Искусственные общества. 2013-2026

ISSN 2077-5180

URL - http://artsoc.jes.su

Все права защищены

Выпуск 4 Том 18. 2023

Моделирование поведения агента-предприятия как части искусственного общества в сети международной торговли

Макаров Валерий Леонидович
Центральный экономико-математический институт Российской академии наук Российская Федерация, Москва

Бахтизин Альберт Рауфович
Центральный экономико-математический институт Российской академии наук Российская Федерация, Москва

Сушко Елена Давидовна
Центральный экономико-математический институт Российской академии наук Российская Федерация, Москва

Аннотация

В работе, развивающей методологию создания искусственного общества, агенты-фирмы в агент-ориентированной модели рассматриваются как элементы сети международной торговли, формализуемой в виде графа, в котором они представлены вершинами, а связывающие их ребра обозначают направление и величину потока материальных ресурсов и/или услуг. На примере ПАО Газпром сконструированы индексы центральности, характеризующие значимость агента-предприятия в сети торговли природным газом, а также его уязвимость со стороны стран-партнеров с учетом экономического веса (значимости) этих партнеров. Индексы использованы при разработке алгоритма имитации поведения агента на основе теории функциональных систем П.К. Анохина: а) для оценки агентом своего положения как текущего уровня угроз, а также б) для постановки целей и формирования комплекса проектов, направленных на развитие и защиту своего бизнеса. Алгоритм настроен на минимизацию уязвимости (зависимости от партнеров) агента-фирмы как со стороны стран-потребителей его продукции, так и со стороны транзитных стран, осуществляющих ее транспортировку.

Ключевые слова: агент-ориентированное моделирование, большие социально-экономические системы, теория функциональных систем П.К. Анохина, сетевой анализ, методология создания цифрового двойника общества, влияние и уязвимость фирм в сети международной торговли

Дата публикации: 20.12.2023

Источник финансирования:

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 19-18-00240 «Суперкомпьютерные технологии в общественных науках») с использованием вычислительных ресурсов Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской академии наук (МСЦ РАН).

Ссылка для цитирования:

Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д. Моделирование поведения агента-предприятия как части искусственного общества в сети международной торговли // Искусственные общества. 2023. Т. 18. Выпуск 4.
URL: https://artsoc.jes.su/s207751800029234-6-1/ DOI: 10.18254/S207751800029234-6

Введение

Задача, поставленная в работе [3], продолжением которой является настоящее исследование – создание искусственного общества, способного имитировать динамику большой социально-экономической системы как живого организма, обладающего собственными структурой, ресурсами, целями, инерцией и при этом реагирующего на изменения внешней среды для самосохранения и развития. «Большими» мы называем социально-экономические системы не только с точки зрения их масштаба – речь идет о моделировании систем уровня страны или как минимум региона, – но и в терминологии теории активных систем [4], а именно, в том смысле, что большие системы по В.Н. Буркову являются системами активными, включающими в своем составе множество самостоятельных акторов, способных действовать в соответствии со своими интересами. Такими самостоятельными акторами в обществе являются, например, люди-члены этого общества; предприятия (организации, фирмы), расположенные на территории страны/региона, работниками которых являются люди; а также любые совокупности этих акторов, которые объединяются для выполнения каких-либо общих целей/задач (например, в рамках отрасли или какого-либо большого проекта). С технологической точки зрения, наиболее полно реализовать идею создания искусственного общества позволяет использование агент-ориентированного подхода, способного максимально правдоподобно описать личностные и поведенческие особенности каждого типа акторов, воспроизводящего социально-экономическую структуру реального общества и моделирующего динамику этого общества на основе имитации поведения отдельных его самостоятельных акторов. Более того, использование возможностей современной вычислительной техники, особенно суперкомпьютеров, позволяет разрабатывать агент-ориентированные модели (АОМ), полностью

воспроизводящие как структуру, так и масштаб реального общества, создавая в рамках одной модели популяции агентов разных типов, численность которых равна численности реальных акторов-прототипов.

2 Что же касается идеологической основы создания искусственного общества, то, как показано авторами ранее в работе [3], сочетание агент-ориентированного подхода с теорией функциональных систем П.К. Анохина [1], в рамках которой он обосновал фундаментальные свойства, присущие всем системам, вместе с использованием формализации теории П.К. Анохина с помощью категорной теории, представляющей взаимосвязи отдельных акторов/ подсистем в виде графа [11], позволяет выстроить в искусственном обществе вполне правдоподобные структуры, образуемые агентами-акторами и придать им способность взаимодействовать и действовать для достижения общего результата. То есть, теория функциональных систем оказывается вполне операциональна, и позволяет преобразовать в конкретные механизмы и алгоритмы все фундаментальные свойства систем по П.К. Анохину, а именно:

1. Наличие системообразующего фактора – результата, к которому система стремится и который определяет состав ее отдельных подсистем и структуру связей между ними.
2. Наличие иерархии, означающей, что каждая подсистема (агенты каждого из типов и их соединения) сама является системой, вносящей свой вклад в получение общего результата.
3. Изоморфизм, означающий общность ключевых шагов алгоритмов целенаправленного поведения для системы в целом и ее отдельных подсистем.

3 Ключ к имитации последнего свойства предоставляется теорией функциональных систем того же П.К. Анохина, согласно которой взаимодействие любого индивида со средой носят циклический характер, и в интервале между стимулом со стороны среды (ее изменением) и реакцией индивида на этот стимул выделяются процессы, образующие стандартную последовательность [2, с. 275]:

- идентификация ситуации взаимодействия с внешней средой как требующей принятия каких-либо мер;
- определение типа и направленности поведения. Реализуется через формирование аппарата, программирующего результаты будущих событий;
- формирование программы действия, которая внешне еще не реализуется;
- выполнение программы поведения;
- оценка достигнутого результата путем сравнения поступающей извне информации о результатах и параметрах совершаемого действия с заданными целевыми результатами действия.

4 При этом П.К. Анохин распространил содержание и схему поведенческого акта на структуру любого целенаправленного поведения, то есть, поведения, направляемого опережающим отражением действительности. Таким образом, для того чтобы адекватно имитировать поведение экономических акторов в агент-ориентированной модели, необходимо формализовать те критерии, которыми

будут руководствоваться соответствующие акторам агенты модели при реакции на свое положение в системе, а также разработать алгоритмы, которые позволят этим агентам самостоятельно инициировать, планировать и совершать действия для достижения своих целей.

5 В работе [3] были также представлены структура свойств агентов-людей, агентов-организаций и окружающей их среды, а также перечень алгоритмов их взаимодействия, минимально необходимых для обеспечения соответствия создаваемого в АОМ искусственного общества реально существующему с тем, чтобы полученные в ходе компьютерных экспериментов прогнозы и выводы можно было бы распространять на его прототип.

6 Настоящая работа посвящена решению следующих задач, позволяющих приблизиться к практической реализации в рамках АОМ искусственного общества, построенного в соответствии с теорией П.К. Анохина:

1. Детализация свойств и разработка алгоритмов действий для агентов, представляющих в АОМ тип центрального экономического актора – предприятие (фирму) на примере реально существующего актора этого типа.
2. Подготовка сценария для разработки прототипа полномасштабной АОМ России для апробации алгоритмов поведения агентов-предприятий.
3. Ревизия и, при необходимости, доработка программного комплекса МЁБИУС, средствами которого будет создаваться АОМ России для запуска на суперкомпьютерах.

7

Пример актора-предприятия

Центральным экономическим актором в агент-ориентированной модели экономики на уровне страны или региона является предприятие (фирма), которое связано с другими предприятиями производственными цепочками. Очевидно, что если какая-либо фирма теряет поставщика необходимых ей для производства продукции материалов и/или комплектующих, то чтобы продолжать свою деятельность, она должна выйти на соответствующий рынок и попытаться заменить этого поставщика, заключив контракты на нужную для производства продукцию. Аналогичным образом фирма должна поступать и при потере потребителя, чтобы сохранить рынок сбыта для поддержания приемлемого уровня производства. А для упрочения своего положения на рынке фирма будет стремиться диверсифицировать свои производственные связи, чтобы уменьшить риск последствий возможной потери одного из контрагентов, что реализуется в рамках стратегии развития предприятия.

8 Чтобы разработать механизмы имитации подобного поведения агентов-предприятий в агент-ориентированной модели, рассмотрим пример реальной успешной фирмы в реальных сложных условиях, в которых ей удается выживать и развиваться. И, пожалуй, наилучшим выбором для подобной цели может послужить пример Публичного акционерного общества (ПАО) Газпром, так как:

- Газпром является транснациональной корпорацией, которая не только действует на всей территории нашей страны, но и связана со многими

странами мира долговременными контрактами;

- в последние годы, особенно начиная с газовой войны Украины с Россией в 2009 году, а затем и с введением в 2014 году санкций со стороны западных партнеров, Газпром сталкивается с серьезными ограничениями в своей деятельности, вызванными, в том числе, с политическими причинами, которые для Газпрома носят характер форсмажорных;
- практическая реализация проектов, направленных на разработку новых месторождений, диверсификацию маршрутов доставки газа традиционным потребителям и/или создание дополнительных маршрутов для его доставки потребителям новым, требует огромных материальных, финансовых и временных затрат. Такие проекты планируются руководством Газпрома в рамках долгосрочной стратегии на основании оценки уровня разного рода рисков для его деятельности, не дожидаясь наступления чрезвычайных ситуаций; и наконец,
- Газпром осуществляет свою деятельность максимально открыто, ежегодно выкладывая на собственном портале [9] в свободном доступе отчеты о своей текущей деятельности, а также о планируемых и реализуемых проектах.

9 Последнее обстоятельство чрезвычайно важно при выборе прототипа для разработки модели, так как позволяет создать надежную информационную базу для калибровки и верификации будущей модели.

10 Поле деятельности ПАО Газпром весьма обширно, в него входят разведка, добыча, хранение и транспортировка природного газа как на территории России, так и на территории десятков стран мира; добыча нефти; переработка газа и нефти; производство электроэнергии. При этом единая газотранспортная система (ГТС), охватывающая все регионы нашей страны, принадлежит Газпрому, а все экспортные поставки газа, добытого разными компаниями на территории России, осуществляются через ООО «Газпром экспорт». Для нашей цели – анализа алгоритмов выбора и реализации удачных управленческих решений – достаточно ограничиться рассмотрением такого вида деятельности Газпрома как добыча природного и попутного газа (ППГ) на территории России на тех месторождениях, лицензия на разработку которых принадлежит Газпрому, а также поставка этого газа как на внутренний рынок России через сеть собственных трубопроводов, так и на экспорт. Тем более, что информация именно об этой стороне деятельности Газпрома максимально открыта, в то время как информация о связях с поставщиками оборудования и технологий во многом недоступна. Период рассмотрения также разумно ограничить именно периодом серьезных потрясений во внешней для Газпрома среде – начиная с 2010 и до 2020 года – последнего, для которого доступны данные об экспортных поставках, детализированные по странам. Эта информация особенно важна, так как связана со спецификой транспортировки ППГ по газопроводам, образующим сеть, в которой поставки газа потребителям большинства стран Европы осуществляются не напрямую, а через транзитные страны, что означает дополнительный фактор риска. Так, уже в Отчете Газпрома за 2010 год обозначены такие направления снижения рисков зависимости от транзитных стран как диверсификация экспортных маршрутов (проекты «Северный поток» и «Южный поток», который впоследствии был

заменен на «Турецкий поток»), а также развитие торговли сжиженным природным газом (СПГ) [10, с. 121]. Позднее началась работа по снижению фактора риска со стороны европейского газового рынка газа – так, в отчете 2013 года заявлено о планируемом масштабном проекте «Сила Сибири» для транспортировки газа из развивающихся Газпромом Иркутского и Якутского центров газодобычи потребителям на Дальнем Востоке, а затем и на экспорт в Китай.

11 Итак, отметим основные проекты, реализованные Газпромом за последние годы и классифицированные по следующим категориям:

12 **Тип 1.** Плановые проекты развития внутренних поставок и повышения связности единой ГТС:

- 2010 – введен в эксплуатацию магистральный газопровод Соболево — Петропавловск-Камчатский;
- 2011 – введен в эксплуатацию газопровод Джубга — Лазаревское — Сочи;
- 2011 – введен в эксплуатацию первый пусковой комплекс межрегиональной ГТС Сахалин — Хабаровск — Владивосток;
- 2017 – введен в эксплуатацию газопровод «Бованенково — Ухта — 2», позволивший увеличить объем подачи ямальского газа в ГТС России;
- 2018 – введен в эксплуатацию магистральный газопровод «Ухта — Торжок — 2».

13 **Тип 2.** Проекты, направленные на диверсификацию маршрутов поставки ППГ на экспорт:

- 2011 – начаты коммерческие поставки газа по первой нитке газопровода «Северный поток»;
- 2019 – начаты поставки российского газа в Китай по газопроводу «Сила Сибири»;
- 2020 – начаты поставки газа по газопроводу «Турецкий поток».

14 **Тип 3.** Проекты, направленные на диверсификацию центров газодобычи, в том числе, с разработкой новых месторождений вблизи от новых рынков сбыта;

- 2012 – создан новый крупный центр газодобычи на полуострове Ямал. Введены в эксплуатацию Бованенковское месторождение и магистральный газопровод Бованенково — Ухта;
- 2019 – началась добыча газа на Чаяндинском нефтегазоконденсатном месторождении;
- 2022 – введено в эксплуатацию Ковыктинское месторождение.

15 **Тип 4.** Проекты, направленные на диверсификацию продукции, получаемой из ППГ (переработка, сжижение, создание производств-потребителей газа).

- 2009 – запуск завода на Сахалине по крупнотоннажному производству СПГ;
- 2013 – запуск парогазовой установки мощностью 800 МВт на Киришской ГРЭС;

- 2021 – введен в эксплуатацию Амурский ГПЗ;
- 2021 – введен в эксплуатацию крупнейший в мире гелиевый хаб для доставки жидкого гелия с Амурского ГПЗ на мировой рынок.

16 Рассмотрим теперь, каких производственных показателей удалось в этот период достичь ПАО Газпром. Мы оставляем в стороне финансовые показатели, так как это связано с учетом значительно большего числа факторов внешней среды и механизмов ценообразования на внешних рынках, что в нашем случае существенно усложнит анализ, но не изменит суть того критерия, которым руководствуется наш образец фирмы – сохранение или расширение масштаба производственной деятельности, несмотря на сложные внешние условия. На рисунке 1 показана динамика объемов собственной добычи Газпромом природного газа на территории России, а также структура его поставки по группам потребителей. На рисунке 1 видно, что в 2015-2018 гг. объемы продаж превышали объемы добычи, вероятно, за счет продажи собственных запасов из подземных хранилищ на территории Европы.

17

Рис. 1. Динамика производственных показателей ПАО Газпром, млрд. куб. м

18 Некоторые результаты дала реализация проектов, направленных на диверсификацию добычи газа. Так, в 2010 году Газпром вел его добычу в пяти федеральных округах, причем, на долю Уральского ФО приходилось 92,7% всей добычи, а к 2022-му году добавились центры газодобычи в Дальневосточном ФО и на континентальном шельфе, причем, на долю Уральского ФО уже приходилось 88,3% всей добычи.

19 Изменилась и структура поставок природного газа по группам потребителей внутри России. Так, наиболее заметные изменения произошли в значимости таких групп потребителей Газпрома как: а) население – произошло **снижение** с 19% от совокупного потребления в 2010 году до 11% в 2022 году; б) коммунально-бытовой сектор – **снижение** с 15% до 8% и в) электро- и теплоэнергетика – произошло **повышение** с 30% до 35%. Кроме того, появились новые группы значимых потребителей, которых не было в 2010 году, это: а)

нефтяная промышленность, на долю которой в 2022 году пришлось 10% от совокупного потребления, и б) газовая промышленность с 5% потребления.

20 Но наиболее впечатляющие изменения произошли в структуре экспортных поставок природного газа по различным маршрутам его доставки после ввода в строй газопроводов «Северный поток», «Сила Сибири» и «Турецкий поток», что видно на рисунке 2 (рассчитано по данным «Газпром экспорт» [5]).

21

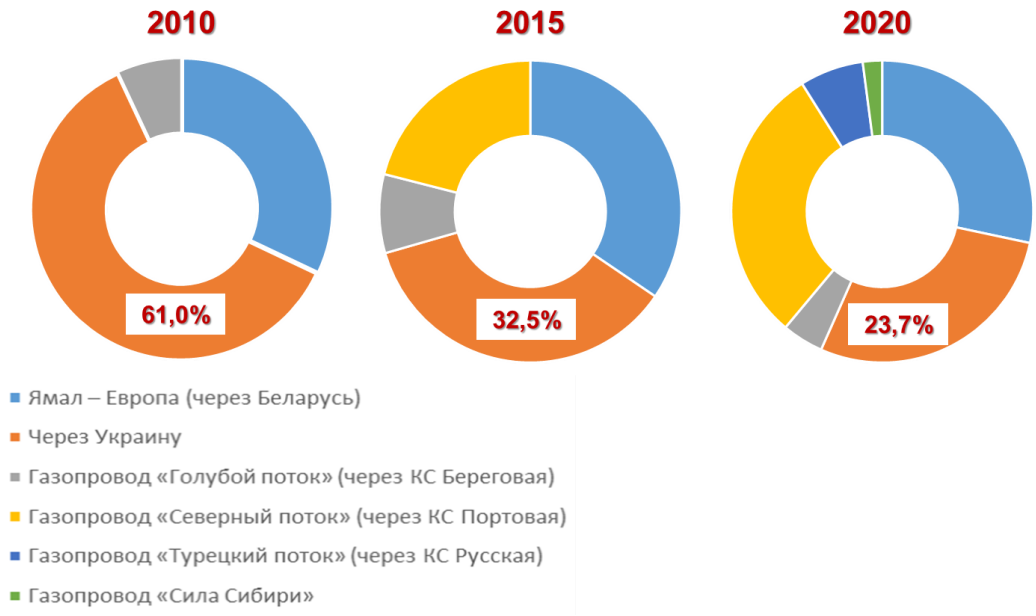

Рис. 2. Распределение экспортного газа «Газпром экспорт» по маршрутам доставки, %

22 Анализ поведения ПАО Газпром в качестве поставщика природного газа на различные рынки, начиная от оценки его руководством факторов риска и выработки мер для их снижения, и заканчивая последовательной реализацией соответствующих проектов, позволил перейти к этапу формализации этой деятельности и к разработке алгоритмов имитации подобного поведения для агента-предприятия искусственного общества.

23

Формализация и алгоритмизация поведения актора-предприятия

Для имитации поведения актора-Газпрома следует разработать механизмы, позволяющие соответствующему этому актору агенту самостоятельно, без вмешательства пользователя агент-ориентированной модели извне (то есть, эндогенно), последовательно осуществлять перечисленные выше этапы поведенческого акта из теории функциональных систем П.К. Анохина. И первым этапом является оценка состояния внешней среды и своего положения в ней как требующего (или нет) принятия новых решений, корректирующих имеющуюся программу действий (разработанную ранее стратегию в виде последовательности проектов). Так как производственные связи агента-предприятия с поставщиками и потребителями формализуются в виде направленного графа, то для анализа значимости агента логично использовать аппарат сетевого анализа в виде различных мер центральности [14, 12], позволяющих оценивать вес и уязвимость агента, связанную со структурой его связей. Что касается поставок Газпрома

потребителям на внутреннем рынке, то для оценки его значимости достаточно отметить то, что в течение рассматриваемого периода доля Газпрома в обеспечении внутреннего потребления газа составляла в среднем 49,9%. При этом на внутреннем рынке Газпром не зависит от посредников при транспортировке газа, так как ему же принадлежит и ГТС России.

24 Если же говорить о значимости этого вида деятельности Газпрома в сети международной торговли природным газом, то для оценки этой значимости (веса) логично использовать взвешенный степенной индекс центральности, называемый *Weithed Degree* (*WDeg*) [14], где смежными для этой корпорации мы считали те страны, с которыми у Газпрома существуют прямые контракты на поставку природного газа. При расчете весов учитывали не только значимость (долю) объема импорта от Газпрома в общем потреблении газа для стран-контрагентов, но и такие внутренние свойства этих смежных стран-вершин как их веса в мировой экономике, в качестве которых использовался разработанный ранее в ЦЭМИ РАН показатель их национальной силы [6]. В авторской редакции показатель национальной силы страны понимается как интегральный показатель ее жизнеспособности, то есть ее способности сохраняться и развиваться в изменяющейся (в том числе, агрессивной) среде за счет внутренних ресурсов. В этой же работе выделены отдельные составляющие национальной силы, такие как географические характеристики; природные ресурсы; население и труд; экономические показатели; вооруженные силы; наука и инновации. Причем, ее экономический блок ($НС_Э$) отражает долю экономики страны в мировой экономике в целом и интегрирует такие показатели страны как [6, с. 12]:

- валовой внутренний продукт, рассчитанный по паритету покупательной способности (в текущих ценах, долл.);
- производство стали (т);
- производство зерна (т);
- валовая добавленная стоимость в промышленном производстве (в текущих ценах, долл.);
- валовое накопление основного капитала (в текущих ценах, долл.);
- денежная масса (% к ВВП).

25 Таким образом, взвешенный индекс рассчитывался по приведенной ниже формуле:

26
$$W = \sum_{g^j \in G} NP_j * \frac{Exp^j}{Cons^j} \quad \#\ 1$$

27 где:

28 W – значимость (вес) агента-Газпрома в системе международной торговли природным газом (включая Россию);

29 G – множество стран-вершин, с которыми у Газпрома существуют договора о поставке природного газа;

30 g^j – j-я страна из множества стран G;

31 NP_j – значение $НС_Э$ j-ой страны g^j;

32 Exp^j – объем экспорта природного газа Газпрома в j-ю страну;

33 $Cons^j$ – общий объем потребления природного газа в j-ой стране.

34 Аналогичным образом рассчитывался индекс уязвимости Газпрома от зарубежных потребителей по формуле:

35 $$D = \sum_{g^j \in G} NP_j * \frac{Exp^j}{Sale} \# 2$$

36 где:

37 D – уязвимость агента-Газпрома в системе международной торговли природным газом;

38 G – множество стран-вершин, с которыми у Газпрома существуют договора о поставке природного газа;

39 g^j – j-я страна из множества стран G;

40 NP_j – значение $НС_Э$ j-ой страны g^j;

41 Exp^j – объем поставки природного газа Газпрома в j-ю страну, включая Россию;

42 $Sale$ – общий объем поставки природного газа Газпромом.

43 При расчете указанных индексов, как и ранее в работе, использовались данные из годовых отчетов ПАО Газпром о поставках природного газа, добытого на территории России собственно Газпромом, а также данные о потреблении природного газа по странам за период с 2010 по 2020 годы, представленные на портале U.S. Energy Information Administration [15]. При этом учитывались поставки газа в страны с максимально высокими значениями $НС_Э$: Россия, Китай, Германия, Франция, Великобритания, Италия, Турция, Польша, Нидерланды, Австри, Чехия, Венгрия; а также те страны, объемы поставок газа в которые были значимы для Газпрома: Украина, Беларусь, Казахстан.

44 Индексы значимости и уязвимости от потребителей рассчитывались в двух вариантах: взвешенные, с учетом $НС_Э$ стран, а также простые – без учета этого веса ($NP_j = 1$ для всех стран). Результаты расчетов представлены в таблице 1.

45 Таблица 1. Динамика индексов значимости Газпрома и его уязвимости от потребителей в сети экспортных поставок природного газа

Годы	Простой индекс значимости	Взвешенный индекс значимости с учетом Национальной силы стран	Простой индекс уязвимости от зарубежных потребителей	Взвешенный индекс уязвимости с учетом Национальной силы стран
2010	6,69	6,94	0,41	0,64

2011	6,92	7,56	0,44	0,66
2012	6,86	7,38	0,43	0,65
2013	7,11	7,91	0,47	0,80
2014	5,93	7,40	0,45	0,81
2015	6,28	7,84	0,48	0,92
2016	7,14	8,53	0,52	1,00
2017	7,26	9,20	0,52	1,10
2018	7,31	9,34	0,52	1,10
2019	7,42	8,70	0,51	1,03
2020	7,36	7,99	0,50	1,04

46 Из данных таблицы 1 виден рост индекса значимости до 2013 года, незначительное его снижение в 2014 году, вызванное украинским кризисом, хороший восстановительный рост вплоть до 2018 года, а затем заметное его снижение 2019-2020 годах, вызванное кризисом, связанным с пандемией коронавируса. Что же касается взвешенного показателя уязвимости, то он заметно рос, начиная с 2013 года, и только в 2018 году этот рост удалось прекратить.

47 Для учета специфики доставки газа потребителям по газопроводам, а именно того, что для большинства стран поставка осуществляется не напрямую, а через транзитные страны, следует использовать еще один подход к оценке значимости стран-вершин как их способности к передаче трафика между другими вершинами графа. Такой подход называется центральностью по посредничеству, и наиболее релевантным нашему случаю вариантом является индекс по посредничеству, предложенный в работе [13]. Суть его в том, что он служит мерой фрагментации, возникающей после удаления вершины, и чем больше значение пропорции несвязанных вершин сети, появляющихся после ее удаления, тем более важной является эта вершина. Соответственно, чем более важной является для обеспечения перекачки газа Газпромом какая-либо транзитной страна, тем выше для него уязвимость по посредничеству от этой страны. Причем, в нашем случае не обязательно считать индексы для всех стран-вершин графа, учитывающие поставки газа через транзитные страны, а достаточно рассмотреть первые для каждого маршрута экспорта газа из России страны, через территории которых осуществляется его транзит. Этих стран немного: а) Беларусь (газопровод «Ямал-Европа»); б) Украина («Прогресс» и другие маршруты); в) Германия («Северный поток») и г) Турция («Турецкий поток»). Долю от общего объема экспорта через каждую такую страну и будем считать индексом фрагментарности этой вершины-страны и уязвимости Газпрома с ее стороны, а распределение экспорта по основным транзитным странам – структурой его уязвимости.

48 Целями агента в модели, также как и для его прототипа – Газпрома, должны стать максимизация своего веса в сети и минимизация уязвимости со стороны потребителей и транзитных стран, особенно от тех, которые продемонстрировали нелояльность. А стратегии достижения этих целей – меры по диверсификации маршрутов доставки газа, рынков сбыта (потребителей) и видов деятельности, реализованные агентом в ответ на вызовы внешней среды. То есть, важен не только уровень уязвимости, но также и ее структура, на изменение которой и была направлена реализация проектов диверсификации. Рассмотрим, насколько адекватно динамика предложенных нами индексов отражает результаты

реализации проектов, и может ли этот показатель служить внутренним критерием для агента при постановке им целей и формировании стратегии ее достижения в виде пакета проектов.

49 На рисунке 3 показана динамика структуры уязвимости Газпрома от стран-потребителей, а на рисунке 4 – динамика структуры его уязвимости от стран-транзитеров в сети экспортных поставок природного газа. Оба графика демонстрируют изменения, вызванные реализацией проектов, позволивших нарастить экспорт газа по прямым поставкам, в том числе, на новый перспективный рынок Китая. Особенно это заметно по динамике структуры уязвимости от транзитных стран, так как в их список мы не включали те страны и соответствующие газопроводы, связывающие с ними Газпром, по которым осуществляются только прямые поставки – это «Голубой поток» в Турцию, «Сила Сибири» в Китай, газопровод в Финляндию «Выборг-Иматра». Поэтому на рисунке 4 видно не только изменение структуры зависимости Газпрома от стран этой группы, но и снижение общей величины зависимости от них с 93% в 2010 году до 78,2% в 2020 году. При этом справедливости ради следует отметить, что угрожающе большая для Газпрома доля поставок через Украину в начале рассматриваемого периода (61% от всего экспорта!) была снижена до 23,7% к его окончанию благодаря усилиям с обеих сторон, хотя большую роль в этом сыграла именно политика самого Газпрома по диверсификации маршрутов доставки газа, а не снижение его потребления Украиной.

50

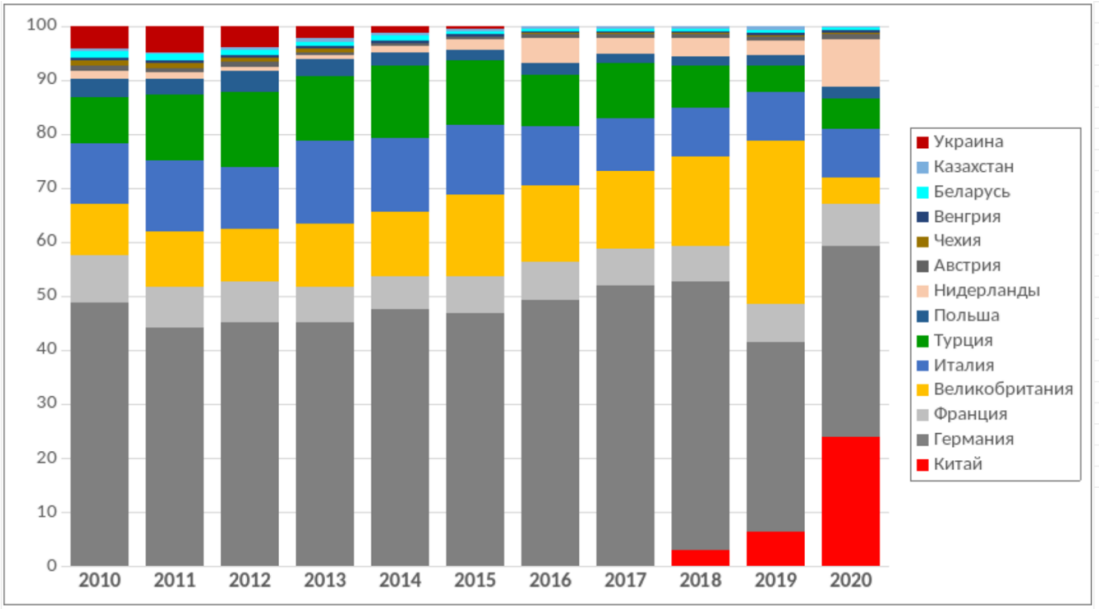

Рис. 3. Динамика структуры уязвимости Газпрома от стран-потребителей в сети экспортных поставок природного газа, %

51

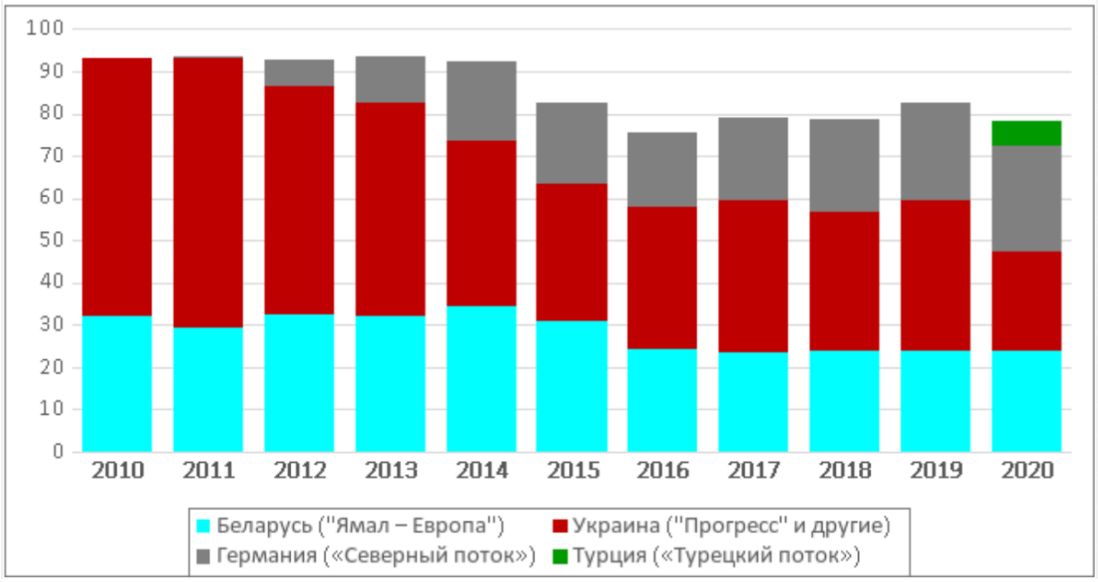

Рис. 4. Динамика структуры уязвимости Газпрома от транзитных стран в сети экспортных поставок природного газа, %

52 Итак, мы показали, что предложенные индексы значимости и уязвимости могут послужить основой механизма оценки агентом-Газпромом своего положения в сети реализации своей продукции для определения момента, когда этому положению, а также возможности претворения в жизнь разработанной ранее стратегии развития бизнеса угрожают изменения внешних обстоятельств. То есть, основой механизма имитации первого этапа поведенческого акта из теории функциональных систем П.К. Анохина – идентификации момента, когда необходимо корректировать разработанный ранее план реализации проектов. Кроме того, анализ этих же индексов позволяет агенту ранжировать эти угрозы для определения направленности изменения своего поведения как направленности и типа проектов, реализация которых (с учетом необходимого на это времени) приоритетна для скорейшего снижения угроз (достижения целевого состояния). А это уже относится к имитации второго этапа поведенческого акта теории П.К. Анохина.

53 Третий этап – формирование программы действий, которая является цепочкой (выполняемых последовательно) или комплексом взаимосвязанных проектов, реализация которых позволяет достичь определенных на предыдущем этапе целевых значений критериальных показателей к заданному сроку. На этом этапе, опять-таки в соответствии с теорией П.К. Анохина, внутренняя структура подстраивается под заданный результат. Так, если принято решение о необходимости выхода на новых перспективных потребителей газа, то выбор такового осуществляется среди стран-соседей с высоким значением показателя национальной силы, особенно, если этот показатель растет. И выбор здесь в пользу нашего восточного соседа очевиден – на рисунке 5 приводится сопоставление динамики национальной силы Китая и совокупной национальной силы стран Европейского союза – традиционного потребителя Газпрома.

54

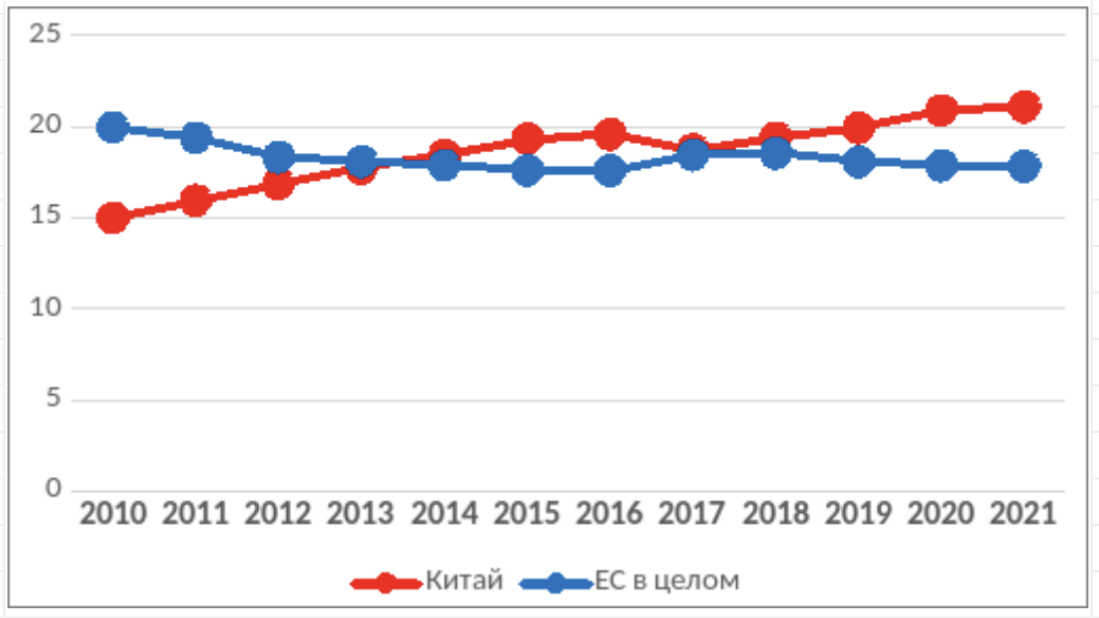

Рис. 5. Сопоставление динамики экономического блока национальной силы (НСэ) стран-потребителей газа

55 Подбор проекта из базы проектов или формирование комплекса таких проектов, необходимых для выхода на поставки газа на экспорт новому потребителю, осуществляется по следующему алгоритму:

1. Проверяется, есть ли в соседних со страной-будущим потребителем газа макрорегионах действующие месторождения с нужным объемом разработки. Если нет, то выбирается подходящий проект разработки нового месторождения или расширения существующего, если нужны дополнительные объемы добычи;
2. Проверяется, есть ли действующая газоперекачивающая инфраструктура, способная обеспечить нужный объем прокачки. Если нет, то выбирается подходящий проект строительства нового газопровода;
3. Определяются сроки начала реализации выбранных проектов таким образом, чтобы синхронизировать добычу и перекачку нужных объемов к заданному сроку начала поставок с учетом времени, необходимого на реализацию каждого из проектов.

56 Если же ставится задача диверсификации видов продукции, то в формируемый комплекс проектов аналогичным образом подбираются проекты газопереработки и проекты расширения сети газотранспортной системы для новых потребителей внутри России.

57 На четвертом этапе поведенческого акта имитируется выполнение программы поведения, определяемой действующими комплексами проектов. Считается, что реализация проектов осуществляется по утвержденному плану, и если, например, на текущем шаге имитации запланировано начало разработки месторождения, то корректируется соответствующим образом отчетность об объемах добычи газа, его перекачке и о занятых на производстве работниках – агентах-людях, жителях данного региона, с которыми устанавливается связь.

58 На рисунке 6 представлена укрупненная схема алгоритма действий агента-Газпрома на шаге имитации, который соответствует одному календарному году. Отметим, что обеспечение обратной связи как оценки состояния, достигнутого агентом в результате собственных действий в условиях изменения внешней среды, путем сравнения этого состояния с заданными целевыми значениями, производится на первом этапе имитации следующего шага.

59

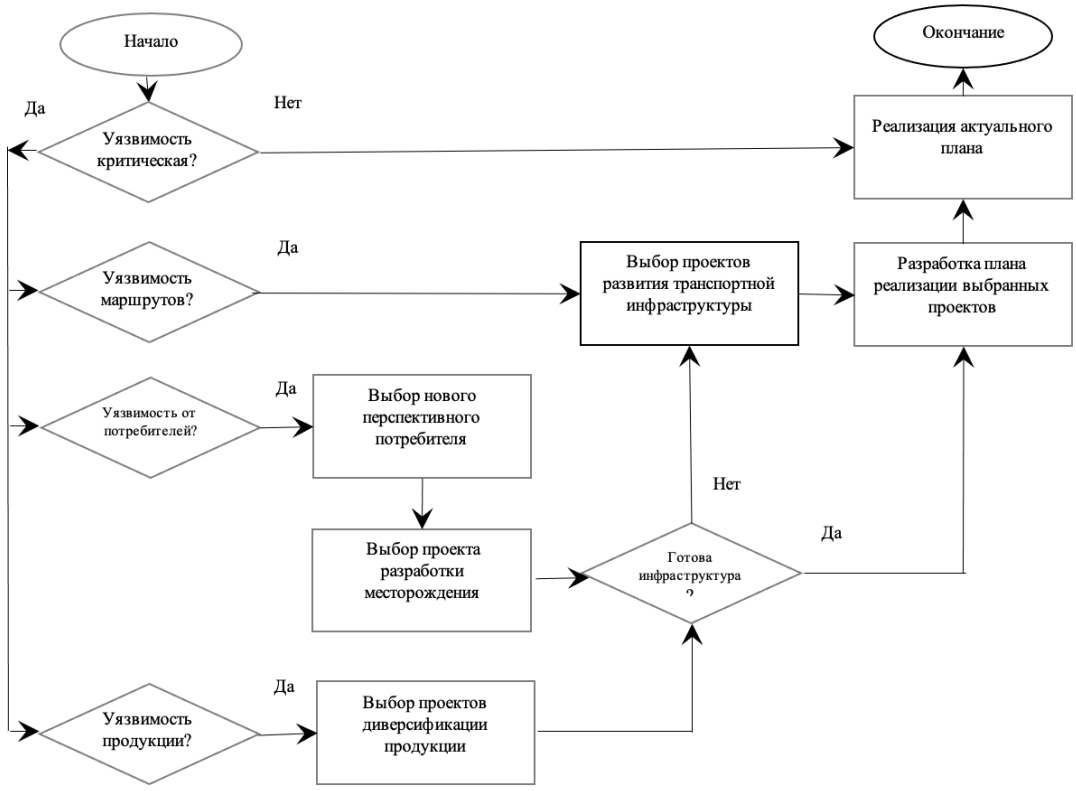

Рис. 6. Укрупненная схема алгоритма действий агента-Газпрома на шаге имитации

60

Заключение

По сравнению с заявленной авторами ранее концепцией моделирования большой социально-экономической системы уровня страны с максимально приближенным к реальности воспроизведением ее сложной внутренней структуры и взаимодействия ее активных подсистем [3], в настоящей работе сделан акцент на детализацию свойств и разработку алгоритмов действий для агента, представляющего в АОМ реально существующего актора-предприятие – ПАО Газпром.

61 За основу разрабатываемого прототипа АОМ была взята полномасштабная модель России с агентами-людьми и агентами-семьями и с детализированным демографическим блоком [8], разработанная в системе проектирования агент-ориентированных моделей для запуска на суперкомпьютерах МЁБИУС [7]. С точки зрения постановки задачи предложенный подход к имитации поведения агента-предприятия потребовал добавления в конструкцию модели нового класса акторов-стран со спецификацией их свойств, позволяющих агенту-предприятию оценивать значимость связи с ними, а также степень угроз, исходящих от этих

акторов. К таким свойствам относятся: географическое расположение страны (соседство); вес в мировой экономике (национальная сила) и его динамика; объем потребления газа; лояльность (отсутствие эпизодов откровенно недружественных действий). Потребовалось добавление и нового класса объектов, связанных со спецификой деятельности Газпрома, – месторождений, характеризующихся местоположением, объемом извлекаемых запасов и наличием лицензии Газпрома на их разработку. При этом для рассмотрения в модели газопроводов не потребовалось вводить новый класс объектов, так как их можно отнести к отдельному типу класса объектов транспортной инфраструктуры со всеми присущими этому классу характеристиками: географическому расположению, пропускной способностью и правами доступа.

62 Кроме того, потребовалась детализация свойств класса проектов для учета их направленности на решение определенных стратегических задач, специфических для данного вида деятельности, в соответствии с четырьмя категориями, введенными выше:

- развитие внутренних поставок и повышения связности единой ГТС;
- диверсификация маршрутов поставки ППГ на экспорт;
- диверсификация центров газодобычи, в том числе, с возможной разработкой новых месторождений вблизи от новых рынков сбыта;
- диверсификация продукции, получаемой из ППГ – переработка, сжижение, получение новых востребованных продуктов, в том числе, создание производств-потребителей газа (например, в области электрогенерации).

63 Изменения затронули и класс агентов-людей, что связано с добавлением им таких характеристик как место работы, заработная плата и связь с работодателем. Существенные изменения потребовались в организации главного класса, ответственного за ввод исходных данных (которых стало на несколько массивов больше), установку стартового состояния системы, создание популяций агентов и распределение их свойств, соответствующих введенным исходным данным, а также сбор и сохранение статистики по популяциям агентов на каждом шаге имитации.

64 Следует отметить, что все эти изменения были реализованы средствами системы МЁБИУС, что не потребовало доработки самого этого комплекса, так как в нем уже заложены возможности по наращиванию функционала имеющихся агентов (агентов-людей и агентов-семьи), а также по включению новых типов агентов (агентов-предприятий и агентов-стран) в добавление к уже имеющимся.

65 Выбор в качестве прототипа агента-предприятия ПАО Газпром позволил не только естественным образом определить сценарии компьютерных экспериментов, на которых можно провести апробацию в рамках модели алгоритмов поведения агента-предприятия в сложных условиях, но и создать соответствующий полноценный контрольный пример для ее верификации, обеспеченный реальной информацией.

66 На наш взгляд, представленный в работе алгоритм поведения агента-Газпрома может быть в дальнейшем обобщен до алгоритма имитации поведения

агентов-предприятий разных отраслей во взаимодействии с их поставщиками и потребителями в рамках разработки прототипа полномасштабной АОМ России, воспроизводящей отраслевую структуру ее экономики. Для чего потребуется спецификация понятий веса контрагентов (их значимости) для предприятий других отраслей и другого масштаба деятельности.

Библиография:

1. Анохин П.К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем // Принципы системной организации функций. М.: Наука. 1973.

2. Анохин П.К. Избранные труды: Кибернетика функциональных систем / Под ред. К.В. Судакова. Сост. В.А. Макаров. М.: Медицина. 1998.

3. Бахтизин А.Р., Макаров В.Л., Сушко Е.Д. Агент-ориентированное моделирование больших социально-экономических систем на основе общей теории функциональных систем П.К. Анохина // Искусственные общества. 2022, Т. 17, № 3. DOI: 10.18254/S207751800021924-5.

4. Бурков В.Н. Основы математической теории активных систем. М.: Наука. 1977.

5. Газпром экспорт // URL: https://gazpromexport.ru/

6. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Ильин Н.И. Моделирование и оценка национальной силы России // Экономические стратегии. 2020. № 2. DOI: 10.33917/es-2.168.2020.6-19

7. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Сушко Г.Б. Система проектирования масштабируемых агент-ориентированных моделей, включающих популяции агентов разных типов с динамически изменяющейся численностью и сложными многоэтапными взаимодействиями агентов, образующих социальные сети. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020612410, 20.02.2020. Заявка № 2020611366 от 06.02.2020.

8. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Сушко Г.Б. Создание суперкомпьютерной имитации общества с активными агентами разных типов и её апробация // Вестник Российской академии наук, 2022. Том 92, № 5. DOI: 10.31857/S0869587322050115.

9. ПАО Газпром // URL: https://www.gazprom.ru/

10. ПАО Газпром. Годовой отчет. 2010 // URL: https://www.gazprom.ru/f/posts/57/963117/gazprom-annual-report-2010-rus.pdf

11. Толоконников Г.К. Неформальная категорная теория систем // Биомашсистемы. 2018, Т. 2, №4.

12. Щербакова Н.Г. Меры центральности в сетях // Проблемы информатики. 2015. № 2, С. 18-30.

13. Borgatti S.P. Identifying sets of key players in a network // Computational, Mathematical and Organizational Theory. 2006. V. 12 (1), P.21-34.

14. Freeman L.C. Centrality in social networks: conceptual clarification // Social Networks, Amsterdam. 1979. Vol. 1. P. 215–239.

15. U.S. Energy Information Administration // URL: https://www.eia.gov/

Modeling the Behavior of an Agent-enterprise as part of an Artificial Society in an International Trade Network

Valery Makarov
Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences
Russian Federation, Moscow
Albert Bakhtizin
Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences
Russian Federation, Moscow
Elena Sushko
Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences
Russian Federation, Moscow

Abstract

In the work developing the methodology for creating an artificial society, agent-firms in the agent-based model are considered as elements of an international trade network, formalized in the form of a graph in which they are represented by vertices, and the edges connecting them indicate the direction and magnitude of the flow of material resources and/or services. Using PJSC Gazprom as an example, centrality indices were constructed to characterize the importance of an agent-enterprise in the natural gas trading network, as well as its vulnerability from partner countries, considering the economic weight (importance) of these partners. The indices were used to develop an algorithm for simulating agent behavior based on the theory of functional systems by P.K. Anokhin: a) for the agent to assess his position as the current level of threats, and b) for setting goals and forming a set of projects aimed at developing and protecting his business. The algorithm is configured to minimize the vulnerability (dependence on partners) of the agent-firm both from the countries consuming its products and from the transit countries transporting them.

Keywords: agent-based modeling, large socio-economic systems, functional systems theory P.K. Anokhin, network analysis, methodology for creating a digital twin of society, the influence and vulnerability of firms in the international trade network

Date of publication: 20.12.2023

Citation link:

Makarov V., Bakhtizin A., Sushko E. Modeling the Behavior of an Agent-enterprise as part of an Artificial Society in an International Trade Network // Artificial societies. 2023. Vol. 18. Issue 4. URL: https://artsoc.jes.su/s207751800029234-6-1/ DOI: 10.18254/S207751800029234-6

Код пользователя: 0; Дата выгрузки: 06.07.2026; URL - http://artsoc.jes.su/s207751800029234-6-1/ Все права защищены.