

СПЕЦИФИКА РАЗРАБОТКИ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ПРОЦЕССА РЕАЛИЗАЦИИ МЕГАПРОЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ПРИРОДЫ (НА ПРИМЕРЕ ТКМ ЧЕРЕЗ БЕРИНГОВ ПРОЛИВ)

Есикова Т.Н., Вахрушева С.В., Шаталов Д.А.

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет
T.N.Yesikova@gmail.com, s.vakhr@gmail.com, shatal1@yandex.ru

Аннотация: Процесс реализации транспортных мегапроектов сопряжен с многочисленными рисками, порождаемыми разнонаправленными интересами экономических агентов, их весом в принятии решений. Разработка мультиагентной системы (с детализацией процессов принятия решений) позволяет заблаговременно вскрыть эти риски. Объектом исследования выбран проект ТКМ через Берингов пролив.

Ключевые слова: мультиагентные системы (МАС), агенты, окружающая среда, поддержка принятия решений, инфопотоки, мегапроекты, трансконтинентальная магистраль.

Введение

Существует довольно развитый инструментарий, который плодотворно используется для решения многочисленных транспортных задач. Нам представляется, что многие актуальные вопросы, связанные с выявлением и анализом рисков, заложенных в крупномасштабных транспортных мегапроектах, не могут быть разрешены модельными и инструментальными средствами, традиционными для экономических исследований.

Во-первых, за транспортными мегапроектами традиционно стоит довольно большой сонм экономических, хозяйственных и политических агентов, каждый из которых преследует собственные цели и интересы. Эти интересы не всегда совпадают с официально озвученными и могут даже противоречить интересам акторов, которые являются основными инвесторами этих проектов.

Во-вторых, транспортные мегапроекты априори воспринимаются как палочка-выручалочка для выхода из кризиса, для подъема экономики страны. Требуется дополнительный анализ проектов через призму интересов хозяйствующих субъектов, являющихся субподрядчиками, поставщиками и т. п. при выполнении работ.

В-третьих, официально озвучиваемые цели транспортного мегапроекта включают далеко не все задачи, реально поставленные в его рамках. Ожидания населения, как основного потенциального выгодополучателя, могут и не реализоваться.

Для опережающего анализа транспортных мегапроектов (с разнообразными типами активно функционирующих агентов-участников, с перекрещивающимися и конфликтными целями, интересами, полномочиями) представляется продуктивным использование аппарата мультиагентного моделирования [1-7].

1 Некоторые аспекты разработки мультиагентной системы

Схема разработки мультиагентной системы процесса реализации мегапроектов транспортной природы принципиально не отличается от общеупотребимой:

- анализ проекта строительства трансконтинентальной магистрали и формирования его логико-структурной и организационной схемы, поиск и изучение альтернативных предложений;
- анализ процедур принятия решений на каждом этапе структурной и организационной схемы с позиции выявления узких мест;
- выявление и оценка места и степени, влиятельности экономических, хозяйственных и управленческих акторов, сопряженных как с ходом реализации проекта, так и с обеспечением поддержки информационной, законодательной, делопроизводческой и т.п.;
- на базе проведенного анализа провести первичное формирование агрегированных типов агентов и для каждого типа агентов прописать спецификацию свойств и атрибутов;
- прописать логические схемы взаимодействия агентов друг с другом на тех или иных стадиях реализации транспортного мегапроекта;
- на базе анализа процессов принятия решения выявить основные компоненты окружающей среды, которые оказывают значимое влияние на процесс принятия решений всеми участниками транспортного мегапроекта;

- формирование правил поведения агентов, их атрибутов при взаимодействии как с окружающей средой, так и друг с другом и т. д.

В настоящее время разработанный следующий прототип мультиагентной модели:

$$(1) \quad M = (V_n, E_m, P_l, R_s, I_k),$$

$$(2) \quad E \subset V \times V,$$

$$(3) \quad I_k = I_field_p \cup I_flow_q,$$

$$(4) \quad P_l \subset V \times I, A_j \subset P_l,$$

$$(5) \quad R_s \subset I \times V,$$

где:

V – many different groups of agents, which includes three subsets of groups of agents: V^{\sim} , V^{\approx} и V^{Δ} .

E – many types of relations between agents (for example, iterations on the coordination of projects; holding tenders, etc.).

I_k – окружающая информационная среда (среда функционирования агентов), которая состоит из информационных полей (I_field_p) и информационных потоков (I_flow_q), отличия которых подробнее описаны ниже. В свою очередь, множества как полей, так и потоков состоят из компонент: $I_field_p = (I_{clim}, I_{dir}, I_{stand}, I_{laws})$, $I_flow_q = (I_{pr}, I_{ext_s}, I_{soc_mem}, I_{curr}, I_{ec_pred})$, пояснения которым даны в п. 2 данной статьи.

P_l – множество взаимосвязей агентов и внешней среды их функционирования (восприятие агентами преобразований среды, формирование изменений в информационных потоках), A_j – подмножество взаимосвязей окружающей среды и агентов, позволяющее описать и учесть эмоциональную (качественно иную) реакцию агентов при принятии решений на все те изменения, которые происходят в окружающей их среде,

R_s – множество взаимосвязей среды и агентов (оповещение агентов информационной средой о каком-либо событии, изменение атрибутов агентов и т.д.).

Отметим, что между агентами разных групп ($V^{\sim}, V^{\approx}, V^{\Delta}$) осуществляются взаимодействия в обоих направлениях. Концепция «многие-ко-многим» лучшим образом отражает суть процессов, которые свойственны реальным схемам взаимодействия в реальном мире. Технически взаимодействие агентов (агентов друг с другом, агента с окружающей средой) осуществляется через передачу потоков сообщений.

Для каждой группы агентов необходима разработка своих алгоритмов поведения, свойственных только агентами данной группы. Рассмотрим более подробно на примере отдельных обозначенных выше агентных подмножеств.

Первое подмножество агентов ($v_j^{\sim} \in V^{\sim}, [V^{\sim}] = n_1$) включает в себя классических агентов (агенты-управленцы), функционирующих в экономическом пространстве: руководители территориальных структур, администрация проекта сооружения транспортной магистрали, инвесторы, представители населения, общественных движений и т.п.).

Функции большинства агентов этого подмножества (агентов-управленцев) интуитивно понятны, так как формально совпадают с их управленческими функциями в реальной экономике. При этом функции агента-населения и агентов-общественных организаций корреспондируют с функциями анти-лоббистов проекта, в частности в их компетенции входит подача заявок на независимую экспертизу проекта, сбор и обобщения мнений и т.д. Технически это обеспечивается через парсинг комментариев к статьям, новостям и другим материалам в интернет-пространстве.

Второе подмножество агентов ($v_j^{\approx} \in V^{\approx}, [V^{\approx}] = n_2$) состоит из агентов, которые обеспечивают лоббирование проектов на разных уровнях принятия решений, которое могут проводить как отдельные агенты-лоббисты, так и организации-лоббисты проекта.

Эта группа агентов $v_j^{\approx} \in V^{\approx}$ занимает особое место среди всех агентов мультиагентной системы, что обуславливается следующим.

Во-первых, агенты-лоббисты и организации-лоббисты являются активными участниками любого процесса принятия решения, но в реальной жизни нередко остаются в тени и не стремятся выходить на передний план при обсуждении проекта. В качестве агентов-лоббистов, например, выступают лица, выигравшие грант соответствующей тематики. Организациями-лоббистами часто выступают аналитические организации и мозговые-центры (think tanks), проектные и научно-исследовательские организации разного профиля, сопряженные с реализацией транспортного

инфраструктурного проекта, управленческие структуры, а также образовательные организации соответствующего профиля и др.

Во-вторых, это единственная группа агентов, для которой характерно волевое поведение в его чистом виде. Они всегда принимают решения, которые обусловлено исключительно их собственными интересами и намерениями. Этот тот самый тип поведения, который полностью в рамках теории К. Левина [8], исходящего из примата собственных интересов и намерений человека.

При этом агенты-лоббисты и агенты-организаторы могут быть хорошо осведомлены о «подводных камнях» и узких местах проектов, лоббируемых ими, которые в последствии приведут к плачевным результатам. Единственное, что их интересует – это своевременное и в полном объеме получение вознаграждения за свою работу, т. е. успешное освоение всех выделенных им средств.

Если проект окажется успешным, то это тоже не противоречит их интересам, а только создает дополнительный гешефт от лоббирования этого проекта, в связи с премиальными бонусами. В их личностных интересах как можно дольше обеспечивать актуальность проекта, привлекая к нему внимание лиц, организаций от которых зависит принятие решений на более высоком уровне.

Перечень функции этой группы агентов в рамках мультиагентной системы и логику их действий можно представить следующим образом:

- а) принятие решения о лоббировании проекта,
- б) отслеживание восприятия лоббируемого проекта со стороны разных категорий участников процесса ($v_j^{\sim} \in V^{\sim}$): агентами-управленцами, отдельными слоями или группами населения, общественными организациями. Технически этому отвечает следующая последовательность действий: 1) подача заявки (сообщение) агенту $v_j^{\Delta} \in V^{\Delta}$ на измерение текущего уровня восприятия (эмоциональной оценки) информационного потока по проекту $\Pi^* \in I_{pr}$; 2) получение от агентов ($v_j^{\Delta} \in V^{\Delta}$) интегрированной оценки восприятия проекта по разным целевым группам;
- в) соизмерение сложившейся эмоциональной оценки (восприятия) проекта $\Pi^* \in I_{pr}$ с пороговым значением, при котором исключена дальнейшая реализация проекта;
- г) при падении эмоциональной оценки ниже порогового значения, подача заявки (сообщения) агентам $v_j^{\Delta} \in V^{\Delta}$, которые управляют информационными потоками, на его усиление (вбрасывание статей, заказ аналитических докладов, проведение конференций и т.п.);
- д) оценка «готовности» проекта на уровне информационной поддержки к принятию желаемого решения соответствующими органами (эмоциональная оценка существенно выше пороговых значений);
- е) передача инициатору или инициаторам подготовки проекта $v_j^{\sim} \in V^{\sim}$ сообщений о степени готовности или неготовности проекта к принятию нужных решений заказчику и т.п.

Это единственная группа агентов, которая отвечает теории К. Левина.

Все остальные подмножества агентов, введённых в мультиагентную систему, являются классическими агентами, управляемые «манипулятором».

Третье подмножество агентов ($v_j^{\Delta} \in V^{\Delta}, [V^{\Delta}] = n_3$) это довольно широкая группа агентов информационного сопровождения проектов, включающая в себя как отдельные подмножества агентов, так и узкоспециализированных агентов (агенты-интерпретаторы сообщений и др.).

Подавляющее большинство агентов этого подмножества связаны с синхронизацией состояния окружающей среды, в которой функционируют агенты, с накопившимися изменениями притом или ином ходе развития событий в системе.

Рассмотрим отдельных представителей этого подмножества агентов.

Группа агентов $v_j^{\Delta} \in V^{\Delta}$, отвечающих за актуализацию содержимого информационного потока, как одной из важной компонент окружающей среды.

Агенты этой группы

- а) принимают от агентов $v_j^{\sim} \in V^{\sim}$ заказ (соответствующее сообщение) на освещение событий по проекту («заказная тематика»),
- б) передают заявку специализированному агенту своей группы на генерацию информационного потока,
- в) после получения сообщения о подготовке обновленного информационного потока подают осуществляют замену устаревшего подпространства окружающей среды, и т.д.

Группа агентов, отвечающих за сканирование сегментов интернет-пространства (внешних источников разной природы) для формирования информационного массива со ссылками по тематике проекта. В ее функциональные обязанности входят следующие виды деятельности:

- а) получение заказа на сканирование интернет-пространства,
- б) формирование перечня ключевых поисковых слов с учетом пожеланий заказчика,
- в) осуществление сканирование интернет-пространства,
- г) формирование перечня ссылок на источники информации,
- д) передача группе агентов, управляющих информационным потоком, сформированного массива ссылок на источники и массива ключевых слов, используемых при сканировании. Возможна специализация агентов по типам источникам: на российские источники информации, другие - западные источники и др.

Агент, оценивающий восприятие (эмоциональную оценку) информационного потока по лоббируемому проекту с позиции его «дружелюбности» или «недружелюбности» к проекту, лоббируемого заказчиком. Функциональные возможности агента предоставляют агенту следующий набор действий

- а) настройка базы данных ключевых слов с их вербальными характеристиками;
- б) поочередный анализ содержания каждого источника (статьи, новости и др.) из информационного потока по проекту $\Pi^* \in I_{pr}$ и генерация для каждого источника кортежей эмоциональных оценок, отвечающих разным целевым группам населения;
- в) генерация интегральной оценки информационного потока с учетом целевых аудиторий, на которых ориентированы соответствующие сегменты этого потока [9],
- г) передача агентам-лоббистам и/или организациям-лоббистам кортежа интегральных оценок по целевым аудиториям.

От того насколько корректно формализован данный этап зависит точность моделирования практически всего механизма функционирования мультиагентной системы.

Группа агентов, отвечающих за актуализацию данных по каждому из подпространств окружающей среды: информационного потока по проекту, нормативно-правовой информации, проектах аналогах и др.

Группа агентов, оценивающих риски (экономические, экологические), сопряженные с тем или иным вариантом проекта трансконтинентальной магистрали. Например, это объем парникового газа, выделяемого при эксплуатации высокоскоростной железной дорогой; затраты электроэнергии на обслуживание магистрали; рассеивание загрязняющих атмосферный воздух веществ; совокупные издержки по предлагаемым проектам социального обустройства для обслуживания трансконтинентальной магистрали с учетом условий ее пролегания и др.

Группа агентов, обеспечивающих независимую оценку проектов, которая в жизни возлагается на особые аналитические организации, так называемые «мозговые центры».

В их компетенции входит:

- а) анализ на непротиворечивость заявленных целей проекта и обозначенных конечных параметров реализации проекта, результатам;
- б) потенциальный вклад проекта в наращивании совокупной мощи государства;
- в) наличие позитивных изменений по уровню связности экономического пространства страны и ситуаций с транспортной доступностью, дискриминацией населения и другие.
- г) оценка уровня экономической и суверенной безопасности страны по завершению реализации проекта.

Эти критерии можно рассматривать как некоторые маячки, отражающие уровень стабильности и устойчивости развития страны.

И наконец, особое место занимает виртуальный агент-охранитель базы данных, информационных потоков и др. массивов информации, без которого невозможно обеспечить работоспособности всей мультиагентной системы.

2 Построение концептуальной модели окружающей среды

Для корректного моделирования в мультиагентных системах экономической природы больше значение имеет выбранная концептуальная модель окружающей среды.

Окружающая среда для разрабатываемой модели включает несколько подпространств:

- а) подпространство проектов $\Pi^* \in I_{pr}$,

- б) подпространство «интегрированный инфопоток» I_{ext_s} , формируемое различными внешними источниками (средствами массовой информации, информационными потоками интернет-пространства, социальными сетями и т. п.)
- в) ассоциативное подпространство, как отражение исторического опыта (память социума) реализации проектов разного типа, в том числе экологические и экономические последствия и т. п. (I_{soc_mem});
- г) информационный срез данных по анализируемому базовому инфраструктурному транспортному проекту. Эти данные характеризуют самые различные аспекты проекта и опираются как на официальные данные по проекту, так и материалы альтернативных исследований по проекту (I_{curr});
- д) информационный срез общеэкономической информации, имеющей критичное значение для реализации проекта (предвестники экономических и политических кризисов, изменение приоритетных проектов с позиции интересов страны), прогнозы ситуаций с финансовыми и инвестиционными ресурсами и т.п. (I_{ec_pred}).

В базе данных, стоящей за окружающей средой, выделяются два подпространства с разными уровнями доступа для тех или иных групп агентов. Сегмент базы данных (информационные поля – I_{field_p}), остающийся неизменным, предназначен для хранения информации общего плана:

- а) природно-климатические данные (I_{clim}),
- б) справочники о территориальных особенностях: перепад высот природного грунта, состав грунта и пр. (I_{dir}),
- в) нормативно-строительная документация – справочники о стоимости строительства, удельного времени исполнения работ и др. (I_{stand}),
- г) нормативно-законодательное подпространство (I_{laws}).

Выделение такого набора подпространств окружающей среды обусловливается целями исследования и отвечающей ему структуры разрабатываемой мультиагентной модели.

Динамические изменения окружающей среды отслеживаются через информационные потоки – I_{flow_q} (специальный сегмент базы данных), содержимое которых формируется и изменяется агентами специализированных групп по мере появления изменений (контент средств массовой информации, сопряженных с мегапроектами; отклики разных профессиональных групп и т.д.). Рассмотрим некоторые из них.

Множество проектов I_{pr} включает в себя помимо анализируемого и альтернативные варианты инфраструктурного транспортного проекта. Размерность этого множества явно превышает единицу. Каждый проект $P^* \in I_{pr}$ характеризуются разнообразным набором показателей, среди которых не только параметры технико-экономической природы, но и социально-экономические ожидания по территориям, прилегающим к трассе магистрали (количество занятых на всех этапах реализации проекта, прогнозные объемы грузопотоков и их направления, улучшение конъюнктурных условий регионов и т.п.

Интегрированный инфопоток I_{ext_s} , — это наиболее динамично изменяемое подпространство из всех в окружающей среде. Это подпространство обновляется либо по мере накопления критического объема новой информации, либо по мере наступления некоторых событий (окончание очередного периода работы над проектом; принятия решения об обсуждении проекта в той или иной управленческой структуре и др.), либо по завершению некоторого этапа развития страны или той или иной региональной территориальной системы.

Ассоциативное подпространство I_{soc_mem} тоже не является неизменным. Во-первых, потому что появляются новые данные о реализуемых или реализованных инфраструктурных транспортных проектов, которые ранее не попадали в поле зрения. Во-вторых, проведение аналитических работ по традиционно узким местам или неучтенным аспекта при выдвигении проекта на обсуждение. Это данные об экологических и экономических показателях реализации анализируемого инфраструктурного транспортного мегапроекта. Например, такие как:

- а) возможные антропогенные воздействия на ареалы обитания животных и территории произрастания растений;
- б) появление обширных зон электромагнитного воздействия, обусловленных реализацией подпроектов создания мощной сети линий электропередач в интересах ТКМ,
- в) увеличение объемов парникового газа, выделяемого при эксплуатации высокоскоростной железной дороги,

- г) оценки ожидаемых показателей по увеличению объемов и изменению качественного состава выброса загрязняющих веществ в регионах с хрупкой экологической ситуацией и др. [9]

Обновление этого подпространства и в реальной жизни идет непрерывно и довольно тяжело из-за множества факторов, которые нужно учитывать, и слабой обеспеченности данными для таких оценок (отсутствие подробных данных по территории прохождения ТКМ). По проекту, который выбран как объект исследований, в широком доступе мало детальной информации о проектах сооружения линий электропередач, без которых сложно представить реализацию проекта строительства ТКМ через Берингов пролив.[10]

Для решения этих коллизий в разрабатываемой мультиагентной модели предлагается использование методов машинного обучения. Это подход апробирован на примере задачи прогнозирования объемов парникового газа. Среди методов машинного обучения [11] в данном случае были опробованы следующие: обучение нейронной сети, использование различных ансамблей решающих деревьев и линейных методов – линейной (или гребневой) регрессии; алгоритма ридж–регрессии (англ. ridge regression); градиентного бустинга над решающими деревьями и метода главных компонент.

Для обучения нейронной сети были использованы массивы информации по пассажирским и грузовым железнодорожным перевозкам в Канаде. Для каждой из провинций Канады были выявлены следующие признаки по трём категориям:

- 1) Характеристики, неизменные с течением времени
 - а) Площадь: площадь провинции, площадь суши, площадь акватории;
 - б) Географическое положение: долгота и широта каждой из границ провинции, проведенных по крайним точкам севера, юга, запада и востока (bounding box);
 - в) Рельеф: перепад высот в каждой из провинций, минимальные и максимальные по высоте точки;
 - г) Водные ресурсы: количество и протяженность рек в каждой из провинций;
 - д) Длина ж/д в каждой из провинций;
- 2) Параметры, изменяющиеся с течением времени:
 - е) Население;
 - ж) Плотность населения;
 - з) Температура: минимальная, максимальная, средняя;
 - и) Количество осадков: минимальное, максимальное, среднее
- 3) Стохастические параметры – различные суперпозиции вышеперечисленных признаков (10 признаков).

Всего для исследования были отобраны 25 явных и 10 полученных искусственно признаков. Это довольно информативные потоки: по 10 провинциям Канады (Британская Колумбия, Альберта, Саскачеван, Манитоба, Онтарио, Квебек, Нью-Брансуик, Остров Принца Эдуарда, Новая Шотландия, Ньюфаундленд и Лабрадор) в течение каждого месяца из 36-ти лет (1980-2016 гг.), т.е. 4320 объектов.

Первичная подготовка полученной информации была осуществлена при помощи программной библиотеки на языке Python для обработки и анализа данных – Pandas – данные были импортированы из формата .csv, в формат агрегированы и заполнены средними значениями все пробелы в полученном наборе данных (искусственно получены данные для тех признаков, информации о которых не нашлось).

Машинное обучение осуществлялось с использованием алгоритмов библиотеки scikit-learn (открытая библиотека, язык Python). К полученным объектам были применены алгоритмы данной библиотеки, а именно, выявленные параметры анализировались на предмет наиболее подходящих для работы с данными: настраивались параметры на кросс-валидации (класс GridSearchCV, поиск параметров по сетке) с целью отбора наиболее удачного, лучшего сочетания параметров. После этого на кросс-валидации была выбрана лучшая модель по значениям метрики среднеквадратичной ошибки (Mean Squared Error, MSE).

Методы машинного обучения позволили сгенерировать гипотезы зависимости объема парникового газа и потребляемой высокоскоростной железной дорогой энергии с учетом характеристик железнодорожной сети.

Было выявлено, что алгоритм градиентного бустинга над решающими деревьями дал наиболее приемлемый результат, который и был использован при разработке программной системы.

Изменение окружающей среды может знаково сказаться на процесс принятия решений агентами в рассматриваемой модели их взаимодействия. При этом каждая группа агентов имеет собственную модель восприятия окружающей среды, которую выстраивает сам агент на базе информации, получаемой через свои рецепторы из внешней среды.

Некоторые агенты, характеризующиеся волевым поведением (агенты-лоббисты и организационно-лоббисты) создают необходимый им эмоциональный фон информационного потока для того, чтобы заставить действовать других агентов в соответствии с их планами, на достижение их целей. Для других групп имеет большое значение то сила информационного воздействия. Для того, чтобы понять, насколько информационные потоки отвечают интересам агентов-лоббистов целесообразно использовать алгоритм тональности текста [12], основанный на словарях узкоспециализированной базы данных «Отклики и предпочтения» в комбинации с правилами, учитывающими особенности восприятия информации той или иной группой агентов. Апробация предлагаемых алгоритмов проводилась на текстах, предварительно размеченных экспертом. Оценка корректности работы алгоритмов, вычислялась по следующей формуле

$$(7) \quad P^{\sim} = \frac{C}{T}, \text{ где}$$

C – количество публикаций, по которым тональность определена правильно, а T – общее количество публикаций. В результате проверки работы на экспериментальном массиве публикациях, корректная оценка тональности статьи наблюдалась в 71% случаев.

Изменяя информационные потоки, регулируя силу информационного воздействия можно рано или поздно обеспечить движения всех агентов [7, 10] в необходимое направление для принятия нужных соответствующих решений, что периодически и наблюдается. Однако, в нашем случае стоит обратная задача: какие перекосы в информационных потоках нужно устранить, чтобы исключить реализацию проектов, лоббируемых теми или иными интересантами.

Проведенные экспертные расчеты показали, что в рамках сформулированной постановке задачи, предложен довольно представительный набор групп агентов. Кроме того, прописанный алгоритмы поведения разным группам агентов, предложенная структура подпространств окружающей среды позволяет корректно смоделировать ход развития событий, коррелирующий с реальными процессами и ситуациями при обсуждении проекта ТКМ через Берингов пролив.

Литература

1. *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>
2. *Скобелев П.О.* Открытые мультиагентные системы для оперативной обработки информации в процессах принятия решений // *Автометрия*. – 2002. – № 6. – с. 45-61
3. *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
4. *Бухарин С.Н., Малков С.Ю.* Основы теории информационного поля. // *Инноватика и экспертиза*, № 1(12), с. 131-148
5. *Бухарин С.Н., Ковалев В.И., Малков С.Ю.* О формализации понятия информационного поля // *Информационные войны*, 2009, №4(12), с.2-10.
6. *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>.
7. *Frank Didik.* Proposal for a Trans Global Highway. // [Электронный ресурс] URL: <http://www.transglobalhighway.com/>.
8. *Левин К.* Теория поля в социальных науках / Пер. Е. Сурпина. - СПб.: Речь, 2000.
9. *Соляник Н.А., Kushnikov V.A.* – Математическое моделирование процесса загрязнения атмосферного воздуха в зоне влияния промышленных предприятий // *Вестник СГТУ*. 2009. №1.
10. *Иванникова С.В.* Разработка инструментария для оценки экологического воздействия при реализации транспортного мегапроекта на примере ТКМ через Берингов пролив // *Вестник НГУ Серия: Информационные технологии* - 2017- Т. 15, №2
11. Подходы и методы машинного обучения [Электронный ресурс], - http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Machine_Learning.html

12. *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.