

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК

Н.Н. Лычкина (Москва)

Сущность интегрального подхода в управлении цепями поставок (УЦП) заключается в рассмотрении логистического процесса как единого целого в цепях поставок (ЦП) для более эффективного достижения стратегических целей бизнеса и баланса затраты-сервис, повышении надежности и устойчивости ЦП, как базовых характеристик функционирования ЦП в аспекте логистической интеграции. Отдельные организации рассматриваются как звенья общей ЦП, что предполагает взаимодействие между партнерами, связанное с достижением общих целей обеспечение эффективности функционирования всей цепи поставок и устранением конфликтов интересов между партнерами (контрагентами).

С позиций системного подхода интегрируемость – одна из центральных проблем теории УЦП. Интуитивно интеграция воспринимается как действие, направленное на достижение целостности представлений о сложной системе. В ходе эволюции и становления парадигмы SCM [1] рассматривались различные виды интеграции: от операционной логистической интеграции до интеграции ключевых бизнес-процессов в ЦП, интеграция логистических инфраструктурных мощностей, интеграция в рамках аутсорсинга, межорганизационная логистическая интеграция, стратегическое планирование и контроллинг в цепи поставок, интегрированное планирование и управление запасами, информационная интеграция, вызванная необходимостью построения единого информационного пространства контрагентов.

Интегрированные системы на практике создаются, например, на основе долговременных договорных связей (соглашений) между производителем или владельцем товара (услуги) и юридически самостоятельными компаниями, входящими в устойчивую цепь поставок. Под интеграцией в ЦП понимается также совокупность каналов и связей как внутри предприятия, так и между партнерами в ЦП. Гибкие сетевые структуры ЦП выстраиваются на основе взаимодействия контрагентов. Логистическая координация, межорганизационное взаимодействие является неперенным условием эффективного управления ЦП. Стратегическое взаимодействие и сотрудничество компаний (контрагентов ЦП), интеграция участников цепи создания стоимости, кооперация, внутри и межфирменная интеграция и координация участников (стекхолдеров) ЦП являются необходимым условием, обеспечивающим согласованное взаимодействие всех элементов логистической системы и целостную синхронизацию и оптимизацию логистических сущностей в масштабе всей ЦП.

Интеграция разных видов обеспечивает синергетический эффект в ЦП, который не может быть получен за счет локальной оптимизации в ущерб системной эффективности или решения частных задач в функциональных областях логистики [8]. В этих условиях решение задач анализа и синтеза, модельное описание или представление (концептуализация) логистической системы (ЦП) необходимо осуществлять как единой целостности с позиций системного подхода.

Современный тренд в SCM состоит в переходе от задач совершенствования операционной эффективности в ЦП к решению стратегических задач развивающихся и динамичных ЦП. Долгосрочное развитие (sustainable), динамичные цепи поставок, трансформирующиеся структуры логистических систем, изменяемые логистические процессы становятся объектом анализа в стратегическом аспекте [4,6]. Стратегическое планирование и долгосрочное стратегическое развитие цепей поставок (ЦП); динамическая реконфигурация ЦП, обеспечение устойчивого функционирования ЦП в условиях турбулентных изменений во внешней среде и осуществляемых бизнесом организационных изменений; формирование долгосрочных стратегий сотрудничества контрагентов, внедрение современных логистических концепций и технологий, основанных на интеграции и координации участников, поиск

эффективных методов совместного планирования – такой спектр разноплановых задач стратегического характера стоит перед бизнесом, исповедующем интегральную парадигму SCM и стремящегося к достижению стратегических и конкурентных преимуществ в условиях слабо предсказуемых и динамичных изменений. Реализация стратегии фокусной компании ЦП предполагает формирование и анализ множества динамических альтернативных структур ЦП (конфигурирования ЦП) и сценариев их трансформации, отвечающих задачам стратегического развития, эффективного функционирования ЦП в целом, измеряемого с помощью набора показателей эффективности. Стратегическое управление – это системное развитие объекта во времени, исследование долгосрочных последствий и сценариев такого развития является приоритетной и важной задачей.

Внедрение современных логистических концепций и технологий (VMI, CPFR и др.), основанных на сотрудничестве и совместном планировании и прогнозировании, на практике определяют потребность в формировании долгосрочных отношений сотрудничества между партнерами и выстраивания эффективных стратегий такого сотрудничества, отвечающих общим целям и интересам участников. Организационная интеграция и координация на основе новых логистических технологий предполагает не только усиление и изменение характера информационного обмена, но и организационных изменений, реинжиниринга логистических бизнес-процессов, изменения методов планирования. В этих условиях, превентивная оценка принимаемых управленческих решений и оценка их влияния на эффективность функционирования цепи поставок в стратегической перспективе является нетривиальной задачей, решение которой невозможно без моделирования ЦП.

Структурная и динамическая сложность ЦП, многофункциональность элементов и выраженная неоднородность, разнообразие причинно-следственных связей, наличие нелинейных обратных связей, необходимость учитывать множественные факторы риска и неопределенности, неустраняемая многокритериальность и др. факторы затрудняют исследование ЦП с помощью традиционных методов математического моделирования. В традиционном математическом моделировании (методы оптимизации, исследования операций) не уделяется внимания динамическому аспекту в логистических системах, анализу устойчивости, поведенческим аспектам и др. Исследования в рамках методологии общей теории систем сконцентрированы в большей своей части на анализе и синтезе структур систем различной природы. Исследования в области анализа и синтеза ЦП находятся в этой же тенденции, в недостаточной степени уделяют внимание динамическому аспекту, особенно в стратегическом аспекте исследования динамичных и развивающихся ЦП. Время и динамика является существенным фактором в исследовании логистических систем, и именно ими приходится обычно пренебрегать в постановках задач оптимизации. Время является измерителем логистических процессов и цикла исполнения заказов, определяющим уровень логистического сервиса. Состояние и движение материальных и финансовых потоков, устойчивость и колебания в цепях поставок, динамика спроса и изменения во внешней среде, адаптивность ЦП как способность системы изменять свое поведение и переходить в новое устойчивое состояние со сменой организационной структуры, и наконец, сами процессы развития, динамика и сценарии такого развития – требуют учета при анализе моделируемых динамичных цепей поставок. Имитационное моделирование и его базовые, наиболее популярные парадигмы, нашедшие широкое применение в исследовании и моделировании цепей поставок: дискретное или процессно-ориентированный подход (DES), системная динамика (SD), агентное моделирование (ABMS) [2,3,9] является эффективным методом анализа и дизайна динамичных ЦП.

Наиболее характерные задачи управления ЦП, требующие рассмотрения динамических аспектов:

- управление взаимосвязанными материальными, информационными и финансовыми потоками, как основное содержание логистической деятельности;
- интеграция логистических бизнес-процессов по всей протяженности цепи создания ценности, основы процессного подхода;
- координация участников ЦП – разработка стратегии сотрудничества, взаимодействие звеньев ЦП в процессе оптимизации добавленной ценности;
- анализ устойчивости ЦП, изучение и элиминирование негативных последствий «эффекта хлыста» в ЦП в условиях возмущающих воздействий нецеленаправленного и целенаправленного характера.

Цепи поставок являются сложной организационной системой (т.е. связанной с участием человека) [9]. Исследование межорганизационного взаимодействия и поведенческих аспектов, формирование новых гибких организационных и сетевых форм (коалиций) в процессе взаимодействия и кооперации являются исключительно важным аспектом в управлении и моделировании ЦП. Организационные аспекты, поведение участников и индивидуальные интересы и стратегии, характер и стратегии сотрудничества, основанные на доверии, мотивационные факторы и препятствия для его достижения являются доминирующим фактором. Это определяет необходимость поиска новых подходов в моделировании ЦП как систем организационного типа. С содержательной точки зрения координация в ЦП предназначена для согласования индивидуальных целей и вариантов поведения отдельных участников с глобальной целью и влияет на качество решения общей задачи УЦП. Процессы координации и сотрудничества участников ЦП способствуют формированию новых организационных свойств. Таким образом, стратегии сотрудничества и способность к самоорганизации могут оказывать существенное влияние на показатели эффективности функционирования цепи поставок. Поведенческий аспект участников и партнеров, индивидуальные интересы и цели, мотивации и принятие решений, образование коалиций, формирование и установление доверительных отношений между контрагентами ЦП, базовые механизмы и интегрированные технологии и др. факторы, описывающие явления межорганизационной координации и сотрудничества являются также существенных фактором динамического характера при моделировании ЦП. Многоагентное компьютерное моделирование открывает новые возможности в решении обозначенных задач.

Описание ЦП как единой целостности с позиций системного подхода определяет необходимость рассмотрения в совокупности множественности структур, потоков, процессов, участников и их взаимосвязей; рассматривая сложную ЦП с различных углов зрения: с позиций объектного подхода; с позиций процессного подхода; с позиций описания функций и механизмов координации; с позиций структурирования уровней управления и задач управления. В реальных задачах анализа и синтеза ЦП, конфигурирования и анализа развития ЦП все эти представления могут дополнять друг друга. Автором выполнена стратификация [5], базовая концептуализация и предложен общий модельный фреймворк ЦП, который включает ряд взаимосвязанных представлений: объектное описание логистической системы, сетевую модель (топологию сети), процессное описание, описание функций и механизмов координации, состав описаний, структурные и динамические представления моделируемой ЦП детализируются в зависимости от решаемых задач. Стратифицированное описание ЦП, как показано выше, должно объединять способы представления сетевых структур, процессов, потоков и многих других явлений и феноменов в описании динамичных ЦП. Автором предлагаются подходы к моделированию ЦП и процедуры анализа и синтеза, развивающихся ЦП на основе гибридного имитационного моделирования [6].

Дискретное имитационное моделирование (DES) сегодня стало практической технологией логистического инжиниринга и аудита (называемые *material flows models*). Дискретная имитационная модель детально отображает сетевую структуру цепи поставок и перемещение динамических объектов (груза, транспортных средств) по сети, позволяет измерять время, стоимость бизнес-процессов, проводить анализ узких мест. Такой способ представления ЦП в дискретной имитационной модели позволяет детально описывать конфигурации и топологию ЦП, с детализацией характеристик и правил выполнения отдельных бизнес-процессов в узлах сети, что исключительно полезно в условиях проектирования оптимальной топологии и конфигурации ЦП, конфигурации ее сетевой структуры, решением задач размещения объектов логистической инфраструктуры, решений по определению потребностей в логистических мощностях, политик управления закупками, запасами, вариантов операционной логистической деятельности в контексте комплексного решения по формированию и оптимизации стратегической и тактической деятельности в ЦП.

Однако, являясь хорошо известным для сферы логистики, метод имеет целый ряд ограничений в анализе процессов устойчивости, а также поведенческих аспектов, решений по управлению взаимоотношениями с поставщиками и потребителями, процессов самоорганизации в цепях поставок. Динамические сущности процессной модели являются пассивными сущностями, перемещающимися в жестко заданной структуре (сети), описывают такие элементы логистической инфраструктуры как объекты транспортно-складской инфраструктуры, грузопотоки, ресурсы, и не могут воспроизводить активность агентов цепи поставок, принимающих самостоятельные решения. Децентрализованное принятие решения и самоорганизация также не воспроизводятся с помощью конструкций DES. Несмотря на то, что большинство исследователей относят задачу конфигурирования сети поставок к тактическому уровню, воспроизведение динамики развития, эволюции и изменение структуры по ходу моделирования с помощью DES сложно реализуемо.

Основные преимущества и возможности DES в моделировании ЦП:

- описывает сложные топологии и сетевые структуры с привязкой к карте;
- учет индивидуальных характеристик (поставщики, спрос и др.);
- применение методики Activity Based Costing - функционально-стоимостной анализ с привязкой к временным параметрам моделируемых бизнес процессов;
- описание множественных асинхронных логистических процессов (существуют инструментальные решения по сопряжению DES и методологий и инструментов BPR) на основе SCOR-рекомендаций, измерение временных параметров логистических процессов, динамически изменяемые маршруты;
- анализ узких мест в узлах сети, синхронизация процессов, удобное описание и выбор стратегий управления материальными потоками (тянущая, толкающая);
- учет стохастических факторов (спрос, надежность, сбои в поставках и др.);
- детальные алгоритмы, описывающие правила обработки грузопотока, диспетчеризации и др.

Таким образом, DES лучше всего служит описаниям сетевых конфигураций и основных процессов в ЦП. Инструментальные решения, появляющиеся как предметно-ориентированные системы имитационного моделирования ЦП (PRODISI; Logic Net Plus; Supply Chain Builder; Sim Flex; AnyLogistix), как правило, выстроены по этой методике и сочетают возможности аналитических методов оптимизации и процессного имитационного моделирования. Полезной системной методологией в менеджменте для анализа и совершенствования логистических систем и процессов является теория ограничений (ТОС) Э. Голдратта. А также методики картирования цепочки добавленной стоимости VBM (Value Steam Mapping), ABC (Activity Based Costing) и ряд других, которые сложно осуществить без количественного

анализа эффективности бизнес-процессов и синхронизации логистических процессов в ЦП, обеспечиваемого техникой процессного (DES) имитационного моделирования.

Парадигма системной динамики (SD) лучше всего отвечает объектному подходу к декомпозиции ЦП, целый ряд работ посвящен моделированию адаптивных ЦП на основе методов SD. Применение системной динамики в исследовании цепей поставок и инжиниринговой деятельности позволяет:

- изучать колебания в цепи поставок, эффект хлыста;
- проводить анализ временных параметров и общих издержек функционирования цепи поставок,
- выявить сложное взаимодействие при управлении материальными, финансовыми и информационными потоками при принятии управленческих решений ;
- осуществлять разработку стратегии, интегрированное управление бизнес-процессами и ресурсами участников ЦП (исследуется системообразующий функционал логистики);
- исследовать влияние факторов различной природы (динамика спроса, конкурентное окружение и конъюнктура рынка, экзогенные факторы;
- осуществлять разработку и анализ системы сбалансированных показателей в динамике и стратегической перспективе, проводить согласование логистической и корпоративной стратегии (маркетинговой, инновационной) (кросс-функциональность).

Однако парадигма системной динамики, демонстрируя агрегированный подход, не выделяет отдельных агентов и сущностей, имеет ограниченные возможности для описания кластерности и разнородных объектов с разными свойствами, в основном задаваемых в модели в виде объемно-временных характеристик исследуемых материальных и других потоков. Это ограничивает возможности метода для описания организационных взаимодействий и эффектов возникающего поведения, характерных для представления процессов межорганизационной координации.

Таким образом, SD и DES воспроизводят (эмулируют) фактически функционирование логистической инфраструктуры на разных уровнях агрегации объектов, процессов в ЦП.

Применение агентного моделирования в управлении цепями поставок [2,3,6,10] – это относительно новый тренд в дизайне ЦП, однако феномены межорганизационной координации в ЦП исследованы недостаточно. Агентом в таких моделях выступает звено цепи поставок (компания). Он действует независимо, на основе имеющейся у него локальной информации, реагируя на изменения рынка. Активность элементов (предприятий) ЦП обусловлена наличием собственных целей и интересов. Их поведение осуществляется в открытой и динамичной бизнес-среде. Присутствует информационное взаимодействие между участниками цепи поставок (но в системе может отсутствовать централизованное управление). Наиболее формальное взаимодействие между участниками осуществляется через договоры и контракты, определяющие обязательства и условия сделок между различными сторонами. Мотивационные проблемы и конфликты интересов участников являются значимым фактором при принятии агентами индивидуальных и согласованных решений. Экономический анализ включает не только анализ показателей эффективности цепи поставок, но выгоды и риски всех участников процесса для измерения конфликтов и выстраивания согласованной схемы экономического компромисса между участниками.

Основные причины применения агентного моделирования в управлении цепями поставок обусловлены:

- агент-ориентированные модели подходят для анализа взаимосвязанных проблем, при большом количестве агентов с распределенными (автономными) знаниями при определенной структуре коммуникаций между ними;

- ориентацией на стратегии сотрудничества и совместного планирования;
- сложной системой коммуникации между различными звеньями цепи;
- большой степенью автономности каждого из звеньев ЦП, принципами децентрализованного управления;

Основные преимущества агентного моделирования в управлении ЦП:

- поддерживается основная задача управления ЦП – координация и взаимосвязь между различными контрагентами;
- в единое целое могут увязываться внутренние бизнес-процессы участников и бизнес-процессы на уровне цепи, многоагентная модель позволяет обрабатывать общие бизнес-правила и реализовывать систему управления общими бизнес-процессами, обеспечивая эффективный обмен информацией и механизмы совместного планирования;
- агентные имитационные модели подобно деловым играм позволяют бизнесу вести разработку стратегии, основанной на доверии;
- модель воспроизводит возникающее поведение, новые организационные структуры, основанные на правилах взаимодействия участников.

Таким образом, ABMS лучше всего отвечает представлению процессов и явлений межорганизационной координации в ЦП.

Однако возникающие в результате координации и взаимоотношений между контрагентами структуры, решения имеют прямое отношение к логистической инфраструктуре, логистическим процессам, определяющим эффективное функционирование ЦП, и определяют свойства и эффективность ЦП в целом. Это определяет компенсационное (композиционное) сочетание различных парадигм имитационного моделирования в обобщенных моделях ЦП на основе многослойной концептуальной схемы модельного фреймворка.

Имитационное моделирование позволило провести количественную оценку различных стратегий и вариантов сотрудничества в ЦП. В качестве базового сценария рассматривалась традиционная многозвенная цепь поставок, функционирующая в динамично изменяемой среде, которая при внедрении логистических технологий класса VMI, CPFR и др. и определенных механизмов межорганизационной интеграции приводит к изменению организационной структуры, логистической инфраструктуры, бизнес-процессов, а также разделению ответственности (функций), доходов и рисков участников. Каждое звено ЦП моделировалось как независимый агент с автономными способностями и делегированными полномочиями принятия решений. В модели были специфицированы структура и поведение каждого активного элемента ЦП, агента. В функцию принятия решений агентов встроена процедура согласования конфликтов между участниками.

Композитная имитационная модель ЦП позволяет разрабатывать эффективные стратегии сотрудничества контрагентов ЦП, оценивать эффективность межорганизационной координации в долгосрочном аспекте, на основе которой формируется эффективная схема экономического компромисса, обеспечивающая как устойчивость и качество отношений (основанных на доверии) контрагентов, так и интегральную эффективность функционирования ЦП по множеству критериев: доходы (контрагентов), логистические затраты (общие и каждого звена индивидуально), уровень запасов и оборачиваемость (общие и каждого звена индивидуально), время логистического цикла, уровень сервиса, надежность и устойчивость цепи поставок.

Литература

1. **Сергеев В.И.** Управление цепями поставок: учебник для бакалавров и магистров. – М.: Изд-во Юрайт, 2014. 479 с.
2. **Лычкина Н.Н.** Инновационные парадигмы имитационного моделирования и их применение в управленческом консалтинге, логистике и стратегическом менеджменте // Логистика и управление цепями поставок. 2013. № 5(58). С. 28–41.
3. **Лычкина Н.Н.** Имитационные модели предприятий и их применение в сфере бизнеса // Информационные системы управления производственной компанией. Учебник и практикум для академического бакалавриата / под ред.: Н. Н. Лычкина. М.: Юрайт, 2016. 241 с.
4. **Лычкина Н.Н.** Стратегическое развитие и динамические модели цепей поставок: поиск эффективных модельных конструкций // В кн.: Инновационные технологии в логистике и управлении цепями поставок / Под общ. ред.: В. И. Сергеев. М.: Эс-Си-Эм Консалтинг, 2015. С. 133–144.
5. **Lychkina N.N.** Synergetics and development processes in socio-economic systems: Search for effective modeling constructs // Business Informatics. 2016. No. 1. P. 66–79
6. **Lychkina N. N.** Strategic Development and Dynamic Models of Supply Chains: Search for Effective Model Constructions, in: Lecture Notes in Networks and Systems. Proceedings of SAI Intelligent Systems Conference (IntelliSys) 2016 Vol. 2. L.: Springer, 2018. Ch. 2. P. 175–185.
7. **Lychkina N. N., Morozova Y. A., Molodetskaya E.** The Simulation Model of Supply Chains on the Macroeconomic Level is the Tool to Control the Economic Development of the Region, in: Strategic Innovative Marketing. Springer International Publishing, 2017. P. 357–362.
8. **Ponte, B., Costas, J., & Puche, J., S.de la Fuente, D., Pinoa, R.** (2016). Holism versus reductionism in supply chain management: An economic analysis. Decision Support Systems, 86. P. 83–94.
9. **Behdani B.** Evaluation of Paradigms for Modeling Supply Chains as Complex Socio-Technical Systems // In Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference, P. 3794–3808.
10. **Santa-Eulalia L.A., Halladjian, G., D'Amours, S., Frayret J.M.** (2011). Integrated methodological frameworks for modeling agent-based advanced supply chain planning systems: A systematic literature review. Journal of Industrial engineering and management, 4 (4). P. 624–668.