

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук

Р Е Ф Е Р А Т - П Р Е З Е Н Т А Ц И Я

Разработка научно обоснованного комплекса моделей для управления стратегическим развитием транспортной инфраструктуры Сибири, Дальнего Востока и Российской Арктики в условиях изменения климата

№	Ф.И.О. авторов, ученые степени и звания, должности по основному месту работы
1.	Малыгин Игорь Геннадьевич , доктор технических наук, профессор, временно исполняющий обязанности директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук (ИПТ РАН) – руководитель работы
2.	Гурлев Игорь Валентинович , доктор технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник ИПТ РАН
3.	Савушкин Сергей Александрович , кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник ИПТ РАН
4.	Макоско Александр Аркадьевич , доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заместитель главного ученого секретаря президиума РАН
5.	Мохов Игорь Иванович , доктор физико-математических наук, профессор, академик РАН, научный руководитель Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук
6.	Еналеев Анвер Касимович , кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН)
7.	Цвиркун Анатолий Данилович , доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ИПУ РАН
8.	Цыганов Владимир Викторович , доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ИПУ РАН
9.	Бородин Владимир Алексеевич , доктор технических наук, член-корреспондент РАН, заместитель генерального директора Федерального государственного унитарного предприятия Экспериментальный завод научного приборостроения со Специальным конструкторским бюро Российской академии наук
10.	Гавкалюк Богдан Васильевич , кандидат технических наук, доцент, начальник Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий».

Краткое изложение содержания работы. Стратегическое развитие Сибири, Дальнего Востока и Российской Арктики (далее – Макрорегиона) невозможно без опережающего развития его транспортной инфраструктуры (ТИ). Возникает потребность в научном обосновании и поддержке решений о стратегическом развитии ТИ Макрорегиона в условиях меняющейся внешней среды, в первую очередь – изменения климата. В данной работе предложен научно обоснованный Комплекс моделей для поддержки управления стратегическим развитием ТИ Макрорегиона в условиях изменения климата (кратко – Комплекс). Основные составляющие научного обоснования Комплекса опубликованы в 19 монографиях, 135 статьях (из которых 35 цитируются в базах данных Web of Science и Scopus) и 40 научных отчетах о проведении 20 фундаментальных и 20 прикладных НИР.

Основная научно-техническая идея. Фундаментальная основа Комплекса - теория управления большими транспортными системами (БТС). Основная её идея - управление БТС должно быть согласованным на всех уровнях иерархии. Основанные на ней прикладные разработки Комплекса базируются на концепции Прогрессивного Регионального Отраслевого Комплексного Согласованного Интеллектуального Механизма с Адаптацией (ПРОКСИМА). Системный подход в ПРОКСИМА позволяет учесть влияние внешних факторов на развитие ТИ, а системный инжиниринг - комбинировать математические, формально-логические и когнитивные модели ТИ, разработанные на базе теории БТС. Прогрессивность предполагает использование достижений научно-технического прогресса в ТИ. Интеллектуальность Комплекса 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. Принцип адаптивности отражает нацеленность Комплекса на максимальное использование потенциала изменений.

Описание результатов и их значение для практики. В рамках Комплекса, разработаны 5 функциональных комплексов моделей (ФКМ), позволяющих моделировать и поддерживать практические процессы: управления стратегическим развитием ТИ социально-экономических и производственно-

транспортных систем Макрорегиона; отбора и экспертизы крупномасштабных проектов развития ТИ; управления и безопасности ТИ Макрорегиона.

ФКМ ТИ социально-экономических систем (СЭС) 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). МИК включает математическую модель, технологию и программно-информационное обеспечение сценарного моделирования развития ТИ, как подсистемы транспортного комплекса крупномасштабной СЭС. МИК использовался: 1) в холдинге «РЖД» для сценарного моделирования и планирования развития железных дорог; 2) на Экспериментальном заводе научного приборостроения со Специальным конструкторским бюро РАН (ФГУП ЭЗАН) при разработке телекоммуникационного цифрового оборудования, систем управления элементами сети и систем электропитания устройств связи для железных дорог и газотранспортной сети Макрорегиона. *Второй блок моделей* решает обратную задачу, моделируя влияние ТИ и других факторов на эволюцию СЭС Макрорегиона с помощью иерархически упорядоченных когнитивных карт. Адаптированные версии МИК и моделей влияния ТИ на СЭС использовались при разработке сценариев и прогнозов развития ТИ Макрорегиона на период до 2050 г.

ФКМ ТИ производственно-транспортных систем (ПТС) Макрорегиона содержит 3 блока моделей. *Первый блок* включает взаимосвязанные оптимизационные, имитационные, расчётные, человеко-машинные и другие модели крупномасштабных ПТС. В основу его построения положен агрегативно-декомпозиционный подход, в том числе принцип последовательного синтеза допустимых вариантов построения отдельных элементов, частей и ПТС в целом, с последующим выбором наилучшего варианта реализации и развития ПТС. На основе моделирования и многошагового решения локальных, отраслевых и территориальных задач развития ПТС и ТИ, с использованием первого блока

моделей, путем их сопряжения с когнитивными моделями развития регионов, разработан *второй блок моделей*, включающий гибридные (когнитивно-математические) модели управления ПТС и ТИ, а также модели их влияния на СЭС регионов. *Третий блок моделей* позволяет анализировать и оценивать эффективность инвестиций в проекты развития ПТС и их ТИ, выбирать схемы финансирования инвестиционных проектов, готовить ТЭО и бизнес-планы. Этот блок реализован в методике и программном комплексе (ПК) «ТЭО-ИНВЕСТ».

ФКМ отбора и экспертизы крупномасштабных проектов развития ТИ содержит *4 блока моделей*. *Первый блок* позволяет, на основе анализа целей стратегического развития ТИ, формировать систему ранжирования и отбора приоритетных проектов, обеспечивающую их рациональное бюджетирование. *Второй блок моделей* поддерживает экспертизу крупномасштабных проектов развития ТИ. На его основе, в частности, разработана в ИПТ РАН для ОАО «РЖД» Методика проведения технологического аудита проектов развития железных дорог. *Третий блок моделей* позволяет проводить экспертизу влияния крупномасштабных проектов развития ТИ и ПТС на развитие СЭС Макрорегиона, основываясь на построении и использовании когнитивных карт, описывающих взаимосвязи проектов и других факторов. *Четвертый блок моделей* включает модели согласованного планирования, стимулирования и реструктуризации системы управления функционированием крупномасштабных транспортных сетей, на основе их разбиения на полигоны управления. В частности, разработана модель согласования границ полигонов управления разными подсистемами ТИ.

ФКМ изменения климата и адаптации транспортной инфраструктуры содержит *3 блока моделей*. *Первый блок* использует модель Земной системы ИФА РАН для моделирования изменений земной климатической системы, её глобальных и региональных изменений на разных временных масштабах. *Второй блок моделей* включает комплексы ансамблевых расчётов, используемых для количественных оценок возможных изменений климата и их последствий для ТИ Макрорегиона при разных сценариях естественных и антропогенных воздействий. С их помощью впервые выполнены прогнозные оценки навигационного периода

на Северном морском пути (СМП) и рисков работы на арктическом шельфе (с учётом возможных изменений режимов морского волнения из-за уменьшения протяженности морских льдов), а также последствий, связанных с деградацией вечной мерзлоты в Макрорегионе. *Третий блок* включает модельные направления адаптации ТИ Макрорегиона к климатическим изменениям.

ФКМ управления и безопасности ТИ содержит 3 блока моделей. *Первый блок* включает сетцентричные модели формирования ТИ Макрорегиона на основе международных транспортных коридоров (МТК), ориентированные на обеспечение равной транспортной и инвестиционной привлекательности этих МТК. *Второй блок* включает модели машинного обучения, опознавания образов, адаптивной идентификации, теории игр и управления, предназначенные для использования в интеллектуальной мультимодальной транспортной системе Макрорегиона. С их помощью доказана возможность уменьшения безопасного временного интервала между поездами в МТК, как минимум, в 1,5-2 раза. Это позволит существенно увеличить пропускную способность МТК Макрорегиона. *Третий блок* включает модели интеллектуальных систем транспортной безопасности, основанные на инструментах искусственного интеллекта (машинном обучении, распознавании образов, адаптивной идентификации), а также на когнитивном подходе. Их использование позволило разработать методы, технологии и руководящие технические материалы в сфере мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, в том числе: изменения в нормативные документы МЧС России; концепцию обеспечения пожарной безопасности (ПБ) процесса железнодорожных перевозок; методику автоматизированной количественной комплексной оценки ПБ на железнодорожном транспорте; методику расчёта экономической эффективности мероприятий ПБ на железнодорожном транспорте; классификатор требований и регламент проверки ПБ на железнодорожном транспорте.

Объемы внедрения. Комплекс был внедрен в процессы развития ТИ Макрорегиона: 1) в холдинге «РЖД» - для анализа, сценарного моделирования и стратегического управления развитием железных дорог, а также для разработки

Методики технологического аудита крупномасштабных проектов их развития и проведения соответствующих аудитов; 2) во ФГУП ЭЗАН - для разработки телекоммуникационного оборудования, систем управления и средств электропитания связи, произведенных и поставленных на Западно-Сибирскую, Красноярскую, Дальневосточную, Сахалинскую и Северную железные дороги, а также на газотранспортные сети магистральных газопроводов (МГ) «Ямал-Европа» и «Сила Сибири». Комплекс был также внедрен в процессах развития более чем 200 компаний России, в которые был поставлен ПК «ТЭО-ИНВЕСТ».

Достигнутый экономический эффект внедрения. Использование Комплекса и разработанной на его основе Методики технологического аудита крупномасштабных проектов развития ТИ позволило уменьшить на 5 280 млн руб. затраты на реконструкцию Восточного полигона БАМ. С использованием Комплекса во ФГУП ЭЗАН было разработано телекоммуникационное оборудование для оперативно-технологической связи, произведенное и поставленное на железные дороги Макрорегиона на сумму более 650 млн руб. Кроме того, телекоммуникационное оборудование, а также системы управления сети и средства электропитания связи, разработанные с использованием Комплекса, были произведены и поставлены ФГУП ЭЗАН на газотранспортные сети Макрорегиона, в том числе на МГ «Ямал-Европа» (на 277 млн руб.) и МГ «Сила Сибири» (в 2017-2019 гг. – на 364 млн руб., в 2020 г. – на 106 млн руб.).

Социальный эффект внедрения. Сценарии и прогнозы развития ТИ регионов Макрорегиона на периоды до 2025, 2035 и 2050 годов, разработанные с использованием Комплекса, детализируют направления пространственного развития этих регионов и повышения связности их территорий, и направлены на улучшение доступности транспортных услуг для населения. Полученные с помощью Комплекса результаты способствуют как формированию, так и выполнению национального плана адаптации к изменению климата. Разработанные меры стратегического управления ТИ способствуют повышению безопасности Макрорегиона (в том числе техносферной и экологической).