

КОМПЛЕКС МОДЕЛЕЙ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КРУПНОМАСШТАБНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРОЙ

Цыганов В.В.

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д.65,*

bbc@ipu.ru

Аннотация: Охарактеризованы теоретические и методологические основы, методы, технологии и составляющие комплекса моделей стратегического управления развитием крупномасштабной транспортной инфраструктуры. Применение комплекса иллюстрируется на примере стратегического управления развитием транспортной инфраструктуры Сибири, Дальнего Востока и Российской Арктики.

Ключевые слова: транспорт, крупномасштабная инфраструктура, стратегическое управление.

Введение

Стратегическое развитие Сибири, Дальнего Востока и Российской Арктики (кратко – Макрорегиона) невозможно без опережающего развития транспортной инфраструктуры (ТИ) в условиях изменения внешней среды. Масштаб и количество связей ТИ, скорость изменений делает все менее эффективным традиционное управление ТИ на уровне здравого смысла. Возникает потребность в научном обосновании принимаемых решений. При этом методы, разработанные в СССР для централизованного планирования развития ТИ, в условиях рынка непригодны. Это обуславливает актуальность разработки комплекса моделей для поддержки управления стратегическим развитием крупномасштабной ТИ (кратко – КМ), направленного на повышение эффективности реального сектора экономики, социально-экономическое и пространственное развитие России.

2 Теоретические и методологические основы построения Комплекса моделей

Принципы построения КМ – системность, согласованность, адаптивность, прогрессивность и интеллектуальность. Принцип системности при разработке КМ иллюстрирует сетцентричная модель (рис. 1). В этой модели учитываются подсистемы и системы, влияющие на стратегическое управление развитием ТИ. Например, социально-экономическая система субъекта РФ (СЭС-С) включает реальный сектор экономики (РСЭ, см. рис. 1). В свою очередь, РСЭ включает производственно-транспортную систему (ПТС). Соответственно, на эффективность РСЭ влияет эффективность его ПТС. Таким образом, при управлении развитием ТИ СЭС необходимо учитывать его влияние на эволюцию транспортного комплекса (ТК), ПТС, РСЭ, СЭС-С, социально-экономической системы РФ (СЭС-Р) и глобальной социально-экономической системы (ГСЭС).

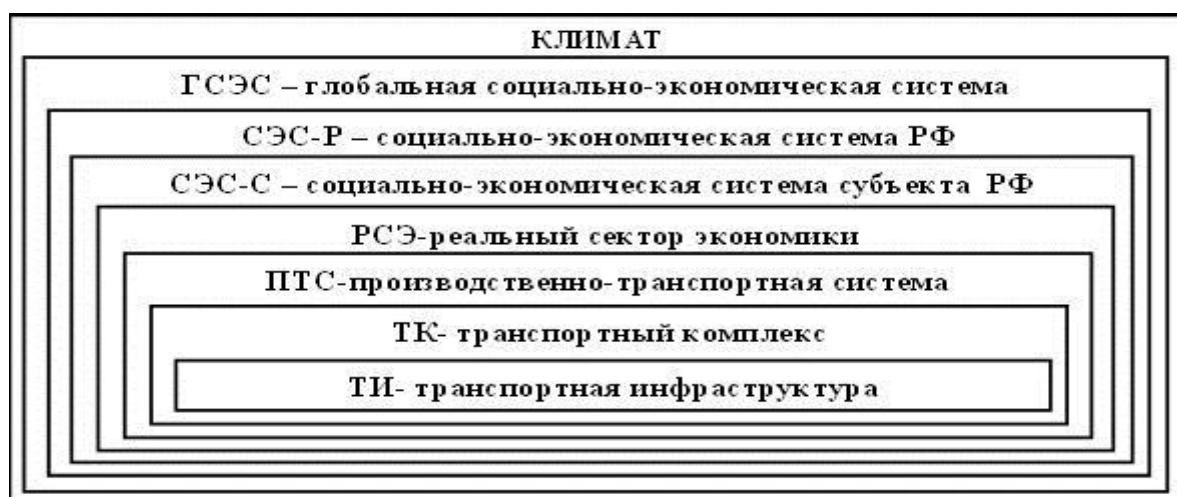


Рис. 1. Сетцентричная модель систем, влияющих на управление развитием ТИ

Второй принцип разработки КМ – согласованность с существующей практикой управления стратегическим развитием ТИ Макрорегиона и нормативными документами стратегического планирования России (в частности, [1-4]). Предпосылкой разработки и успешного функционирования КМ является создаваемое единое транспортное пространство РФ [5]. Большое влияние на разработку

КМ оказал мегапроект «Единая Евразия: Транс-Евразийский пояс развития (ТЕПР) – Интегральная Евразийская транспортная система (ИЕТС)» [6], инфраструктурные аспекты которого были исследованы в [7, 8].

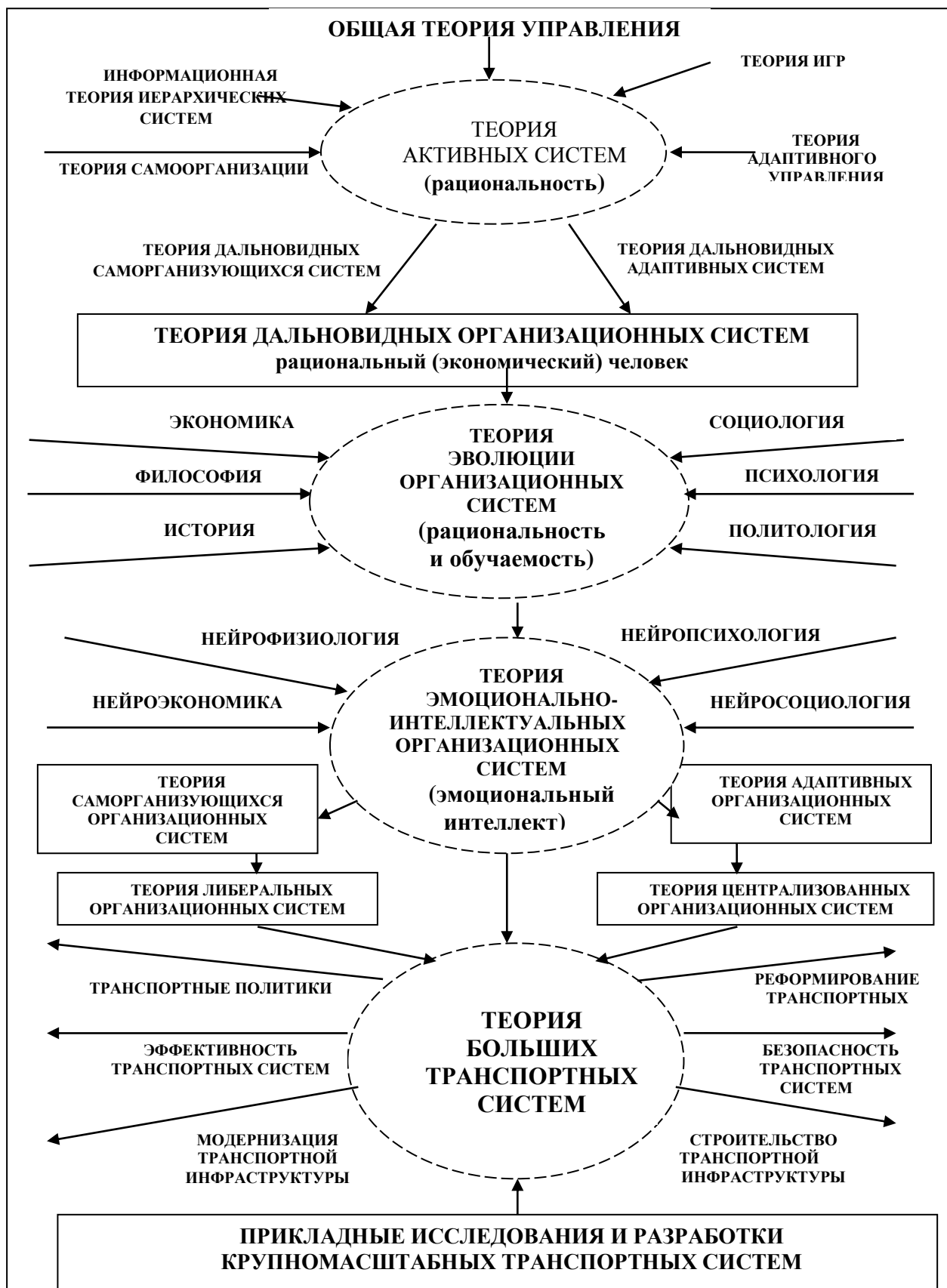


Рис. 2. Генезис и направления теории БТС и развития ТИ

Принцип адаптивности отражает нацеленность КМ на наиболее эффективное использование потенциала изменений для развития ТИ. Прогрессивность КМ предполагает использование инновационных методов и технологий при создании и функционировании ТИ.

Эффективность, безопасность и устойчивость функционирования ТИ в условиях изменений должны быть основаны на обучении и самоорганизации. Соответственно, интеллектуальность КМ обеспечивается сочетанием подходов и методов естественного и искусственного интеллекта (в том числе математического и когнитивного моделирования, а также машинного обучения и распознавания образов) для управления развитием ТИ.

Фундаментальная основа разработки КМ на указанных принципах - теория больших транспортных систем (БТС) [9]. Подход и метод этой теории можно кратко сформулировать, перефразируя слова царя Соломона из Экклезиаста: «Управление БТС должно быть таким, чтобы те, кто имеет капитал и власть, делали то, что необходимо для БТС в целом». Теория БТС развивалась на основе теории эволюции организационных систем [10] (в которой объектом управления является рациональный обучаемый человек) и теории гуманитарных систем [11] (в которой объектом управления является человек с эмоциональным интеллектом). Генезис и направления развития теории БТС иллюстрирует рис. 2.

Комбинирование и согласование математических, формально-логических и когнитивных моделей КМ, разработанных на базе теории БТС, осуществляется с помощью системного инжиниринга – системотехники [12]. Прикладные разработки КМ базируются на концепции Прогрессивного Регионального Отраслевого Комплексного Согласованного Интеллектуального Механизма с Адаптацией (ПРОКСИМА) [9,10]. В её основе лежат вышеуказанные принципы и теория БТС.

На основе вышеуказанных принципов, в течение ряда лет, проводился цикл фундаментальных исследований и прикладных разработок КМ (рис. 3). Этот цикл включает исследования в области теории БТС, а также разработку методологии, методов, алгоритмов и программ управления развитием ТИ. При этом ТИ моделируется как подсистема более сложных систем – производственных, экономических, социальных, экологических (рис. 1).



Рис. 3. Цикл фундаментальных исследований и прикладных разработок комплекса моделей

2 Структура комплекса моделей

В рамках КМ, разработаны 5 функциональных комплексов моделей (ФКМ), позволяющих моделировать и поддерживать практические процессы: управления стратегическим развитием ТИ СЭС; отбора и экспертизы крупномасштабных проектов развития ТИ; обучения и адаптации ТИ; формирования ТИ транспортных коридоров; обеспечения безопасности ТИ (рис. 4).



Рис. 4. Структура комплекса моделей

3 Функциональные комплексы моделей

3.1 ФКМ ТИ социально-экономических систем

ФКМ ТИ социально-экономических систем содержит 2 блока моделей, позволяющих решать прямую и обратную задачи развития ТИ. Прямая задача заключается в формировании ТИ, обеспечивающей заданные (прогнозные или плановые) потребности СЭС в транспортных услугах. Обратная задача состоит в определении влияния эволюции ТИ на развитие СЭС. *Первый блок моделей* решает прямую задачу, используя модельно-инструментальный комплекс (МИК), включающий математическую модель, технологию и программно-информационное обеспечение сценарного моделирования развития ТИ, как подсистемы транспортного комплекса крупномасштабной СЭС [13]. Карта на рис. 5 иллюстрирует результаты расчета такого показателя ТИ, как обеспеченность автодорожной инфраструктурой регионов РФ [14].

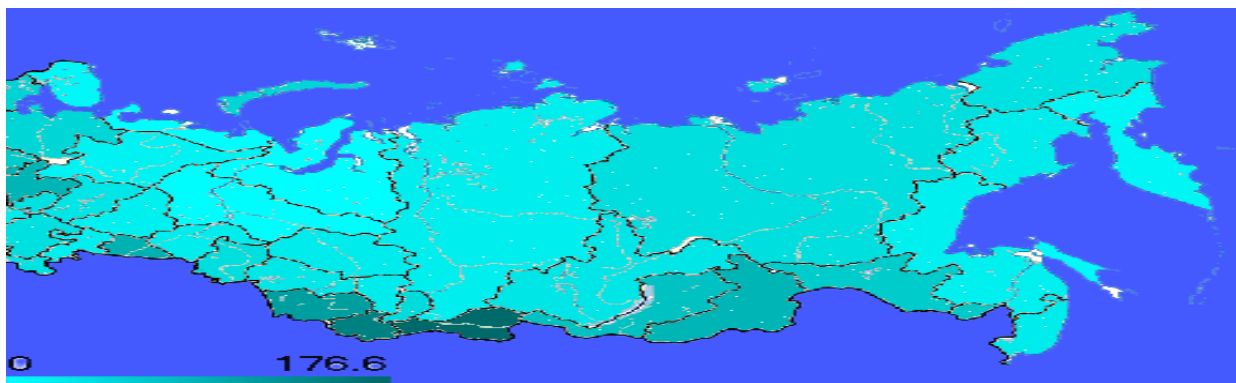


Рис. 5. Показатели обеспеченности регионов РФ автодорожной инфраструктурой

На рис. 6 представлена блок-схема компьютерной модели, используемой в МИК для сценарного прогнозирования и стратегического планирования ТИ, как подсистемы СЭС. Эта модель и МИК в целом использовались в холдинге «РЖД» для долгосрочного прогнозирования и стратегического планирования развития железных дорог РФ [13].

Второй блок моделей ФКМ ТИ СЭС решает обратную задачу, моделируя влияние ТИ и множества других факторов на эволюцию СЭС с помощью иерархии когнитивных карт [15]. Адаптированные версии МИК и моделей влияния ТИ на СЭС использовались при разработке сценариев и прогнозов развития ТИ Сибири, Дальнего Востока и Российской Арктики на период до 2025г., до 2035г. и до 2050 года [7,8].

3.2 ФКМ отбора и экспертизы проектов развития ТИ

ФКМ отбора и экспертизы крупномасштабных проектов развития ТИ содержит 4 блока моделей. *Первый блок* позволяет, на основе анализа целей стратегического развития ТИ, формировать систему комплексного оценивания, ранжирования и отбора приоритетных проектов ТИ, обеспечивающую их рациональное бюджетирование [16].

Второй блок моделей поддерживает экспертизу крупномасштабных проектов развития ТИ. На его основе, в частности, разработана и утверждена Методика проведения технологического аудита проектов развития железных дорог, обязательная для компаний, организаций и предприятий холдинга «РЖД» [9]. Рис. 7 иллюстрирует использование КМ и Методики при оптимизации мероприятий проекта реконструкции Восточного полигона БАМ - от Тынды и Волочаевки до Комсомольска-на-Амуре и Ванино.

На основе комплексного оценивания, выделены основные мероприятия проекта. Поставлены и решены задачи минимизации затрат Z на мероприятия по обеспечению потребной пропускной способности P и безопасности B (рис. 8). Например, график на рис. 7 слева вверху иллюстрирует оптимизацию расположения новых разъездов полигона. Использование этого блока моделей оптимизации и указанной Методики только при технологическом аудите проекта реконструкции Восточного полигона БАМ позволило сэкономить 5 280 млн руб. На основе вышеописанных моделей отбора и экспертизы проектов развития и управления ТИ разработан комплекс механизмов управления развитием ТИ [17].

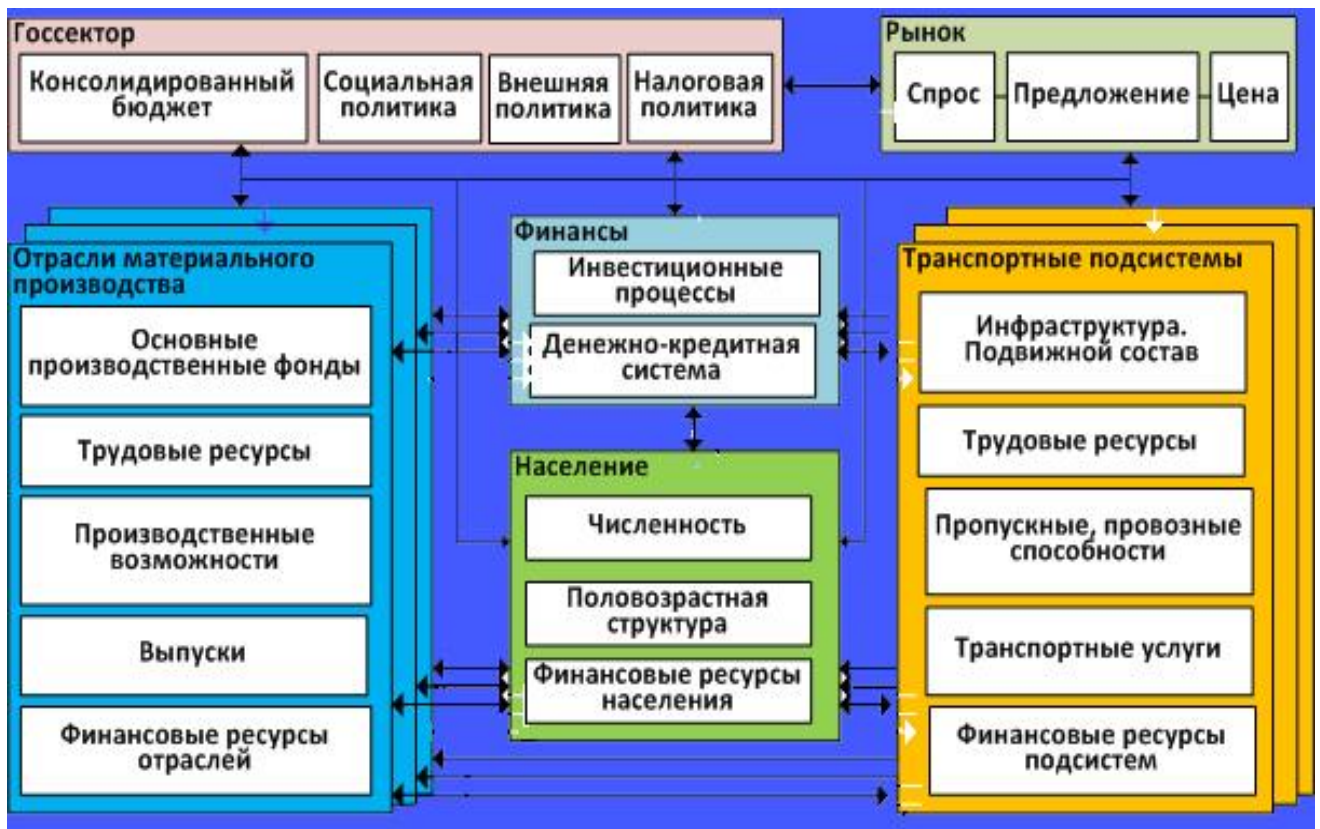


Рис. 6. Блок-схема компьютерной модели ТИ и СЭС в МИК

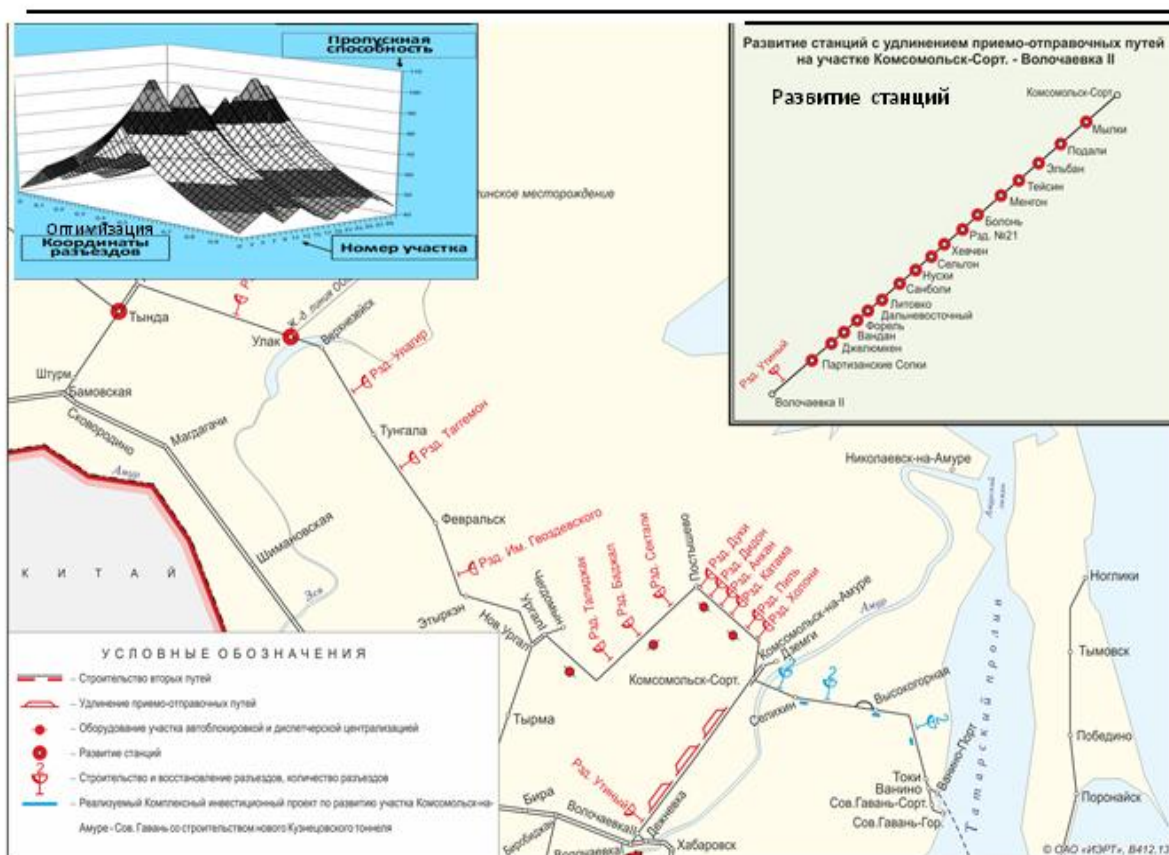


Рис. 7. Мероприятия проекта реконструкции Восточного полигона БАМ

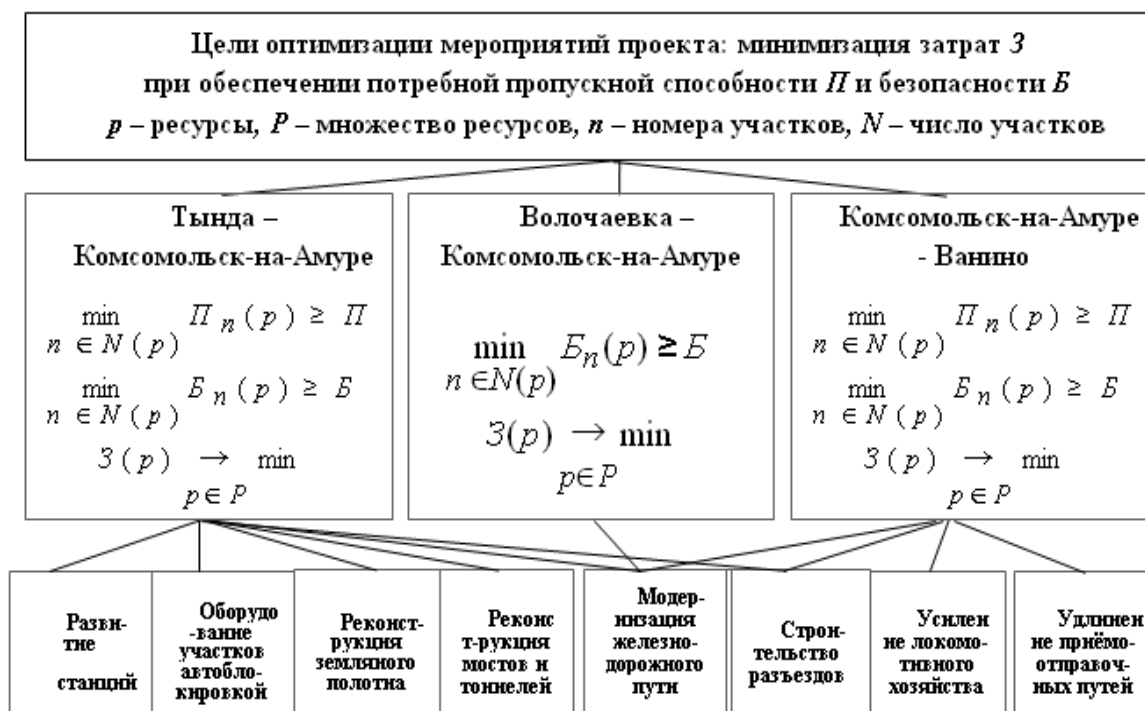


Рис. 8. Модели оптимизации мероприятий проекта реконструкции Восточного полигона БАМ

Третий блок моделей позволяет проводить экспертизу влияния крупномасштабных проектов развития ТИ и ПТС на развитие СЭС региона, основываясь на построении и использовании когнитивных карт, описывающих взаимосвязи проектов и других факторов [18]. На рис. 9 показана когнитивная карта, используемая для комплексной оценки влияния инфраструктурных проектов на настоящее социально-экономическое развитие региона.

3.3 ФКМ обучения и адаптации ТИ

ФКМ обучения и адаптации ТИ включает 2 блока моделей приспособления ТИ к изменениям. Первый блок моделей включает модели управления крупномасштабной ТИ на основе теории игр, машинного обучения, опознавания образов, адаптивной идентификации [19,20], предназначенные для использования в мультимодальной интеллектуальной транспортной системе (МИТС) [21]. Например, исследование дорожных игр в крупномасштабных транспортных системах [22] показало возможности увеличения пропускных способностей транспортных коридоров.

Второй блок моделей включает модели совершенствования управления ТИ с использованием новых технологий, путем реструктуризации крупномасштабных сетей ТИ на полигоны [9]. Эти модели применимы как на стадиях формирования системы управления ТИ, так и на этапе эксплуатации ТИ. В частности, разработана модель согласования границ полигонов управления для разных подсистем ТИ (терминально-логистических, информационно-телекоммуникационных, энергетических, ремонтных и др.). На рис. 10 показаны графики, иллюстрирующие зависимость оптимального числа центров управления сетевой ТИ от сложности управления. Доказано, что их число уменьшается при снижении сложности регионального управления ТИ в результате инноваций.

3.4 ФКМ безопасности ТИ

ФКМ безопасности ТИ включает модели интеллектуальных систем транспортной безопасности, основанные на инструментах искусственного интеллекта (машинном обучении, распознавании образов, адаптивной идентификации), а также на когнитивном подходе. Его использование позволило разработать методы, технологии и руководящие технические материалы в сфере мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, в том числе методику автоматизированной количественной комплексной оценки пожарной безопасности железнодорожного транспорта [9].

Цели и комплексная оценка социально-экономического развития региона

Цели экономического развития региона

Цели социального развития региона

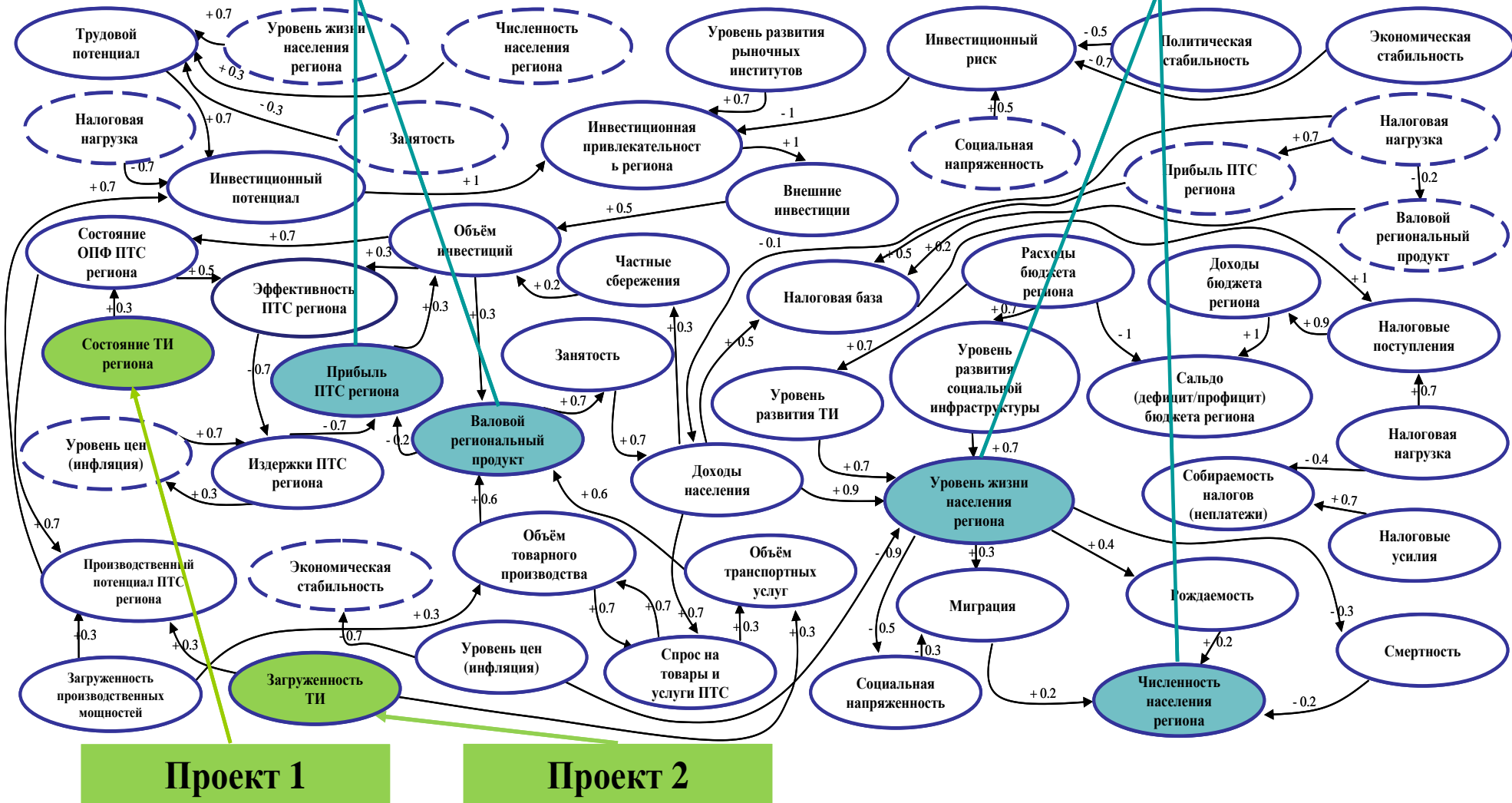


Рис. 9. Когнитивная карта комплексной оценки влияния проектов ТИ на социально-экономическое развитие региона

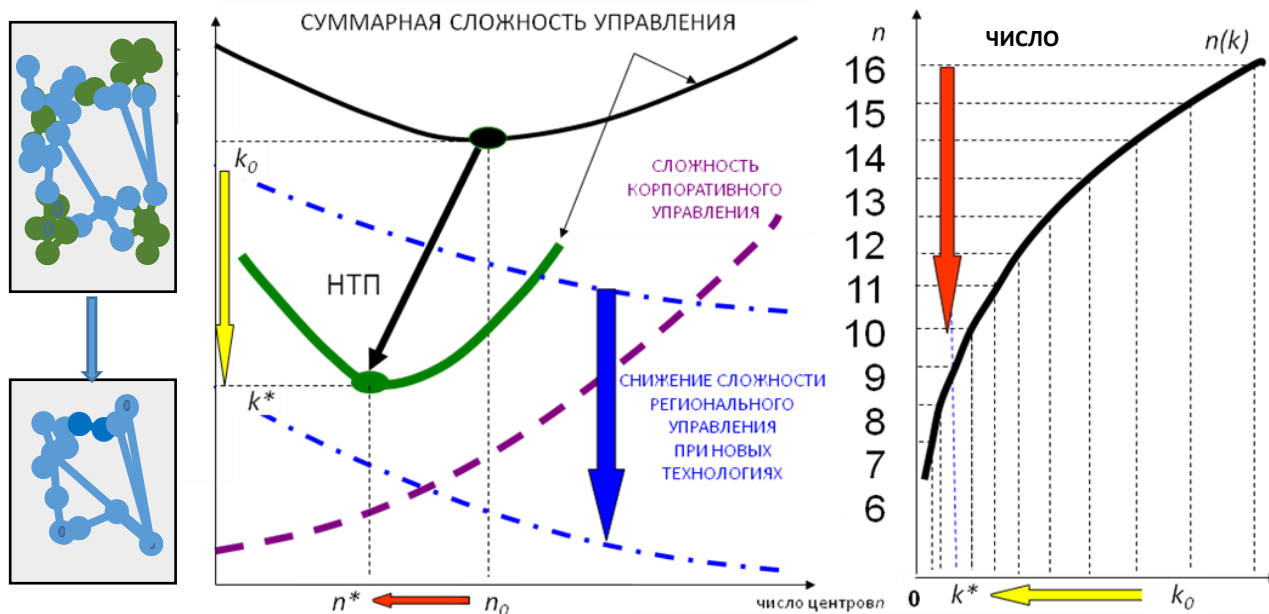


Рис. 10. Зависимость оптимального числа центров управления сетевой ТИ от сложности управления

3.5 ФКМ транспортных коридоров

ФКМ транспортных коридоров включает сетевые модели формирования ТИ Макрорегиона на основе международных транспортных коридоров (МТК), ориентированные на обеспечение равной транспортной и инвестиционной привлекательности этих МТК [23]. В их основе лежит теория самоорганизации центров капитала [10] на рынке транспортных услуг. Такими центрами капитала на перспективном рынке транзитных транспортных услуг призваны стать МТК, соединяющие Азиатско-Тихоокеанский регион и ЕС [19]. Один из таких МТК, проходящих через Макрорегион – это железнодорожный транспортный коридор (ЖДК) на основе Транссиба и БАМа. На повышение привлекательности ЖДК для перевозчиков и потребителей транспортных услуг (кратко – транспортной привлекательности ЖДК) направляются значительные инвестиции. Это делает ЖДК точкой роста ТИ Макрорегиона, а также мультипликатором инвестиций в ТИ Макрорегиона [19]. В работе [24] доказана возможность уменьшения безопасного временного интервала между поездами на ЖДК, как минимум, в 1,5-2 раза. Это позволит увеличить пропускную способность МТК Макрорегиона в 1,5-2 раза

Другой пример – Арктический транспортный коридор (АТК), создаваемый на базе СМП и прилегающей ТИ (рис. 11). Потенциальная транспортная и инвестиционная привлекательность этого МТК должна сделать его второй точкой роста ТИ в Макрорегионе [19], а также мультипликатором инвестиций в прилегающую ТИ (рис. 11). Однако наличие двух МТК на территории Макрорегиона делает их конкурентами на рынке транзитных транспортных услуг. При разной их привлекательности, транспортные потоки и сопутствующие инвестиции пойдут в более привлекательный МТК. А инвестиционно непривлекательный МТК придется поддерживать за счёт госбюджета. Во избежание этого, необходимо обеспечить одинаковую транспортную и инвестиционную привлекательность обеих МТК.

Рис. 11 иллюстрирует построенные оптимистические сценарии и прогнозы развития ТИ регионов Сибири, Дальнего Востока и Российской Арктики на основе АТК и ЖДК на периоды до 2025, 2035 и 2050 года. Пунктиром обозначены районы формирования грузовой базы для АТК и ЖДК, цифрами – типы перевозимых грузов. Кроме того, разработаны пессимистические сценарии и прогнозы, связанные с усилением помех, других негативных факторов и внешних воздействий [25]. Соответствующие предложения по корректировке стратегического управления ТИ Сибири, Дальнего Востока и Российской Арктики поддержаны Минтранс России.



Рис. 11. Развитие ТИ регионов Сибири, Дальнего Востока и Российской Арктики на основе АТК и ЖДК

Заключение

Стратегическое развитие Сибири, Дальнего Востока и Российской Арктики (Макрорегиона) невозможно без опережающего развития ТИ. Ускорение изменений, масштаб, число и сложность связей ТИ делает все менее эффективным традиционный менеджмент ТИ на уровне здравого смысла. Возникает потребность в поддержке и научном обосновании принимаемых решений. КМ ориентирован на управление стратегическим развитием ТИ Макрорегиона для социально-экономического и пространственного развития России.

КМ был внедрен в процессе развития железных дорог России в холдинге «РЖД» - для анализа, сценарного моделирования и стратегического управления развитием железных дорог России; для технологического аудита крупномасштабных проектов развития железных дорог России и разработки соответствующей Методики аудита. В частности, использование КМ позволило уменьшить на 5 млрд 280 млн руб. затраты на реконструкцию Восточного полигона БАМ. Разработанные на основе КМ алгоритмы и программы были внедрены при разработке и производстве оборудования управления железными дорогами Макрорегиона, а также магистральными газопроводов «Ямал-Европа» и «Сила Сибири».

Сценарии и прогнозы развития ТИ регионов Сибири, Дальнего Востока и Российской Арктики на периоды до 2025, 2035 и 2050 года, разработанные с использованием КМ, детализируют направления пространственного развития этих регионов и повышения связности их территорий, и направлены на улучшение доступности транспортных услуг для населения.

Разработанные меры стратегического управления ТИ, в условиях усиления негативных факторов природного и техногенного характера, способствуют оперативности и эффективности проведения операций подразделениями МЧС и Минобороны России в экстремальных климатических условиях, повышению экологической и техносферной безопасности Макрорегиона.

В целом, применение КМ для управления стратегическим развитием ТИ Сибири, Дальнего Востока и Российской Арктики содействует повышению уровня жизни населения, эффективности реального сектора экономики и безопасности России в настоящем и в будущем.

Литература

1. О национальных целях и стратегических задачах развития РФ на период до 2024 г. Указ Президента РФ 07.05.2018г. № 204.
2. Стратегия национальной безопасности РФ. Указ Президента РФ 31.12.2015г. № 683.
3. Стратегия развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 г. Указ Президента РФ 26.10.2020г. № 645.
4. Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 г., утв. Правительством РФ 30.09.2018г. № 2101-р.
5. Стратегия пространственного развития РФ на период до 2025 г., утв. Правительством РФ 13.02.2019г. № 207-р.
6. *Осипов Г. В., Садовничий В. А., Якунин В. И.* Интегральная евразийская инфраструктурная система как приоритет национального развития страны. – М.: ИСПИ РАН, 2013. – 62 с.
7. Комплексное освоение территории РФ на основе транспортных пространственно-логистических коридоров / Под ред. Козлова В. В. и Макоско А. А. – М.: Наука, 2019. – 463 с.
8. Инфраструктура Сибири, Дальнего Востока и Арктики. Состояние и три этапа развития до 2050 года / Под ред. Макоско А. А. – СПб.: ИПТ РАН, 2019. – 468 с.
9. *Цыганов В. В., Малыгин И. Г., Еналеев А. К., Савушкин С. А.* Большие транспортные системы: теория, методология, разработка и экспертиза. – СПб.: ИПТ РАН, 2016. – 216 с.
10. *Цыганов В. В., Бородин В. А., Шишкин Г. Б.* Интеллектуальное предприятие. Теория и практика управления эволюцией организации. – М.: Университетская книга, 2004. – 768 с.
11. *Цыганов В. В.* Адаптивные механизмы и высокие гуманитарные технологии. Теория гуманитарных систем. – М.: Академический проект, 2012. – 351 с.
12. *Косяков А., Свит У., Сеймур С., Билмер С.* Системная инженерия. Принципы и практика. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 624 с.
13. *Савушкин С. А., Цыганов В. В.* Сценарии развития транспортного комплекса макрорегиона // Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2020. – № 1. – С. 13-18.
14. *Цыганов В. В., Савушкин С. А.* Региональные показатели транспортных систем и пространственное развитие // Транспорт: наука, техника, управление. – 2019. – № 7. – С. 3-11.
15. *Цыганов В. В.* Когнитивное прогнозирование комплексной инфраструктуры крупномасштабного региона // Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2020. – №1. – С.18-23.
16. *Еналеев А. К., Цыганов В. В.* Комплексное оценивание проектов транспортной инфраструктуры // Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2019. – № 4 (14). – С. 17-20
17. *Еналеев А. К., Цыганов В. В.* Комплекс механизмов управления развитием транспортной инфраструктуры

- // Информационные технологии в науке, образовании и управлении–2020.– № 1 – С. 23-27.
18. Цыганов В.В., Савушкин С.А. Факторы и когнитивная модель развития транспортной инфраструктуры региона // Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – №2. – 2020. – С.13-17.
 19. Цыганов В. В. Планирование развития инфраструктуры Сибири, Дальнего Востока и Арктической зоны России // Труды межд. конф. «Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2019». – М.: ИПУ РАН, 2019. – С. 163-166.
 20. Цыганов В. В. К платформе управления развитием инфраструктуры крупномасштабного региона в экстремальных условиях / Труды межд. конф. «Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2020». – М.: ИПУ РАН, 2020. – Т. 1. – С. 115-127.
 21. Malygin I., Komashinsky V., Tsyganov V. International experience and multimodal intelligent transport system of Russia / Proceedings of Conf. Management of Large-Scale System Development. Moscow: IEEE, 2017. – P.1-5.
 22. Цыганов В. В. Дорожные игры в крупномасштабных транспортных системах // Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2017. – № 4. – С. 37-41.
 23. Цыганов В. В. Теория и методология управления крупномасштабными транспортными системами / Труды межд. конф. «Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2016». – М.: ИПУ РАН, 2016. – Т. 1. – С. 38-149.
 24. Tsyganov V. Large-scale multi-agent railway corridors //IFAC-PapersOnLine. Vol. 52. 2019, № 3.– P.144 - 149.
 25. Стратегическое планирование устойчивого функционирования экономического комплекса Российской Федерации. Угрозы, целеполагание, прогноз, рекомендации / Под ред Макоско А. А.–М.:Наука, 2021.– 412с.