

Чайковская М.П.,
к.э.н., доцент каф. менеджмента
и ММРП ОНУ им. И.И. Мечникова,
chmp@ukr.net,
Жарова А.В.,
аспирант,
alona_zharova@yahoo.com

ФОРМИРОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ АГЕНТНО-ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация. Проведен теоретический анализ подходов имитационного моделирования, систематизированы методы интеграции системной динамики и агентного моделирования, как результат сформирована методология агентно-динамического подхода. Проанализированы сферы его применения в разрезе уровней управления компаниями.

Ключевые слова: агент, агентное моделирование, системная динамика, агентно-динамическое моделирование, управление предприятиями.

Постановка проблемы в общем виде. В современных динамичных условиях информационной перенасыщенности деятельность предприятий становится все сложнее, а вместе с тем усложняются и возникающие проблемы. Одним из способов анализа проблем сложных систем, которые невозможно решить аналитически, является создание модели с использованием определенных инструментов имитационного моделирования, а именно системной динамики (СД) и агентного моделирования (АМ).

Анализ исследований и публикаций последних лет. Исследования по СД и АМ ведутся во многих отечественных и зарубежных университетах. Особенности СД рассмотрены в трудах Д. Форрестера, Д. Стермана, Г. Шолль, Г. Ричардсона, Ч. Макала и др. Вопросам АМ посвящены работы М. Мэйси, Р. Акстелла, Д. Каталевского, Т. Попкова и др. Проблемы интеграции СД и АМ разрабатывались в таких сферах деятельности, как медицина (В. Вейкланд, Г. Фигуредо, У. Аикелин), экономика и управление бизнесом (К. Кикхедер, Д. Хайнс, Д. Хаус, Т. Лоренц, А. Басси, Р. Баррейрос, Р. Протил, К. Хассельман), логистика (Н. Шириц, А. Грослер, А. Борщев, А. Филиппов) и др.

Выделение нерешенной части проблемы. В тоже время в указанных работах не рассмотрен ряд проблем методического характера, отражающих специфику интеграции СД и АМ. К таким проблемам можно причислить: недостаточно

формализованный подход при определении способа интеграции подходов; отсутствие унифицированной методологии по интеграции СД и АМ для моделирования систем; недостаточную проработку вопросов прикладного характера для моделирования систем в сфере управления.

Вышесказанное определяет **цель данной работы**, которая состоит в систематизации методов комбинирования СД и АМ для формирования методологии агентно-динамического подхода, а также анализ сфер его применения в разрезе уровней управления компаниями.

Изложение основного материала.

СД является одним из наиболее старых подходов имитационного моделирования. Ее основополагающие принципы были разработаны в Массачусетском технологическом институте в 50-х годах инженером Джейм Форрестером. Международная организация «Общество системной динамики» определяет СД как «автоматизированный подход к анализу политик» [19]. В узком смысле СД представляет собой набор инструментов, который позволяет изучать структуру и динамику процессов сложных систем [9]. Чаще всего СД используется для моделирования и анализа динамических социо-экономических систем. СД находит свое применение в самых разнообразных сферах, таких как экономика, управление бизнесом, государственное управление, правовая сфера, транспортные перевозки, инженерия, медицина, биология, экология, антропология, психология, социология, образование и др. [17, 18]. Строение модели СД вызывает особый интерес. Систему окружает закрытая граница (closed boundary), благодаря которой система не подвержена влиянию внешних раздражителей. Внутри закрытой границы находятся основные элементы структуры — петли обратной связи. Каждая петля обратной связи включает два вида переменных, отображающих деятельность внутри петли: переменные уровня (level variables) и динамические переменные (rate variables). Переменные уровня отражают

состояние системы в определенный момент времени и представляют собой запасы, или накопители (stocks), а динамические переменные объединяют элементы процесса принятия решения и представляют собой потоки (flows) [15]. СД изучает не индивидуальные объекты, решения или события, а только их агрегированные показатели. Поэтому запасы являются однородными объектами или группами объектов, которые отображают количество с течением времени, например, запасы продукции. В свою очередь, потоки отображают переход от запаса к запасу и обеспечивают связь между ними. Формирование сложного поведения системы происходит в результате взаимодействия петель обратной связи положительной и отрицательной полярности, комбинируя которые можно создавать всевозможные сочетания процессов различных систем [19].

Таким образом, в модели СД реальные системы описываются через запасы и потоки с помощью петель обратной связи, в результате чего формируется структура системы. В свою очередь структура системы формирует поведение системы.

Исходя из этого, главная задача анализа моделируемой системы состоит в идентификации структурных зависимостей, правил и закономерностей функционирования системы, а также в разработке формальной структуры, которая сможет воспроизвести основные характеристики рассматриваемой системы.

Чаще всего СД применяется, когда для более качественного управления сложной системой необходимо иметь четкое представление о механизме функционирования этой системы. Однако, если поведение системы формируется в результате взаимодействия многочисленных субъектов, обладающих индивидуальными поведенческими характеристиками, то в этом случае для моделирования сложных систем используется агентный подход.

Агентное моделирование.

Источником возникновения агентных систем считают сложные адаптивные системы (complex adaptive systems), основная задача которых состоит в определении причин формирования сложного поведения в природе автономными агентами [7].

Сфера применения дискретных агентных моделей не менее разнообразна, чем непрерывных моделей СД. К ней относятся экономика, социология, психология, антропология, биология, экология, транспортное движение, анимационное и интерактивное медиа, военная сфера, искусственный интеллект, теория сложных систем, теория игр и др. [17, 23]

Цель АМ состоит в «изучении глобальных последствий индивидуальных взаимодействий как возникающих (emergent) характеристик системы» [9].

Главная задача агентных моделей заключается в облегчении понимания разработчиком (или проектной группой) природы сложных социально-экономических явлений в системах [26].

В АМ макроповедение системы не задается изначально, как в СД, а формируется постепенно в результате взаимодействия индивидуальных субъектов, называемых агентами, на микроуровне. Таким образом, агентов можно назвать основополагающими кирпичиками при построении агентной модели [16].

Агентная модель включает в себя окружающую среду (environment) и взаимодействующих в ней объектов — агентов [3, 5, 17].

В результате проведенного автором исследования было сформулировано комплексное определение понятия «агент» — это «автономный объект, целенаправленно функционирующий в конкретной среде по определенному набору правил, взаимодействующий с другими агентами и адаптирующийся в процессе функционирования» [24].

Каждый агент действует согласно его поведению, которое представляет собой набор основных правил и характеризующих параметров. Каждый агент имеет свои состояния (states) и правила поведения [3]. Для формирования агентной модели применяются диаграммы состояний (statecharts), хотя не исключено использование других инструментов [27]. Друг с другом агенты взаимодействуют через передачу сообщений или данных в сеть [20].

Агенты представляют объекты реальных систем, например, человека, компанию, животного и т.д. [15]. Агенты влияют друг на друга и реагируют в ответ на раздражители, в результате чего формируется эмерджентное или возникающее поведение [8]. Причем, полученное поведение системы не равно сумме поведений всех агентов [2, 5, 17], т.к. в данном случае проявляется синергический эффект.

Агенты могут адаптироваться и изменять свое поведение, создавать и уничтожать динамические отношения с другими агентами [7]. Другими словами, каждый агент в модели выполняет свою собственную функцию для достижения общей цели.

Совокупность агентов и других элементов агентной системы представляет собой континуум агентов (continuum of agency). Уровень развития континуума агентов определяется уровнем развития характеристик агентов [15].

Поведение агентов регулируется их собственной схемой (schema), т.е. «когнитивной структурой, которая определяет, какое действие агент предпринимает в момент времени t , с учетом его восприятия окружающей среды» [14]. Другими словами, схема представляет собой набор

алгоритмических правил, которые управляют поведением агента [21]. Одной из важнейших особенностей такой схемы является ее способность адаптироваться к окружающей среде в результате эволюции [13, 14]. Таким образом, схема агента предопределяет его поведение и в результате взаимодействия множества таких агентов формируется макроуровень системы.

Исходя из этого, для создания агентной модели необходимо составить для каждого типа агентов описание свойств, правил поведения и взаимодействия с другими агентами и с окружающей средой [11].

Учитывая специфику агентных систем, АМ во многих случаях является более предпочтительным методом моделирования, а иногда и единственным.

АМ является одним из лучших методов исследования сложных адаптивных систем [1], с десятками, сотнями или тысячами взаимодействующих агентов.

Также АМ предоставляет возможность изучать различные явления и процессы поведенческой экономики и социальных систем, например, иррациональные моменты принятия решений [3, 26]. Поскольку даже элементарные правила поведения агентов в результате тестирования модели могут привести к невероятным последствиям [2].

АМ является уникальным методом исследования систем, в которых агенты адаптируются в соответствии с прошлым опытом и эволюционируют, а также в тех случаях, когда нет возможности провести математический анализ [2].

Более того, агентные модели способны не только делать прогноз, но и исследовать альтернативные будущие варианты развития событий при использовании агентов-призраков [11].

И наконец, агентные модели являются прекрасным инструментом тестирования при проведении научных исследований. Аксельрод и Тесфацион даже считают АМ одним из методов научного исследования, наряду с индукцией и дедукцией [4]. При использовании АМ в научных исследованиях можно строить предположения о поведении агентов и их взаимодействии, и в результате получать глобальное поведение системы [25]. Важным преимуществом является то, что исследователь имеет возможность в процессе работы с готовой моделью варьировать заданные параметры и условия, получая, таким образом, большое число альтернативных вариантов развития событий.

Агентно-динамическое моделирование (АДМ).

Когда систему требуется рассмотреть с более глобальной точки зрения, или когда разнородные элементы системы должны рассматриваться в комплексе, использование только одного из подходов

не принесет результата. Поскольку в этом случае необходимо интегрировать СД и АМ. Комбинированная модель позволит не только избежать некоторых сложностей, которые могут возникать в системно-динамической или агентной модели, но и по-новому взглянуть на систему и происходящие в ней процессы.

На созданной модели можно тестировать различные сценарии развития или какие-либо правила, чтобы ответить на вопросы «что, если?» и «почему?» [10]. В результате тестирования делаются соответствующие выводы и заключения, например, о необходимости применения конкретных политик.

При применении АДМ к управлению деятельностью предприятий представляется возможность не только протестировать соответствующую модель, но и понять механизмы, лежащие в основе менеджмента моделируемого проекта.

Таким образом, прежде чем проводить изменения в реальной системе, можно сначала исследовать их на модели этой системы. Предварительное тестирование запланированных изменений на модели системы позволит избежать потерь ресурсов, проанализировать риски, просчитать возможные варианты развития событий, понять какие правила ведут к оптимизации системы, а какие, наоборот, мешают ее функционированию.

При интеграции СД и АМ учитывается большее количество факторов, благодаря чему качество полученной модели, а, следовательно, и принятых на ее основании решений, значительно повышается.

Интеграция подходов приносит также два очевидных преимущества. Во-первых, подходы дополняют друг друга: «интеграция системной динамики и агентного моделирования может быть плодотворной при объединении лучших свойства каждой из концепций» [6]. Во-вторых, в процессе интеграции СД и АМ некоторые недостатки, свойственные одному подходу, перекрываются за счет преимуществ или особенностей другого подхода или просто исчезают. И, поскольку у комбинированного подхода образуется больше преимуществ, чем у СД и АМ вместе взятых, то возникает синергический эффект.

Методология АДМ.

Для идентификации практических методов комбинирования СД и АМ автором были проанализированы скомбинированные модели из различных областей деятельности, а также изучены использованные способы соединения подходов [22]. В результате были выделены пять методов, которые комплексно отображают возможные способы интеграции СД и АМ в единый агентно-динамический подход.

1. Метод простой взаимосвязи.

Моделирование агентов (АМ) и системно-динамических объектов (СД), как отдельных структур, которые при необходимости обмениваются информацией.

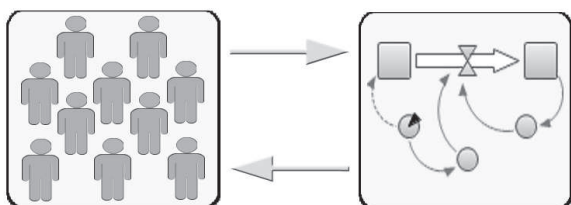


Рис. 1. Метод простой взаимосвязи

2. Метод доминирования агента.

Моделирование одного агента на макроуровне (АМ) и его внутренней системно-динамической структуры на микроуровне (СД).

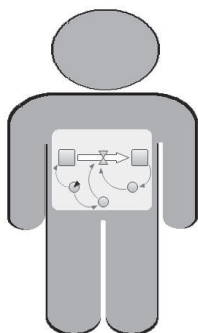


Рис. 2. Метод доминирования агента

3. Метод доминирования множества агентов.

Моделирование взаимодействия двух и более агентов на макроуровне (АМ) и их внутренней системно-динамической структуры на микроуровне (СД).

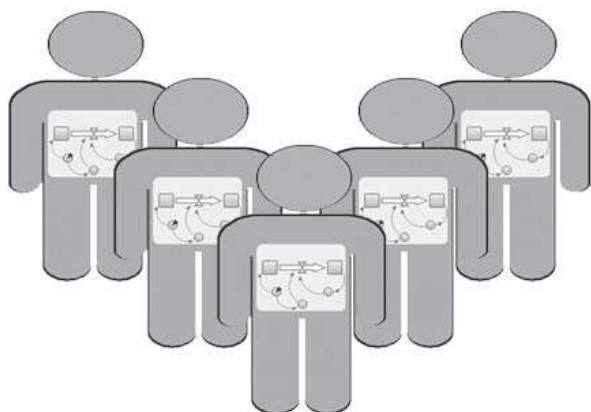


Рис. 3. Метод доминирования множества агентов

4. Метод доминирования системно-динамической структуры.

Моделирование одной системно-динамической структуры (объекта) на макроуровне (СД) и

некоторого числа взаимодействующих в ней агентов на микроуровне (АМ).

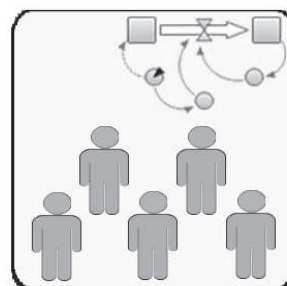


Рис. 4. Метод доминирования системно-динамической структуры

5. Метод доминирования множества системно-динамических структур.

Моделирование двух и более системно-динамических структур (объектов) на макроуровне (СД) и некоторого числа взаимодействующих в них агентов на микроуровне (АМ).

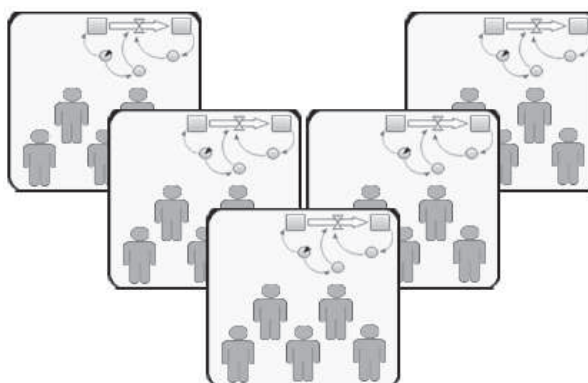


Рис. 5. Метод доминирования множества системно-динамических структур

Сфера применения АДМ.

Агентно-динамические модели могут использоваться на различных уровнях иерархии в компании: стратегическом, тактическом и оперативном.

На стратегическом уровне может быть создана модель для предварительного тестирования различных стратегий или глобальных решений и политик. Преимущества такого моделирования налицо. Во-первых, снижается риск принятия провальных решений, ведущих к негативным последствиям в компании. Во-вторых, у руководства компании улучшается понимание взаимосвязи как отдельных подразделов и процессов в компании, так и функционирования компании в целом.

На тактическом и оперативном уровнях, происходит осознание работником важности выполняемого конкретно им процесса, значимости их участка работы в составе процессов всей компании. В результате повышается личная мотивация сотрудников, корпоративная ответственность и

производительность труда и, следовательно, всей компании.

Выводы и перспективы дальнейших разработок. Использование агентно-динамических моделей в проектных группах компании предоставляет возможность исследования различных вариантов развития событий с экономией ресурсов. Когда проектная группа состоит из специалистов из различных областей, например, экономистов, физиков, архитекторов и пр., то использование такой модели не только облегчает взаимопонимание между участниками, но и позволяет каждому из специалистов быстро выявить недочеты и ошибки, связанные с его сферой деятельности. В итоге получается комплексная модель, учитывающая мнения всех экспертов, а затем, в результате проигрывания различных сценариев осуществления проекта, выбирается наиболее эффективный вариант. Также созданную агентно-динамическую модель можно использовать в качестве наглядной демонстрации при презентациях, поскольку она облегчает понимание проблемы.

Для того, чтобы понять, какой из подходов, СД, АМ или АДМ, лучше применить, необходимо тщательно изучить моделируемую систему.

АДМ предпочтительнее применять в случаях, когда:

- система включает в себя как гомогенные, так и гетерогенные элементы, т.е. элементы настолько разнородны, что сгруппировать их по каким-либо признакам не представляется возможным;
- элементы одной системы относятся к различным уровням абстракции;
- использование двух подходов в одной модели облегчает описание и создание этой модели.

Таким образом, агентно-динамическая модель повышает уровень понимания, как структуры моделируемой системы и ее динамических процессов, так и взаимодействия ее элементов в комплексе. В результате чего возникает возможность не только повысить качество управленческих решений, но и снизить затраты.

Для определения наиболее оптимального метода АДМ для конкретной системы, необходимо проанализировать ее структуру и уровень динамики, количество элементов системы, их свойства, а также характер их взаимоотношений. Исходя из полученной комплексной информации делается вывод о применимости того или иного метода.

Литература

1. Akkermans H. Emergent Supply Networks: System Dynamics Simulation of Adaptive Supply Agents / Akkermans H. // In Proceedings of the 34th Annual Hawaii International Conference on System Sciences. — Washington. — 2001.

2. Axelrod R. Guide for Newcomers to Agent-based modeling in the Social Sciences / Axelrod R., Testfatsion L.A. — June 27, 2005.

3. Axtell R. Why Agents? On the varied Motivations for Agent Computing in Social Sciences / Axtell R. // Center on Social and Economic Dynamics. — Working Paper No.17. — November, 2000.

4. Barreiros R. F. Proposal of a Strategic Management Simulation Model for Agro-Industrial Cooperatives / Barreiros R. F., Protol R. M. — 2010.

5. Bonabeau E. Agent-based modeling: methods and techniques for simulating human systems / Bonabeau E. // In Proceedings of the National Academy of Sciences. — Vol. 99. — May 14, 2002. — P.7280–7287.

6. Lektuers A. Combined Multi-Scale System Dynamics and Agent-Based Framework for Sustainable Community Modelling / Lektuers A., Trusins J. // Scientific Journal of Riga Technical University. — Vol. 2. — 2011. — P.23-29.

7. Macal C.M. Tutorial on Agent-Based Modelling and Simulation / Macal C.M., North M.J. // In Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference. Center for Complex Adaptive Systems Simulation. — Argonne, USA. — 2005.

8. Macy M.W. From Factors to Actors: Computational Sociology and Agent-Based Modeling / Macy M.W., Willer R. — Cornell University. — August, 2001.

9. Martinez-Moyano I. Design for a Multilayer Model of Financial Stability: Exploring the Integration of System Dynamics and Agent-based Models / Martinez-Moyano I., Sallach D., Bragen M. // System Dynamics. — 2007. — P.1–16

10. Martischign A. Modeling two stage preventive medical checkup systems with social science approaches / Martischign A., Voessner S., Stark G. // Communications in Computer and Information Science. — Vol. 67. — 2010. — P.260-269.

11. Parunak H. V. D. Prediction Horizons in Agent Models / Parunak H. V. D., Theodore C. B., Brueckner S. A. // Lecture in Computer Science. — Vol. 5049. — 2008. — P88-102.

12. Rand W.M. Agent-Based modeling in Marketing: Guidelines for Rigor / Rand W.M., Rust R.T. // International Journal of Research in Marketing. — June 10, 2011.

13. Schieritz N. Emergent structures in supply chains: a study integrating agent-based and system dynamics modeling / Schieritz N. and Grujler A. // In Proceedings of the XXI International Conference of the System Dynamics society. — 2003.

14. Schieritz N., Milling P. Modeling the Forest or Modeling the Trees — A Comparison of System Dynamics and Agent-Based Simulation // In Proceedings of the XXI International Conference of the System Dynamics Society. — New York, USA. — 2003.

15. Schieritz N. Integrating System Dynamics and Agent-Based Modeling / Schieritz N. — 2002.

16. Schieritz N. Agents first! Using agent-based simulation to identify and quantify macro Structures. In Complex decision making: theory and practice / Schieritz N., Milling P. M. — Berlin : Springer. — 2008. — P.139-152.

17. Scholl H.J. Agent Based and System Dynamics Modeling: A Call for Cross Study and Joint Research / Scholl H.J. // In Proceedings of the 34th Annual Hawaii International Conference on System Sciences. — Washington. — 2001.

18. Scholl H.J. Looking Across the Fence: Comparing Findings From SD Modeling Efforts With those of Other Modeling Techniques / Scholl H.J. // Proceedings of the 19th International Conference of the System Dynamics Society. — Atlanta. — 2001.

19. System Dynamics Society's official site. The Field of System Dynamics. Available from: http://www.systemdynamics.org/what_is_system_dynamics.html.

20. Tian Y. Agent-based modeling and System Dynamics modeling on Transmission of Tuberculosis in Saskatchewan / Tian Y. — 2012.

21. Vincenot C.E. Theoretical considerations on the combined use of System Dynamics and individual-based modeling in ecology / Vincenot C.E., Giannino F., Rietkerk M., Moriya K., Mazzoleni S. // Ecological Modelling. — N.222. — 2011. — P.210-218.

22. Zharova A. V. The practical methods of integration of System Dynamics and Agent-Based Modeling / Zharova A. V. // In Proceedings of the XXXV International Research and Practice Conference «Solution of a social requirements and objective reality issues in economical and juridical sciences» and the Third stage of Research Analytics Championship. — London, UK. — October, 2012. — P.37-38.

23. Боршев А. Практическое агентное моделирование и его место в арсенале аналитика / А. Боршев // Экспонента PRO. — №3-4 (7-8). — 2004. — С.38-47.

24. Жарова А. В. Применение метода абстракции через отношение эквивалентности к определению понятия агент / А. В. Жарова // Научный журнал «Экономика сегодня: актуальные вопросы и перспективы». — №1. — Днепропетровск, 2012. — С. 101-116.

25. Карпов Ю.Г. Моделирование агентов — новая парадигма в имитационном моделировании / Ю.Г. Карпов. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://mas.exponenta.ru/files/npo/texts/karpov.pdf>.

26. Каталевский Д.Ю. Системная динамика и агентное моделирование: необходимость комбинированного подхода / Д.Ю. Каталевский. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://sysdynamics.ru/system/files/5/original/Katalevsky_article_agents_SD.pdf.

27. Попков Т. В. Многоподходное моделирование: практика использования / Т. В. Попков // 4-я Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию ИММОД 2009. — Санкт-Петербург. — Октябрь 21-23, 2009.

Чайковська М.П., Жарова А.В. Формування методології агентно-динамічного моделювання

Анотація. У статті проведено теоретичний аналіз підходів імітаційного моделювання, зокрема системної динаміки та агентного моделювання. Систематизовано методи інтеграції системної динаміки та агентного моделювання, як результат сформована методологія агентно-динамічного підходу. Проаналізовано сфери його застосування в розрізі рівнів управління компаніями.

Ключові слова: агент, агентне моделювання, системна динаміка, агентно-динамічне моделювання, управління підприємствами.

Chaykovska M., Zharova A. Development of methodology of agent-dynamic modeling

Summary. The article deals with theoretical analysis of simulation approaches, in particular system dynamics and agent-based modeling. The methods of integration of system dynamics and agent-based modeling are systematized, as the result, the methodology for agent-dynamic approach is formed. Its application by levels of management of companies is analyzed.

Keywords: agent, agent-based modeling, system dynamics, agent-dynamic modeling, management of enterprises.