

## **РАЗРАБОТКА МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ РЕАЛИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ МЕГАПРОЕКТОВ: УЧЕТ ФАКТОРА ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ**

*Татьяна Николаевна Есикова*

Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 17, кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник, тел. (383)333-25-96, e-mail: T.N.Yesikova@gmail.com

*Светлана Витальевна Вахрушева*

Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 1, аспирант, тел. (983)314-94-41, e-mail: s.vakhr@gmail.com

В работе рассматриваются вопросы учета и отражения в мультиагентных системах влияния информационной среды, инфопотоков на поведение агентов и оценку последствий, в том числе экологического характера, принимаемые ими решений на различных этапах реализации крупномасштабных инфраструктурных проектов. Информационное пространство априори является многомерной динамической средой, которая непрерывно обновляется и преобразуется, иногда под приматом интересов отдельных агентов или групп влияния, и существенно реже с позиции обеспечения жизнеспособности экономической системы в целом. В качестве объекта исследования выбран крупномасштабный проект строительства трансконтинентальной магистрали (ТКС) через Берингов пролив. В статье приводится довольно подробное описание групп агентов, сопричастных к процессу принятия решений, а также элементов информационного пространства, значимых для того или иного агента на отдельных этапах его деятельности. Для моделирования влияния информационного пространства на процессы принятия решения агентами разных уровней иерархии (хозяйствующими субъектами, управленческими субъектами и т.п.) разработаны алгоритмы и специальные процедуры..

**Ключевые слова:** инфраструктурные мегапроекты, мультиагентные системы (МАС), принятие решений, инфопространство.

## **DEVELOPMENT OF A MULTI-AGENT SYSTEM FOR THE ASSESSMENT OF ECOLOGICAL INFLUENCES OF TRANSPORT MEGAPROJECTS: TAKING INTO ACCOUNT THE INFORMATION ENVIRONMENT FACTOR**

*Tatyana N. Yesikova*

Institute of Economics and Organization of Industrial Production SB RAS, 17, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Leading Researcher, phone: (383)333-25-96, e-mail: T.N.Yesikova@gmail.com

*Svetlana V. Vakhrusheva*

Novosibirsk State University, Department of Information Technologies, 1, Pirogova St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D. Student, phone: (983)314-94-41, e-mail: s.vakhr@gmail.com

The paper considers the issues of accounting and reflection in multi-agent systems of the influence of the information environment, information flows on agent behavior and the assessment of consequences, including environmental ones, of decisions made by them at various stages

of large-scale infrastructure projects. The information space is a priori a multidimensional dynamic environment that is continuously updated and transformed, sometimes under the primacy of the interests of individual agents or influence groups, and much less frequently from the standpoint of ensuring the viability of the economic system as a whole. A large-scale project for the construction of a transcontinental highway (TKS) through the Bering Strait was chosen as the object of study. The article provides a fairly detailed description of the groups of agents involved in the decision-making process, as well as the elements of the information space that are significant for an agent at certain stages of its activity. To model the influence of the information space on decision-making processes by agents of different hierarchy levels (business entities, managerial entities, etc.), algorithms and special procedures have been developed.

**Key words:** infrastructure megaprojects, simulation, multi-agent systems (MAS), agents, decision-making, information space.

### *Введение*

Реализация транспортных мегапроектов безусловно является глобальным, как инфраструктурным, так и социально-экономическим процессом, сопряженным с угрозой рисков на всех его этапах. Эти риски могут быть связаны не только со сложностями и недостатками проекта, но и несогласованностью и противоречивостью принимаемых решений на отдельных этапах реализации проекта. В связи с этим представляет интерес использование аппарат мультиагентного моделирования для прогнозирования хода реализации крупных транспортных мегапроектов с двух позиций. С одной стороны, возможно ли на базе этого инструментария обеспечить предотвратить нежелательный ход развития событий, заранее выявить узкие места в процессе реализации мега-проекта и принять превентивные меры для предотвращения нежелательные последствий, в том числе экологического характера. Выбор в качестве объекта исследования одного из самых спорных транспортных проектов (проект сооружения трансконтинентальной магистрали (ТКМ) через Берингов пролив) [1-3] обусловлен не столько его масштабами (инвестиционными, ресурсными, пространственными и др.), сколько огромным количеством потенциальных подрядчиков и субподрядчиков на фоне слабой связности территорий и высокой степени неопределенности как самого процесса строительства, так и большой вилкой в размерах потенциальных потоков и т. д.

### *Методы и материалы*

На этапе анализа проблемы оценки крупных транспортных проектов, предлагаемых к реализации и постановки задачи, в качестве наиболее подходящего инструментария был выбран аппарат мультиагентного моделирования. Основная сложность и проблема применимости этого инструментария кроется во внешней схожести терминологии мультиагентного моделирования с категориями и терминами, широко используемыми в экономических исследований.

Первое, мультиагентный подход рассматривает развитие любой системы, как взаимодействие агентов самой разной природы, которые функционируют

в общей для них окружающей среде по тем или иным правилам. Все классическим экономическим агентам (хозяйствующим субъектам) вроде бы можно представить соответствующие сущности в мультиагентных систем. Горнодобывающим предприятиям представлять как «агент «Горнодобывающая компания», «региональным, муниципальным органам власти» - «агент региональная власть» и т.п.

Второе, сам процесс моделирования принятия решений в мультиагентной системе (с учетом состояния окружающей среды, соответствия их требованиям и возможностям тех или иных агентов) вроде бы похоже на традиционную схему моделирования. Любой транспортный проект, не только ТКМ через Берингов пролив, требует массу согласований и разрешений на федеральном уровне; взаимодействие федеральных властей и компаний-инвесторов; принятие решения региональными властями о проведении тендеров на строительство того или иного подпроекта; о проведении общественных слушаний по проекту трансконтинентальной магистрали и т.д.

Третье, окружающая среда, в рамках которой функционируют все участники, непрерывно меняется и преобразуется в результате действий агентов, что также отвечает базовому экономическому постулату – непрерывности процессов развития и сопряженных с ними изменений. Огромное значение на этом уровне оказываются информационные потоки, которые средствами традиционного экономико-математического инструментария трудноуловимы.

Реально почувствовать разницу подхода и возможностей мультиагентного моделирования можно только через конкретные сущности, введенные в модель, в том и другом случае, а также корректно прописанные для них алгоритмы поведения. В этом случае, мультиагентный подход позволяет, препарировав внутреннюю логику развития событий, показать почему, несмотря на все заявления, обещания, колоссальные вливания средств, изменения экономической ситуации не происходит. Одна из сложностей, которая встает при разработке агентных моделей – это обеспечения примата идеологии мультиагентного моделирования над традиционными экономико-математическими моделями. В частности, при разработке модели для всестороннего изучения проекта формирования и функционирования трансконтинентальной магистрали через Берингов пролив,

Декомпозиция экономической системы должна быть проведена в соответствии 1) с логикой разработки мультиагентных систем, 2) с предоставляемыми возможностями моделирования поведения отдельных агентов, имеющих разную природу; 3) с учетом колоссального влияния, как на поведение, так и на сам процесс принятия решения такого фактора, как воздействие информационной среды. Информационной среды, которая непрерывно меняется и весьма подвержена целенаправленному изменению отдельными иными участниками реализации проекта.

На этапе постановки задачи была признано необходимым введение мультиагентную систему трех групп агентов **V**: «агентов-управленцев», «агентов-лоббистов», «агентов-инфопотока». Для каждой группы агентов прописаны

правила и алгоритмы поведения, присущие только агентам данной группы. Количество таких специализированных группа агентов безусловно предопределяется конкретной постановкой задачи.

«Агенты-управленцы» это подмножество агентов ( $v_j^* \in V^*$ ,  $[V^*] = n_1$ ), в котором объединены агенты, функционирующих на разных уровнях хозяйственно-территориальной иерархии и в той или иной степени, связанные с управлением экономических систем. В эту группу агентов попадают самые разные экономические и хозяйственные агенты: от представителей не только разных слоев населения, общественных движений до руководителей территориальных структур, администрации проекта сооружения трансконтинентальной магистрали на самом высоком уровне и т.д.

«Агенты-лоббисты»  $v_j^* \in V^*$  это множество агентов, которые обеспечивают на разных уровнях принятия решений лоббирование проектов, за которые отвечает. Агенты этой группы являются в реальной жизни нередко остаются в тени, но именно она предопределяют многие решения через своим механизмы влияния. За любым элементом этого множества может стоять как отдельный агент-лоббист (политический деятель, активист и т.п.), так и совокупность агентов-лоббистов, объединившихся в организации-лоббисты проекта (аналитические организации и мозговые-центры (thinktanks), проектные и научно-исследовательские организации разного профиля и т.д.).

Отметим, что именно функциональное назначение данной группы агентов и объясняет наличия у них волевое поведение (по теории К. Левина). Агентов этой группы всегда действуют исключительно, исходя из примата собственных интересов.

«Агенты-инфопотока» ( $v_j^{\Delta} \in V^{\Delta}$ ,  $[V^{\Delta}] = n_2$ ) целенаправленно обеспечивают информационное сопровождение проектов (в данном случае, проекта ТКМ через Берингов пролив) на всех стадиях, Формируемая этими агентами окружающая информационную среду моделировалась нами через совокупность информационных полей ( $I\_field_p$ ) и информационных потоков ( $I\_flow_q$ ) при наличии множества взаимосвязей между окружающей инфосредой и выделенными выше агентами модели. При этом в информационное пространство, его наполнение может производиться за счет самых разнообразных источников, как набор объективных фактов и событий, (результаты наблюдений, отчеты и научные доклады (записки), отчеты, материалы отдельных аналитиков, экспертов), так и личностные оценки; журналистские расследования, информационные шумы, самой разнообразной природы.

Третье подмножество агентов ( $v_j^{\Delta} \in V^{\Delta}$ ,  $[V^{\Delta}] = n_2$ ) это довольно широкая группа агентов информационного сопровождения проектов, которая включает в себя, как отдельные подмножества агентов, так и узкоспециализированных агентов (например, агенты-интерпретаторы сообщений и др.). Подавляющее большинство агентов этого подмножества связаны с синхронизацией состояния окружающей среды, в которой функционируют агенты, с накопившимися изменениями при том или ином ходе развития событий в системе.

Отметим так же, что между агентами разных групп ( $V^*$ ,  $V^*$ ,  $V^*$ ) осуществляются взаимодействия в обоих направлениях. Концепция «многие-ко-многим» лучшим образом отражает суть процессов, которые свойственны схемам взаимодействия в реальном мире. Технически взаимодействие агентов (агентов друг с другом, агента с окружающей средой) осуществляется через передачу потоков сообщений. Логика поведения конкретного агента безусловно зависит от его «профессиональной» специализации [4-22]. От того насколько они успешно действуют зависит качество формируемой и поддерживаемой информационной средой, в рамках которой и принимаются управленческие решения.

1. Агенты, отвечающие за актуализацию содержимого информационного потока, Основные шаги алгоритма актуализации информации: а) получение заявки или заказа от агента; б) уточнение критериев по отбору информации для актуализации инфопотока; в) передача свободному специализированному агенту данной группы заявки на генерацию информационного потока; г) удаление устаревшего фрагмента инфопотока из окружающей среды; д) обновленного целевого сегмента по заявке в общий инфопоток, который доступен теперь всем агентам системы для принятия решений.

2. Алгоритмы поведения агентов, оценивающих восприятие населением либо в целом, либо отдельными целевыми группами информационного потока по той или иной тематике. В основе этих алгоритмов лежат алгоритмы оценки тональности текста [24], в комбинации с правилами, учитывающими особенности восприятия информации той или иной группой агентов-лоббистов и организаций-лоббистов.

### ***Результаты***

Разработан прототип мультиагентной системы развития ТКМ через Берингов пролив и предложена апробирована схема разработки моделирования процесса принятия решений для обосновании этих проектов. Выделены основные групп агентов, поведение которых и принимаемые ими решения имеют ключевое значение для судьбы проекта. Показаны подходы к разработке мультиагентной модели, приведены предлагаемые схемы и приемы моделирования поведения выделенных групп агентов и алгоритмов формализации их поведения в рамках данной концепции. В связи со спецификой объекта исследования трудно подобрать кейс для сравнения продуктивности данного подхода.

### ***Обсуждение***

Главная проблема такого типа исследований: высокая трудоемкость и большие затраты времени необходимые для проведения пилотных расчетов и последующей верификации полученных результатов. предлагаемого инструментария на более менее представительных пилотных данных. В перспективе необходимо уточнение структуры и набора агентов, а также расширение перечня алгоритмов поведения для отдельных групп агентов.

## *Заключение*

Использование мультиагентного подхода представляется продуктивным. Это должно стать главным направлением дальнейших исследований, ибо результаты применения мультиагентных систем в подавляющем большинстве своих приложений за пределами экономических исследований весьма продуктивны.

## *Благодарности*

*Работа выполнена по плану НИР ИЭОПП СО РАН N AAAA-A17-117022250123-0.*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Есикова Т.Н., Вахрушева С.В. Моделирование агентного окружения при разработке мультиагентной системы на примере крупномасштабных инфраструктурных проектов // Вестник СибГУТИ. - 2019. - № 3. - С. 63-69.

2. Есикова Т.Н., Вахрушева С.В. Разработка МАС для имитации процесса реализации проекта трансконтинентальной магистрали через Берингов пролив (моделирование информационного пространства) // Научное программное обеспечение : труды семинара 12-й Междунар. Ершовской конф. по информатике (ПСИ'19). 2-3 июля 2019 г. / Ин-т систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН, Новосиб. гос. ун-т. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 90-96.

3. Есикова Т. Н., Вахрушева С. В., Шаталов Д. А. Специфика разработки мультиагентной системы процесса реализации мегапроектов транспортной природы (на примере ТКМ через Берингов пролив) // Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2019 : труды 12-ой международной конференции (1-3 октября 2019 г., Москва, Россия) : научное электронное издание / под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна ; Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. - Электрон. текстовые дан. (26,1 Мб). – М. : ИПУ РАН, 2019. - ISBN 978-5-91450-240-6. - Номер государственной регистрации: 0321903935. - 1 CD-R [С. 606-613]. - Систем. требования: Pentium 4; 1,3 ГГц и выше; InternetExplorer; AcrobatReader 4.0 или выше. - Загл. с экрана.

4. Маслобоев А.В. Механизмы взаимодействия и координации агентов в открытой мультиагентной системе информационной поддержки региональных инновационных структур. Теория и практика системной динамики: Труды II-ой Всерос. науч. конф., Апатиты, КНЦ РАН, 2007

5. Тарасов В.Б. Агенты, многоагентные системы, виртуальные сообщества: стратегическое направление в информатике и искусственном интеллекте. [Электронный ресурс]: URL: <http://www.raai.org/library/ainews/1998/2/TARASOV.ZIP>

6. Вольхин Е. Г. Модели размещения распределительных центров // Управленец. - 2018. - Т. 9. - №2. - С. 54–60.

7 Скобелев П.О. Открытые мультиагентные системы для оперативной обработки информации в процессах принятия решений // Автометрия. – 2002. – № 6. – с. 45-61

8. Frank Didik. Proposal for a Trans Global Highway. // [Электронный ресурс] URL: <http://www.transglobalhighway.com/>.

9. G. Rzhovsky. Multi-agent systems in logistics and e-commerce, [Электронный ресурс]: URL: <https://blog.iteam.ru/multiagentnye-sistemy-v-logistike-i-e-kommertsii/#i-5>.

10. Frank Didik. Proposal for a Trans Global Highway. // [Электронный ресурс] URL: <http://www.transglobalhighway.com/>

11. Городецкий В.И., Грушинский М.С., Хабалов А.В. Многоагентные системы // *Новости искусств. интеллекта.* – 1998. – № 2. – С. 64–116.
12. Хорошевский В.Ф. Методы и средства проектирования и реализации мультиагентных систем // *Матер. семинара «Проблемы искусственного интеллекта».* – ИПУ РАН, 1999.
13. Чертков А. А., Вардомская А. А., Дмитриев А. А. Рекурсивный метод оптимизации логистических путей средствами MatLab // *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова* – 2015 – Вып. 6 (34). – с. 196-204
14. Шабунин А. Б., Кузнецов Н. А., Скобелев П. О., Бабанин И. О., Кожевников С. С., Симонова Е. В., Степанов М. Е., Царев А. В. Разработка мультиагентной системы адаптивного управления ресурсами ОАО «РЖД» // *Мехатроника, автоматизация, управление.* – 2013. № 1. – с. 23–29.
15. Пышный В. А. Моделирование загрузки транспортной сети / *Известия ТулГУ. Технические науки.* – 2012 – Вып. 2 – с. 457–473
16. Скобелев П. О., Майоров И. В. Мультиагентные технологии и самоорганизация сетей связанных расписаний для управления ресурсами в реальном времени // [Электронный ресурс]: *Морские информационно-управляющие системы: электрон. научн. журн.* 2015. №7. URL: [http://www.kg.ru/wp-content/uploads/2016/02/31\\_ИУМорские-системы\\_№17\\_2015\\_-2.pdf](http://www.kg.ru/wp-content/uploads/2016/02/31_ИУМорские-системы_№17_2015_-2.pdf)
17. Шабунин А.Б., Кузнецов Н.А., Скобелев П.О., Бабанин И.О., Кожевников С.С., Симонова Е.В., Степанов М.Е., Царев А.В. Разработка мультиагентной системы адаптивного управления ресурсами ОАО «РЖД» // *Мехатроника, автоматизация, управление.* – 2012.
18. Левин К. Теория поля в социальных науках / Пер. Е. Сурпина. - СПб.: Речь, 2000
19. А. В. Машнин, А В. Тимофеев. Разработка ИС построения оптимального плана перевозок продукта с минимизацией транспортных расходов на основе метода потенциалов / *Международный научный журнал «Инновационная наука».* – 2016. – №1 – с. 38-39
20. Шабунин А.Б., Чехов А.В., Скобелев П.О., Симонова Е.В., Царев А.В., Степанов М.Е., Курбатов Е.В., Сазуров С.В., Дмитриев Д.В. Сетевый подход к созданию мультиагентной системы для управления производственными процессами ОАО «РЖД». // *Материалы Международной научно-практической мультиконференции «Управление большими системами-2011».* 14–16 ноября.– М., 2011. – Т. 3. – С. 222-225.
21. G.Rzhevsky. Multi-agent systems in logistics and e-commerce, [Электронный ресурс]: URL: <https://blog.iteam.ru/multiagentnye-sistemy-v-logistike-i-e-kommertsii/#i-5>
22. В.А. Виттих. Мультиагентные модели взаимодействий для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах / В. А. Виттих, П. О. Скобелев // *Автоматика и телемеханика.* – 2003. - №1. – С. 177-185.
23. Rolf CR., Kuchcinski, K. «Distributed constraint programming with agents», in *Proceedings of the second international conference on Adaptive and intelligent systems*, Springer-Verlag, Berlin. – 2011. – P. 320–331.
24. Есикова Т.Н., Шаталов Д.А. Разработка методического подхода и инструментария оценки "образов" стран по инфопотокам для мультиагентной системы // *Наука и практика в условиях санкционного миропорядка : сб. науч. ст. по итогам междунар. науч.-практ. конф. 30-31 мая 2018 г. Санкт-Петербург / С.-Петербургский центр системного анализа.* - СПб. : КультИнформПресс, 2018. - С. 22-26.

© Т. Н. Есикова, С. В. Вахрушева, 2020