УДК 338.24.01

Н.В. ДРОЗДОВА,

кандидат экономических наук, доцент

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ КЛАСТЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА СЕТЕЙ ПЕТРИ

В статье обосновывается возможность и целесообразность применения аппарата сетей Петри для моделирования процесса формирования сложных экономических структур. В качестве объекта моделирования рассматриваются региональные кластеры. Описываются особенности данного аппарата моделирования, типы задач, решаемых с его помощью, пути практического применения.

В настоящее время кластерный подход становится одним из приоритетных инструментов промышленной политики Российской Федерации и регионов. Его применение соответствует мировым тенденциям кластерного развития, в том числе включению регионов в глобальные сети; усилению роли вертикально-интегрированных компаний; приоритетности сотрудничества предприятий кластера с национальными и глобальными цепочками поставок. Получаемый синергетический эффект от создания кластера заключается не только в повышении эффективности его работы в целом по сравнению с эффективностью отдельных участников, но и во взаимном усилении конкурентных позиций как отраслевого производства, так и территории его базирования. В связи с этим одной из ключевых проблем становится проблема организации деятельности кластеров с учетом изменения параметров внешней и внутренней среды, а также особенностей взаимосвязей между участниками кластера.

По нашему мнению, для анализа процесса формирования кластеров как сложной экономической структуры целесообразно использовать аппарат экономико-математического моделирования, а именно поведенческую модель асинхронных взаимодействий элементов в сложных системах, называемую по имени ее создателя сетью Петри. В отличие от используемых в экономике сетевых моделей сеть Петри отображает процессы сложной структуры, содержащей сочетание альтернативных и параллельных ветвлений и циклических повторений, и моделирует взаимодействия элементов в динамических системах с целью анализа их поведенческих свойств. Использование сетей Петри позволяет глубже проследить не только сам процесс формирования кластера, но и его реакцию на возникающие нарушения ранее предусмотренных условий, показать, куда может уйти процесс от намеченной ранее цели и когда и какие меры надо предпринять для управления им, генерировать возможные пути достижения конечной цели и сравнить альтернативные варианты формирования кластера, проверить корректность каждого из них и осуществить анализ исходной базы.

Сейчас отработано три типа задач анализа формирования сложных структур с использованием сетей Петри: 1) анализ реализуемости заданной конечной цели формирования структуры; 2) выявление возможных отклонений от заданной структуры в процессе формирования и 3) анализ влияния масштабов и структуры исходной базы развития на достижение поставленных целей. Эти задачи могут решаться как на начальном этапе прогнозирования кластера, так и на более поздних этапах при проверке корректности полученных результатов решения оптимизационных задач и их дополнительного анализа.

Анализ опыта формирования ряда региональных кластеров показывает, что многих трудностей в процессе их развития можно было бы избежать, если на этапе прогнозирования были бы проанализированы различные гипотезы и

организационные структуры управления процессом формирования кластера, оценены последствия реализации разных гипотез их развития, а также возможные отклонения от намеченной траектории. Гипотеза формирования кластера начинает разрабатываться в самом начале процесса прогнозирования, когда недостаточность информационного обеспечения налицо: нет еще достоверной информации о ресурсах и затратах, о характеристиках отдельных производств, что на данном этапе затрудняет использование сетевых, оптимизационных и динамических моделей.

Поэтому возникла потребность в разработке и использовании такого аппарата системного, ситуационного анализа, который позволил бы по общим контурам кластера, различным гипотезам развития его элементов, по совокупности факторов, оказывающих в зависимости от конкретных условий их проявления различное влияние, генерировать и изучать разнообразные сценарии будущего; моделировать разные, в том числе конфликтные и нежелательные, ситуации, складывающиеся в процессе развития; изучать и оценивать последствия даже частных решений на процесс формирования кластера в целом и т.п.

Сеть Петри, как модель, позволяет следующее:

– комплексно описывать сложные системы взаимодействий экономических процессов;

– отображать как количественные, так и логические отношения;

– рассматривать всевозможные, в том числе и альтернативные, варианты развития экономических процессов;

– отображать как последовательные, так и параллельные экономические процессы;

– генерировать разные состояния, ситуации в процессе формирования кластера в зависимости от конкретного пути развития системы;

– отображать не только конечные цели функционирования экономических процессов, но и побочные, нежелательные или сопутствующие процессы и анализировать влияние тех и других на состояние системы в будущем;

– определять и анализировать последствия от нарушения сроков реализации любого экономического процесса, мероприятия.

Сеть Петри – это модель, отображающая функционирование сложной системы в терминах: условия и события. Каждому событию ставятся в соответствие две группы условий: 1) условия, которые должны быть выполнены, чтобы событие могло произойти, – условия готовности события; 2) условия, которые возникают в результате того, что событие произошло, – условия завершения события. Условия отображают состояния элементов системы. Например, в системе формирования кластера условиями могут быть: «проведена модернизация предприятия», «приняты необходимые нормативные акты», «осуществлены инвестиции в производство» и др. События отображают действия, в результате которых состояние элементов системы меняется. Например, «принятие решения», «слияние предприятий», «выпуск акций предприятия» и т.п. (математическое описание сетей Петри см. в [1], [2]).

Совокупность взаимообусловленных событий определяет функционирование системы следующим образом. Пусть задано начальное состояние системы, которое соответствует условиям готовности некоторых событий системы. Эти события происходят, изменяя состояния элементов системы, и тем самым порождают условия готовности для других событий и т.д. Время, в течение которого элементы системы находятся в том или ином состоянии, не определено. Однако установлено, что состояние готовности не может длиться бесконечно долго. Если состояние системы таково, что выполняются условия готовности нескольких событий, то возможен любой порядок их выполнения, и модель позволяет исследовать все варианты. Если одно и то же условие входит в состав условий готовности двух разных событий (например, условие наличия ресурса, необходимого как для предприятия А, так и для предприятия В), то модель отображает конфликтную ситуацию. Если при этом другие условия готовности для работы предприятий А и В выполнены, то модель позволяет исследовать оба альтернативных варианта: 1) ресурс потребляется предприятием А и 2) ресурс потребляется предприятием В. (Подробнее см. в [3]).

Отсюда видно, что сеть Петри отображает функционирование системы с высокой степенью абстракции по отношению к реальным количественным выражениям. Это касается как времени, так и объемов ресурсов. В противовес этому сеть Петри допускает очень большую степень детализации анализа ситуаций и взаимодействий

элементов в системах. Это позволяет выявлять возможности возникновения непредвиденных тенденций, которые могут быть вызваны неудачным распределением ресурсов, несоответствием сроков исполнения заданий, недостатком или избытком управленческой деятельности.

Существуют две формы математического представления сети Петри: графовая и матричная. Первая (в виде ориентированного графа) – более наглядная – удобна для сопоставления ее с моделируемой системой и умозрительного анализа, вторая удобна для формального и машинного анализа.

По целевому назначению сети Петри можно отнести как к теоретико-аналитическим (используемым для исследования общих свойств и закономерностей процесса формирования кластера), так и к прикладным моделям (применяемым для решения конкретных экономических задач – модель прогнозирования и т.д.) [4]. В этой связи, использование аппарата сетей Петри было бы весьма полезным, например, для ретроспективного анализа процесса формирования кластера автокомпонентов в Ярославской области. Целью такого анализа является, с одной стороны, выявление узких мест и причин возможных сбоев в процессе формирования кластера, а с другой – определение необходимых условий и вариантов адаптации системы для устранения или смягчения последствий возникших изменений в ходе создания кластера.

Кластер автокомпонентов в Ярославской области начал формироваться одним из первых. Однако, в связи с отсутствием опыта создания таких структур и непроработанностью теоретической и нормативной базы на ряде этапов возникали определенные трудности. И теперь, когда этот процесс практически завершен, видно, что не все удалось сделать так, как первоначально намечалось. Поэтому необходим глубокий анализ этого процесса и поиск подходов к организации эффективно функционирующих кластеров.

В связи с этим анализ процесса создания кластера автокомпонентов в Ярославской области представляет большой интерес. Данный кластер выбран не случайно, так как по нему имеются прогнозные проработки, период формирования уже пройден и в ходе него пришлось решать вопросы, с которыми сталкиваются создатели вновь формируемых кластеров [5].

Стратегической целью создания данного кластера является формирование высокотехнологичного комплекса территориально локализованных взаимосвязанных компаний по производству автомобильных компонентов, нацеленных на выпуск конкурентоспособной на отечественном и мировом рынках продукции и повышение на этой основе качества регионального экономического роста.

К *задачам кластера на территориальном уровне* относятся:

– повышение конкурентоспособности и инвестиционной привлекательности территорий базирования предприятий кластера;

– получение синергетического эффекта за счет взаимодействия бизнеса, органов власти и науки в рамках кластера на основе принципов государственно-частного партнерства, передачи знаний и технологий;

– повышение уровня образования и квалификации трудовых ресурсов региона, формирование в регионе новых знаний и навыков;

– развитие в регионе новых коммуникационных каналов для передачи знаний, навыков и умений;

– повышение бюджетной обеспеченности территорий базирования предприятий кластера.

Задачи кластера на уровне хозяйствующих субъектов включают:

– повышение технологического уровня участников кластера на основе доработки систем менеджмента качества до международных требований и использования новейших технологий в области производства автокомпонентов, усиление инновационной активности участников кластера;

– создание глубоких кооперационных связей (до 3–4 уровней) между предприятиями Ярославской области и (в перспективе) Центрального федерального округа на базе производства автомобильных компонентов и формирования общей корпоративной культуры;

– развитие современной индустрии автомобильных компонентов на предприятиях Ярославской области и обеспечение производства легковых автомобилей комплектующими российского производства по программам локализации автосборочных предприятий РФ;

– создание новых производств (в том числе с участием иностранного капитала с использова-

нием лицензионных технологий) по замещению импорта автокомпонентов, не выпускаемых в России, для обеспечения производства легковых автомобилей на автосборочных отечественных предприятиях.

Структурными элементами кластера, концентрирующимися вокруг ядра, являются 8 кластерных групп (блоков):

1) производственный блок, включающий поставщиков различных уровней. Это машиностроительные предприятия, выпускающие автокомпоненты, в том числе модульные узлы и детали, взаимосвязанные с основным предприятием и/или между собой;

2) блок инновационно-информационой инфраструктуры, объединяющий инновационные центры, исследовательские и испытательные центры, созданные как при научных организациях, вузах, предприятиях, так и независимые, консалтинговые агентства и др.;

3) блок сервисных технологических услуг и центров качества (инжиниринговые и консалтинговые фирмы);

4) научно-образовательный блок, включающий академические и отраслевые научные институты, вузы, средние специальные учреждения и учреждения начального профессионального образования, а также средние общие образовательные заведения (школы, лицеи, гимназии), ведущие подготовку квалифицированных кадров;

5) торгово-финансовый блок, объединяющий организации, оказывающие маркетинговые и сбытовые услуги (фирменные сервисно-сбытовые сети, СТО и дилеры), а также обслуживающие финансирование ряда проектов и расчеты предприятий (банки, лизинговые компании и др.), таможенный склад;

6) транспортно-логистический блок, включающий автодороги, железные дороги, аэропорты; склады, транспортно-логистические фирмы и др.;

7) блок инженерной инфраструктуры, обеспечивающий нормальное энерго-, газо-, водо-, теплоснабжение, канализацию, телекоммуникацию и связь для бесперебойной работы предприятий и организаций кластера, включая сервисные, ремонтные организации, строительные предприятия;

8) федеральные, региональные властные структуры и местные органы управления.

При проведении анализа процесса формирования кластера автокомпонентов в Ярославской области с использованием сетей Петри нами были поставлены следующие три взаимосвязанные задачи:

1) проверить адекватность моделирования развития кластерных структур с помощью сетей Петри и оценить правомерность выводов, полученных посредством анализа функционирования этих сетей;

2) сгенерировать и проанализировать все возможные траектории формирования кластера на базе той исходной информации, которая имелась на этапе начального прогнозирования его развития;

3) сопоставить разработанные схемы анализа и интерпретации результатов решения с реальной ситуацией и проанализировать возможности принятия на их основе рекомендаций по совершенствованию управления процессом формирования кластера.

Для исследования процесса формирования регионального кластера с помощью модели, основанной на аппарате сетей Петри, необходимо:

– разработать схематичную интерпретацию сети Петри, отображающей процесс формирования кластера в терминах: условия и события;

– на основании полученной таблицы построить ориентированный граф, который отображает различные варианты формирования кластера;

– задать все необходимые условия и происходящие в результате события в матричной форме, удобной для формального анализа;

– с помощью специально написанной программы провести анализ процесса формирования кластера с учетом поставленных выше задач.

Возможны несколько путей практического применения построенной модели. Во-первых, эта модель может быть использована на этапе проектирования. На этом этапе необходимо принимать решения с учетом возможных изменений условий формирования окончательного проекта, что требует многократного внесения поправок в основную схему и анализа вновь возникающих связей для выявления возможных несогласованностей отдельных шагов, а также выяснения принципиальной возможности достижения цели. Модель позволяет в значительной степени автоматизировать эту работу, при этом целесообразным являет-

ся использование компьютерных интерактивных программ, дающих возможность пользователю в диалоговом режиме производить модификацию сетевой модели, ее анализ с целью выявления дефектов проекта и определения достижимости цели, а также экспериментальные запуски сети Петри с различными начальными условиями.

Во-вторых, эта модель может быть использована после завершения проекта для поиска оптимальной стратегии создания кластера. Для этого построенная сеть Петри, также с помощью соответствующей компьютерной программы, анализируется на предмет нахождения наилучшей (в определенном смысле) последовательности событий, приводящей к заданной цели. Критерии оптимальности могут задаваться заранее, исходя из соображений стоимости реализации проекта, длины пути, который ведет к цели, и т.п. Таким образом, сеть Петри – это динамическая открытая модель, которая может учитывать влияние как объективных, так и случайных факторов развития на процесс формирования кластера.

Наконец, можно использовать сеть Петри для моделирования уже созданного и функционирующего кластера. В этом случае модель позволяет комплексно описать сложные системы взаимодействий финансово-экономических процессов в структуре кластера, рассмотреть всевозможные варианты их развития, генерировать разные ситуации, отображать не только конечные цели развития экономических процессов, но и побочные процессы и анализировать влияние тех и других на состояние всей системы в будущем.

Аппарат сетей Петри имеет развитое математическое и программное обеспечение, позволяющее решать разнообразные задачи. В частности, в [6] описан программный комплекс визуализации сетевых моделей, который дает возможность по матричному заданию сети Петри строить ее графическое представление, вносить в сеть необходимые изменения в интерактивном режиме, динамически исследовать поведение сети, производя ее запуски с различными начальными маркировками, выявлять возможные дедлоки, конфликты по отношению к позициям сети (условиям), а также сравнить возможные пути достижения цели (т.е. фиксированного перехода или заданной маркировки).

В совокупности с существующими алгебраическими методами анализа сетей Петри комплекс визуализации представляет собой весьма эффективный инструментарий изучения такой сложной экономической структуры, как кластер. Следует также заметить, что предложенный подход к решению задачи проектирования, построения и анализа функционирования регионального кластера, использующий аппарат сетей Петри, имеет более широкое значение, выходящее за рамки данной конкретной задачи, и может быть использован для решения целого класса аналогичных экономических задач как микро-, так и макроуровня.

Список литературы

1. Brams G. Reseaux de Petri: Theorie et Pratique. – Paris: Masson, 1983.

2. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 264 с.

3. Бандман М.К., Бандман О.Л., Есикова Т.Н. Сети Петри – аппарат прогнозирования процесса формирования территориальных систем // Экономика и математические методы. – 1987. – Т. XXIII. – С. 1028–1041.

4. Дроздова Н.В. Использование аппарата сетей Петри для моделирования процесса формирования и функционирования холдинговых структур / Новые технологии в управлении: сб. науч. тр. – Ярославль, 1998. – С. 8.

5. Дроздова Н.В. Повышение конкурентоспособности российских отраслей и регионов на основе кластерного подхода // Экономический вестник Ярославского университета. – 2011. – №25. – С. 36–40.

6. Соколов В.А. Визуализация сетевых моделей процессов управления в параллельных программах // Архитектура и программное обеспечение вычислительных систем: сб. науч. тр. / отв. ред. Ю.А. Маматов. – Ярославль: ЯрГУ, 1992. – С. 32–34.

В редакцию материал поступил 30.06.11

Ключевые слова: сложная экономическая структура, регион, кластер, моделирование, сети Петри, ориентированный граф, альтернативные варианты, траектория развития, прогнозирование, ретроспективный анализ, экономическая политика.