



---

**Европейская экономическая комиссия****Комитет по внутреннему транспорту****Рабочая группа по тенденциям  
и экономике транспорта****Группа экспертов по оценке последствий  
изменения климата для внутреннего транспорта  
и адаптации к ним****Двадцать пятая сессия**

Женева, 30 и 31 октября 2023 года

Пункт 6 предварительной повестки дня

**Руководящие принципы учета соображений,  
связанных с изменением климата, в процессах  
планирования и оперативной деятельности****Схема стресс-тестирования****Представлено заместителем Председателя Группы экспертов  
по оценке последствий изменения климата для внутреннего  
транспорта и адаптации к ним****I. Справочная информация**

1. В настоящем документе охарактеризована комплексная схема проведения стресс-тестов и оценки устойчивости транспортных сетей. Он был подготовлен Группой экспертов по оценке последствий изменения климата для внутреннего транспорта и адаптации к ним (группой экспертов). Основными его авторами являются проф. Б.Т. Адей и Х. Насразадани из Института управления строительством и инфраструктурой Швейцарского федерального технологического института в Цюрихе. К числу его других авторов относятся К. Чемберс из Центра исследований и развития инженеров Инженерного корпуса армии США (USACE), д-р К. Уолкер из Национального центра атмосферных исследований США, проф. Дж. Доура из группы «Ощущение климата». Существенный вклад в его подготовку внесли Т. Попеску из Генерального директората по инфраструктуре, транспорту и мобильности Франции, а также заместитель председателя группы экспертов, Дж. Брук, ПМАКС, и Л. Выровский (секретариат Европейской экономической комиссии (ЕЭК) Организации Объединенных Наций).

2. Настоящий документ представлен заместителем председателя от имени всех авторов для рассмотрения группой экспертов и его утверждения.

3. Настоящий документ предназначен для заинтересованных сторон, участвующих в процессах транспортного планирования, анализа рисков и принятия решений. К их числу относятся политики, транспортные власти, инженеры



и консультанты. В документе для них представлена стандартизированная процедура проведения стресс-тестов и оценки устойчивости их систем, предусматривающая использование как качественных, так и количественных подходов.

4. Кроме того, в данной схеме также отмечается важное значение учета неопределенностей и предлагаются рекомендации по определению критических компонентов систем, потенциальных вмешательств и областей для дальнейшего анализа. Следуя этой схеме, участники транспортного процесса смогут лучше осознавать уязвимости систем, принимать обоснованные решения и разрабатывать эффективные стратегии повышения общей устойчивости транспортных систем.

5. Настоящий документ следует рассматривать в связи с другими стандартами и руководящими принципами оценки риска/устойчивости и адаптации транспортных систем к изменению климата, включая ISO 14090 (ISO 2019), ISO 14091 (ISO 2021), BS 8631 (BSI 2021), проект «RailAdapt» МСЖД<sup>1</sup> (UIC 2017), международную систему адаптации к изменению климата для дорожной инфраструктуры ПМАКС (PIARC 2015) и руководство ПМАКС по планированию мер по адаптации к изменению климата для портов и внутренних водных путей (РГ 178 Экологической комиссии).

## II. Схема стресс-тестирования

### A. Введение

6. Настоящая схема стресс-тестирования основана на работе, подготовленной под руководством проф. Б.Т. Адейя (Adey et al. (2016)), и содержит практические рекомендации по определению и применению одного или более стресс-тестов для транспортных систем. Функционирование общества зависит от грузовых и пассажирских перевозок, а также от инфраструктуры, требующейся для осуществления этих перевозок конкретным образом, т. е. с учетом необходимости обеспечить конкретные уровни обслуживания.

7. Поскольку сбои в обслуживании в результате разрушительных явлений (например, таких стихийных бедствий, как наводнения, сильные снегопады) могут иметь значительные последствия для общества (см. главу II.2), управление транспортной инфраструктурой следует осуществлять таким образом, чтобы можно было минимизировать воздействие экстремальных явлений с учетом имеющихся ресурсов и потенциальной отдачи от инвестиций. Настоящая схема (см. главы II.3 и II.4) показывает, каким образом стресс-тесты могут быть использованы для определения потребности в программе вмешательства для обеспечения приемлемого уровня обслуживания в контексте транспортной инфраструктуры в условиях угроз, связанных с изменением климата.

8. Тематические исследования (см. главу II.5) с использованием автомобильных и железнодорожных сетей иллюстрируют данный подход на основе практических примеров его применения.

9. Концепция стресс-теста может быть использована в качестве составной части оценочного процесса, содействующего выявлению последствий при разработке плана адаптации к изменению климата или борьбы с другими рисками. Стандарт ISO 14090:2019 «Адаптация к изменению климата — Принципы, требования и руководящие положения» служит базовым стандартом для адаптационного планирования и предусматривает проведение оценок воздействия, которые впоследствии располагаются в порядке очередности, с учетом которой составляются планы устранения этих воздействий (ISO 2019). Стандартом ISO 14090 не предписывается — не требуется — какой-либо конкретной формы оценки воздействия; он просто требует оценки воздействия, причем далее отмечается, что

---

<sup>1</sup> Международный союз железных дорог.

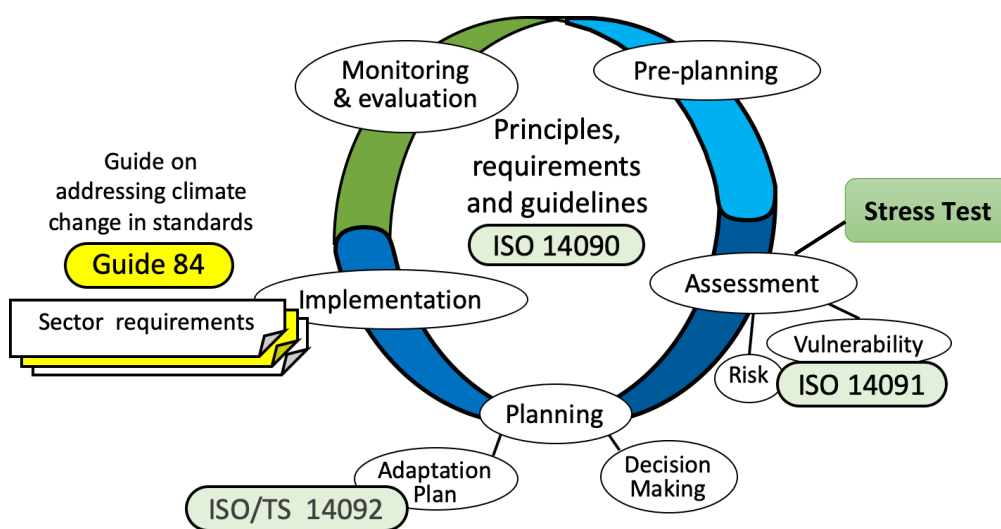
речь может идти об общей оценке риска, оценке уязвимости или анализе пороговых значений.

10. Стресс-тесты могут использоваться для определения устойчивости транспортной системы в конкретных ситуациях при помощи оценки ее функционирования в этих конкретных ситуациях, т. е. для выяснения того, может ли она обеспечивать конкретный уровень обслуживания, на который она была рассчитана.

11. Стресс-тесты служат еще одним способом проведения анализа воздействия и как таковые соответствуют требованиям ISO 14090; см. рис. I. Стресс-тестирование дополняет анализ уязвимостей и рисков, позволяя оценивать способность инфраструктуры противостоять экстремальным условиям. Если анализ уязвимостей и рисков позволяет определять потенциальные слабые места с учетом известных опасностей и исторических данных, то стресс-тестирование имитирует реальные сценарии, например экстремальные явления, скачки трафика и неожиданные сбои, выявляя при этом некоторые уязвимости и слабые места, которые могут не проявляться при обычной оценке. Подвергая сеть таким факторам стресса и оценивая их воздействие на уровень обслуживания, а, следовательно, и их последствия для деятельности человека, управляющие инфраструктурой могут оценивать ее устойчивость, выявлять критические слабые места и разрабатывать адаптивные стратегии повышения устойчивости транспортной сети.

Рис. 1

Схематичный обзор стандартов ИСО и стресс-тестов  
[адаптировано из ISO 14090 (ISO 2019)]



12. Стресс-тест может стать ценным вкладом в план адаптации, учитывающий многочисленные последствия изменения климата для транспортной системы, причем как на ранних этапах разработки плана, так и в процессе подготовки более всеобъемлющего плана адаптации. Такой комплексный подход позволяет формировать более надежные и устойчивые к изменению климата транспортные системы, способные и впредь эффективно и безопасно функционировать, несмотря на проблемы, вызванные изменением климата.

## В. Угрозы, связанные с изменением климата

### 1. Текущее климатическое воздействие

13. Во всем мире приходится сталкиваться с климатическим кризисом, который ставит под угрозу нашу способность предоставлять безопасные, надежные, доступные и справедливые транспортные услуги сообществам, которые в них нуждаются. Адаптация к будущим последствиям изменения климата больше не является той

проблемой, решение которой можно отложить на будущее; этой проблемой следует заняться уже сейчас. На самом деле в докладе Всемирного экономического форума о глобальных рисках в качестве одной из наших главных глобальных угроз в краткосрочной и среднесрочной перспективах обозначена неспособность разработать стратегию борьбы с экстремальными погодными явлениями и изменением климата (WEF 2019). Воздействие климатических рисков ощутимо уже сейчас, и нам предоставлена беспрецедентная возможность осознать эти риски и подготовиться к ним, с тем чтобы уменьшить их последствия для всех наших сообществ.

14. В последнем докладе, подготовленном Международной группой экспертов по изменению климата (ОД-6 МГЭИК 2022 года), отмечаются широкомасштабные и всепроникающие последствия для человека и экологических систем, связанные с увеличением частоты и интенсивности экстремальных климатических и погодных явлений. В докладе МГЭИК климатические воздействия и риски подразделяются на несколько категорий, а именно: наблюдаемые, краткосрочные (2021–2040 годы), среднесрочные (2041–2060 годы) и долгосрочные (2061–2100 годы). Масштабы и темпы прогнозируемых последствий изменения климата в этих категориях зависят от краткосрочных действий по смягчению его воздействия и адаптации к нему, направленных на сокращение выбросов загрязняющих веществ (т. е. речь идет о репрезентативных траекториях концентраций, ОД-6 МГЭИК 2022 года). Независимо от любых действий приходится ожидать различных неблагоприятных потерь и ущерба, особенно в случае небольших островов и мегаполисов, расположенных в низинных прибрежных районах (Monioudi et al. 2018; Abraham et al., 2018).




15. Четвертая национальная оценка климата Программы исследований глобальных изменений в США перекликается с выводами, сделанными в ОД-6 МГЭИК, указывая, что «тысячи исследований» документально подтвердили глобальные изменения температуры атмосферы, поверхности Земли и океана, сокращение площади морского льда, таяние ледников, повышение уровня моря, подкисление океана и увеличение количества водяного пара (USGCRP 2018). Эти виды воздействия могут быть подразделены на две категории в зависимости от того, с какими последствиями они сопряжены для предполагаемой функциональности системы (например, с точки зрения безопасности и эффективности перевозок). К первой категории относятся хронические и долгосрочные изменения погодных моделей, создающие дополнительную нагрузку для системы, заставляя ее выполнять ее функции в новом устойчивом состоянии. Такие факторы стресса, обусловленные угрозами воздействия климатических изменений, могут включать, например, характер осадков, повышение температуры, седиментацию, повышение уровня моря и береговую эрозию. Ко второй категории относятся эпизодические сбои, при которых система должна справляться с потрясениями и пытаться восстановить свою прежнюю функциональность. Эти краткосрочные факторы стресса зачастую могут иметь серьезные региональные последствия, от которых трудно оправиться или в контексте которых сложно добиться устойчивых изменений. Эти сбои включают такие более известные экстремальные климатические явления, как речные наводнения, оползни, селевые потоки, ледяные бури, прибрежные штормы, лесные пожары, засуху и экстремальные температуры.

## **2. Воздействие климата на транспортный сектор**

16. Транспортный сектор характеризуется наличием долгосрочных и сложных инфраструктурных систем, адаптация которых к факторам стресса и сбоям может занять многие годы (Vajjaru et al. 2020). Климатическая уязвимость транспортного сектора может быть охарактеризована несколькими способами. Прямые пути к сбоям определяются нарушениями в самой транспортной инфраструктуре и традиционно находятся в центре внимания тех, кто занимается исследованием уязвимости транспортных систем. Перечень примерных видов воздействия приведен на рис. II, а более подробные пояснения по воздействиям на сегменты сектора содержатся в последующих разделах.

Рис. II  
Некоторые примеры воздействия изменения климата на транспортную инфраструктуру и транспортные операции (UNECE 2020)

*Some examples of climate change impacts on transportation infrastructure and operations*

	 Road	 Rail	 Waterways and ports	
<b>Temperature</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Higher mean temperatures; heat waves/droughts; changes in the numbers of warm and cool days</li> <li>Reduced snow cover and arctic land and sea ice; permafrost degradation and thawing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Thermal pavement loading and degradation</li> <li>Asphalt rutting</li> <li>Thermal damage to bridges</li> <li>Increased construction and maintenance costs</li> <li>Reduced integrity of winter roads and shortened operating seasons</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Track buckling</li> <li>Infrastructure and rolling stock overheating/failure</li> <li>Slope failures</li> <li>Signaling problems</li> <li>Speed restrictions</li> <li>Asset lifetime reduction</li> <li>Higher needs for cooling</li> <li>Shorter maintenance windows</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Damage to infrastructure, equipment and cargo</li> <li>Higher energy consumption for cooling</li> <li>Potential for longer shipping seasons</li> <li>Occupational health and safety issues during extreme temperatures</li> </ul>
<b>Precipitation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Changes in the mean values; changes in intensity, type and/or frequency of extremes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inundation, damage and wash-outs of roads and bridges</li> <li>Increased landslides</li> <li>Bridges scour</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Flooding, damage and wash-outs of bridges</li> <li>Problems with drainage systems and tunnels</li> <li>Delays</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Infrastructure inundation</li> <li>Navigation restrictions in inland waterways due to extreme low or high flow conditions</li> </ul>
<b>Sea levels/storm surges</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mean sea level rise</li> <li>Increased extreme sea levels</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erosion of coastal roads</li> <li>Flooding, damage and wash-outs of roads and bridges</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bridge scour, catenary damage at coastal assets</li> <li>Disruption of coastal train operation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Asset inundation</li> <li>Navigation channel sedimentation</li> <li>Maintenance costs</li> </ul>

17. Наряду с перечисленными выше видами прямого воздействия в одной из работ (Markolf et al. (2019)) обозначена необходимость понимания косвенных сбоев для учета сложностей, выявляемых в транспортных системах и таких других критических инфраструктурных системах, как энергоснабжение, водоснабжение, производство топлива, связь и сообщества. Транспортные системы не изолированы друг от друга, и понимание этих тесных взаимосвязей имеет важное значение для возможного определения адаптивных действий. Например, если наводнению подвергается автомобильная или железная дорога, ведущая в порт, то это сказывается на перемещении товаров, услуг и сотрудников порта. Функциональная устойчивость порта снижается независимо от состояния его инфраструктуры. С учетом этих косвенных сбоев в последующих разделах обозначены некоторые последствия изменения климата для различных сегментов транспортного сектора.

#### а) Автомобильные дороги

18. Что касается автомобильного транспорта, то в полярных регионах ожидаются структурные сбои из-за таяния вечной мерзлоты и усиления эрозии, связанных с потеплением океана, наводнениями штормовых нагонов и потерей морского льда (см. материалы МГЭИК — Melvin et al. 2017; Fang et al. 2018; перекрестный документ 6 МГЭИК). Наводнения, вызываемые изменением климата, приведут к удвоению числа задержек и отмененных поездов в Бостонской агломерации к 2100 году (Suarez et al. 2005). Средние затраты, связанные с отсутствием адаптации к воздействию изменения климата на дорогах с твердым покрытием в Гане к 2100 году составят 473,72 млн долл. США (Twerfou et. al 2014). Изменение климата может потребовать затрат на поддержание основных автомобильных дорог в Мексике в надлежащем состоянии в объеме от 1,3 до 4,9 млрд долл. США (Espinete et al. 2016). Стоимость реконструкции дорог в связи с изменением климата во Франции оценивается в 22 млрд евро в период с 2020 по 2050 год (Carbone 4 2021). В Плане действий по изменению климата Министерства транспорта США перечислены следующие потенциальные виды значительного воздействия на дорожные системы:

- более частые и сильные затопления подземных туннелей и низколежащих объектов инфраструктуры, требующие дренажа и откачки воды;
- растущее тепловое расширение мощных поверхностей, способное привести к их деградации и снижению ресурса их эксплуатации из-за высоких температур и увеличения продолжительности волн высокой температуры;

- увеличение расходов на содержание и строительство дорог и мостов из-за повышения температуры и воздействия на них;
- деградация асфальтобетона и сокращение временных отрезков его замены, обуславливающие ограничение доступа, образование пробок и увеличение расходов из-за повышения температуры;
- повреждение водопропускной и дренажной инфраструктуры из-за интенсивности осадков или снеготаяния;
- повышение риска ДТП при экстремальных метеоусловиях.

## **в) Железные дороги**

19. Железные дороги являются одним из глобальных активов, так как, по оценкам, в 2018 году общая протяженность обычных железных дорог составляла около 1 060 000 км (IEA 2023). Многие из этих железных дорог и объектов вспомогательной инфраструктуры были построены более 150 лет назад, и эффективность их функционирования при экстремальных погодных условиях не установлена (Palin et al. 2021). Что касается железнодорожного транспорта, то затраты, связанные с задержками и повреждениями инфраструктуры под воздействием жары, в Соединенных Штатах Америки могут составить до 60 млрд долл. США к 2100 году, если не будут внесены изменения в режим управления активами (Chinowsky et al. 2019). Кроме того, последствия повышения уровня моря, штормовых нагонов и прибрежных наводнений грозят дальнейшими экономическими потерями и сбоями в работе (Neumann et al. 2021). Эти сбои окажут каскадное воздействие на глобальную цепь снабжения и сеть грузовых перевозок, а также приведут к сбоям в мобильности пригородного транспорта и затруднят его доступность для населения. Для обобщения такого негативного воздействия в одной из работ (Palin et al. (2021)) были указаны следующие факторы:

- простои всей системы, сход с рельсов, замедление времени движения из-за деформации рельсов и теплового расширения в экстремально жаркие дни;
- повреждения воздушных линий, камнепады, а также обледенение и обрывы линий электропередачи из-за низких температур и попеременного замораживания и оттаивания;
- откосные разрушения, затопления, повреждение электронного оборудования и подмыв мостов в результате наводнений и оползней;
- разрушение склонов инфраструктуры, смещение путей и оси столбов в результате засухи и усадки/иссушения почв;
- подмыв и повреждение конструкций из-за прибрежных наводнений и волн.

20. Если рассматривать автомобильный и железнодорожный транспорт в совокупности, то, например, на восточном побережье США, автомобильные и железные дороги протяженностью 3800 км подвержены риску временного или постоянного затопления в случае повышения уровня моря на 58 см (Wright and Hogan 2008). В Европе возможно десятикратное увеличение ущерба, связанного с деформацией дорожных покрытий из-за теплового стресса, прибрежных и внутренних наводнений, ураганов и лесных пожаров (Forzieri et al. 2018). Реальная ситуация усугубляется еще и тем, что многие сети автомобильной и железнодорожной инфраструктуры уже характеризуются значительным износом и были построены весьма давно (Neumann et al. 2021).

## **с) Порты и внутренние водные пути (ВВП)**

21. Порты и внутренние водные пути (ВВП) крайне уязвимы к многочисленным климатическим факторам стресса и сбоям в работе из-за своего географического расположения в низинных районах, примыкающих к побережьям и речным равнинам, своих высокорациональных, оптимизированных и уникальных региональных операций и далеко идущих, а порой и усугубляющихся последствий любых задержек или аварий для цепочки поставок (PIANC 2020A). Например, в одной из работ

(Christodoulou и Demirel (2018)) было установлено, что к 2100 году до 60 % морских портов Европейского союза могут быть подвержены высокому риску затопления при максимальном повышении уровня моря (1 м). Порты и ВВП играют важнейшую роль в мировой торговле, способствуя перемещению более 11 млрд тонн грузов (80 % мировой торговли), и имеют крайне важное значение для развивающихся стран, на долю которых приходится 61 % от общего объема глобальной морской торговли (UNCTAD 2022). Если в настоящее время не будут приняты никакие адаптационные меры, то, по оценкам, к 2100 году глобальные затраты на судоходство с учетом повышения уровня моря и усугубления последствий штормов могут составить дополнительно 25 млрд долл. США в год (а это превышает общую годовую операционную прибыль за последнее время (Van Houtven et al. 2022)). Инициатива Всемирной ассоциации инфраструктуры водного транспорта (ПМАКС) в контексте судоходства в условиях изменяющегося климата позволяет охарактеризовать разнообразные виды климатического воздействия начиная от зоны судоходства и кончая перерабатывающими и производственными предприятиями во внутренних районах, на которые доставляется продукция (PIANC 2020B). К числу этих видов воздействия относятся:

- приостановка портовых операций и повреждение инфраструктуры из-за переполнения дренажных систем или высоких грунтовых вод;
- затопление терминалов или прорыв дамб из-за высокого уровня речного стока или штормового нагона;
- негативные последствия для судоходства, обусловленные высокой скоростью речных потоков или изменением состояния моря (морской турбулентностью, экстремальными волнами);
- закрытие каналов или ограничение осадки из-за низкой скорости речного стока либо засухи;
- ограничение осадки или увеличение затрат на осуществление дноуглубительных работ из-за переноса, накопления и эрозии отложений либо мусора;
- сокращение или ограничение объема портовых операций из-за низкой видимости (тумана, снегопада либо других осадков);
- деградация или разрушение инфраструктуры, превышающие проектные ожидания, из-за изменения химического состава воды;
- воздействие на судоходство и портовые операции из-за изменения скорости, силы, направления и продолжительности ветра;
- ущерб от воздействия экстремальной жары, влажности или холода на сотрудников, инфраструктуру и грузы;
- дополнительные общие потребности или дополнительные оперативно-эксплуатационные потребности из-за изменений в экологии (роста растительности, миграции видов, распространения инвазивных видов).

#### d) Аэропорты

22. Авиаперевозки уязвимы по отношению даже к кратковременным погодным явлениям, вызывающим значительные и многочисленные отмены или задержки рейсов (Ryley et al. 2020). Прогнозируемые климатические последствия, которые, скорее всего, непосредственно повлияют на авиацию, связаны с изменениями в осадках и температуре, силой ветра, экстремальными погодными условиями и повышением уровня моря (Burbridge 2018). В настоящее время многие аэропорты находятся всего на 10–20 футов выше среднего уровня моря, а некоторые из них даже ниже среднего уровня моря (аэропорт Схипхол в Амстердаме, аэропорт имени Луи Армстронга в Новом Орлеане (Budd and Ryley 2012)). Их число может значительно увеличиться в зависимости от темпов повышения уровня моря. По данным одного из исследований, к 2100 году при потеплении на 2 °C 100 аэропортов, как предполагается, окажутся ниже среднего уровня моря, причем значительное число аэропортов

окажется под угрозой в Европе, Северной Америке и Океании, но наибольший риск приходится на Юго-Восточную и Восточную Азию (Yesudian and Dawson 2021). В этом же исследовании выявлена общая для многих транспортных систем проблема, а именно то обстоятельство что финансирование мер по адаптации, по всей видимости, не будет на равных условиях доступно для небольших прибрежных аэропортов. Это может привести к катастрофическим последствиям для низменных островов, для которых авиаперевозки служат единственным средством оказания экономической, социальной и медицинской помощи (Yesudian and Dawson 2021). Дискуссия по вопросу об изменении климата сосредоточена главным образом на смягчении последствий, между тем как все большее внимание уделяется адаптации (Ryley et al. 2020). В 2018 году 86 % респондентов опроса, проведенного Европейской организацией по безопасности аэронавигации указали, что изменение климата будет иметь существенное значение для всей отрасли (Burbidge 2018). К числу некоторых дополнительных видов воздействия, определенных Министерством транспорта США (2022) и другими сторонами, относятся:

- нарушения воздушного движения из-за экстремальных метеорологических условий и выпадения осадков, которые влияют на время прибытия и отправления или требуют отмены рейсов, причем иногда на продолжительный период;
- ограничение летно-технических характеристик самолета (например, полезной нагрузки или дальности полета) из-за повышения температуры;
- затруднения с взлетом и посадкой самолетов, связанные с изменением направления ветра, его силы и повышением температуры;
- турбулентность и увеличение продолжительности полета из-за изменения характера ветра;
- сокращение пропускной способности аэропортов и сбои в сети из-за повышения уровня моря.

### **С. Использование стресс-теста в качестве одной из возможностей для определения потребности в программе вмешательства для обеспечения приемлемого уровня обслуживания в контексте транспортной инфраструктуры в условиях угроз, связанных с изменением климата**

23. Для управления инфраструктурой таким образом, чтобы экономически эффективно минимизировать потенциальное воздействие экстремальных явлений на предоставляемые услуги и тем самым ограничить негативные последствия для человеческой деятельности, управляющим транспортной инфраструктурой необходимо:

а) иметь четкое представление о наборе услуг, предоставляемых инфраструктурой, и осознавать возможности обеспечения ее устойчивости к потенциально разрушительным опасным природным явлениям; и

б) осознавать пути повышения устойчивости транспортной сети, с тем чтобы восполнять недостаточно качественное обслуживание из-за воздействия опасного явления, и предоставлять услуги конкретного уровня во время и после экстремальных явлений, т. е. установить целевые показатели устойчивости.

24. Настоящая схема предусматривает меры по измерению устойчивости транспортных систем в отношении определенной услуги или набора услуг, а также набора целевых показателей устойчивости с использованием стресс-тестов. Эти меры позволят правильно определить недостатки устойчивости и их причины, а также предпринять наиболее эффективные в экономическом отношении шаги для повышения устойчивости до приемлемого уровня.



25. Надлежащие шаги следует предпринимать с использованием итеративного подхода, причем начиная с высокого общего уровня и кончая, при необходимости, детальным низким уровнем. Итерации следует проводить с учетом того, что для более детальных количественных оценок потребуется больше времени и, возможно, более эффективная компьютерная поддержка. При каждой итерации проводятся стресс-тесты.

26. Стресс-тест представляет собой набор из одного или более гипотетических сценариев, призванных содействовать определению того, сможет ли транспортная система и впредь обеспечивать приемлемый уровень обслуживания при воздействии на нее одного или более потенциально разрушительных явлений. Соответствующие сценарии могут быть разработаны на основе предположения о том, что все элементы системы будут находиться в исходных/базовых условиях, либо на предположении о том, что один или более элементов системы будут находиться в условиях, которые хуже исходных/базовых. Например, если необходимо реализовать сценарий стресс-теста, с тем чтобы содействовать выяснению того, будет ли региональная транспортная система оптимально функционировать, если в ближайшем календарном году она подвергнется воздействию годовых дождевых осадков по критерию «один раз в пятьсот лет», то это можно сделать с учетом предположения о том, что система работает так, как было задумано, или с учетом одного или более из следующих сценариев:

a) глубина углубления в результате наводнения [на 25 %] превышает глубину, которая считается типичной для образующихся паводковых вод;

b) механизмы защиты от наводнений могут удерживать [на 25 %] меньше воды, чем то количество, на которое они обычно рассчитаны;

c) число рабочих бригад, которые могут быть задействованы для восстановления поврежденной транспортной инфраструктуры, [на 25 %] меньше, чем обычно планируется для таких ситуаций; или

d) потребность в перевозках в рамках инфраструктуры во время или после соответствующего явления [на 25%] выше, чем обычно бывает в такой ситуации.

27. Уровень устойчивости, считающийся приемлемым, изменяется в зависимости от ситуации. Он зависит от следующего:

- норм, касающихся индивидуального и общественного риска, в соответствии с которыми индивидуальный риск подразумевает распределение риска между потенциально пострадавшими лицами, а общественный риск — соотношение между частотой нанесения определенного уровня ущерба и числом лиц, пострадавших от него (ERM 1998);
- наличия возможностей для повышения устойчивости и затрат, связанных с их реализацией, что аналогично экономически оптимальному уровню риска.

28. Сценарии стресс-тестов следует реализовывать с использованием вначале низкого уровня детализации моделирования, например структурированного экспертного заключения, и затем все возрастающего уровня детализации моделирования, например компьютерного моделирования, до принятия решения о том, какой уровень риска приемлем и какой недопустим. Чем выше уровень детализации моделирования, тем больше времени и усилий требуется для проведения стресс-теста.

29. Поскольку понятие приемлемого уровня риска является субъективным, для принятия решения о том, является ли риск приемлемым, необходим диалог между заинтересованными сторонами для определения совместными усилиями того, что именно следует считать приемлемым уровнем риска. Это определение может варьироваться в случае различных транспортных систем, управляющих активами и регионов.

30. После получения и оценки результатов стресс-тестов может быть принято решение о том, прошла или не прошла система стресс-тесты. Если уровень устойчивости приемлем, то никакого вмешательства не требуется. Если уровень

устойчивости неприемлем, то для его повышения до приемлемого необходимы мероприятия по повышению устойчивости.

31. Вмешательство может быть реализовано в любом элементе системы; например, речь идет о следующем:

- отводе реки, с тем чтобы она не соприкасалась с объектами инфраструктуры во время наводнения;
- укреплении инфраструктуры, с тем чтобы она могла противостоять паводковым водам во время наводнения;
- строительстве второй дороги, с тем чтобы в том случае, если первая дорога размыта паводковыми водами, происходило лишь незначительное нарушение транспортного потока;
- изменении расписания транспортных операций с целью минимизации чрезмерных задержек;
- внедрении систем прогнозирования и оповещения;
- совершенствовании режимов технического обслуживания и контроля;
- принятии метода адаптационного пути или адаптивного управления.

32. Планируемое вмешательство не может требовать использования большего количества ресурсов, чем имеется в наличии, и должно обеспечивать максимальную устойчивость при имеющихся ресурсах.

## **D. Этапы стресс-теста**

### **1. Общие положения**

33. Представленные в настоящем разделе этапы проведения стресс-теста обозначены с учетом того, что в различных ситуациях для принятия решений потребуются разные типы моделей с неодинаковым уровнем детализации. Кроме того, во многих случаях стресс-тесты желательно проводить итеративно. Это соответствует принципам:

- поэтапной работы, например вначале проводится качественный анализ в течение короткого промежутка времени, а затем, при необходимости, количественный анализ в течение более длительного периода;
- работы в формате от более высокого уровня моделирования к более низкому, например первый анализ дает менее подробную информацию, а последующий — более подробную; и
- обдумывания в контексте имеющихся возможностей, например после определения имеющихся возможностей могут проводиться многочисленные стресс-тесты с использованием многих способов их проведения.

### **2. Определение стресс-теста**

34. Этап определения стресс-теста заключается в выяснении того, что именно необходимо проверить, с тем чтобы считать, что существуют приемлемые уровни устойчивости инфраструктуры к воздействию опасных природных явлений или что необходимо запланировать и провести мероприятия по повышению ее устойчивости. Он включает определение [одного или более] сценариев стресс-тестов, которые должны рассматриваться в рамках каждого стресс-теста, и определение приемлемых уровней затрат, связанных с ограничением обслуживания и увеличением степени вмешательства; например, можно говорить о приемлемом уровне устойчивости инфраструктуры к наводнениям, если сценарий дождевых осадков за 100-летний период не свидетельствует о потерях в виде затрат, связанных с восстановлением инфраструктуры и увеличением продолжительности поездки, в размере более 1 % ВВП.

35. Данный этап подразумевает создание предварительного представления об областях и временных рамках анализа сценариев, которые должны рассматриваться в контексте каждого стресс-теста. Это влияет на определение системного представления и требования к проведению стресс-тестов с точки зрения как входных данных, например человеческих ресурсов, так и выходных данных, например точности результатов. Это влияет также на масштабы и степень детализации оценки. Необходимо продумать, на каких уровнях следует проводить стресс-тест. Например, важно ли, чтобы устойчивость к наводнениям и оползням превышала пороговые значения (в этом случае проведение стресс-теста будет соответствовать сценариям наводнения и оползня) или чтобы устойчивость к наводнениям была выше одного из пороговых значений, а устойчивость к оползням была выше другого порогового значения либо чтобы были объединены оба условия (и тогда должны проводиться два отдельных стресс-теста, т. е. по сценарию наводнения и по сценарию оползня).

36. Определение стресс-теста является сложной задачей, поскольку требует от множества заинтересованных сторон изложения их точек зрения по различным вопросам, а также обмена информацией об ожидаемых результатах стресс-теста, которые должны быть получены. Круг заинтересованных сторон зависит от конкретной ситуации, но, скорее всего, речь идет об управляющих инфраструктурой, местных органах самоуправления, политиках, местных администрациях, агентствах по охране окружающей среды, представителях местных органов развития, а также технических экспертах со специализированным представлением о функционировании различных элементов транспортной системы в контексте, например, наводнений, инфраструктуры (в частности, инженеры-конструкторы), транспортных потоков, реконструкции. Например, на данном этапе может решаться вопрос о том, насколько приемлемым считается нарушение движения после реализации сценария по дождевым осадкам по критерию «один раз в пятьсот лет»; приемлемый предел может быть определен путем сложения показателей общей дополнительной продолжительности нахождения в пути и времени, требующегося для восстановления инфраструктуры.

37. Результатом реализации данного этапа служит набор четких вопросов, ответы на которые, получаемые в ходе каждого стресс-теста, позволят либо сделать вывод о приемлемости текущего уровня устойчивости инфраструктуры к опасным природным явлениям, либо, напротив, спланировать и провести мероприятия по повышению устойчивости.

### 3. Определение собственного подхода

38. Этап определения подхода предполагает выяснение следующего:

а) какой тип подхода, например качественный, полуколичественный или количественный, в какой форме и на каком этапе процесса будет использован. Кроме того, в целом качественные подходы сопряжены с меньшими затратами времени, являются более приближительными и носят более целостный характер, а количественные подходы требуют более продолжительного времени, характеризуются большей точностью и используются для исследования конкретных наборов сценариев. При анализе устойчивости вначале следует использовать качественные подходы, а если результаты качественных подходов окажутся неудовлетворительными, то можно провести более глубокий количественный анализ тех элементов системы, в отношении которых требуется большая точность. Повышение уровня детализации при переходе от качественного анализа ко все усложняющемуся количественному анализу также может осуществляться итерационно; например, вначале используются одномерные гидравлические модели для прогнозирования масштабов затопления, а затем, при необходимости и возможности с учетом имеющихся ресурсов, происходит переход к двухмерным или трехмерным моделям;

б) будет ли использоваться компьютерная поддержка и если да, то в какой форме и на каком этапе процесса. В целом чем сложнее количественный подход, тем больше требуется компьютерной поддержки. Требуемая компьютерная поддержка, разумеется, будет зависеть от того, какие элементы системы необходимо исследовать и какой уровень детализации предполагается. Например, если необходимо

использовать компьютерную поддержку для анализа возможности затопления мостов в условиях наводнения, то компьютерные модели должны быть способны имитировать трехмерный поток воды;

с) каков уровень вовлеченности представителей различных групп заинтересованных сторон, в какой форме и на каком этапе процесса. Например, качественный подход может быть реализован путем подготовки аналитической группой различных элементов стресс-теста, а затем — на рабочем совещании с участием всех заинтересованных сторон — путем представления и обсуждения хода анализа и его результатов. После получения ответов от заинтересованных сторон аналитическая группа, при необходимости, может пересмотреть ход и результаты анализа. Число и частота проведения рабочих совещаний, разумеется, зависят от продолжительности реализации проекта и пожеланий заинтересованных сторон. Например, при проведении девятимесячного качественного анализа может быть организовано 5–7 рабочих совещаний продолжительностью по 4 часа каждое. Уместно отметить, что в реальных ситуациях может потребоваться более или менее активное участие различных заинтересованных сторон.

39. На этапе определения подхода также принимаются решения о том, каким образом учитывать устойчивость к многочисленным опасностям, ведь это может оказаться непростой задачей, особенно когда речь идет о кумулятивных значениях и смешанных видах опасности. Например, имеется в виду определение порогов приемлемости в контексте последствий, связанных со стресс-тестом по сценарию одного опасного явления, либо суммарных последствий стресс-теста по сценарию многочисленных опасных явлений. В частности, следует ли увязывать порог приемлемости с более продолжительным пребыванием в пути, обусловленным, например, сценарием круглосуточных дождевых осадков по критерию «один раз в сто лет» и сценарием землетрясения по критерию «один раз в сто лет» отдельно или же следует установить пороговое значение для сценариев, предусматривающих как дождевые осадки, так и землетрясения, и таким образом учитывать их совокупное воздействие на функционирование сети.

#### **4. Определение собственной транспортной системы (инфраструктура, окружающая среда и организация)**

40. Этап определения транспортной системы связан с:

- a) определением как пространственных, так и временных границ системы;
- b) определением явлений, подлежащих учету; и
- c) определением взаимосвязей между явлениями.

41. С учетом принципа работы от высокого уровня моделирования к низкому тип и число рассматриваемых явлений варьируются в зависимости от уровня детализации, требуемого в рамках анализов/модели. Это означает, например, что инфраструктурные явления, которые должны быть учтены при первой итерации процесса, могут быть определены путем моделирования по критерию 10-километрового автодорожного соединения с тремя мостами, четырьмя участками дороги и туннелем, причем каждый из них может либо функционировать, либо не функционировать.

42. При второй итерации процесса учитываемые инфраструктурные явления могут определяться путем моделирования по критерию 10-километрового автодорожного соединения, как и при первой итерации, за исключением разделения каждого из мостов на такие элементы, как колонны, стойки, пролеты и опоры. Этап первоначального определения системного представления, скорее всего, потребует многочисленных итераций. Если стресс-тестирование одной и той же системы проводится несколько раз, например с интервалом в пять лет, то число итераций сокращается, так как требуемый уровень детализации будет известен заранее.

43. Требуются следующие подэтапы: a) определение границ; b) определение явлений; c) определение сценариев; d) определение взаимосвязей; и e) определение моделей. Их описание приведено в последующих разделах.

**a) Определение границ**

44. Этап определения границ сводится к определению системы, которая будет анализироваться/моделироваться, как в пространственном, так и во временном отношении.

*i) Определение рассматриваемой системы*

45. Эта система включает все, что необходимо для выяснения того, существуют ли приемлемые уровни устойчивости к воздействию опасных природных явлений, в том числе в контексте:

- природных условий, например количества дождевых осадков, количества воды в реках;
- физической инфраструктуры, например поведения моста при высоком уровне воды; и
- поведения человека, например схем движения транспорта, когда автомобильный мост перестает функционировать, очередности восстановительных работ.

46. Поскольку систему необходимо рассматривать во временной динамике, полезно учитывать пространственно-временную корреляцию между явлениями и действиями в рамках исследуемого периода времени. Это предусматривает анализ предположений и договоренностей о том, каким образом система будет реагировать в конкретных ситуациях, и изучение каскадных явлений. Следует иметь в виду, что проведение стресс-тестов требует учета результатов реализации всех соответствующих стохастических процессов в рамках исследуемого периода времени. Учет всех значимых стохастических процессов зависит от мнения заинтересованных сторон.

47. Для этого, в свою очередь, требуется построение моделей, которые достаточно хорошо представляли бы эволюцию и взаимодействие опасностей, инфраструктуры и последствий опасных явлений, с тем чтобы иметь адекватное представление о системе и определять риски и эффективность программ вмешательства. Например, сильные дожди в том или ином регионе могут не только привести к повреждению мостов паводковыми водами, но и спровоцировать оползни, которые могут повредить дороги. В этом случае аналитикам предстоит создать соответствующую модель, позволяющую определить, какое количество осадков и за какой период времени может вызвать оползень. Один из вариантов моделирования этих обстоятельств на весьма высоком абстрактном уровне состоит просто в получении экспертного мнения. Другой, еще более сложный способ — это построение количественной модели, позволяющей оценивать устойчивость прилегающих к дороге склонов и, соответственно, вероятность оползня с учетом таких факторов, как количество дождевых осадков за единицу времени, количество воды, находящейся в данное время в почве, механические характеристики грунта и возможное количество испарения, включая колебания температуры с течением времени. Аналитики и заинтересованные стороны должны будут определить уровень детализации, который они сочтут достаточным.

*ii) Пространственные границы*

48. Определение пространственных границ позволяет выяснить, какая часть природной и техногенной окружающей среды подлежит конкретному анализу/моделированию, а также каким образом она должна подразделяться на отдельные элементы. Речь идет о выяснении того, в чем именно заключаются преимущества, где могут происходить соответствующие явления и в чем могут проявиться их последствия.

49. Пространственные границы в системном анализе могут изменяться в зависимости от рассматриваемых элементов, что осложняет применение сценариев стресс-тестов. Эти элементы могут быть ограничены практическими знаниями, и имеющиеся данные при этом могут итеративно обновляться при получении новых знаний или информации. Например, если рассматриваемая инфраструктура может

быть ограничена физическими границами города, то соответствующие данные о дождевых осадках могут поступать из более обширного района водосбора. Определение возможного местонахождения исходных явлений, опасностей и объектов, вызывающих обеспокоенность в контексте общей оценки рисков, является относительно простым делом. Вместе с тем уточнение этих параметров для определения соответствующих сценариев с целью проведения надлежащих стресс-тестов, а именно таких, которые позволяют получить более полное представление об устойчивости системы и в совокупности охватить все аспекты ее устойчивости, представляет более сложную задачу. Это на самом деле требует определения сценариев также для моделирования явлений, которые способны создавать опасность и которые отчасти трудно идентифицировать, так как они происходят за пределами зоны, в которой имеет место воздействие, представляющее интерес. Например, разрушение плотины по верху течения может вызвать наводнение в районе, выходящем за пределы первоначально обозначенной зоны угрозы. Другая существенная проблема, связанная с указанием пространственных границ в сценариях, обусловлена тем, что последствия системных сбоях могут выходить за пределы непосредственной зоны ответственности управляющего. Например, разрушение автомобильного моста в трансъевропейской сети автомагистралей может иметь негативные последствия для свободного потока грузов во многих странах.

*iii) Временные границы*

50. Как и в случае пространственных границ, временные границы различаются в зависимости от анализируемого элемента системы. Определение временных границ позволяет установить период, в течение которого будет проводиться конкретный анализ/конкретное моделирование природной и техногенной окружающей среды, а также способ подразделения этого периода на отдельные элементы. Например, дождевые осадки, которые, как предполагается, выпадут в ближайший год, могут вызвать наводнение, последствия которого будут проявляться в течение последующих двух лет. Кроме того, можно рассмотреть вероятность последовательного «второго» выпадения дождевых осадков в данном временном интервале по критерию «один раз в сто лет» с учетом таких факторов, как переполнение водосборных бассейнов и недостаток времени для ликвидации последствий «первого» выпадения дождевых осадков.

51. Кроме того, система может анализироваться/моделироваться как статическая или динамическая. Когда система анализируется/моделируется как статическая, не учитываются изменения во времени, например рост транспортного потока. Когда она анализируется/моделируется как динамическая, эти изменения учитываются. Решение о том, какой из вариантов использовать, зависит от ситуации. Одним из важных факторов при выборе статического или динамического моделирования системы служит время, необходимое для проведения анализа, так как для динамического моделирования требуется значительно больше времени, чем для статического. Другим важным соображением является динамичность системы, т. е. ожидаются ли в ней изменения в течение рассматриваемого периода времени. Например, если в городской транспортной инфраструктуре необходимо проводить стресс-тест один раз в 10 лет и за эти 10 лет в регионе должна быть построена новая автомагистраль, то это означает, что систему следует моделировать динамически для отражения изменений, происходящих в каждый год этого 10-летнего периода.

52. Данный этап завершается четким определением пространственных и временных границ каждого из элементов анализируемой системы.

**b) Определение явлений**

53. На этапе определения явлений идентифицируются все явления (каскадные и некаскадные), подлежащие анализу/моделированию. В целом эти явления могут группироваться начиная от исходных и кончая общественными. Исходные явления рассматриваются, по крайней мере с точки зрения моделирования, в качестве просто происходящих и инициирующих все последующие явления. Общественные явления связаны с деятельностью человека и, следовательно, могут быть количественно

определены при оценке устойчивости. Они относятся к воздействию факторов стресса на деятельность человека. Все явления, помимо общественных, только предвещают общественные явления и рассматриваются при оценке устойчивости только по критерию их воздействия на деятельность человека, например в контексте ремонта моста или отсутствия возможности проезда.

54. И хотя число рассматриваемых типов явлений может варьироваться в зависимости от конкретного типа проблемы и желаемого уровня детализации анализа/модели, пять основных типов рассматриваемых явлений являются: исходными явлениями, опасными явлениями, инфраструктурными явлениями, сетевыми явлениями и общественными явлениями. Все явления могут быть описаны в пространственной и временной перспективе, причем следует указать меры стимулирования заинтересованности. Речь идет о том, что зоны варьируются от небольших, например обрушение туннеля, до значительных, например нарушение схем движения в Европе. Временные интервалы могут составлять от нескольких минут, например при сходе лавин, до нескольких дней, например при наводнении, и до нескольких месяцев, например при тепловых волнах. Степень интенсивности явлений должна определять значения, представляющие интерес. Число мер, используемых для описания явлений с учетом их интенсивности, зависит от исследуемой проблемы и уровня детализации, требуемого при анализе. Подробная информация приведена в таблице.

55. Необходимая детализация зависит от конкретной проблемы и требуемого уровня детализации. Если исключаются явления какого-либо уровня или полные диапазоны значений показателей интенсивности, то это следует четко указать и задокументировать, так как при последующей оценке риска риск, обусловленный этими явлениями, будет исключен.

56. Данный этап завершается составлением перечня всех явлений, которые должны быть отражены в системном представлении.

### Основные типы явлений

<i>Тип явления</i>	<i>Описание</i>	<i>Примеры</i>	<i>Замечания</i>	<i>Примерные показатели интенсивности</i>
Источник	Явление, которое может создать опасность.	Дождь, снег	Это первое явление в сценарии, которое обусловит общественное явление. Исходное явление может также упоминаться как иницилирующее явление.	Для исходного явления, связанного с выпадением дождевых осадков: выпадение осадков с интенсивностью $x$ и количеством воды в минуту, превышающем у $\text{мм}^2/\text{с}$ в течение более 5 часов.
Опасность	Явление, которое может стимулировать инфраструктурное явление. Опасное явление может указываться также в качестве загружаемого явления.	Наводнение, оползень, снежные лавины	Опасное явление обычно считается связанным с исходным явлением, но иногда моделируется непосредственно в качестве самого исходного явления. Помимо того, что опасное явление обуславливает инфраструктурное явление, оно может привести и к другому опасному явлению, например к спровоцированному землетрясением оползню.	Для опасного явления, связанного с наводнением, уровни воды в местах $a$ , $b$ и $c$ достигают глубины $x$ м в течение $y$ часов, а количество воды за секунду, воздействующей на мост $i$ , превышает $j \text{ м}^3/\text{с}$ .

<i>Тип явления</i>	<i>Описание</i>	<i>Примеры</i>	<i>Замечания</i>	<i>Примерные показатели интенсивности</i>
Инфраструктура	Явление, ассоциируемое с изменением инфраструктуры, которое может привести к изменению характера использования инфраструктуры или изменению поведения человека.	Состояние всех рассматриваемых объектов инфраструктуры в любой момент времени при наводнении	При определении инфраструктурных явлений необходимо учитывать, какой объект инфраструктуры подвергается той или иной опасности, а также вероятное состояние объекта в том случае, если он подвергнется опасности. Это сложная задача, так как во многих случаях могут быть затронуты многие объекты, а результат может квалифицироваться от весьма незначительного, например смещение арматурных стержней моста при землетрясении, до весьма значительного, например обрушение моста.	При обрушении моста повреждения приводят к полному закрытию дороги, закрытию одной полосы движения либо не приводят к закрытию дороги.
Использование сети	Явление, ассоциируемое с изменением характера использования инфраструктуры, которое может привести к изменению поведения человека.	Состояние использования сети после закрытия части сети из-за наводнения	Вероятность этих явлений оценить особенно сложно, поскольку они зависят от пространственно-временной корреляции и физических взаимосвязей между иницирующими явлениями, опасностями и инфраструктурными явлениями. Последние могут привести к каскадным явлениям.	Например, из-за закрытия грузового коридора между Роттердамом и Генуей 50 % грузов перемещается на грузовые автомобили, 40 % грузов перенаправляется по другим железнодорожным маршрутам, а 10 % грузов вообще не доставляется.
Общественные явления	Явление, представляющее собой изменение деятельности человека.	Действия лиц или групп лиц, которые могут быть охарактеризованы определенным значением, в том числе в контексте восстановительных работ после наводнения и увеличения продолжительности и нахождения в поездке для пользователей сети.	Для моделирования действий лиц или групп лиц зачастую полезно разделить их на категории по их общему поведению, которое, в свою очередь, ассоциируется со способами моделирования их поведения. Одни общественные явления могут стимулировать другие общественные явления. Если же они их не стимулируют, то данному явлению необходимо присвоить соответствующее значение. Затем это значение учитывается в оценке риска как одно из следствий.	Суммы, которые управляющий инфраструктурой тратит на реконструкцию  Суммы, которые пользователи тратят в связи с повышением продолжительности поездки  Величина экономического ущерба, связанного с увеличением времени поездки или недоставкой груза

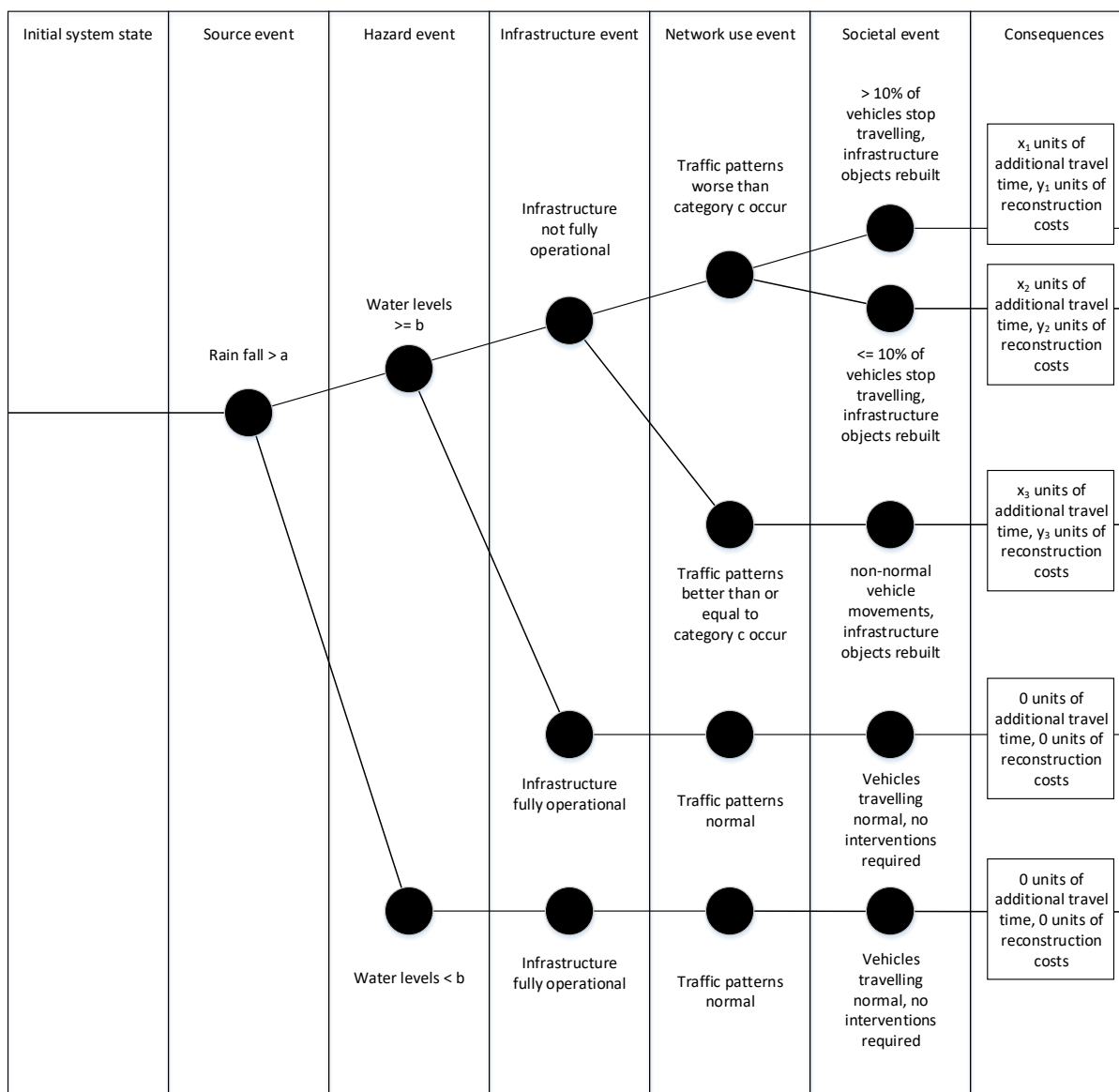


### с) Определение сценариев

57. На этапе определения сценария производится увязывание явлений, причем начиная от исходных и кончая общественными, в виде соответствующей схемы явлений. Весьма простой пример приведен на рис. III. Этот весьма простой пример использован для наглядности, хотя следует осознавать, что схема явлений, требующаяся в большинстве ситуаций, будет характеризоваться значительно большим числом ответвлений и гораздо большим числом подкатегорий событий, чем указано на рис. III. Для подготовки схемы явлений необходимо привести значения показателей интенсивности, обозначенных на этапе определения явлений, которые помогут внести ясность в отношении того, каким образом эти явления считаются связанными. Идентификацию сценариев следует осуществлять на данном этапе без явной оценки вероятности их реализации или определения затрат, связанных с последствиями.

Рис. III

#### Пример простой схемы явлений для определения сценариев (Adey et al. 2016)



58. Для каждого системного представления предусмотрено бесконечное множество сценариев и неограниченное число способов представления этих сценариев, т. е. представления реальной ситуации и вариантов ее развития с течением времени. Особое внимание необходимо уделить выбору надлежащих сценариев, которые должны быть предусмотрены в рамках каждого стресс-теста для проведения анализа,

поскольку набор стресс-тестов должен охватить все аспекты, которые имеют значение для заинтересованных сторон. Важно не допускать ситуаций, в которых по завершении процесса стресс-тестирования заинтересованная сторона осознает, что та или иная опасность, например землетрясение, не учтена ни в одном из проведенных стресс-тестов.

59. Для создания достаточного набора сценариев с целью их учета в различных стресс-тестах целесообразно рассмотреть следующие три возможные отправные точки для разработки сценариев:

- вначале анализируются исходные явления и продумываются возможности воздействия на инфраструктуру, а затем варианты реакции на них населения;
- вначале анализируются общественные явления и продумываются действия в обратном направлении для выяснения поведения инфраструктуры, обуславливающего такие явления; и
- вначале анализируются инфраструктурные явления и продумываются действия в обоих направлениях.

60. Всесторонняя идентификация соответствующих сценариев важна, поскольку сценарии, исключенные на данном этапе, не будут учтены в дальнейшем анализе и могут привести к неверной оценке риска. Для сведения такой вероятности к минимуму важно привлечь к этой работе экспертов в каждой из областей, например климатологов и метеорологов, гидрологов и специалистов по борьбе с наводнениями, инженеров-строителей и инженеров-конструкторов, специалистов по управлению рисками, инженеров-геотехников, специалистов по планированию и организации перевозок, специалистов по управлению дорожным движением, экологов, специалистов по кибербезопасности, специалистов по управлению чрезвычайными ситуациями, социологов и ученых-бихевиористов, экономистов, а также экспертов по правовым и нормативным вопросам.

61. В конечном счете на этом этапе составляется перечень всех сценариев, подлежащих анализу.

#### **d) Определение взаимосвязей**

62. Для оценки вероятности каскадных явлений в сценариях стресс-тестов необходимо разработать модели взаимосвязей между этими явлениями. Например, для определения количества воды, попадающей на мост при наводнении, необходимо создать соответствующую модель, позволяющую понять, каким образом источник воды (дождь) превращается в поверхностный сток и достигает реки. В этой модели может учитываться количество воды, которая просачивается в грунт, испаряется или задерживается во временных сточных прудах. Интенсивность усилий, требующихся для этого, зависит от конкретной проблемы и необходимого уровня детализации. Например, в некоторых случаях для оценки величины ущерба, который может быть нанесен одному конкретному мосту во время наводнения, достаточно использовать кривые хрупкости, построенные на основе экспертных оценок.

63. В других случаях желательно использовать кривые хрупкости по отдельным элементам для оценки величины ущерба, который может быть нанесен большой дамбе во время наводнения, с учетом значительного числа элементов, которые могут выйти из строя. В общем следует приложить дополнительные усилия для достижения большей детализации, когда есть основания считать, что полученные результаты позволят внести дополнительную ясность в процесс принятия решений. Если дополнительную ясность внести нельзя, то лишние усилия прилагать не стоит.

64. Хотя в данном случае и приведены конкретные примеры, общие мысли распространяются на все явления, т. е. исходные, опасные, инфраструктурные, сетевые и общественные. При определении уровня детализации, по возможности, следует учитывать доступность данных для моделирования взаимосвязей. На этом этапе могут быть проведены глубокие исследования отдельных элементов системы, с тем чтобы убедиться в том, что взаимосвязи между явлениями определены с требуемым уровнем точности. Например, могут быть собраны данные о режиме

выпадения дождевых осадков, а также об уровнях воды в реках во время дождей, могут быть проверены мостовые колонны для выявления их реакции на давление воды, могут быть закрыты дороги для наблюдения за схемой движения, которая может быть обусловлена закрытием дорог, и могут быть проведены испытания для определения времени, требующегося для восстановления вышедшей из строя инфраструктуры.

65. Данный этап завершается изложением четкого объяснения взаимосвязей между всеми явлениями.

#### е) Определение моделей

66. После определения границ, явлений, сценариев и взаимосвязей, подлежащих анализу, идентифицируются конкретные модели, которые должны использоваться для оценки устойчивости. Подчеркивается, что выбор моделей необходимо осуществлять с привлечением экспертов в соответствующих областях, с тем чтобы выяснить, какие из этих модели подходят для анализа и каким образом их следует реализовывать.

67. Эти модели могут варьироваться от аппроксимаций на основе заключений экспертов (Devia et al. 2015), например о том, что выпадение дождевых осадков по критерию «один раз в сто лет» приведет к затоплению моста, до простых детерминированных взаимосвязей, указывающих, например, что выпадение 1 мм осадков на водосборной площади приводит к увеличению высоты воды под мостом на 0,5 мм, и до передовых имитационных средств, например трехмерной гидравлической модели водосборной площади (Rong et al. 2020).

68. Определение моделей включает выбор программного обеспечения, например «HEC-RAS» и «Arc GIS», а также оценку необходимых аппаратных средств и вычислительных мощностей, которые предстоит использовать, если потребуется компьютерная поддержка (Adey et al. 2016, Hackl et al. 2018). Данный этап завершается выбором всех моделей и программного обеспечения, необходимых для оценки устойчивости.

### 5. Оценка устойчивости

69. На этапе оценки устойчивости оцениваются и, при желании, агрегируются вероятности каждого из сценариев и значения, которые будут приданы общественным явлениям, связанным с каждым сценарием, если он осуществится. Например, потребуется оценить и, возможно, агрегировать данные о продолжительности нахождения в пути при выпадении дождевых осадков по критериям «один раз в сто лет» и «один раз в пятьсот лет», если речь идет о рассматриваемых сценариях, с использованием вероятности каждого из этих явлений в предстоящем году. Если необходимо использовать несколько показателей обслуживания, например время в пути и ДТП, то оба показателя должны быть оценены по критериям «один раз в сто лет» и «один раз в пятьсот лет» и агрегированы. Кроме того, для объединения этих показателей в рамках единой оценки устойчивости необходимо определить значения продолжительности нахождения в пути и ДТП. Наиболее простым способом определения значения для общественных явлений служит оценка их денежной стоимости, например стоимость единицы потерянного времени составляет 20 евро, а легкой травмы, полученной в результате ДТП, — 100 000 евро. Эти значения зачастую указываются в действующих национальных или европейских нормах и правилах либо в справочных методических материалах, неполный перечень которых приведен ниже; речь идет о:

- Справочнике по внешним издержкам транспорта, Европейская комиссия, 2019 год;
- методическом пособии по оценке транспортных проектов, ГДИТМ, Франция, 2014 год.

70. Данный этап может быть реализован как при компьютерной поддержке, так и без нее, т. е. с использованием количественного или качественного подхода, который, разумеется, также может характеризоваться различной степенью детализации в зависимости от конкретной проблемы, имеющихся данных, информации и ресурсов. Например, при компьютерной поддержке можно смоделировать сокращение объема обслуживания, в частности продолжительность нахождения в пути, в случае выпадения дождевых осадков по критерию «один раз в сто лет», например до 1 000 000 часов, а затем умножить это значение на стоимость единицы потерянного времени, составляющую 20 евро в час. Без компьютерной поддержки к экспертам будет обращен вопрос о том, каким, по их мнению, будет сокращение объема обслуживания при выпадении дождевых осадков по критерию «один раз в сто лет», и затем этот показатель будет умножен на стоимость единицы потерянного времени, составляющую 20 евро в час. Для обобщения мнений экспертов могут использоваться такие методы, как Дельфи.

71. Особое внимание необходимо уделить тому, насколько точно можно оценить как вероятность реализации, так и последствия каждого из сценариев. Рекомендуется изучить чувствительность этих значений к моделированию предположений и учесть данное обстоятельство при толковании/оценке результатов. Показателями чувствительности этих значений являются:

- расхождение мнений экспертов;
- доступность информации;
- качество информации;
- уровень знаний лиц, проводящих анализ рисков; и
- ограниченность используемых моделей.

72. Параметры, варьирующиеся при анализе чувствительности, должны наиболее существенным образом влиять на показатели устойчивости.

73. Данный этап завершается оценкой устойчивости транспортной системы к стресс-тесту.

## 6. Оценка устойчивости

74. На этапе оценки устойчивости выясняется, какое значение имеет оцененная устойчивость для заинтересованных сторон. Это делается независимо от типа используемого подхода, а именно: качественного, полуквантитативного или количественного.

75. Значительная доля этой оценки приходится на выяснение того, каким образом заинтересованные стороны воспринимают риски, и на учет этих переоценок или недооценок в контексте точки зрения аналитика, используемой на этапе оценки устойчивости. Вместе с тем, с другой стороны, она нацелена на отход от анализа и переосмысление того, все ли важные элементы были смоделированы в достаточной мере. Поскольку системы никогда не моделируются идеально, может случиться так, что после этого этапа директивный орган примет решение, которое не соответствует результату стресс-теста. Однако подобные отклонения следует разъяснять. В этом случае, возможно, имеет смысл попытаться провести стресс-тест еще раз, усовершенствовав модель, используемую для транспортной системы.

76. На данном этапе принимаются решения о том, насколько удовлетворительно проведен стресс-тест, и анализируются адекватность определения стресс-теста, использованный подход, системное представление и сама оценка устойчивости. Данный этап завершается принятием одного из следующих решений:

- a) стресс-тест проведен удовлетворительным образом, уровни устойчивости приемлемы (стресс-тест пройден);
- b) стресс-тест проведен удовлетворительным образом, но уровни устойчивости неприемлемы (стресс-тест не пройден);

с) стресс-тест не был проведен удовлетворительным образом (стресс-тест пройден условно или не пройден вообще, и требуется дополнительный анализ).

77. Если решено, что стресс-тест не был проведен удовлетворительным образом, то это означает, что он не был проведен с такой степенью детализации или так, чтобы можно было сделать вывод о том, являются ли уровни устойчивости приемлемыми. Это может произойти из-за того, что система или ее элементы были смоделированы недостаточно детально, или из-за слишком высокой степени неопределенности в связи с использованными моделями.

78. Если стресс-тест не был проведен удовлетворительным образом, то необходимо определить элементы системы, подлежащие более детальному анализу. Если стресс-тест либо пройден условно, либо не пройден вообще, то можно разработать программу вмешательства, т. е. определить мероприятия по повышению устойчивости, которые должны быть проведены в ближайшее время. Если стресс-тест пройден, то никаких мероприятий по повышению устойчивости проводить не следует.

## **7. Определение элементов системы, подлежащих более детальному анализу**

79. На данном этапе определяются те элементы системы, которые должны быть проанализированы более детально при последующей итерации, если таковая проводится. Выбираются элементы, которые, скорее всего, позволят в наибольшей степени снизить неопределенность при оценке устойчивости. При этом не следует выбирать только те элементы системы, в контексте которых предполагается, что снижение неопределенности будет способствовать повышению устойчивости и позволит пройти стресс-тест, т. е. не следует пренебрегать аспектами снижения неопределенности, которая может способствовать снижению устойчивости. Во избежание предпочтительного выбора элементов системы необходимо выявить неопределенности, связанные с каждым из ее элементов. Во многих случаях для этого используется экспертное заключение. Например, существует высокая степень неопределенности в отношении дождевых осадков и схем движения, которые могут быть обусловлены разрушением моста, и в то же время низкая степень неопределенности в отношении того, как поведет себя мост под воздействием на него потока воды с интенсивностью в  $x$  м<sup>3</sup>/с и сколько времени потребуется для его восстановления после разрушения.

80. Следует составить перечень способов снижения степени этой неопределенности с указанием их вероятных преимуществ и затрат, связанных с их применением. В этот перечень возможностей следует включить проведение углубленных исследований по отдельным элементам системы, например с использованием нагрузочных испытаний мостов и более детальных имитационных моделей наводнений. Затем можно определить элементы системы, подлежащие более детальному анализу с учетом имеющихся ресурсов, включая возможные усилия и временные рамки. Если ресурсы ограничены, то более детальному анализу следует подвергать те элементы системы, которые при имеющихся ресурсах позволят в наибольшей степени снизить степень неопределенности.

## **Е. Тематические исследования**

81. Настоящий раздел должен содержать информацию о проектах, связанных с применением системы стресс-тестирования.

## **Г. Дополнительные рекомендации**

82. В настоящем разделе могут быть охарактеризованы рекомендации/уроки, извлеченные из реализации конкретных тематических исследований. Он также должен содержать информацию о проектах, связанных с применением системы стресс-тестирования.

## G. Справочные материалы

- Adey, B.T., Hackl, J., Lam, J.C., van Gelder, P., van Erp, N., Prak, P., Heitzler, M., Iosifescu, I., Hurni, L., 2016, Ensuring acceptable levels of infrastructure related risks due to natural hazards with emphasis on stress tests, 1st International Symposium on Infrastructure Asset Management (SIAM), Kyoto, Japan, January 21-22, DOI: 10.3929/ethz-b-000114177.
- BSI (British Standards Institution). 2021. Adaptation to climate change - Using adaptation pathways for decision making (BS 8631).
- Budd, L.C.S., and T.J. Ryley. 2012. Chapter 3. An international dimension: Aviation. In Ryley, T.J., and Chapman L. eds. Transport and Climate Change. Emerald, Bingley, UK.
- Burbidge, R. 2018. Adapting aviation to a changing climate: Key priorities for action. *Journal of Air Transport Management*, 71, 167-174.
- Carbone 4. 2021. Net Zero Initiative 2020-2021 Final Report. France.
- Chinowsky, P., J. Helmen, S. Gulati, J. Neumann, J. Martinich. 2019. Impacts of climate change on operation of the US rail network. *Transport Pol.*, 75, 183–191, doi: 10.1016/j.tranpol.2017.05.007.
- Devia, G. K., B. P. Ganasri, and G. S. Dwarakish. 2015. “A Review on Hydrological Models.” *Aquat. Procedia*, 4: 1001–1007. <https://doi.org/10.1016/J.AQPRO.2015.02.126>.
- ERM. 1998. “Landslides and boulder falls from natural terrain: interim risk guidelines. GEO Report No. 75.” Geotechnical Engineering Office.
- Espinet, X., A. Schweikert, N. van den Heever, P. Chinowsky. 2016. Planning resilient roads for the future environment and climate change: quantifying the vulnerability of the primary transport infrastructure system in Mexico. *Transport Pol.*, 50 (2016), pp. 78-86, 10.1016/j.tranpol.2016.06.003.
- Fang, Z., P.T. Freeman, C.B. Field and K.J. Mach, 2018. Reduced sea ice protection period increases storm exposure in Kivalina, Alaska. *Arct. Sci.*, 4(4), 525–537, doi:10.1139/as-2017-0024.
- Forzieri, G., A. Bianchi, F. Silva, M. Herrera, A. Leblois, C. Lavallo, J. Aerts, L. Feyen. 2018. Escalating impacts of climate extremes on critical infrastructures in Europe. *Global Environmental Change*, 48, 97–107, doi: 10.1016/j.gloenvcha.2017.11.007.
- Gratton, G., Williams, P., Padhra, A., and S. Rapsomanikis. 2022. Reviewing the impacts of climate change on air transport operations. *The Aeronautical Journal*. 126(1295): 209-221. doi:10.1017/aer.2021.109.
- Hackl, J., J. C. Lam, M. Heitzler, B. T. Adey, and L. Hurni. 2018. “Estimating network related risks: A methodology and an application in the transport sector.” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 18: 2273–2293. <https://doi.org/https://doi.org/10.5194/nhess-18-2273-2018>
- IEA (International Energy Agency). Global line kilometers of conventional rail, 2000-2018, IEA, Paris. Accessed Jan 22, 2023. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-line-kilometers-of-conventional-rail-2000-2018>, IEA. Licence: CC BY 4.0.
- IPCC AR6 (International Panel on Climate Change Sixth Assessment Report) 2022. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability.
- ISO. 2019. Adaptation to climate change — Principles, requirements and guidelines (ISO 14090:2019).
- ISO. 2021. Adaptation to climate change — Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment (ISO 14091:2021).

- Markolf, S. A., C. Hoehne, A. Fraser, M. V. Chester, and B. S. Underwood. 2019. "Transportation resilience to climate change and extreme weather events – Beyond risk and robustness." *Transp. Policy*, 74: 174–186. Pergamon. <https://doi.org/10.1016/J.TRANPOL.2018.11.003>.
- Melvin, A.M., et al., 2017. Climate change damages to Alaska public infrastructure and the economics of proactive adaptation. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 114(2), E122–E131, doi:10.1073/pnas.1611056113.
- Monioudi, I.N., et al., 2018. Climate change impacts on critical international transportation assets of Caribbean Small Island Developing States (SIDS): The case of Jamaica and Saint Lucia. *Reg Environ Change*, 18(8), 22112225, doi:10.1007/s10113-018-1360-4.
- Neumann, J.E., Chinowsky, P., Helman, J. et al. Climate effects on US infrastructure: the economics of adaptation for rail, roads, and coastal development. *Climatic Change* 167, 44 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03179-w>.
- Palin, E.J., Stipanovic Oslakovic, I., Gavin, K. and Quinn, A., 2021. Implications of climate change for railway infrastructure. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 12(5), p.e728.
- PIANC (World Association for Waterborne Transport Infrastructure). 2020A. Resilience of the Maritime and Inland Waterborne Transport System. PIANC Report Number 193. <https://www.pianc.org>.
- PIANC (World Association for Waterborne Transport Infrastructure). 2020B. Climate Change Adaptation Planning for Ports and Inland Waterways. PIANC Report Number 178. <https://www.pianc.org>.
- PIARC (World Road Association). 2015. International climate change adaptation framework for road infrastructure.
- Rong, Y., T. Zhang, Y. Zheng, C. Hu, L. Peng, and P. Feng. 2020. "Three-dimensional urban flood inundation simulation based on digital aerial photogrammetry." *J. Hydrol.*, 584: 124308. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2019.124308>.
- Ryley, T, Baumeister, S and Coulter, L. 2020. Climate change influences on aviation: A literature review. *Transport Policy*, 92. pp. 55-64. ISSN 0967-070X [orcid.org/0000-0002-8072-2534](https://orcid.org/0000-0002-8072-2534).
- Schweikert, A, Chinowsky, P., Kwiatkowski, K., and X. Espinet. 2014. The infrastructure planning support system: analyzing the impact of climate change on road infrastructure and development. *Transport Pol.*, 35 (2014), pp. 146-153, 10.1016/j.tranpol.2014.05.019.
- Spirre Clark, S., Cheseter, M.V., and T.P. Seager. 2018. The vulnerability of interdependent urban infrastructure systems to climate change: could Phoenix experience a Katrina of extreme heat? *Sustainable and Resilient Infrastructure* 10.1080/23789689.2018.1448668
- Storlazzi, C.D., et al., 2018. Most atolls will be uninhabitable by the mid-21st century because of sea-level rise exacerbating wave-driven flooding. *Sci. Adv.*, 4(4), eaap9741, doi:10.1126/sciadv.aap9741.
- Suarez, P., W. Anderson, V. Mahal, T.R. Lakshmann. 2005. Impacts of flooding and climate change on urban transportation: a systemwide performance assessment of the Boston Metro Area. *Transport. Res. Part D*, 10 (2005), pp. 231-244, 10.1016/j.trd.2005.04.007.
- Twerefou, D.K., Adjei-Mantey, K. and Strzepek, N.L., 2014. The economic impact of climate change on road infrastructure in sub-Saharan Africa countries: evidence from Ghana (No. 2014/032). WIDER Working Paper.
- UIC (International Union of Railways). 2017. RAIL ADAPT Adapting the railway for the future.

- UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development). 2022. UNCTAD Handbook of Statistics. Available at <https://unctadstat.unctad.org/EN/Index.html> (accessed 22 January 2023).
- UNECE. 2020. Climate Change Impacts and Adaptation for Transport Networks and Nodes. Geneva.
- USDOT (U.S. Department of Education). 2021. Climate Action Plan - Revitalizing Efforts to Bolster Adaptation and Increase Resilience. Office of the Secretary of Transportation. Washington, DC. [https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/2021-10/Climate\\_Action\\_Plan.pdf](https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/2021-10/Climate_Action_Plan.pdf).
- USGCRP (U.S. Global Change Research Programs Fourth National Climate Assessment). 2018. Impacts, Risks, and Adaptation in the United States: Fourth National Climate Assessment, Volume II [Reidmiller, D.R., C.W. Avery, D.R. Easterling, K.E. Kunkel, K.L.M. Lewis, T.K. Maycock, and B.C. Stewart (eds.)]. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA, 1515 pp. doi: 10.7930/NCA4.2018.
- Vajjarapu, H., Verma, A., and A. Hemanthini. 2020. Evaluating climate change adaptation policies for urban transportation in India. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Volume 47. 101528, ISSN 2212-4209, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101528>.
- Van Houtven, G., Gallaher, M., Woollacott, J., Decker, E., 2022. Act Now or Pay Later: The Costs of Climate Inaction for Ports and Shipping. Environmental Defense Fund and RTI International. <https://www.edf.org/sites/default/files/press-releases/RTI-EDF%20Act%20Now%20or%20Pay%20Later%20Climate%20Impact%20Shipping.pdf>.
- WEF (World Economic Forum). 2019. "The Global Risks Report 2019", 14th Edition, World Economic Forum Geneva, ISBN: 978-1-944835-15-6.
- Wright, K.M. C. Hogan. 2008. The Potential Impacts of Global Sea Level Rise on Transportation Infrastructure. ICF International, Washington, D.C. (2008).
- Yesudian, A. N., and R. J. Dawson. 2021. "Global analysis of sea level rise risk to airports." *Clim. Risk Manag.* 31, <https://doi.org/10.1016/J.CRM.2020.100266>.
-