

Рубрика 1. ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТЫ

Направление – Наземные транспортно-логистические средства и комплексы

УДК [UDC] 551.583.2

DOI 10.17816/transsyst20239134-43

© Р.Г. Ахтямов

Петербургский государственный университет путей сообщения

Императора Александра I

(Санкт-Петербург, Россия)

РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ К АДАПТАЦИИ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ К КЛИМАТИЧЕСКИМ ИЗМЕНЕНИЯМ

Цель: Разработка подхода к адаптации транспортной инфраструктуры к будущим климатическим изменениям.

Материалы и методы: Методом исследования являлся анализ подходов по адаптации к изменению климата, программ действий по адаптации к изменению климата, а также планов адаптации на местном, региональном и отраслевом уровне.

Результаты: Предлагаемый подход состоит из стратегии адаптации и плана реализации стратегии адаптации с целью включения мероприятий по адаптации к изменению климата в существующие процедуры управления отраслью. Итогом разработки подходов к адаптации транспортной отрасли к климатическим изменениям должна стать стратегия и план адаптации.

Заключение: Итеративная структура позволяет корректировать мероприятия по адаптации с учетом уточнения прогнозов изменения климата, социально-экономических и технологических изменений. Предлагаемый подход позволяет определить степень готовности отрасли к адаптации и совершенствовать меры адаптации.

Ключевые слова: адаптация к изменению климата; природные стихийные явления; стратегия адаптации; план адаптации; устойчивость; управление рисками; изменение климата

Rubric 1. TECHNOLOGIES AND PROJECTS

Field – Ground transport and logistics facilities and complexes

© Rasul G. Akhtyamov

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

(St. Petersburg, Russia)

DEVELOPMENT OF APPROACHES FOR TRANSPORT INFRASTRUCTURE ADAPTATION TO CLIMATIC CHANGE

Aim: Development of transport infrastructure adaptation for climatic change.

Materials and Methods: The research method was the analysis of climate change adaptation approaches, climate change adaptation action programs, and adaptation plans at the local, regional and sectoral levels.

Results: The proposed approach consists of an adaptation strategy and an implementation plan for the adaptation strategy to integrate climate change adaptation activities into existing management. The outcome of the development of approaches to the adaptation of the transport industry to climate change should be an adaptation strategy and plan.

Conclusion: The iterative structure makes it possible to adjust adaptation measures, taking into account the refinement of climate change forecasts, socio-economic and technological changes. The proposed approach allows to determine the level of industry adaptation readiness for adaptation measures improving.

Key words: *climate change adaptation; natural disasters; adaptation strategy; adaptation plan; sustainable development; risk management; climate change*

ВВЕДЕНИЕ

Глобальный климат меняется [1], увеличивается частота экстремальных погодных явлений [2–4]. Природные стихийные явления могут привести к повреждению и нарушению работы транспортной инфраструктуры. Проливные дожди и последующие оползни или наводнения могут привести к невозможности функционирования железных дорог [5]. Высокие температуры могут привести к нарушению функционирования железнодорожной инфраструктуры, вызывая коробление пути, провисание воздушных линий, выход из строя электрооборудования, а также приводить к задержкам, вследствие ограничений скорости для снижения вероятности схода подвижного состава с рельс [7–11].

Поскольку расчетный срок службы транспортной инфраструктуры часто составляет несколько десятилетий, при установке новых объектов следует учитывать особенности будущего климата, чтобы избежать снижения надежности инфраструктуры или дорогостоящей модернизации. Существующая инфраструктура может потребовать мер по адаптации в ответ на изменяющиеся климатические риски.

В этой связи целесообразна разработка стратегии адаптации и плана реализации стратегии адаптации к изменению климата с последующей интеграцией в существующие процедуры управления отраслью.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основой проведенного исследования стал анализ подходов по адаптации транспортной инфраструктуры к изменению климата, сформулированных на основании оценки динамики изменения климата [12–14] и оценка последствий крупномасштабных чрезвычайные ситуации природного характера (циклоны Тауктае и Яас, Индия, 2021; наводнение в

провинции Хэнань, тайфуна Ин-фа, Китай, 2021, землетрясения в Турции и Сирии, 2023).

Также использованы документы локальных уровней, в которых отражены отраслевые инициативы: руководство по адаптации к изменению климата для портов и внутренних водных путей (PIANC, Всемирная ассоциация водной транспортной инфраструктуры); руководство по адаптации к изменению климата с сокращением выбросов парниковых газов от транспорта (PIARC, Всемирная ассоциация автомобильных дорог); развитие транспортной системы России с трансформацией в низкоуглеродную отрасль, посредством ускоренного внедрения новых технологий (Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года [13]).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Итогом разработки подходов к адаптации транспортной отрасли к климатическим изменениям должна стать стратегия и план адаптации. Планы адаптации к изменению климата должны учитывать изменения в частоте и масштабах природных стихийных явлений, а также долгосрочные климатические, социально-экономические и технологические изменения. Подходы к планированию адаптации, как правило, основаны на анализе затрат и результатов отдельных управляющих воздействий, при этом они имеют ограниченный потенциал использования в условиях медленно происходящих изменений климатической системы, особенно в сочетании со сложными техническими системами, включающими долговечные объекты инфраструктуры (мосты, тоннели) с объектами с коротким жизненным циклом (цифровые системы). Предлагаемые пути адаптации подразумевают поэтапный и итеративный подход, состоящий из последовательных действий, которые реализуются на основе изменений климатических рисков, при этом данные действия не ставят под угрозу возможность дальнейшего развития отрасли. Однако, при разработке сценариев и путей адаптации необходимо предусматривать возможную задержку в принятии решений из-за значительной неопределенности в прогнозах места и степени реализации конкретного климатического риска.

Вследствие того, что объекты транспортной инфраструктуры сложны и взаимосвязаны, имеют различный возраст и срок службы, а также вследствие постоянного развития инженерных транспортных систем адаптивное управление климатическими рисками на транспорте требует различных подходов и методов, с помощью которых можно оценить как их эффективность, так и очередность этапов.

Концепция итеративного подхода, основанного на оценке рисков, при котором мероприятия планируются, реализуются, контролируются и

оцениваются как отправная точка для следующего этапа планирования действий в настоящее время получает широкое распространение благодаря разработкам стратегий адаптации как транспортных предприятий отдельных стран, так различных международных организаций.

Чтобы меры по адаптации к изменению климата стали частью процесса управления, они должны включать научно-обоснованные сведения об изменениях климата и реализовываться параллельно с существующими процедурами управления отраслью. Для этого требуется эффективная двусторонняя связь между исследователями и заинтересованными сторонами в транспортной отрасли.

Кроме того, заинтересованные стороны в транспортной отрасли должны иметь представление о климатических рисках по отношению к объектам транспортной инфраструктуры, а также о способах снижения риска и факторах неопределенности [15–18]. Например, прогнозы изменения климата предполагают увеличение частоты и продолжительности периодов волн жара, что может привести к увеличению задержек при железнодорожных перевозках, связанных с короблением пути и отказами технических систем, но точное место и время достижения критической температуры неизвестно.

Для корректной оценки путей взаимодействия по адаптации к изменениям климата целесообразен учет двух аспектов:

- стратегические направления развития отрасли;
- инженерно-технические вопросы, лежащие в основе повышения устойчивости отрасли путем адаптации, как существующих систем, так и вновь проектируемых и строящихся систем.

При этом необходимо исходить из следующих принципов:

- любое мероприятие должно основываться на существующих проектах, процессах, стандартах, лишь дополняя их. Например, необходимо выстраивать связи между программами по адаптации и мероприятиями по сокращению выбросов парниковых газов, что расширяет возможности реагирования на изменения прогнозов, а также делает более управляемыми риски в области безопасности;

- специалисты, которым предстоит реализовывать мероприятия по адаптации должны обладать актуальными знаниями и/или опытом, которые потребуются для адаптации к изменению климата. В таком случае специалисты окажут поддержку в принятии решений (аналогично процедурам HAZID, HAZOP), а их участие обеспечит широкое принятие исполнителями мер по адаптации;

- процесс адаптации к изменению климата должен быть гибким и итеративным. Стратегия адаптации и план реализации стратегии должны иметь возможность включать новую информацию и опыт, а также быть

готовым к новым вызовам, которые возникнут в связи с реализацией плана адаптации.

Подготовка объектов транспортной инфраструктуры к изменению климата должно быть основано на современных знаниях о процессе изменения климата, передовой международной практике и академических исследованиях. Данная подготовка может состоять из двух разделов:

- разработка стратегии адаптации к изменению климата;
- разработка плана реализации стратегии адаптации к изменению климата.

При разработке данных разделов необходимо учитывать, что возможна стагнация в процессе реализации стратегии адаптации в случае существенной разницы между целями стратегии и мерами по адаптации с имеющимися возможностями отрасли.

Таким образом, цель стратегии адаптации к изменению климата состоит в том, чтобы путем расстановки акцентов на конкретных мероприятиях для конкретных объектов транспортной инфраструктуры установить количественные параметры, в том числе временные, в которых они должны быть реализованы, с учетом приоритетных климатических рисков.

Схема формирования стратегии адаптации, а также плана реализации стратегии адаптации к изменению климата, на основе вышеприведенных подходов приведена на Рис.

Как видно из Рис., формирование стратегии адаптации начинается с определения общих целей. Потенциально они могут включать существующие производственные цели, но рассматриваться в контексте адаптации к изменению климата. Например, цель может состоять в том, чтобы поддерживать текущие характеристики во время неблагоприятных погодных условий. Далее, определяя различные способы, которыми природные стихийные явления (проливные дожди, ураганы и др.) или долгосрочные климатические изменения (повышение температуры, таяние вечной мерзлоты) могут повлиять на транспортную систему, включая изменение видов опасностей, уязвимостей и последствий (экономические, социальные и экологические). Сведения о климатических изменениях поступает от государственных метеорологических служб или глобальных проектов, таких как Межправительственная группа экспертов по изменению климата.

Далее происходит выявление уязвимых мест транспортной инфраструктуры при реализации климатических рисков. На этом этапе также определяется, достаточно ли информации для выявления уязвимых мест (с течением времени данные обновляются на новых итерациях).

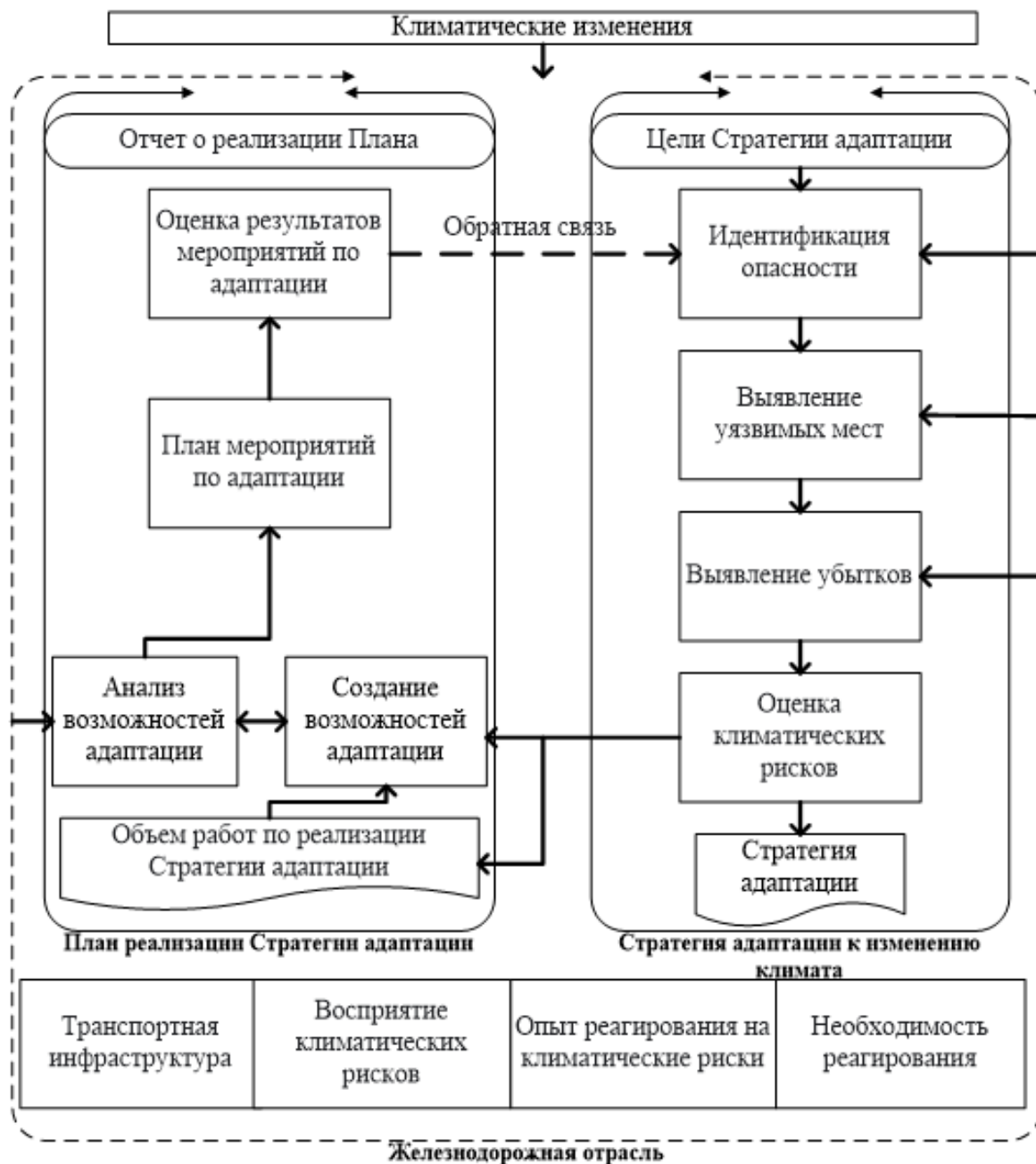


Рис. Схема формирования стратегии адаптации и плана реализации стратегии адаптации к изменению климата

Источник: составлено автором

Взаимодействие с заинтересованными сторонами (владельцы инфраструктуры, смежные организации, органы исполнительной власти и местного самоуправления) здесь имеет решающее значение, поскольку объекты инфраструктуры являются частью взаимозависимой системы, при этом отказ смежной сети инфраструктуры (например, электроснабжения) связанный с погодными условиями может повлиять на транспортную инфраструктуру. Внешние заинтересованные стороны также могут

предоставить информацию об уязвимости управляемых ими объектов при реализации климатических рисков.

Рассмотрение опасностей, уязвимостей и потерь позволяет провести комплексную оценку рисков, которая должна определить наиболее существенные риски, а также те риски, которые необходимо устранить в приоритетном порядке, исходя из целей, поставленных при разработке стратегии адаптации. При оценке следует учитывать как краткосрочные так и долгосрочные риски, а также финансовые затраты и выгоды от вмешательства или бездействия для транспортной сети и ее пользователей. Защита транспортной инфраструктуры от климатических рисков может потребовать значительных первоначальных инвестиций, однако в долгосрочной перспективе позволит предотвратить рост затрат или дорогостоящее переоснащение.

При этом следует опираться на соотнесение стоимости каждого дополнительного мероприятия по адаптации с ожидаемой величиной полученных выгод. Решения, принятые в рамках финансовой оценки могут пересматриваться и обновляться по мере изменения прогнозируемой вероятности или масштаба опасности, уязвимости инфраструктуры или социально-экономических последствий. Проведенная оценка климатического риска формирует основу стратегии адаптации, определяя объем работ для плана реализации стратегии адаптации.

Стратегия адаптации устанавливает как цели, которые должны быть достигнуты, так и приоритетные риски которые необходимо устранить. План реализации основывается на стратегии адаптации и определяет перечень мероприятий и объем работ по адаптации. Также в плане реализации стратегии рассматриваются варианты адаптации к каждому выявленному климатическому риску. Вероятно, финансирование мероприятий по адаптации будет лимитирующим фактором, значит, управлять этим ограниченным ресурсом следует таким образом, чтобы он не препятствовал достижению целевого результата. На этапе итеративного анализа вариантов рассматриваются подходы, которые можно использовать для устранения приоритетных климатических рисков в рамках существующих ограничений.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для избегания дезадаптации необходима оценка вариантов, как для ближайшего будущего, так и для долгосрочной перспективы, в противном случае ранние действия могут поставить под угрозу будущие мероприятия, например вследствие сокращения финансирования или невозможности реализации будущих мероприятий на существующих или создаваемых объектах. Например, замена оборудования, вышедшего из строя из-за природных стихийных явлений аналогичным, приведет к быстрому

восстановлению функционирования, но может вытеснить экономически эффективное оборудование в долгосрочной перспективе, если вероятность подобных опасных природных явлений возрастет.

План реализации стратегии адаптации позволяет проводить адаптацию поэтапно, причем каждый этап предназначен для снижения общего риска до приемлемого уровня по мере изменения климата. При этом вместо того, чтобы выполнять каждое мероприятие в заданное для него время (в отличие от традиционного подхода к управлению проектами), мероприятия по адаптации могут быть реализованы, когда величина климатического риска достигает заданного порога, который оценивается прогнозом и уточняется мониторингом климатических условий.

Выбрав соответствующий комплекс мероприятий по устранению приоритетных рисков, можно реализовать данный комплекс действий в соответствии с планом. Далее эффективность комплекса мер можно оценить, а полученную информацию использовать на следующем итеративном цикле посредством мониторинга и оценки эффективности.

На основании проведенной оценки возможных исходов рассмотрения целесообразности внедрения стратегии адаптации и плана реализации стратегии адаптации к климатическим изменениям выделены следующие варианты:

- структура полезна для внедрения с целью разработки стратегии по адаптации к изменению климата;
- структура является полезным инструментом для начала обсуждения в этой области и повышения осведомленности о необходимости включения адаптации к изменению климата в процесс управления;
- организации не могут уделять первостепенное внимание экологическим проблемам, поскольку им нужно решать повседневные проблемы, особенно если их знания об изменении климата не являются продвинутыми (что подчеркивает важное значение для перехода от реактивного реагирования на природные стихийные явления к проактивной адаптации для подготовки к возникновению опасных природных процессов).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенная схема адаптации ставит практическое принятие решений в центр процесса, с поправкой на неопределенности в принятии решений, особенно с учетом неопределенности масштабов и последствий изменения климата. Сформулирован поэтапный подход, состоящий из последовательных действий, которые инициируются меняющимися степенями климатического риска и при котором реализация первоочередных действий не ставят под угрозу будущие действия.

Структура циклична и итеративна, что позволяет включать уточненную информацию об изменении климата или меняющихся социально-экономических условиях, а также облегчает процесс оценки эффективности принятых адаптивных мер.

Предлагаемая структура может быть использована для включения адаптации к изменению климата в процесс управления, на основе разработки дополнительных мероприятий по адаптации, в структуру функционирования транспортного предприятия. Объект инфраструктуры после реализованных мер по адаптации к изменению климата будет иметь преимущества в надежности функционирования, что актуально в современном меняющемся мире.

Автор заявляет, что настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Hartmann DL, Tank AMGK, Rusticucci M. Chapter 2: Observations: Atmosphere and Surface. *Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2013:159-254. doi: 10.1017/cbo9781107415324.008
2. Beniston M, Stephenson DB, Christensen OB, et al. Future extreme events in European climate: An exploration of regional climate model projections. *Clim. Chang.* 2007;81:71-95. doi: 10.1007/s10584-006-9226-z
3. Wigley TML. The effect of changing climate on the frequency of absolute extreme events. *Clim. Chang.* 2009;97:67-76. doi: 10.1007/s10584-009-9654-7
4. Cai W, Borlace S, Lengaigne M, et al. Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. *Nat. Clim. Chang.* 2014;4:111-116. doi: 10.1038/nclimate2100
5. Jaroszweski D, Hooper E, Baker C, et al. The impacts of the 28 June 2012 storms on UK road and rail transport. *Meteorol. Appl.* 2015;22:470-476. doi: 10.1002/met.1477
6. Koetse MJ, Rietveld P. The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 2009;14:205-221. doi: 10.1016/j.trd.2008.12.004
7. McEvoy D, Ahmed I, Mullett J. The impact of the 2009 heat wave on Melbourne's critical infrastructure. *Local Environ.* 2012;17:783-796. doi: 10.1080/13549839.2012.678320
8. Palin EJ, Thornton HE, Mathison CT, et al. Future projections of temperature-related climate change impacts on the railway network of Great Britain. *Clim. Chang.* 2013;120:71-93. doi: 10.1007/s10584-013-0810-8
9. Ferranti E, Chapman L, Lowe C, et al. Heat-Related Failures on Southeast England's Railway Network: Insights and Implications for Heat Risk Management. *Weather Clim. Soc.* 2016;8:177-191. doi:10.1175/wcas-d-15-0068.1
10. Ferranti E, Chapman L, Lee S, et al. The hottest July day on the railway network: Insights and thoughts for the future. *Meteorol. Appl.* 2017;25:195-208. doi: 10.1002/met.1681
11. Titova T, Akhtyamov R, Nasyrova E, Elizaryev A. Methodical approaches for durability assessment of engineering structures in cold regions. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2020;49:473-478. doi: 10.1007/978-981-15-0450-1_49
12. Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на

- период до 2030 года. [Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года [Internet]. (In Russ.)]. Ссылка активна на 11.03.2023. Доступно по: <https://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1.ru.pdf>
13. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. [Transportnaya strategiya Rossijskoj Federacii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda [Internet]. [cited 2023 March 11]. (In Russ.)]. Доступно по: <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZlOOpQhLI0nUT91RjCbeR.pdf> Ссылка активна на 11.03.2023.
 14. Парижское соглашение по климату. [Parizhskoe soglasenie po klimatu [Internet]. [cited 2023 March 11]. (In Russ.)]. Ссылка активна на 11.03.2023. Доступно по: https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/russian_paris_agreement.pdf
 15. Baydarashvili M, Sakharova A, Shrednik N. Conservation of mineral resources in transport and civil construction. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2020;50:479-486. doi: 10.1007/978-981-15-0454-9_50
 16. Bryn M, Afonin D, Bogomolova N. Geodetic Monitoring of Deformation of Building Surrounding an Underground Construction. *Procedia Engineering*. 2017;189:386-392. doi: 10.1016/j.proeng.2017.05.061
 17. Baydarashvili M. Criteria of Geoprotection in Construction. *Procedia Engineering*. 2017;189:616-621. doi: 10.1016/j.proeng.2017.05.098
 18. Ershova S, Orlovskaya T, Panfilova E. Study of Life Quality and Urban Environment Quality in Russian Megapolises. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018;463(4):042040. doi: 10.1088/1757-899X/463/4/042040

Сведения об авторе:

Ахтямов Расул Гумерович, кандидат технических наук, доцент;
eLibrary SPIN: 2812-3782; ORCID: 0000-0001-8732-219X
E-mail: ahtamov_zchs@mail.ru

Information about the author:

Rasul Akhtyamov, Candidate of Technical Sciences;
eLibrary SPIN: 2812-3782; ORCID: 0000-0001-8732-219X;
E-mail: ahtamov_zchs@mail.ru

Цитировать:

Ахтямов Р.Г. Разработка подходов к адаптации транспортной инфраструктуры к климатическим изменениям // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2023. – Т. 9. – № 1. – С. 34–43. doi: 10.17816/transsyst20239134-43

To cite this article:

Akhtyamov RG. Development of approaches for transport infrastructure adaptation to climatic change. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2023;9(1):34-43. doi: 10.17816/transsyst20239134-43