без применения специального программного обеспечения. Знаменитая фраза Джона Мейнарда Кейнса звучит: «Спрос рождает предложение». Потребность в программном обеспечении для моделирования различных процессов стимулировала разработку большого числа сред для моделирования рабочих процессов компаний из разных отраслей экономики. Отдельно остановимся на имитационном моделировании. ***Имитация*** позволяет узнать данные о состоянии системы или отдельных ее элементов в определенные моменты времени. ***Симуляция*** — это процесс использования модели для изучения производительности системы.

Пользователям несколько десятилетий доступно построение компьютерных моделей и проведение имитационных экспериментов при помощи специализированных компьютерных сред (например, Arena, AnyLogic, GPSS World, Pilgrim). Вместо написания программы пользователи составляют модель из библиотечных графических модулей, и/или заполняют специальные формы. Как правило, имитационная среда обеспечивает возможность визуализации процесса имитации, позволяет проводить сценарный анализ и поиск оптимальных решений.

В сфере имитационного моделирования можно выделить основные парадигмы при построении моделей: статические системы, динамические системы, системная динамика, дискретно-событийное моделирование, мультиагентные системы. Существует целый ряд программных инструментов, ориентированных на эти подходы:

1. Статическое моделирование («[Hysys](http://aspentech.com/brochures/HYSYS.pdf)», «[Aspen Plus](http://home.aspentech.com/products/engineering/aspen-plus)», «[CHEMCAD](http://www.chemstations.com/)», Симулятор «PRO/II»)

Динамические системы («[Hysys](http://aspentech.com/brochures/HYSYS.pdf)», «[gPROMS ModelBuilder](https://www.psenterprise.com/products/gproms/modelbuilder)», «FEMLAB», «COMSOL Multiphysics»).

2. Системная динамика («AnyLogic», «Vensim PLE»).

3. Дискретно-событийное моделирование («AnyLogic», «Arena», «GPSS World», «Pilgrim»).

4. Мультиагентные системы («AnyLogic», «Кардиовид», Автоматизированная система поддержки принятия решений в аварийных ситуациях на МКС).

5. профессиональное программное обеспечение для проектирования, разработки и тестирования систем нечеткого вывода («FisPro»).

Остановимся подробнее на некоторых программах.

«GPSS World» — это среда моделирования общего назначения, охватывает области как дискретного, так и непрерывного моделирования. «GPSS World» включает PLUS — язык программирования нижнего уровня моделирования. Моделирование с использованием PLUS выражений может быть включено почти везде в GP55-программы, в любом блоке или процедуре вызова. Язык PLUS позволяет программно управлять размещением результатов. Система «GPSS World» разрешает многозадачность, позволяя нескольким имитационным процессам выполняться одновременно [3].

Система моделирования «AnyLogic» поддерживает три подхода к созданию имитационных моделей: процессно-ориентированный (дискретнособытийный), системно-динамический и агентный, а также любую их комбинацию. Графический интерфейс «AnyLogic», инструменты и библиотеки позволяют быстро создавать модели для широкого спектра задач — от моделирования производства, логистики, бизнес-процессов до стратегических моделей развития компании и рынков. «AnyLogic» стал корпоративным стандартом на бизнес-моделирование во многих транснациональных компаниях, широко используется в образовании [2].

Система «Actor Pilgrim» — система имитационного моделирования временной, пространственной и финансовой динамики экономических процессов. Система «Actor Pilgrim» позволяет работать с многослойными имитационными моделями. Поддерживаемые виды (технологии) моделирования: дискретное и дискретно-непрерывное, механизм виртуального таймера дискретно-событийный, одновременная реализация временной, пространственной и финансовой динамики [4].

Программа моделирования системной динамики «Vensim PLE». Системное динамическое моделирование - метод исследования и прогнозирования, основанный на описании объекта исследования в виде системы взаимосвязанных показателей сначала на качественном уровне путем разработки когнитивной диаграммы, а затем - количественно, путем разработки потоковой модели [5].

«Arena» — система дискретного моделирования. Сфера основных приложений системы — имитационное моделирование производственных технологических процессов и операций, складской учет, банковская деятельность, оптимизация обслуживания клиентов в сфере услуг, транспортные задачи [6].

Программное обеспечение «[Hysys](http://aspentech.com/brochures/HYSYS.pdf)» предназначено для моделирования ХТП для оптимизации проектирования схемотехнических решений технологического процесса. Помимо статического моделирования технологических схем программа позволяет в той же среде производить динамическое моделирование отдельных процессов и всей технологической цепочки, а также разрабатывать и отлаживать схемы регулирования процессов. Есть возможность выполнять расчеты основных конструктивных характеристик оборудования [7].

Программный пакет «[Aspen Plus](http://home.aspentech.com/products/engineering/aspen-plus)» предназначен для моделирования в стационарном режиме, проектирования химико-технологических производств, контроля производительности оборудования, оптимизации и бизнес-планирования в области добычи и переработки углеводородов и нефтехимии [8].

«[gPROMS ModelBuilder](https://www.psenterprise.com/products/gproms/modelbuilder)» является средой моделирования для стационарных и динамических систем, которая ориентирована на применение в перерабатывающей промышленности [7].

Программный комплекс «[CHEMCAD](http://www.chemstations.com/)» ориентирован на моделирование ХТП. Пакет включает средства статического моделирования основных процессов, основанных на фазовых и химических превращениях, а также средства для расчета геометрических размеров и конструктивных характеристик основных аппаратов [7].

Программное обеспечение для моделирования технологических процессов «[PRO/II](http://software.schneider-electric.com/products/simsci/design/pro-ii/)» – это симулятор стационарного режима, улучшающий процессы проектирования и операционного анализа. Симулятор «PRO/II» разработан для точных расчетов массового и энергетического баланса для широкого спектра производственных процессов. Отрасли применения: нефтепереработка, газопереработка, нефтехимия, химия [7].

«FEMLAB» – это интерактивная среда моделирования для расчёта большинства научных и инженерных задач на основе дифференциальных уравнений в частных производных, которые решаются методом конечных элементов [8].

Модуль передачи тепла «FEMLAB» состоит из множества прикладных режимов, которые описывают температурное поле неизотермической системы. Эти прикладные режимы используются для решения задач с передачей тепла теплопроводностью, конвекцией и радиацией. В дополнение к прикладным режимам, которые описывают температурные поля, этот модуль включает также прикладные задачи для динамики жидкости, при решении которых моделируется скоростное поле неизотермической жид-кости. Этот прикладной режим используется при решении задач с конвективным тепломассообменом.

«COMSOL Multiphysics» (бывший «Femlab»). Программное обеспечение пакета «COMSOL» предназначено для моделирования любых физических систем. «COMSOL Multiphysics» включает в себя графический пользовательский интерфейс (GUI) COMSOL Desktop и набор предварительно сконфигурированных пользовательских интерфейсов и инструментов, которые предназначены для стандартных задач моделирования [9],[10].

Имитационная система «Кардиовид» позволяет разработку и исследование многоагентной имитационной модели управления процессами в компьютерной диагностической системе [11]. Эффективно работает в медицине.

Автоматизированная система поддержки принятия решений в аварийных ситуациях на МКС, описанная в источнике [12], основана на мультиагентной технологии. ИСППР – интеллектуальные системы поддержки принятия решений, представляющие собой автоматизированную компьютерную сеть, обеспечивающую объективную аналитику данных с построением математической модели предполагаемого развития событий. ИСППР помогают людям принять сложные управленческие решения в сложных условиях.

«FisPro» («Fuzzy Inference System Professional») - профессиональное программное обеспечение для проектирования, разработки и тестирования систем нечеткого вывода, базирующихся на математическом аппарате нечеткой логики [14]. С его помощью удобно применять метод оценки финансовых рисков, основанный на аппарате нечеткой логики. Метод позволяет проводить оценку рисков на различных этапах технологической инновации, а также формировать сценарии ее реализации, характеризующиеся приемлемыми значениями риска [1].

Приведенные имитационные средства справляются с поставленными задачами на высоком уровне. Перечень программного обеспечения данного класса намного больше. Ускорение научно-технического прогресса, вероятно, создаст еще более мощные и интересные программы.

Требования к ним повышаются и изменяются. Пандемия covid-19 дополнительно стимулирует динамическое моделирование развития эпидемиологического процесса (SIRS модель) [15]. В производстве и технологических процессах дополнительно увеличивается спрос на автоматизированные системы управления и автоматизированные системы принятия решений. Возможно ускорение работ по развитию искусственного интеллекта.

Растет интерес к приложениям для эффективной организации удалённой работы в информационной среде, и к привлечению ресурсов Дата-центра для сложных вычислений.

Активно развивается применение облачных технологий в различных областях человеческой деятельности. Возможно, среды для моделирования будут работать и через «облако».

Возрастающий спрос на интернет услуги и внешнеполитические условия развития стран влияют на развитие программного обеспечения. Приняты и вступили в силу Федеральный закон от 1 мая 2019 г. № 90-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О связи» и Федеральный закон «Об информации, информационных технологиях и о защите информации». Системы с удаленным доступом должны быть функциональны в российском интернете.

Новая реальность уже не «за горами». Из прессы известно, что 23 декабря 2019 года [Минкомсвязи](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9C%D0%B8%D0%BD%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D1%81%D0%B2%D1%8F%D0%B7%D0%B8" \o "Минкомсвязи) сообщило об итогах первых учений, проведенных в рамках закона о «суверенном рунете», которые проходили несколько дней в [Москве](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9C%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%B2%D0%B5), [Владимире](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%92%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%80), Ростове и в других городах. По словам замглавы Минкомсвязи Соколова Алексея Валерьевича, власти и операторы готовы оперативно отреагировать на внешние угрозы и обеспечить бесперебойную работу интернета и связи.

31 марта 2021 года глава комитета Госдумы по информационной политике Александр Хинштейн [рассказал](https://tass.ru/interviews/11032409) в интервью ТАСС, что оборудование для глубокой фильтрации трафика (технология Deep packet inspection, DPI) установлено на всех площадках «Ростелекома», МТС, «МегаФона», «Вымпелкома» и «Транстелекома» и продолжается его установка у остальных провайдеров и операторов связи.

Цивилизация реагирует на требования времени, следовательно, увидим новое программное обеспечение, создаваемое разработчиками с их учетом. Так по данным ЦБ РФ, уже за девять месяцев 2020 года экспорт программного обеспечения и услуг по его разработке, вырос на 11-16% по сравнению с 2019 годом.

Литература

1. Мальков М.В. Моделирование технологических процессов: методы и опыт/ М.В. Мальков, А.Г. Олейник, А.М. Федоров// Труды Кольского научного центра РАН, 2010. №3.
2. Боев В. Д. Компьютерное моделирование: пособие для курсового и дипломного проектирования. / Боев В. Д., Кирик Д. И., Сыпченко Р. П.- СПб.: Военная академия связи, 2011.
3. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем. – СПб: СПбГУИТМО, 2009. – 363 с.
4. Емельянов А. А., Емельянова Н. 3. Имитационное моделирование и компьютерный анализ экономических процессов: учеб, пособие. Смоленск: Универсум, 2013.
5. Кузнецов Ю.А. Применение пакетов имитационного моделирования для анализа математических моделей экономических систем: Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Применение программных средств в научных исследованиях и в преподавании математики и механики»/ Кузнецов Ю.А., Перова В.И. - Нижний Новгород, 2007. 98 с.
6. Щербаков С. М. Имитационное моделирование экономических процессов в системе Arena: учеб, пособие. Ростов и/Д : Ростовский государственный экономический университет, 2012.
7. Системы имитационного моделирования: выбираем подходящую// «Хабр» [Электронный ресурс] Блог № 351870 ([Блог [ГК ЛАНИТ](https://habr.com/company/lanit/)](https://habr.com/ru/company/trinion/)) - 2006 – 2021 гг. URL:<https://habr.com/ru/company/lanit/blog/351870/> (Дата обращения 11.05.2021)
8. Горбунов В.А. Моделирование теплообмена в конечно-элементном пакете FEMLAB: Учеб. пособие / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический универси-тет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2008.–216 с.
9. Моделирование - в массы// «Хабр» [Электронный ресурс] Блог № 406841 ([Блог [Dell Technologies](https://habr.com/company/dell_technologies/)](https://habr.com/ru/company/trinion/)) - 2006 – 2021 гг. URL:<https://habr.com/ru/company/dell_technologies/blog/406841/> (Дата обращения 11.05.2021)
10. Проектирование с использованием моделирования: как это работает? // «Хабр» [Электронный ресурс] Блог № 409401 ([Блог [Dell Technologies](https://habr.com/company/dell_technologies/)](https://habr.com/ru/company/trinion/)) - 2006 – 2021 гг. URL:<https://habr.com/ru/company/dell_technologies/blog/409401>
11. Бодин О.Н., Баусова З.И., Безбородова О. Е., Убиенных А.Г. Имитационное моделирование многоагентной технологии в компьютерной диагностической системе «Кардиовид». «Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль» 2019, № 1(27).
12. [Матюшин М.М.](http://www.swsys.ru/index.php?page=infou&id=6655&lang=) Автоматизированная система поддержки принятия решений в аварийных ситуациях//международный научно-практический журнал «Программные продукты и системы». – 2013. – № 3 – С. 61-68
13. Степин В.С. XXI век – радикальная трансформация типа цивилизационного развития // Глобальный мир: системные сдвиги, вызовы и контуры будущего: XVII Международ. Лихачев. науч. чтения (18–20 мая 2017 г.). СПб.: СПбГУП, 2017 С. 185–188.
14. Глушенко С.А. — Анализ программных средств реализации нечетких экспертных систем // Программные системы и вычислительные методы. – 2017. – № 4. – С. 77 - 88.
15. Шабунин А.В. SIRS модель распространения инфекций с динамическим регулированием численности популяции: исследование методом вероятностных клеточных автоматов // Известия ВУЗов Прикладная нелинейная динамика. 2019. T. 27. № 2. C. 5-20.