
**ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И
СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ
РАЗВИТИЯ С ФАЗОВЫМИ ПЕРЕХОДАМИ**

Л.И.Григорьев, О.А.Степанкина, А.М.Тупысев (Москва)

Введение

В последние годы существенно расширился арсенал моделей, методов и средств научного исследования. Этому в немалой степени способствовало развитие кибернетики, информационных технологий, системного и синергетического анализа. С одной стороны, открылся наномир, т.е. мир, элементы которого меньше атома на 25 порядков, с другой стороны, оказалось возможным исследование процессов эволюции, т.е. процессов, протекающих на так называемом “длинном” времени.

Принцип системности, составляющий основу системного анализа, был в настоящее время дополнен *принципом развития*, являющимся основой *синергетического анализа* [1]. Появились новые возможности для исследования как сложных природных процессов (например, формирование геологических структур, процессы самоорганизации в системах нефтедобычи и др.), так и для организационно-экономических процессов. Объектом исследования стали процессы с такими характерными свойствами, как нелинейность, неравновесность, открытость и в которых происходят фазовые переходы.

Сложившаяся в настоящее время ситуация в стране требует достаточно быстрой системной модернизации всей экономики. На большинстве предприятий станет необходимым запуск новых наукоемких импортозамещающих производств, что потребует: исследование большого числа сложных систем; поиск оптимальных режимов функционирования технологических процессов; определение логистики поставок и продаж и др. Для решения указанных проблем, состоящих в построении модели и проведении различных сценариев исследования систем с использованием разработанных моделей, в наибольшей степени подходят имитационные модели, хорошо приспособленные для описания плохо формализуемых объектов и процессов.

Имитационному моделированию (ИМ), как методологии исследования сложных систем, характерна универсальность, истоками которой являются:

- универсальность метода Монте-Карло, как метода-прародителя ИМ, и как численного метода решения математических задач (без уточнения класса задач, как это обычно делается в численных процедурах);

- модели массового обслуживания, марковские цепи, клеточные автоматы и другие схемы, положенные в основу программных продуктов ИМ; об универсальности перечисленных моделей свидетельствует большое число практических примеров их использования в различных сферах человеческой деятельности.

Применение технологии имитационного моделирования для исследования процессов эволюции, в ходе которых происходят фазовые переходы, представляет большой научно-практический интерес. Особенно, когда интеграционные процессы приводят к формированию новых структур и имеют место фазовые переходы. В этом случае появляется возможность исследования механизмов возникновения нештатных и аварийных ситуаций, различного рода катастроф [2].

Для интеграции технологии ИМ с синергетическим анализом необходимо:

- провести анализ имеющихся для этого в имитационном моделировании возможностей и определить новые задачи исследования;

-дополнить методологические основы ИМ и разработать недостающие в ИМ программные средства.

Краткая характеристика процессов эволюции и возможностей ИМ.

Имитационное моделирование рассматривается как технология исследования сложных систем. Формулировка сложной системы (как системы состоящей из большого числа элементов взаимосвязанных и взаимодействующих между собой) не меняется при проведении системного или синергетического анализа. Но при выполнении системного анализа в понимании сложного упор делается на большую размерность, а в синергетическом анализе - на взаимосвязь и взаимодействие.

Рассмотрим процессы эволюции и самоорганизации, которые представляют интерес для исследования средствами ИМ. Под самоорганизацией понимают элементарный процесс эволюции, процесс необратимый, приводящий в результате кооперативного действия подсистем к образованию более сложных структур всей системы. Устанавливаемый в результате самоорганизации порядок происходит за счет кооперативного действия и связей ее компонентов, а также в соответствии с ее предыдущей историей.

Эволюция рассматривается как процесс возникновения сложных структур из более простых, т.е. эволюция - интеграции более простых элементов в образования более высокого уровня, которое характеризуется новыми качествами. Ключевой физической величиной при описании самоорганизации является энтропия; она служит мерой ценности содержащейся в системе энергии и мерой беспорядка.

В процессе своего развития система проходит две стадии: эволюционную и революционную. Во время развертывания эволюционного процесса происходит медленное накопление количественных и качественных изменений параметров системы и ее компонентов, в соответствии с которыми в точке бифуркации система выберет один из возможных для нее аттракторов. В результате этого произойдет качественный скачок (революционная стадия), и система сформирует новую диссипативную структуру, соответствующую выбранному аттрактору. В системе возрастает энтропия; возникает острое противоречие между старым и новым в системе. На этой фазе развитие приобретает непредсказуемый характер, что крайне усложняет прогноз, а порой делает его невозможным. После формирования новой диссипативной структуры система снова вступает на путь плавных изменений, и цикл повторяется [3].

Для воссоздания в среде ИМ процессов эволюции, самоорганизации необходимо

уметь моделировать следующие объекты и процессы.

- Нелинейную среду, т.е. среду (систему), процессы в которой описываются нелинейными уравнениями, причем это среда, которая может эволюционировать различными путями и таит в себе бифуркации.

- Детерминированный хаос; в рамках этого направления синергетических исследований изучаются виды хаоса и различные сценарии перехода к хаосу детерминированных систем, в частности процесс приближения к странному аттрактору. Заметим, что странный аттрактор это один из видов аттракторов, фазовый портрет которого представляет собой некоторую ограниченную область, по которой происходят случайные блуждания; иногда странный аттрактор называют фракталом.

- Процессы формирования фракталов.

- Бифуркационные диаграммы; точка бифуркации это точка ветвления возможных путей эволюции системы, чему на уровне математического описания соответствует ветвление решений нелинейных дифференциальных уравнений.

- Эволюцию параметров порядка и др.

В синергетике выделяют три основные идеи: неравновесность; открытость; нелинейность.

Нелинейные математические уравнения, как правило, имеют несколько (более одного) качественно различных решений. Нелинейность в мировоззренческом смысле - многовариантность путей эволюции, наличие выбора из альтернативных путей и определенного темпа эволюции, а также необратимость эволюционных процессов.

Особо отметим неустойчивость вблизи момента обострения; это - чувствительность нестационарных (эволюционирующих) структур к малым флуктуациям на асимптотической стадии, вблизи "конечного" состояния, приводящая к вероятностному хаотическому распаду этих структур.

Кроме того, необходимо иметь программные средства формирования оценок для выявления тенденций в зашумленных реализациях. Например, программу для расчета показателя Херста.

Несомненно, что в существующих программных комплексах ИМ такие средства в полной мере отсутствуют. Однако тенденции к интеграции технологий имитационного моделирования и синергетического анализа уже стали проявляться, о чем указывают отдельные статьи, представленные в трудах 6-ой Всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности (ИММОД-2013).

В [4] показано, что при моделировании распределений с "тяжелыми" хвостами возникают проблемы, решение которых связано с созданием специализированных программных средств ИМ.

В [5] рассматриваются проблемы, возникающие при применении имитационного моделирования для анализа и управления глобальными системами при наличии хаотических факторов. Исследуются действие двух хаотических факторов ("объединение функций и структур различных систем" и "возрастание коррупции") на функцию пропорциональности бюджета России. О конкретных выводах говорить рано, но показана перспективность интеграции технологии ИМ и синергетического анализа для получения оценок в указанной плохо формализуемой задаче.

Рассматривая возможности интеграции технологии ИМ и синергетического анализа, следует остановиться на двух важных положениях, которые показывают перспективность решения поставленной проблемы.

Первое положение. Программа для имитации случайных равномерно распределенных величин, на использование которой построено моделирование случайных величин, подчиненных любому закону распределения в методе Монте-Карло и в ИМ, основана на методе Лемера. Алгоритм Лемера генерирует хаос; он аналогичен модели хаотического движения, получившему название сдвига Бернулли. Когда метод Лемера стал применяться в методе Монте-Карло, вопрос о том, почему применяя алгоритм, то есть детерминированную модель, получаем последовательность (в ограниченном диапазоне) случайных чисел, долгое время оставался без убедительного ответа. Обоснованный ответ был дан значительно позже в теории детерминированного хаоса. Таким образом, генератор хаотических колебаний, но под названием метод Лемера стал использоваться в имитационном моделировании задолго до того, как появился термин "детерминированный хаос". В

какой-то мере это символично определяет потребность в пополнении блока генераторов случайных величин и процессов программами для имитации хаотических колебаний.

Второе положение. Несмотря на значительный потенциал ИМ, практическое его применение долгое время было ограничено. Причина состояла в том, что исследователь должен был обладать широким спектром знаний, навыков и умений в таких предметных областях как системный анализ, исследование операций, математическая статистика, программирование моделей, планирование экспериментов и т.д. Т.е. необходимым комплексом знаний обладали лишь профессионалы ИМ.

Знаменателен в этом контексте тот факт, что одна из фундаментальных работ в области имитационного моделирования, изданная в России в 1978г. (автор Р.Шеннон) получила название “Имитационное моделирование систем - искусство и наука”. Итак, с одной стороны большой спрос на решение технологией имитационного моделирования важных для экономики задач, а с другой стороны, ограниченная доступность для практических реализаций. Эта задача стала актуальной на долгий период времени. Появление целого ряда симуляторов, таких как EXTEND, ARENA, AnyLogic, SIMIO и др. значительно расширило круг пользователей. В этом контексте следует упомянуть исследование, проведенное В.В.Девятковым [6], который разработал принципы и концепции новой методологии имитационных исследований. Качественно новым и логичным результатом является представление процесса проведения имитационных исследований сложных систем (ИИСС) в виде парадигмы абстрактных уровней. Сформулированная парадигма и принцип единства процесса ИИСС подводят к необходимости разработки единого инструментального средства проведения ИИСС в виде интегрированного программного комплекса, работающего в единой информационной базе с использованием унифицированного языка диалога исследователя с программой. Использование библиотек моделей, заранее созданных прототипов, позволяет исследователю сократить по времени и упростить, по сути, переход от разработки модели к ее практическому применению. Другим преимуществом такого подхода является предоставление принципиально новых возможностей комплексного анализа системы, подключение любых необходимых для исследования расчетов в единый программный контур.

Выводы

Актуальность интеграции технологии имитационного моделирования с синергетическим анализом требует пересмотра возможностей ИМ, создания новых программных модулей, алгоритмов имитационного моделирования, учитывающих “длинное” время для исследуемых процессов. Перспективна агентно-ориентированная технология, в которой правила поведения агентов позволяют заменить модели марковских цепей при моделировании поглощающих состояний.

Литература

1. Малинецкий Г.Г. Математические основы синергетики. Хаос, структуры, вычислительный эксперимент. Изд.5-е. - М.: Издательство ЛКИ, 2007.- 312с. (Синергетика: от прошлого к будущему.).
2. Григорьев Л.И., Кузьмицкий И.Ф., Санжаров В.В. Системный и синергетический анализ управления непрерывными технологическими

- процессами в нештатных ситуациях. Труды ВСПУ, ИПУ РАН, Москва, 16-19 июня 2014г. 4285 -4296с.
3. Эбелинг В., Энгель А., Файстель Р. Физика процессов эволюции. Пер. с нем. Ю.А.Данилова.- М.: Эдиториал УРСС.2001.-328с.
 4. Задорожный В.Н.Кутузов В.И.Проблема и техника моделирования фрактальных очередей. Материалы конференции “Имитационное моделирование. Теория и практика“. ИММОД-2013. – Казань: Изд-во “Фэн“ Академии наук РТ., 2013.- Т.1- 143-148с.
 5. Кобелев Н.Б. Принципы имитационного моделирования глобальных хаотических систем, их анализ и оптимальное управление. Материалы конференции “Имитационное моделирование. Теория и практика“. ИММОД-2013. – Казань: Изд-во “Фэн“ Академии наук РТ., 2013.-Т.1- 165-169с.
 6. Девятков В.В. Развитие методологии имитационных моделей сложных экономических систем. Диссертация на соискание ученой степени доктора экономических наук по спец. 8.00.13 – Математические и инструментальные методы экономики. Москва, 2015.