

ФОРСАЙТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
РАЗВИТИЯ ХОЛДИНГА «РЖД»

Иннопрактика

РЖД

ЦЕНТР  
СТРАТЕГИЧЕСКИХ  
РАЗРАБОТОК  
СЕВЕРО-ЗАПАД

# РЖД 2050

## ВЗГЛЯД ЗА ГОРИЗОНТ



# РЖД 2050

## ВЗГЛЯД ЗА ГОРИЗОНТ

РЖД 2050: взгляд за горизонт / Под ред. В.В. Сараева. –  
Москва: Иннопрактика, 2021. – 118 с.

Настоящий доклад основан на результатах масштабного исследования «Форсайт научно-технологического развития холдинга «РЖД» до 2050 года», проведенного компанией «Иннопрактика» при участии Фонда «ЦСР «Северо-Запад». Цель работы – определение долгосрочных приоритетов научно-технологического развития холдинга. В исследовании приняло участие более 200 экспертов, его результаты были верифицированы и дополнены на стратегических сессиях с руководством ОАО «РЖД».



# Оглавление

Образ будущего: вместо введения .....	6
Холдинг «РЖД» в 2050 году .....	18
1. Социально-экономический контекст .....	26
2. Трансформация транспортного рынка .....	38
3. Цифровые технологии.....	50
4. Новые виды транспорта .....	66
5. Технологическое развитие энергетики .....	78
6. Новые материалы для железнодорожного транспорта .....	90
7. Подрывные технологии .....	98
8. Технологическое развитие железнодорожного транспорта .....	104



## СЕРГЕЙ КОБЗЕВ, первый заместитель генерального директора ОАО «РЖД»



На протяжении нескольких десятилетий железнодорожный транспорт развивался эволюционно и практически незаметно для стороннего наблюдателя. Но за это время был накоплен огромный потенциал изменений, которые могут быть обеспечены новыми технологиями из ИТ, энергетики, материаловедения. И эти изменения сейчас крайне востребованы.

Перед холдингом «РЖД» стоит ряд серьезных вызовов. Сейчас мы столкнулись с ростом требований к экологичности перевозок, в том числе к снижению углеродного следа, с трансформацией транспортного рынка и его захвату платформами мультимодальных перевозок. В среднесрочной перспективе нам грозят падение традиционной грузовой базы и жесткая конкуренция с новыми видами транспорта за наиболее лакомую часть оставшегося грузопотока. Но среди вызовов есть и те, которые открывают новые возможности, например, связанные с ростом спроса на транзитные перевозки и развитием транспортных систем мегаполисов.

Для того чтобы ответить на все эти вызовы, компании необходимо первоочередное внимание уделять технологическому лидерству, активному внедрению инновационных решений. При этом ОАО «РЖД» должно быть не только компанией, формирующей отраслевые стандарты, но и активным участником разработки и апробации новых решений.

Форсайт дал нам возможность существенно расширить временной горизонт рассмотрения технологического развития, выявил темы, которые требуют дальнейшего углубленного анализа и формирования планов научно-технических работ. Долгосрочный взгляд необходим для формирования технологических заделов мирового уровня. Их наличие особенно важно для компании, которая не только формирует заказ в крайне капиталоемкой отрасли и определяет ее технологический облик, но и решает стратегические инфраструктурные задачи России, реализуя масштабные проекты.

Конечно, не все прогнозы сбываются, но главное – процесс прогнозирования, который позволяет всегда быть на шаг впереди остальных, быстрее всех адаптироваться под меняющиеся условия. Поэтому этот доклад — не точка, а начало пути. В дальнейшей работе в рамках форсайта нам предстоит детализировать целевой образ компании и отрасли, более активно включать ключевых игроков в его выработку, поиск перспективных решений и их совместное развитие.

## НАТАЛЬЯ ПОПОВА, первый заместитель генерального директора «Иннопрактики»



«Иннопрактика» на протяжении многих лет помогает российским компаниям в их инновационном развитии, и ОАО «РЖД» — одна из важнейших для нас точек приложения усилий. Новые технологии могут не только повысить операционную эффективность ключевой транспортной инфраструктуры страны, но и помочь нашему партнеру расширить спектр предоставляемых услуг, выйти на новые рынки, выполнить важные государственные задачи.

В работе над форсайтом научно-технологического развития холдинга «РЖД» приняло участие более 200 экспертов, включая представителей ключевых игроков отрасли. Был выполнен анализ большого пула стратегических и программных документов, прогнозов научно-технологического развития компаний-аналогов и транспортных рынков, проведен ряд форсайт-сессий, а также две стратегические сессии с участием руководства ОАО «РЖД». Интересным инструментом стала «панель гениев» — работа с выдающимися российскими экспертами, обладающими междисциплинарным видением и смелостью заглядывать на несколько десятков лет вперед.

Основной особенностью нашего подхода стала попытка выйти за пределы узкоотраслевого представления, взглянуть более широко на перспективы транспортного рынка, учесть развитие технологий, трансформацию экономики и общества и найти наиболее эффективные траектории развития для холдинга «РЖД», позволяющие ему нарастить свои долгосрочные конкурентные преимущества.

Холдинг «РЖД» — один из немногих крупных российских холдингов, использующих форсайт, поэтому тот опыт, который был получен в ходе этой работы, особо ценен и может быть востребован в других отраслях, для которых холдинг «РЖД» может выступить примером.



## Форсайт научно-технологического развития холдинга «РЖД» до 2050 года

**Руководитель исследования:** Сараев Виталий Валерьевич

### Авторский коллектив:

Аларичева Марина Андреевна	Матвеева Виктория Станиславовна
Архипов Дмитрий Геннадьевич	Медовников Дан Станиславович
Багин Александр Михайлович	Механик Александр Григорьевич, к.т.н.
Белошицкий Алексей Валерьевич	Оганесян Тигран Камович
Васеев Илья Евгеньевич	Палаткина Елена Викторовна
Васильев Иван Павлович	Полин Павел Александрович
Вербов Дмитрий Михайлович, к.э.н.	Пургин Александр Сергеевич
Вересов Александр Генрихович, к.х.н.	Раков Дмитрий Александрович
Виньков Андрей Александрович	Розмирович Станислав Дмитриевич
Годунова Елизавета Александровна	Рыцарева Елена Константиновна
Ермолаев Кирилл Андреевич, к.э.н.	Рычев Михаил Викторович, к.ф.-м.н.
Имамутдинов Ирик Нутфуллович	Санатов Дмитрий Васильевич
Ионов Денис Александрович, к.т.н.	Сараев Виталий Валерьевич, к.э.н.
Карасев Олег Игоревич, к.э.н.	Скляр Лилия Владимировна
Княгинин Владимир Николаевич, к.ю.н.	Степанов Александр Константинович
Костина Галина Александровна	Тибина Елена Юрьевна
Красногорская Анастасия Дмитриевна	Тростьянский Сергей Сергеевич
Кречетова Надежда Федоровна	Тулупов Андрей Викторович
Ласкина Ирина Ивановна	Хазбиев Алексей Русланович
Лакеев Владимир Георгиевич	Харитонов Михаил Алексеевич
Липецкая Марина Сергеевна, к.г.н.	Ходырева Марина Владимировна
Лихачёв Алексей Александрович	Чаусов Игорь Сергеевич
Любомирова Екатерина Сергеевна	Шитов Егор Александрович
Лятс Валентина Кирилловна	Шитова Юлия Александровна
Малахо Артем Петрович, к.х.н.	

### Использованные сокращения

АТР	Азиатско-Тихоокеанский регион
БРИКС	Бразилия, Россия, Индия, КНР, ЮАР
ВВП	внутренний валовой продукт
ВИЭ	возобновляемые источники энергии
ВПК	военно-промышленный комплекс
ВРЭП	Всеобъемлющее региональное экономическое партнерство
ВСМ	высокоскоростная магистраль
ДВС	двигатель внутреннего сгорания
долл.	доллар США
ЕС	Европейский союз
ИИ	искусственный интеллект
ИКТ	информационно-коммуникационные технологии
ИПЕМ	Институт проблем естественных монополий
МВФ	Мировой валютный фонд
МЭА	Международное энергетическое агентство
ООН	Организация объединенных наций
ОСЭР	Организация экономического сотрудничества и развития
ПЭБОТ	промышленная и экологическая безопасность, охрана труда
СНГ	Содружество Независимых Государств
УВД	управление воздушным движением
API	программный интерфейс приложения (application programming interface)
ESG	экологическое, социальное и корпоративное управление

# ОБРАЗ БУДУЩЕГО

Виталий Сараев



**Р**азвитие транспорта нельзя рассматривать в отрыве от общества, потребности которого он обслуживает. А оно быстро меняется. 30 лет – большой срок, но будущее не появляется одновременно. Оно проявляется постепенно, пятнами и слабыми сигналами. И контуры 2050 г. во многом можно оценить уже сегодня.

Человечество станет взрослее и богаче. Одним из следствий станет рост ценности человеческой жизни. Уменьшится количество войн, а сами они будут вестись преимущественно без кровопролития – в киберпространстве или посредством боевой робототехники.

Мы все больше будем ценить безопасность – настолько, что променяем на нее остатки приватности. ИИ уже давно используется для решения вопросов, связанных с нашей жизнью: дать или не дать кредит, выпустить из тюрьмы или лишить свободы. Дальнейшее расширение сферы его применения выглядит заманчиво – оно позволит укротить энтропию человеческого общества, заставить нас жить по четким правилам, желать того, что нужно, и вести себя так, как положено. Радикально снизится преступность, в том числе коррупция. Тотальная онлайн- и офлайн-слежка, дополненная искусственным интеллектом, почти лишит шанса остаться неувиденным и безнаказанным. Однако далеко не всем может оказаться по душе «цифровой тоталитаризм», что приведет к столкновению его сторонников и противников.

В то же время всеобщая прозрачность – когда все будут знать все обо всех – расширит рамки «нормального», ускорит рост толерантности, инклюзивности и видимого разнообразия в обществе. Повзрослевшему к 2050 г. поколению «зумеров» не придется учиться толерантности – оно уже впитывает ее.

Люди продолжают стягиваться в города, крупнейшие из которых будут превращаться в гигантские агломерации. Будет нарастать и обратный процесс – бегство людей за город в более комфортную среду, чему помогут переход к удаленной работе и развитие сервисов доставки. Однако он не сможет компенсировать масштабную урбанизацию и будет направлен в основном в окрест-



ности крупных городов, а глухая провинция еще больше обезлюдит.

В XX веке сначала механизация, а затем роботизация избавили значительную часть человечества от тяжелого и монотонного физического труда. Новая волна автоматизации даст новую волну спасения от рутинного труда, на этот раз интеллектуального. Но она заставит выбирать: пытаться сохранить конкурентоспособность экономики или поддерживать низкую безработицу. Первыми под удар попадут наиболее массовые профессии: водители,

продавцы, охранники. Но с небольшим лагом автоматизация настигнет и большую часть «офисных» профессий, связанных с рутинным интеллектуальным трудом: от бухгалтеров до программистов. Вопреки стереотипам во многом будет автоматизирован и творческий труд – написание музыки, картин, стихов.

Новая экономика будет создавать рабочие места прежде всего в сфере услуг, в том числе в индустрии ухода, особенно актуальной для стремительно стареющего общества. Однако их количества будет

недостаточно, чтобы нивелировать нарастающую безработицу. Усугубляться она будет структурным несопадением – не каждый монтер пути будет готов перековаться в мастера маникюра или сиделку в доме престарелых.

Еще одним тяжелым ударом по рабочим местам может стать рост популярности осознанного потребления. Его проникновению из развитых стран в развивающиеся и из прогрессивных страт общества в широкие будет способствовать не только культурное давление, но и политика климатического регу-

лирования, ведущая к существенной инфляции издержек. Осознанность и умеренность могут сломать привычную «машинку экономического роста», основанную на стимулировании безудержного потребления. Мир, в котором завтра лучше, чем сегодня, сменится миром, в котором завтра не так жарко, как могло бы стать. Отразится это и на транспорте, особенно не успевшем достичь углеродной нейтральности.

Недовольство массовой безработицей, вызванной масштабной волной автоматизации, недоверие к ИИ, применяемому для контроля и управления в общественной и бизнес-сфере, пресыщение цифровыми технологиями и страх перед «цифровым тоталитаризмом» могут вызвать резкий рост неолуддизма. Это приведет к торможению цифровизации, введению дестимулирующих автоматизацию налогов, квотированию рабочих мест для людей.

Абсорбировать «лишнее» время людей отчасти сможет увеличение продолжительности образования, а также цифровые развлечения, включая компьютерные игры и виртуальную реальность. Однако останется проблема обеспечения прожиточного минимума обществу безработных и уменьшения социального неравенства. Это приведет к увеличению роли государства в перераспределении ресурсов общества, а одним из решений может стать введение безусловного базового дохода.

Запрос на справедливость может стать особо острым в развивающихся странах, когда их население поймет, что из-за вводимых ограничений и удорожания ресурсов никогда не сможет достичь уровня жизни стран первого мира. Бунт стран против климатического регулирования может привести к санкционным войнам и появлению стран и регионов, изолированных от международной торговли. Это только усилит наметившуюся регионализацию мира.

Россия, благодаря своему географическому положению, от изменений климата пострадает менее, чем многие другие страны, что сделает ее привлекательной целью для климатических мигрантов. А вот вводимые по всему миру ограничения могут иметь куда большие последствия: Россия вынужденно слезет с тающей нефтяной иглы, но водо-

родный шланг сможет заменить ее лишь отчасти. Стране придется искать новую жизненно необходимую стратегию роста.

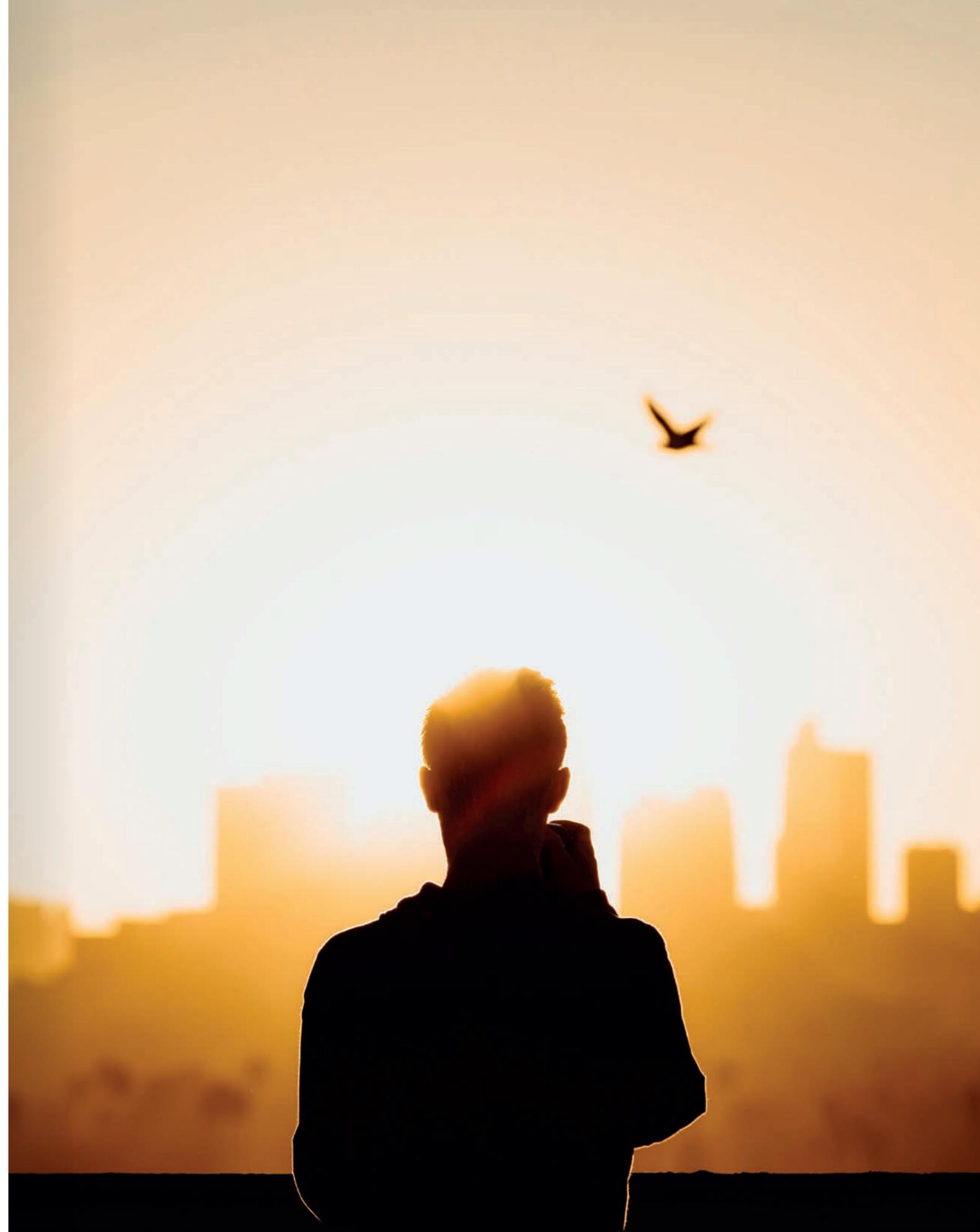
Общество будет переосмысливать этику. Параллельно росту толерантности будут нарастать требования к бизнесу и государству, особенно в части заботы об экологии и социальной справедливости. Стандарты ESG станут императивом.

Отдельным вызовом станут вопросы, задаваемые развитием технологий. Приемлемо ли для спасения людей выращивать клонов на органы? Можно ли на основании предиктивной аналитики накладывать на людей ограничения за еще не совершенные преступления? Каковы границы частного при чтении мыслей через нейроинтерфейсы? Какими правами может обладать ИИ? Можно ли заключать браки с роботами? Может ли ИИ быть врачом, судьей, полицейским, высокопоставленным чиновником? Нужно ли искусственно ограничивать продолжительность жизни людей?

Технологии могут озадачить общество не только этическими вопросами. В последние десятилетия развитие науки и появление инноваций были большей частью предсказуемы, безопасны и даже скучноваты. Особенно для публики, разогретой научной и не очень фантастикой, технооптимизмом медиа и стартапов. Однако накопленный за это время в науке потенциал может быть быстро реализован, что вернет внимание к ней, причем не всегда основанное на радующих поводах.

Неконтролируемое распространение генетического модифицирования человека может привести к началу формирования генетических элит и обострению социальных отношений. Вкупе с появлением новых опасных вирусов и микроорганизмов, созданных в результате биоинженерных экспериментов, это может спровоцировать мощный антисциентизм и введение ограничений в отношении большого сектора научных исследований.

Мир будущего будет комфортен, предсказуем и безопасен, но довольно хрупок. Его функционирование будет критично зависеть от устойчивости цифровых решений и каналов связи. А кибертерроризм станет большей угрозой, чем традиционные войны.



# ДОЛГОСРОЧНЫЕ ТРЕНДЫ

## МИР И ЭКОНОМИКА

- Следующие 30 лет будут связаны с ростом новых центров экономической силы. Крупнейшими экономиками мира станут Китай и Индия, также существенным образом вырастет доля в мировой экономике стран Африки и Латинской Америки. Это вызовет появление новых долгосрочных политико-экономических союзов и изменения в регулировании международной торговли. Все это поменяет распределение производства и направления товарных потоков.
- Производство товаров будет смещаться в центры потребления. Параллельно с возвратом промышленности в крупнейшие центры потребления – ЕС и США – будут сменяться зоны аутсорсинга для них: альтернативой Китаю выступят Южная Америка, Африка, Ближний Восток. Китай, в свою очередь, будет собирать производственные рынки вокруг себя.
- Локализация производства будет происходить не только на макроуровне, но и на местном, чему будет способствовать развитие новых форматов производства.
- Цифровизация экономики увеличит значимость данных и сделает их инструментом монополизации рынков.
- Введение углеродных налогов будет способствовать изменениям транспортных потоков. Их могут усилить также климатические санкционные войны.
- Ужесточение климатического регулирования будет вести после 2030 г. к падению спроса на углеродное сырье в мире.
- Для России 2020-е гг. станут периодом роста неопределенности. Однако в силу высокой инерции до 2030 г. основа российской экономики останется прежней, хотя география экспорта изменится, в том числе по причине изменения структуры потребления энергоресурсов в крупнейших странах-потребителях и освоения новых месторождений ископаемого топлива в Южной Америке и Африке. После 2030 г. падение спроса на российские энергоресурсы заставит государство искать новые источники роста экономики, и ее дальнейшее развитие будет зависеть от выбранной стратегии.

## НАСЕЛЕНИЕ

- Для России в ближайшие 30 лет будут характерны урбанизация, сокращение естественного прироста населения и его старение. В этих условиях привлечение иностранных мигрантов может стать способом поддержания численности населения страны. Их поток может быть обеспечен в том числе за счет климатических мигрантов.
- К 2050 г. население планеты достигнет отметки в 9,7 млрд чел. Основная часть прироста придется на страны Африки, а также Пакистан и Индонезию.
- Рост численности населения в мире будет сопровождаться его старением, продолжением урбанизации и сверхконцентрацией людей в крупнейших мегаполисах.
- Рост доли удаленной работы будет уменьшать маятниковую миграцию.



## ТРАНСПОРТ

- Развитие беспилотного автомобильного транспорта приведет к росту конкуренции между авто- и железнодорожным транспортом на маршрутах от 1000 до 1500 км, особенно – для высокомаржинальных «сборных» грузов. Высока угроза, что в грузоперевозках конкурентоспособность железнодорожного транспорта сохранится только на сверхдальних дистанциях и для традиционных крупнотоннажных грузов (уголь, зерно, лес, руда, стройматериалы).
- Перевод автомобильного транспорта на электричество и водород в качестве источников энергии лишит железные дороги преимущества более экологичного вида транспорта.
- Кастомизация товаров и принятие в качестве стандарта для дистанционной формы торговли доставки в тот же день будут вести к росту доли мелких грузоотправлений.
- Экспансия цифровых платформ-агрегаторов приведет к росту интеграции транспортного рынка, изменению спектра транспортных услуг, развитию бесшовных и мультимодальных перевозок, монополизации рынка.
- Будет расти значение контейнерных перевозок. При этом контейнеры будут становиться все более универсальными, приспособленными для перевозки различных видов грузов, включая насыпные и наливные. К 2050 г. контейнер будет представлять собой «подключенный» объект, информация о котором, а также о грузе которого будет доступна в любой точке Земли в режиме реального времени.
- Сверхконцентрация населения в мегаполисах потребует пересмотра планов развития внутригородского транспорта и усилит спрос на высокоскоростное сообщение между крупными агломерациями.
- Быстрый рост микромобильности, популярности такси и шеринга вытеснит из городов заметную часть личного автомобильного транспорта и будет требовать изменений в городских транспортных системах.

## ЭКОЛОГИЯ И ОТВЕТСТВЕННОСТЬ БИЗНЕСА

- Изменения климата будут вести к подтоплению морских побережий и сокращению площади вечной мерзлоты, увеличению числа и силы наводнений, периодов экстремально высоких и низких температур, смещению сельскохозяйственных зон.
- Рост стоимости ресурсов, ужесточение экологического регулирования и внимание общественности к экологии будут заставлять компании внедрять технологии переработки, утилизации, восстановления и повторного использования.
- Всеобщая прозрачность будет вести к целенаправленному изменению корпоративных культур и пересмотру коммуникационных политик.
- Рост внимания потребителей и инвесторов к этичности бизнеса будет заставлять компании следовать ESG-стандартам и активно рассказывать об этом.



## КЛЮЧЕВЫЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

- Скорость ужесточения климатического регулирования в России и мире.
- Степень разворота мировой экономики от глобализации к регионализации.
- Скорость развития беспилотного автомобильного транспорта.

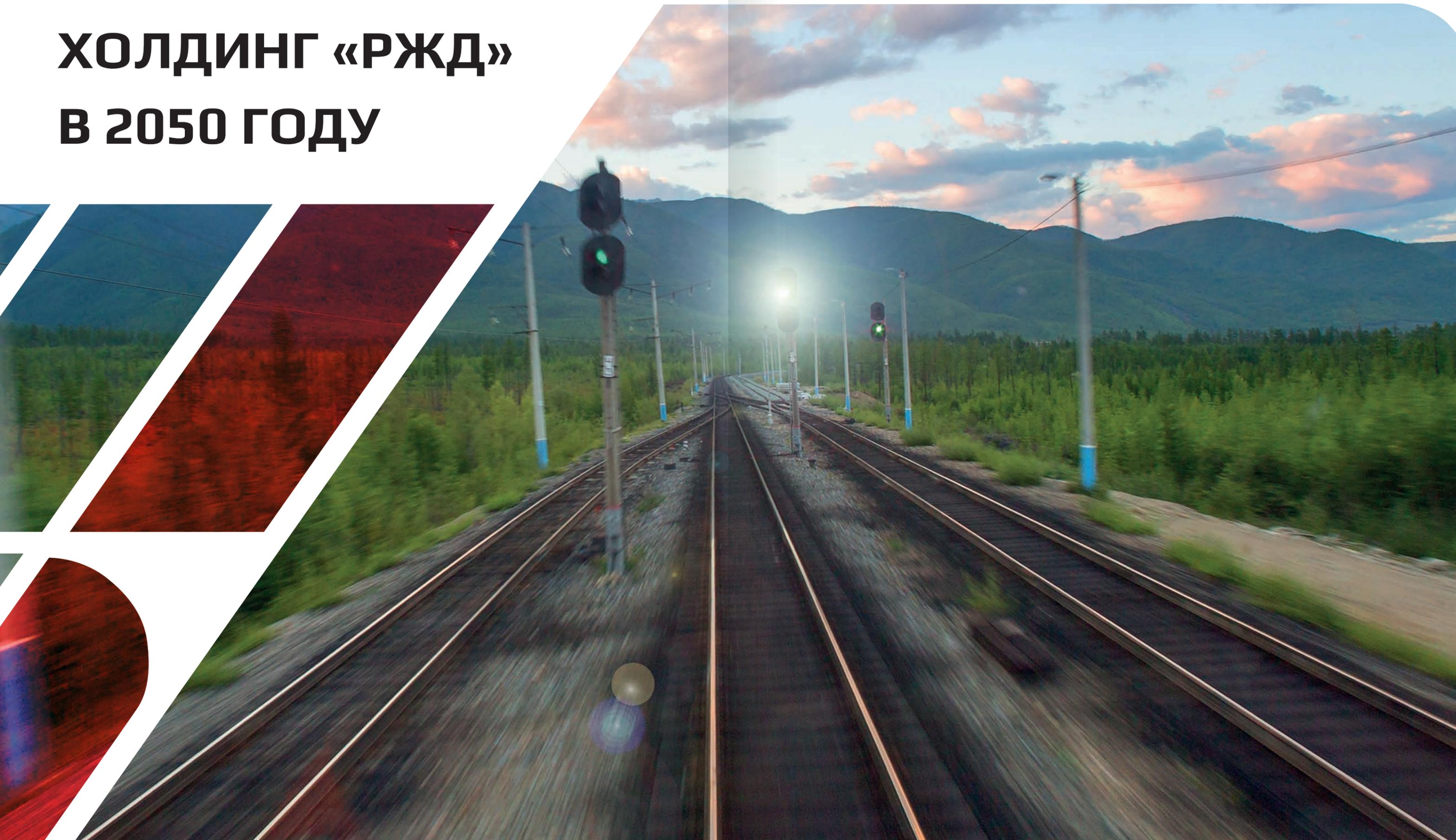


## ДЖОКЕРЫ\*

- Резкое и радикальное ужесточение климатического регулирования вследствие паники, вызванной чередой стихийных бедствий, связываемых с изменениями климата.
- Бунт развивающихся стран против климатического регулирования, ведущий к климатическим санкционным войнам и появлению стран и регионов, изолированных от международной торговли.
- Резкий рост неолуддизма, вызванный недоверием к ИИ, применяемому для управления в общественной и бизнес-сфере, недовольством массовой безработицей, пресыщением цифровыми технологиями и страхом перед «цифровым тоталитаризмом». Это может привести к торможению цифровизации и автоматизации.
- Пандемии ранее неизвестных заболеваний, в том числе вызванных биоинженерными инфекционными агентами.
- Неконтролируемое распространение генетического модифицирования человека, которое приведет к началу формирования генетических элит и может спровоцировать обострение социальных отношений.
- Рост кибертерроризма, нацеленного на ключевую инфраструктуру и угрожающего жизнедеятельности городов и целых стран.
- Быстрый рост популярности осознанного потребления, ломающий привычную «машинку экономического роста», основанную на стимулировании безудержного потребления.
- Появление решений на основе сверхпроводимости при комнатной температуре, которое спровоцирует массовое распространение технологии маглев, ускоренное развитие квантовых технологий и снижение стоимости электроэнергии.
- Промышленное освоение управляемого термоядерного синтеза, ведущее к резкому падению стоимости электроэнергии и «зеленого» водорода, полному отказу от нефти и угля в качестве энергоносителей.
- Развитие биореакторов и альтернативных технологий производства пищи, которое вызовет падение объемов перевозок традиционной сельхозпродукции и удобрений.
- Построение тоталитарных цифровых обществ государствами или техногигантами.

\* События с низкой вероятностью, но масштабными эффектами.

# ХОЛДИНГ «РЖД» В 2050 ГОДУ



**В** 2050 г. основой бизнеса холдинга «РЖД» останутся железнодорожные перевозки, при этом компания будет лидером на рынке мультимодальных перевозок в России.

Ключевыми приоритетами компании на ближайшие 30 лет могут стать: экология, безопасность и выполнение государственных инфраструктурных задач. При этом агрессивную экспансию на новые рынки и наращивание прибыли не стоит рассматривать в числе главных приоритетов компании, поскольку на капитализацию бизнеса холдинга «РЖД» в большей мере может повлиять соблюдение принципов устойчивого развития.

Климатические изменения потребуют от компании быть готовой к их влиянию на железнодорожную инфраструктуру. Внимание к теме экологии и активные инвестиции в нее позволят холдингу «РЖД», как экологически ответственной компании, не только соответствовать требованиям климатического регулирования, но и способствовать минимизации (вплоть до полного устранения) ранее нанесенного экологического ущерба.

Основными вызовами для холдинга «РЖД» в горизонте планирования 2050 г. станут снижение традиционной грузовой базы, соблюдение требований климатического регулирования, развитие цифровых и логистических платформ, рост агломераций, меняющий спрос как на пассажирские, так и на грузовые перевозки.

Для холдинга «РЖД» представляется перспективным избегать прямой конкуренции с другими видами транспорта, предпочитая ей взаимодополнение. Для этого компания может сосредоточиться на тех нишах рынка, в которых она обладает наиболее весомыми конкурентными преимуществами, а также стать мультимодальным перевозчиком, обеспечивающим перевозки «от двери до двери», для чего потребуется развить цифровую платформу и выстроить альянсы с ключевыми участниками рынка.

При комплексной оценке экономической эффективности наземных видов транспорта, в том числе с учетом стоимости амортизации автомобильных дорог и всего жизненного цикла аккумуляторных батарей, железнодорожные перевозки будут иметь существенное преимущество перед автомобильными

ми за счет более высоких скоростей и большей безопасности движения.

Ожидается, что основным источником роста выручки для компании станет реализация ее транзитного потенциала, при котором будет сделана ставка на рост скорости перевозок, в том числе за счет развития грузовых высокоскоростных магистралей.

Автоматизация производственных процессов позволит повысить производительность труда в холдинге «РЖД», но потребует длительного переходного периода и переобучения сотрудников под новые нужды компании с целью сохранения рабочих мест.

Основным источником ресурсов для достижения компанией целевого образа должны стать внутренние резервы и доходы компании.

Первоочередное внимание холдингу «РЖД» необходимо уделять технологическому лидерству, активному внедрению инновационных решений. При этом холдинг «РЖД» должен быть не только компанией, формирующей отраслевые стандарты, но и активным участником разработки и апробации новых решений.

Для холдинга «РЖД» технологическое развитие – это прежде всего один из ключевых факторов формирования долгосрочных конкурентных преимуществ. И для формирования технологических заделов компании целесообразно определять приоритеты научно-технологического развития холдинга на срок 20–30 лет, а также расширять горизонт его финансирования. Также холдинг «РЖД» могут формировать альянсы и консорциумы с участием крупных игроков для создания принципиально важных для железнодорожной отрасли технологических решений.

До 2050 г. на железной дороге вряд ли появятся принципиально новые идеи, помимо давно обсуждаемых технологий вакуумно- и магнитолевитационного транспорта. Однако стоит ждать революции в системах управления транспортом и логистикой, которая будет обусловлена сокращением существующего разрыва между объемом генерируемых данных и возможностями по их обработке.

Компания должна ориентироваться в первую очередь на потребителя, поэтому важно обеспечить

технологические возможности для решения задачи доставки груза с учетом всех видов транспорта, сбора данных по всей цепочке доставки грузов и пассажиров («от двери до двери»), предоставления сопутствующих, но значимых для клиента услуг.

Уже в ближайшее время непосредственное влияние на технологическое развитие холдинга «РЖД» будет оказывать экологическая повестка. В контексте важно изучение потенциала альтернативной энергетики и ее последующее развитие в рамках холдинга «РЖД», включая использование водородного топлива, которое может быть внедрено на пригородном сообщении, а также дальнейшая электрификация.

Компании предстоит выделить ключевые направления в работе по снижению выбросов CO<sub>2</sub>, подготовить программу декарбонизации, в которую, помимо энергетики, могут войти разработка и внедрение новых материалов.

Наиболее перспективными решениями в области динамических систем управления перевозочным

процессом являются продвинутые автоматизированные системы управления перевозочным процессом и интеллектуальные платформы для организации мультимодальных грузовых и пассажирских перевозок. В области технологий инновационного подвижного состава – интеллектуальные системы мониторинга и прогнозирования эксплуатационного ресурса подвижного состава, тяговые установки на топливных элементах, основанных на альтернативных источниках, интеллектуальные системы дистанционного управления подвижным составом. Для инфраструктурного комплекса – инновационные системы мониторинга и контроля состояния инфраструктурных объектов в режиме реального времени.

Сквозной технологией, которая окажет значимое влияние на будущее развитие отрасли, являются «цифровые двойники». Важную роль сыграют и другие цифровые технологии: беспилотного ведения, сильного искусственного интеллекта, технологий кибербезопасности, в том числе и квантовые коммуникации.



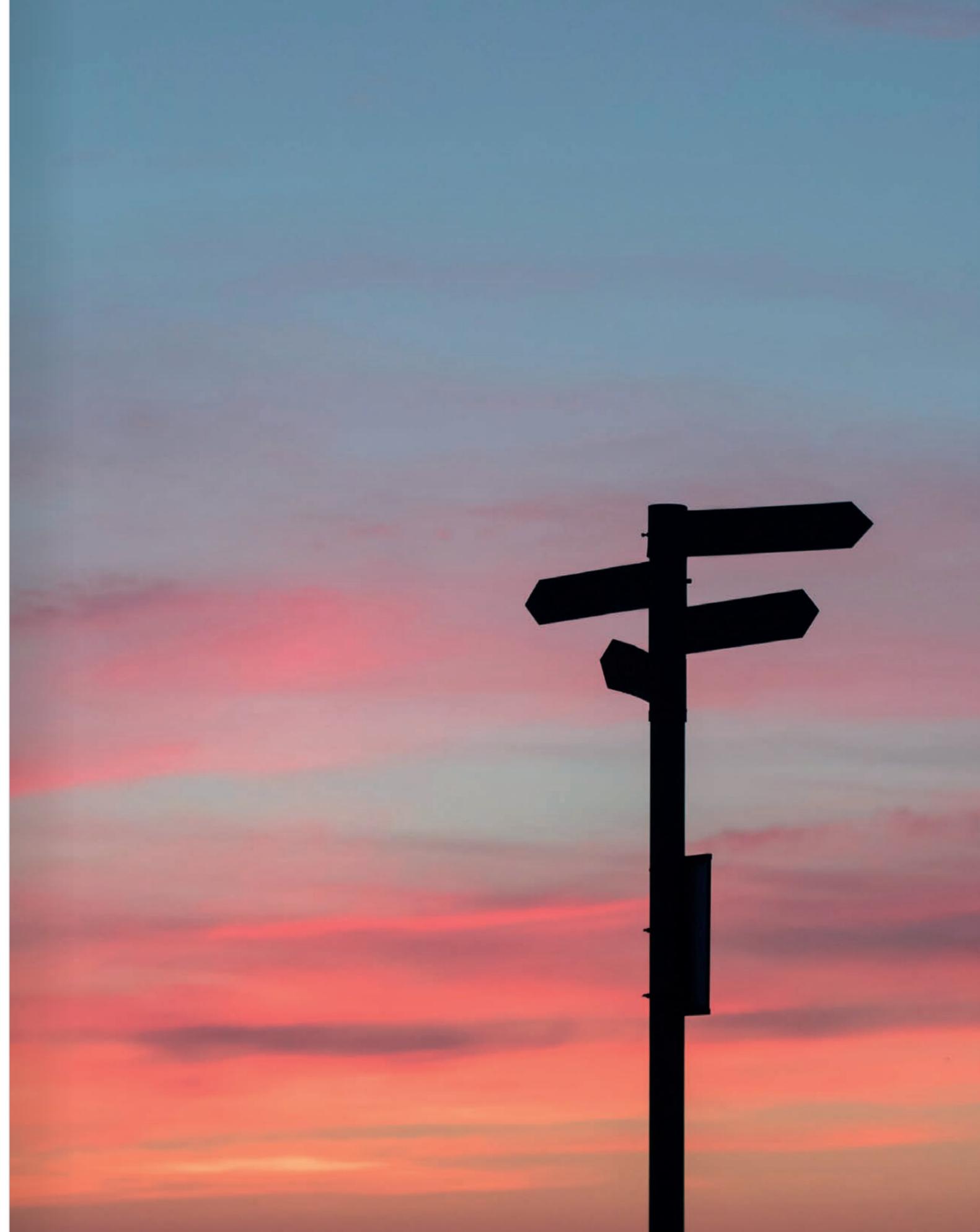
# ВЫЗОВЫ ДЛЯ ХОЛДИНГА «РЖД»

- Начало нового сырьевого суперцикла будет сопровождаться отказами инвесторов от финансирования проектов и активов предыдущей волны. В случае реализации этого риска все связанные в цепочки поставок традиционного сырья компании, включая ОАО «РЖД», могут столкнуться с дефицитом ресурсов на модернизацию инфраструктуры и развитие, а также на инвестирование в технологии, поддерживающие цепочки поставок традиционных ресурсов.
- Снижение перевозок угля, нефти и нефтепродуктов после 2030 г. приведет к существенному падению доходов ОАО «РЖД».
- Ужесточение экологического, в том числе климатического, регулирования будет не только снижать традиционную грузовую базу ОАО «РЖД», но и требовать изменений в технологиях работы и используемых материалах.
- Долго откладываемый усилиями правительств и центробанков путем количественного смягчения полномасштабный кризис очистит рынок от накопленных плохих активов, однако может не только задержать переход на перспективные технологические решения (ВИЭ, электротранспорт, водородную энергетику, маглев), но и надолго подорвать действующую модель инновационного развития. Для холдинга «РЖД» наступление кризиса приведет к задержке в модернизации технологической базы, падению объемов перевозок и трудностям с привлечением финансирования.
- Рынок перевозок будет захвачен цифровыми платформами. Владение такой платформой и экосистемой услуг будет являться ключевым конкурентным преимуществом для железнодорожных компаний.
- Возможна экспансия в транспортную отрасль сторонних игроков, имеющих опыт построения платформ, – ИТ-компаний, банков.
- Рост стоимости морских перевозок и потребности в быстрой доставке по маршруту Китай – ЕС будет вести к увеличению транзитного потенциала России.
- Развитие сферы пассажирских и грузовых перевозок, в том числе мультимодальных, потребует строительства новых транспортных коридоров и связующих узлов.

- Распространение беспилотных автомобилей вызовет необходимость уже в ближайшее время адаптации инфраструктуры и технологий работы для обеспечения погрузки и выгрузки. В дальнейшем такая же адаптация потребуется для работы с грузовыми БПЛА.
- Развитие городского общественного транспорта, такси и шеринга обострит конкуренцию за пассажиров внутри агломераций, а наступление авиакомпаний-лоукостеров – в сообщении между агломерациями. В последнем сегменте конкуренция станет особенно острой с появлением самолетов на альтернативных источниках энергии.
- Микромобильность дает возможность обеспечить пассажирам поездку «от двери до двери», а также решить задачу «последней мили» для малогабаритных грузов. При этом развитие микромобильности потребует адаптации вокзальных комплексов и транспортно-пересадочных узлов, изменений в подвижном составе для городских и пригородных маршрутов.
- Роботизация и автоматизация рабочих процессов дадут холдингу «РЖД» возможность для существенного повышения производи-
- тельности труда и компенсации снижения притока молодых кадров. Одновременно будет необходимо решать задачу переобучения и аутплейсмента.
- Рост экономики в странах с неразвитой инфраструктурой может сформировать спрос на ее создание, включая железные дороги. Однако конкуренция за реализацию подобных проектов будет высока, и российским компаниям предстоит столкнуться с жестким противостоянием.
- Обеспечение информационной и кибербезопасности будет требовать все возрастающих усилий.
- Использование новых материалов, современных технологий и решений в энергетике, ИТ даст возможность повышения операционной эффективности и безопасности работы, расширения спектра услуг.
- Изменения климата уже в ближайшие десятилетия создадут риски для устойчивого функционирования железнодорожной инфраструктуры. Основные угрозы для ОАО «РЖД» – подтопления и таяние вечной мерзлоты.

## КЛЮЧЕВЫЕ РАЗВИЛКИ ДЛЯ ХОЛДИНГА «РЖД»

- Быть коммерческой компанией, сфокусированной на максимизации прибыли, или сосредоточиться на выполнении государственных инфраструктурных и социальных задач.
- Стать владельцем одной из доминирующих на рынке платформ мультимодальных перевозок или поставщиком услуг для таковых.
- Сосредоточиться на транспортно-логистической деятельности или для компенсации падающих доходов сделать ставку на диверсификацию бизнеса.



# 1. СОЦИАЛЬНО- ЭКОНОМИЧЕСКИЙ КОНТЕКСТ



## Новая экономическая география

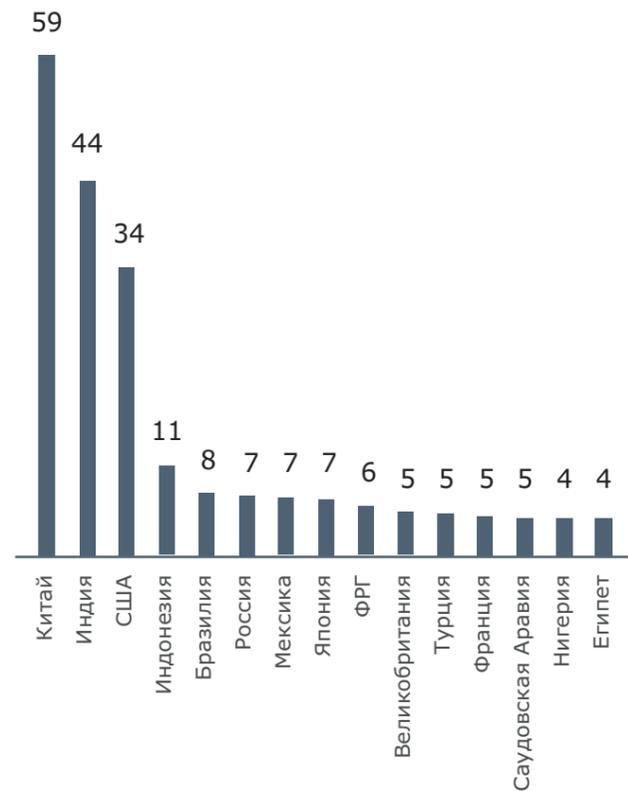
Следующие 30 лет будут связаны с ростом новых центров экономической силы. По прогнозам, Китай опередит США по уровню ВВП уже в 2028–2030 гг. К 2050 г. Индия станет второй страной в мире по размеру ВВП. Также существенным образом вырастет доля в мировой экономике стран Африки и Латинской Америки. К 2050 г. экономики развивающихся стран будут составлять 50% мирового ВВП<sup>1</sup>.

Появление новых лидеров экономического роста ведет к перераспределению сил. Сформируются новые долгосрочные политико-экономические союзы, а также системы регулирования международной торговли, продвигающие свою систему геополитических ландшафтов. Вслед за ними изменится распределение производства и направления товарных потоков.

Изменения политической географии продолжают вести к трансформации правил международной торговли. В том числе к введению новых санкций, обусловленных не только военно-политическими обстоятельствами и экономическими конфликтами, но также и ответом на деструктивные действия отдельных стран в отношении окружающей среды и климата. В частности, продолжение санкционной политики влечет за собой риск ограничения торговли и транспортных потоков между ЕС и Россией.

К 2050 г. сформируется мир с различными центрами влияния, в том числе новыми. К уже предпо-

Топ-15 стран по объему ВВП в 2050 г., трлн долл.



Источник: The Long View. How will the global economy order change by 2050? // PwC, 2017



### СЦЕНАРИИ ИНТЕГРАЦИЙ ГЛОБАЛЬНЫХ ЭКОНОМИК В ПЕРИОД ДО 2050 Г.

Формирование мира с несколькими центрами роста будет менять архитектуру мировой экономики. Можно выделить два ключевых сценария этой трансформации.

#### Сценарий 1. Интеграция ЕС и США

Это – наиболее вероятный сценарий, его реализация приведет к усилению поляризации отношений ЕС и США с Китаем. Товарные грузопотоки ЕС будут сфокусированы на рынках Северной и Южной Америки, при этом будет происходить развитие альтернативных Китаю центров производства. Потенциал рещоринга ограничен, поэтому одновременно с ним будет идти миграция производственных компаний в Латинскую Америку, Африку и Океанию.

Основным «полем битвы» между США и Китаем станет Южная Америка. Торговля Китая с этим регионом превысила объем торговли США в 2018 г. и увеличилась в 2019 г. до более чем 224 млрд долл. по сравнению с 199 млрд долл. у США, что уменьшает влияние последних на регион<sup>2</sup>.

#### Сценарий 2. Интеграция Китая и ЕС

Этот сценарий тоже возможен – ранее Китай уже предлагал создание свободной экономической зоны в партнерстве с ЕС, хотя менее вероятен в силу большого объема накопленных экономических связей между ЕС и США, а также развитого военного сотрудничества между ними. Реализация этого сценария приведет к продолжению роста товарооборота между Китаем и ЕС. Одним из следствий станет рост спроса на транзитные транспортные потоки, включая поиск альтернатив Суэцкому каналу, в том числе и через Россию. Другими следствиями станут обострение проблемы отрицательного торгового сальдо между ЕС и Китаем и необходимость уточнения требований к достижению углеродной нейтральности с их возможным смягчением, которое сделает переход более справедливым.

Помимо этого, могут возникнуть новые центры силы: Индо-Азиатский или «Китай+».

Основой для Индо-азиатского центра силы может стать соглашение о зоне свободной торговли «Всестороннее региональное экономическое партнерство» (ВРЭП или «ЗСТ+»), которое включает в себя большинство стран региона Юго-Восточной Азии\*. Оно во многом предопределяет переход экономического лидерства от США к Китаю за счет создания широкой зоны беспошлинной торговли, которая охватит треть мирового населения (2,2 млрд потребителей) и треть мирового ВВП (26,2 трлн долл.)<sup>3</sup>. К 2050 г. общий ВВП стран ВРЭП может вырасти до 100 трлн долл.<sup>4</sup>. Также между странами ВРЭП может появиться соглашение и по вопросам экономического регулирования экологии.

Ранее также возможным влиятельным актором мировой экономики считалось Транстихоокеанское партнерство, однако после выхода из партнерства США оно утратило свое значение и влияние в регионе. Вероятность возвращения США в партнерство минимальна даже при изменении политической повестки.

Альтернативным центром силы может стать союз Китая с одним или несколькими крупными соседями, например Пакистаном или Индонезией, что приведет к формированию самодостаточного макрорегионального центра.

#### Сценарий 1: интеграция ЕС – США

- Преобладающий в настоящее время вектор торговой политики ЕС (на основе заявления 18.02.2021).
- Географическая фокусировка грузопотоков ЕС на Северную и Южную Америку.
- Усиление поляризации отношений ЕС и США с Китаем, которая будет распространяться на транспортные потоки в Китай из стран-партнеров.
- Развитие альтернативных Китаю центров аутсорсинга и миграция производственных компаний (в Латинскую Америку, Африку, Океанию).
- Ставка на ВИЭ и отказ от торгового импорта углеродного сырья из сырьевых стран.
- Климатические санкционные войны.

#### Сценарий 2: интеграция ЕС – Китай

- Создание зоны свободной экономической торговли между Китаем и ЕС.
- Продолжение роста товарооборота между Китаем и ЕС.
- Рост спроса на транзитные транспортные пути, включая поиск альтернатив Суэцкому каналу.
- Уточнение моделей достижения углеродной нейтральности и более мягкий сценарий сокращения международной торговли углеродным сырьем.

\* Во ВРЭП входят Бруней, Вьетнам, Индонезия, Камбоджа, Лаос, Малайзия, Мьянма, Сингапур, Таиланд, Филиппины, Австралия, КНР, Новая Зеландия, Республика Корея и Япония.



лагаемым центрам – Китаю и США, которые давно состоят в конкурентной борьбе, периодически вступая в «торговые войны», могут добавиться новые акторы: Индия, Япония, Индонезия.

Наиболее вероятно формирование двух политико-экономических блоков: одного во главе с США, у которых есть большое влияние в Южной Америке, другого во главе с Китаем на основе инициативы «Один пояс – один путь» и инвестиционных проектов в странах Африки и Южной Америки. Неопреде-

## Долгожданный кризис

Текущая технико-финансовая волна, связанная с развитием компьютерных технологий, сильно затянулась. «Очистительный» экономический кризис и схлопывание ИКТ-«пузыря», которые могли бы стать толчком для старта новой волны, не могут состояться уже второе десятилетие. Усилиями правительств и центробанков полномасштабный кризис удается постоянно откладывать. Обратной стороной этого является накопление госдолгов, плохих долгов компаний, «пузыри» на фондовом рынке, продолжение существования экономически неэффективных компаний-зомби,

ленность сохраняется в отношении тяготения ЕС к одному из полюсов силы.

В случае радикального развития событий торговые связи между Китаем и США могут ослабеть, что скажется, например, на перераспределении международной торговли от международной морской к внутриконтинентальной (в том числе сухопутной, особенно по линии Китай – ЕС).

Рост экономики в странах с неразвитой инфраструктурой может сформировать спрос на ее строительство, включая железные дороги. Однако конкуренция за реализацию подобных проектов будет высока, и России предстоит столкнуться с жестким противостоянием.

Активизация взаимодействия России с Африкой уже вызывает серьезную озабоченность западных партнеров континента, хотя по объему торгово-экономического взаимодействия с Африкой Россия уступает практически всем присутствующим игрокам (США, Китаю, ЕС, Турции, Индии, Ирану, Южной Корее, странам Персидского залива)<sup>5</sup>. При этом у России нет таких масштабных финансовых и экономических возможностей для реализации своей политики на континенте, которые есть, к примеру, у Китая, который вместе с США будет вести основную борьбу за влияние на этом континенте.

снижение отдачи на инвестиции, падение темпов роста производительности труда и роста экономики в целом.

Чем дольше будет купироваться наступление мирового финансового кризиса, тем сильнее он ударит впоследствии по мировой экономике. Такой кризис не только задержит переход на перспективные, но затратные технологические решения (ВИЭ, электротранспорт, водородная энергетика, маглев), но и может надолго подорвать действующую модель инновационного развития.

## К безуглеродному миру

Важнейшим элементом новой повестки дня мировой экономики становится ориентация на борьбу с выбросами парниковых газов для предотвращения роста температуры атмосферы Земли. Принятые в этом направлении решения имеют долгосрочный характер и направлены на системную трансформацию мировой экономики. 2020–2021 гг. стали поворотными – пандемия подтолкнула к формированию единого международного консенсуса по вопросам изменения климата.

По состоянию на 2021 г. более 189 стран присоединилось к Парижскому соглашению<sup>6</sup>. В США по плану America's Zero Carbon Action к 2050 г. планируется сокращение выбросов CO<sub>2</sub> на 80% от уровня 2005 г.<sup>7</sup>. В планах ЕС сократить к 2030 г. выбросы парниковых газов не менее чем на 40% от уровня 1990 г.<sup>8</sup>, для чего в 2005 г. была запущена Европейская система торговли выбросами (ЕСТВ), которая уже в 2018 г. включала около 8 000 компаний в 31 стране<sup>9</sup>. По плану European Green Deal к 2050 г. ЕС должен прийти к нулевому уровню выбросов CO<sub>2</sub>, на данный момент на ЕС приходится 20% от мировых выбросов<sup>10</sup>.

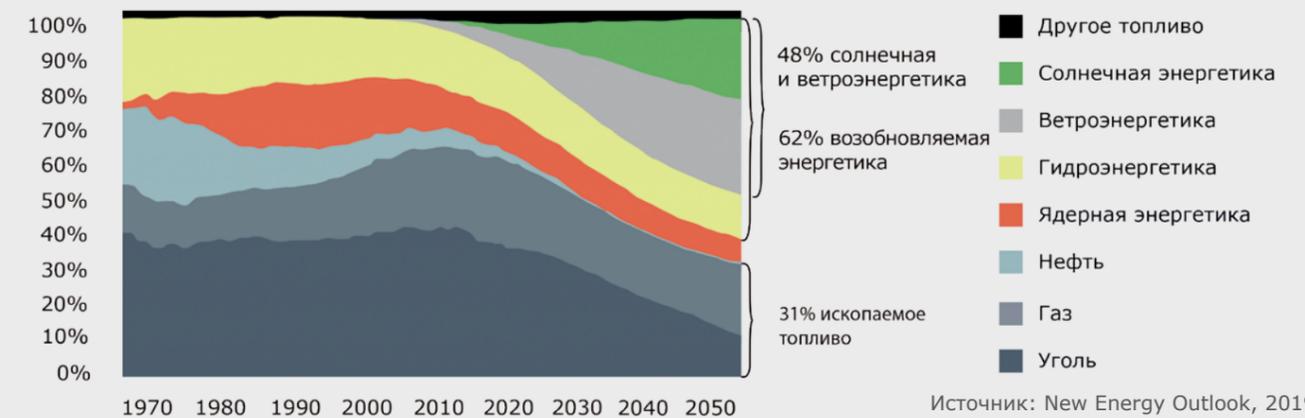
Развитие ВИЭ позволит существенно снизить потребление углеродсодержащего топлива. Генерация на основе ветровой и солнечной энергии уже сейчас является самым дешевым способом генерации в более чем двух третях мира. К 2030 г., по прогнозу Bloomberg<sup>11</sup>, стоимость электроэнергии от ВИЭ станет существенно ниже традиционных технологий практически во всех странах мира, а к 2050 г. ветряная и солнечная генерация составят почти 50% от мирового объема генерации электроэнергии. Динамика цен 2021 г. и прогнозы постковидного восстановления мировой экономики дают основания говорить о начале нового сырьевого суперцикла. Однако спрос на сырье качественно изменится.

Спрос на нефть продолжит расти в развивающихся странах, а в развитых странах показатели больше не вернутся на привычный уровень<sup>15</sup>.

В 2029 г. будет пройден пик спроса на нефть, а в 2037 г. – на газ<sup>16</sup>. Ожидается, что максимум использования угля в энергетике придется на 2025–2030 гг., затем начнется глобальное падение спроса, исключением станут лишь страны Азии. Так, Индия и Китай, демонстрирующие высокий потенциал роста эконо-

Общеплановые инвестиции в развитие возобновляемой энергетики выросли в 2 раза с момента принятия Парижского соглашения: лидерами являются США, Франция, Испания, Германия, Италия и Китай<sup>12</sup>. В 2020 г. ветряная и солнечная энергопотенциальность выросли на рекордные 238 ГВт, что на 52% больше предыдущего рекорда в 2019 г.<sup>13</sup>. По прогнозам МЭА, мощности ВИЭ увеличатся в 2021 г. на 270 ГВт, в 2022 г. – еще на 280 ГВт<sup>14</sup>.

Прогноз глобальной структуры производства электроэнергии до 2050 г.



Источник: New Energy Outlook, 2019

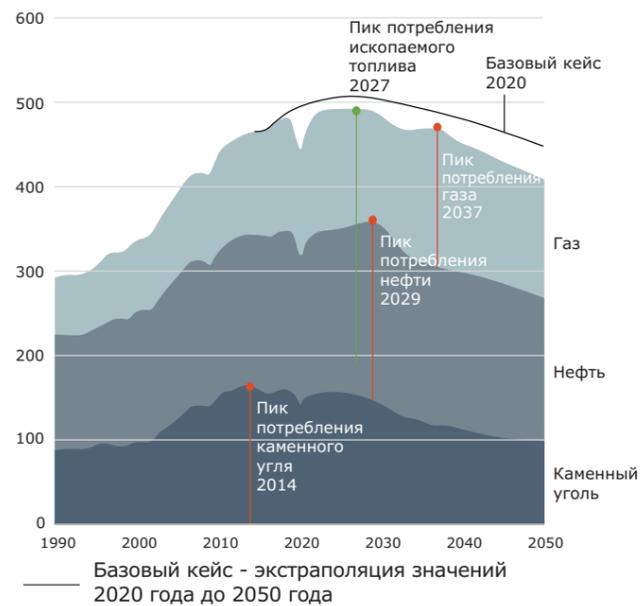
мики, в ближайшие годы планируют наращивать потребление угля, включая его импорт из России<sup>17,18</sup>.

Однако углеродсодержащее сырье в 2050 г. еще будет играть важную роль в авиации, химической промышленности и строительстве, особенно в странах Азии, не входящих в ОЭСР, в Южной и Северной Америке. И без усиления норм политики декарбонизации более половины мирового спроса на энергию к 2050 г. будет обеспечиваться за счет ископаемого топлива.

Изменения в структуре и географии производства и потребления сырья будут вызывать изменения в транспортных потоках. На них также окажут влияние и климатические санкционные войны.

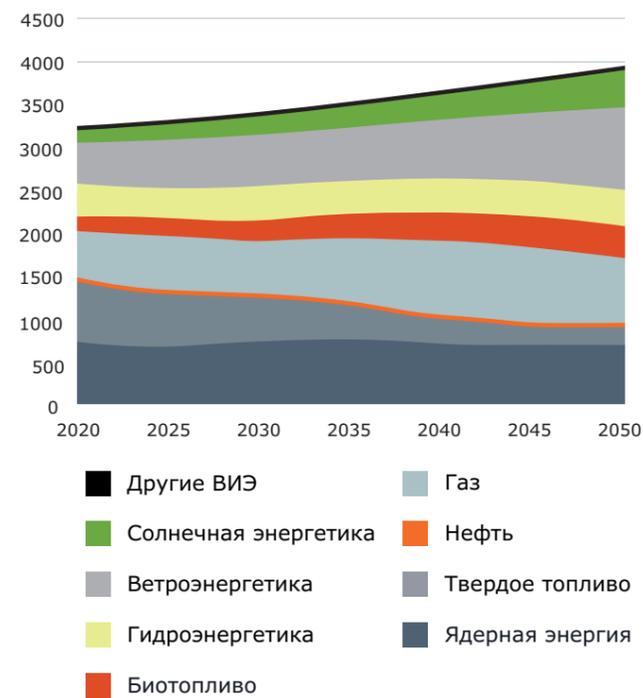
Начало нового сырьевого суперцикла будет сопровождаться отказами инвесторов от финансирования проектов и активов предыдущей волны. В случае реализации этого риска все связанные в цепочки поставок традиционного сырья компании, включая ОАО «РЖД», могут столкнуться с дефицитом ресурсов на модернизацию инфраструктуры и развитие, а также на инвестирование в технологии, поддерживающие цепочки поставок традиционных ресурсов.

Прогноз спроса на ископаемое топливо



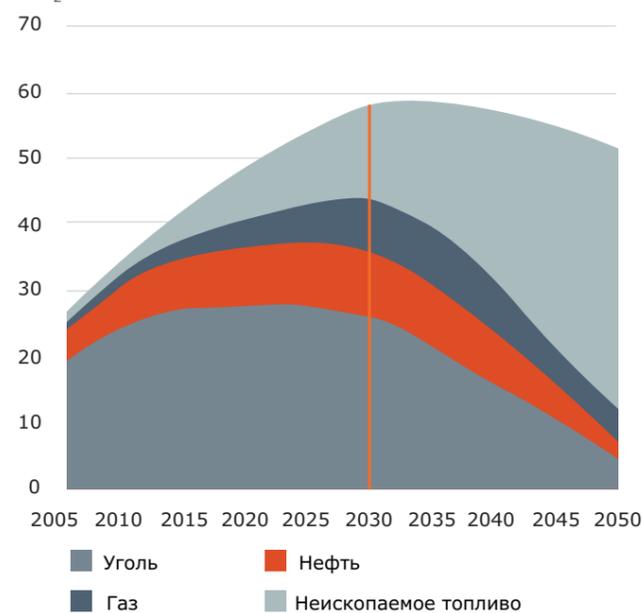
Источник: McKinsey Energy Insights Global Energy Perspective, 2021

Прогноз производства электроэнергии в ЕС, ГВт



Источник: EU Reference Scenario, 2016

Прогноз потребления энергии в Китае, млн т CO<sub>2</sub>-эквивалента



Источник: ICCSD, 2020

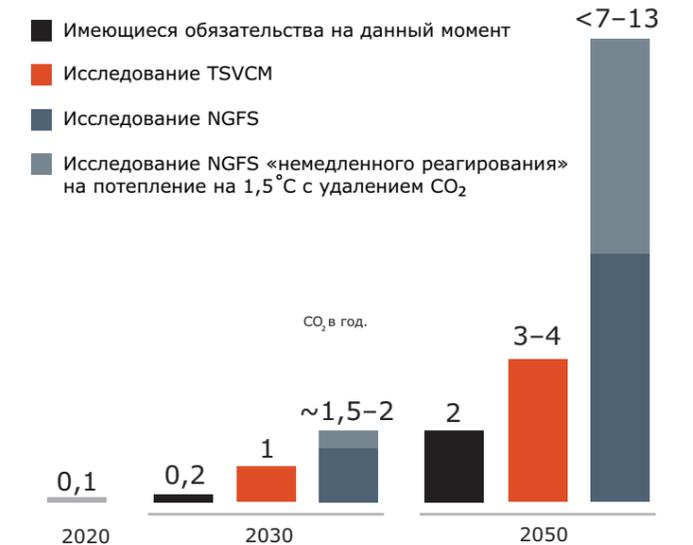
## CO<sub>2</sub> станет дороже

В ближайшее десятилетие страны, вводящие климатическое регулирование, будут выступать за «углеродные границы» с введением налогов на импорт товаров со значительным углеродным следом. Такие налоги будут не только служить снижению выбросов CO<sub>2</sub>, но и могут стать инструментом протекционистской политики и передела рынков, которые повлекут изменения транспортных потоков.

Сейчас единая мировая цена на выбросы CO<sub>2</sub> отсутствует, она определяется рынком или каждой юрисдикцией самостоятельно. Цены различаются между странами и регионами: на объединенном рынке Китая за 1 т CO<sub>2</sub> – \$6, в Калифорнии – \$19, в ЕС – \$51 (июнь 2021 г.)<sup>22</sup>, в Японии – около \$100<sup>23</sup>.

В 2030 г. рынок добровольных углеродных кредитов может вырасти примерно в 15 раз, до 1,5–2 Гт CO<sub>2</sub> углеродных кредитов в год, в 2050 г. – в 100 раз, до 7–13 Гт CO<sub>2</sub> в год, по соотношению к сегодняшнему дню. В 2030 г. в зависимости от разных сценариев размер рынка может быть от \$5–30 млрд до \$50 млрд на самом высоком уровне (данный ценовой диапазон предполагает спрос в 1–2 Гт CO<sub>2</sub>)<sup>24</sup>.

Годовой глобальный спрос на углеродные кредиты, Гт



В зависимости от различных сценариев, размер рынка в 2030 г. может составить от 5 до 30 млрд долл. на нижнем уровне и более 50 млрд долл. на верхнем уровне. Несмотря на значительное увеличение спроса на углеродные кредиты, спрос в 2030 г. может соответствовать потенциальному предложению: от 8 до 12 ГтCO<sub>2</sub>

Источники: McKinsey, TSVCM, NGFS, 2021

### РЖД — ОДИН ИЗ ЛИДЕРОВ

По оценке ИПЕМ, среди крупных железнодорожных компаний мира ОАО «РЖД» является одним из лидеров по минимизации углеродного следа – у компании один из самых низких показателей удельных выбросов CO<sub>2</sub> на единицу произведенной работы<sup>27</sup>.

В то же время ОАО «РЖД» является основным реципиентом рисков со стороны ужесточения углеродного регулирования энергетики в РФ и мире. Около 60% грузооборота ОАО «РЖД» приходится на первичные энергоресурсы, в том числе уголь, поэтому планы по декарбонизации энергетики к 2050 г. грозят серьезным снижением грузовой базы из-за падения перевозок соответствующих грузов.

Вторичный углеродный след от используемых энергоресурсов тоже может оказать негативный эффект на возможности привлечения капитала (ОАО «РЖД» – один из крупнейших потребителей электроэнергии в РФ).



### Изменения климата создадут риски устойчивости железнодорожной инфраструктуры уже в ближайшие десятилетия

Изменение температуры атмосферы Земли и связанное с ней повышение уровня воды океанов и морей приведут к подтоплению значительных территорий. При сохранении высоких выбросов CO<sub>2</sub> ниже прогнозируемых линий прилива к 2100 г. окажутся территории, на которых сейчас проживает около 190 млн чел.<sup>19</sup>. Одновременно будут учащаться периоды аномальной жары и засух, обложные осадки сменяются ливневыми, расти сила и частота наводнений, ветров и лесных пожаров, увеличиваться число смерчей, в том числе в регионах, ранее им не подверженным.

Изменения климата будут отражаться на железнодорожном транспорте и вести к затоплению путей, станций и депо; более интенсивной деформации железнодорожных рельсов; перегреву и выходу из строя подвижного состава; сбоям в работе устройств сигнализации; разрушению опор мостов; размыву железнодорожных насыпей; чрезмерно высокой нагрузке на дренажные системы.

В России в наибольшей степени пострадают железнодорожные пути, проложенные в прибрежных зонах и по вечной мерзлоте. В случае повышения температуры воздуха на 3–4°C к 2050 г. площадь вечной мерзлоты сократится на 12–15%<sup>20</sup>. Глубина летнего протаивания возрастет на 20–30%, что может вызвать многочисленные деформации сооружений: нефте- и газопроводов, гидроэлектростанций, городов и поселков, автомобильных и железных дорог, аэродромов и портов.

Изменения климата потребуют перестройки населенных пунктов и инфраструктурных объектов, приведут к увеличению расходов на строительство и техническое обслуживание железных дорог.

Карта индекса геокриологической опасности объектов инфраструктуры, расположенных в зоне вечной мерзлоты



Весь диапазон значений, рассчитанных для индекса, был разделен на три категории, которые указывают на области с низкой вероятностью (зеленые точки), средней вероятностью (светло-желтый) и высокой вероятностью (фиолетовый) деструктивных геоморфологических процессов, связанных с деградацией вечной мерзлоты. Оценки для 2050 г. основаны на климатических прогнозах, рассчитанных с помощью глобальной климатической модели HadCM3.

Источник: Greenpeace<sup>21</sup>, Росгидромет, 2014

## Производство идет в центры потребления

В ближайшие десятилетия будет идти локализация производства. На местном уровне этому будет способствовать развитие новых производственных форматов. На макроуровне – стремление крупных экономик (США, Китай, Индия, Россия) к самодостаточности для снижения рисков, связанных с зависимостью от импорта, и к созданию новых рабочих мест.

Процесс локализации ускорила пандемия COVID-19. Локдаун показал хрупкость длинных территориаль-

но распределенных производственных цепочек и подтолкнул компании к пересмотру своих глобальных стратегий размещения производства.

Параллельно с возвратом промышленности в крупнейшие центры потребления – ЕС и США – будут сменяться зоны аутсорсинга для них: альтернативой Китаю выступят Южная Америка, Африка, Ближний Восток. Китай, в свою очередь, будет собирать производственные рынки вокруг себя.

### НОВЫЕ ФОРМАТЫ ПРОИЗВОДСТВА

- Сити-ферминг (городское фермерство) – выращивание сельскохозяйственной продукции в городах с использованием вертикальных многоярусных ферм.
- Микрофабрики – небольшие производства с высокой степенью автоматизации, в том числе использующие аддитивные технологии.
- Биореакторы – аппараты, создающие изолированную среду для культивирования биологических объектов. Позволяют производить продукты питания, лекарственные препараты.
- Минимиллз в металлургии – мини-заводы для переработки стального лома с использованием электродуговых печей.
- «Карбоновые долины» – полигоны, целью которых станет контроль за эмиссией парниковых газов, который будет производиться с помощью мониторинга и дистанционных методов измерения и обработки полученных данных.

### Интенсивность рещоринга (возврата) отдельных производств

Добывающая промышленность, сельское хозяйство



Наукоёмкие технологии (автомобилестроение, машины и оборудование, электроника)



Средне- и низкотехнологичное производство (текстиль, одежда)



Региональное производство (продукты питания, химия)



Глобальные хабы (фармацевтическая отрасль)



Источник: UNCTAD, 2020

## Российская экономика: эволюционное развитие под гнетом ограничений

В связи с изменением повестки мировой экономики для России 2020-е гг. станут периодом роста неопределенности. Однако в силу высокой инерции

до 2030 г. основа российской экономики останется прежней: с учетом уже произведенных инвестиций в разведку, добычу и транспортировку природных ре-

сурсов экономика страны во многом сохранит свою направленность на их экспорт. Но география экспорта изменится, в том числе по причине изменения структуры потребления энергоресурсов в крупнейших странах-потребителях и освоения новых месторождений ископаемого топлива в Южной Америке и Африке. После 2030 г. падение спроса на российские энергоресурсы заставит государство искать новые источники роста экономики, и ее дальнейшее развитие будет зависеть от выбранной стратегии.

Одной из ключевых неопределенностей в развитии российской экономики в ближайшее десятилетие является влияние на нее международного климатического регулирования. В случае введения в ЕС

трансграничного углеродного налога, российские производители могут столкнуться с повышенным объемом пошлинами при ввозе грузов в европейские страны.

Президентом России поставлена задача, чтобы за следующие 30 лет накопленный объем чистой эмиссии парниковых газов в России был меньше, чем в ЕС<sup>25</sup>. К середине 2022 г. правительством планируется в полном объеме сформировать нормативную базу для реализации в России климатических проектов. Также в России среди задач – снижение выбросов при добыче углеводородов, утилизация попутного нефтяного газа, развитие производства водорода и низкоуглеродной энергетики<sup>26</sup>.

*Парижское соглашение предусматривает уход от традиционной угольной генерации в производстве электроэнергии, а также сокращение углеродного следа транспорта*

Индикатор	2018 г.	Целевой диапазон 2050 г.
Доля ВИЭ в генерации, %	25,3	98–100
Доля конвенциональной угольной генерации, %	38	0
Углеродная интенсивность электрогенерации, г CO <sub>2</sub> /кВт*ч	531,2	<0
Углеродная интенсивность производства цемента, кг CO <sub>2</sub> /т	614	55–90
Углеродная интенсивность производства стали, кг CO <sub>2</sub> /т	1850 (2017 г.)	0–130
Доля электроэнергии в конечном потреблении энергии, %	27 (2017 г.)	50–55
Доля EV в новых продажах автомобилей, %	2,6	100
Углеродная интенсивность наземного транспорта, кг CO <sub>2</sub> /пассажиро-километр	104 (2017 г.)	0
Вырубка леса, млн га/год	6,5 (2019 г.)	0,33
Прирост древесного покрова, млн га/год	6,7	678 (совокупно)
Улавливание углерода древесным покровом, т CO <sub>2</sub> /г	69,3	75 000 (совокупно)

Источник: WRI по материалам Climate Action Tracker, IEA, GFW

## Мир стареющих агломераций

По оценке ООН, к 2050 г. население планеты достигнет отметки в 9,7 млрд чел., а к 2100 г. – 11 млрд чел. Более половины прогнозируемого прироста будет сосредоточено всего в девяти странах: Нигерии, Пакистане, Республике Конго, Эфиопии, Танзании, Индонезии, Египте<sup>28</sup>. В 2030 г. в Африке около 32% будет составлять население до 30 лет, а в 2035 г. на континенте будет самое большое по численности трудоспособное население<sup>29</sup>.

Рост численности населения будет сопровождаться продолжением урбанизации и сверхконцентрации людей в глобальных мегагородах и мегарегионах. К 2050 г., как ожидается, 68% мирового населения, или 6,4 млрд чел., будет жить в городах, сейчас этот



*Экономика будущего – это экономика мегагородов, создающая возможности для развития новых видов деятельности*

показатель составляет 55%, или 4,2 млрд чел. Наибольший вклад в прирост городского населения в ближайшие 30 лет внесут страны Азии и Африки.

Важным трендом также является старение населения. К 2050 г. более 20% мирового населения будет старше 60 лет, по сравнению с примерно 11% в 2019 г.<sup>30</sup>

## Россия: «резиновые» мегаполисы и пустеющая провинция

Россия будет следовать тенденциям, свойственным развитым странам: старению, депопуляции и сверхурбанизации. Эксперты ООН прогнозируют уменьшение населения России к 2050 г. с 144 млн до 132,7 млн чел. Число жителей сельской местности в России при этом снизится в полтора раза – с 36,8 млн до 22,1 млн чел.<sup>31</sup>. Концентрация экономического роста в ограниченном числе центров будет сопровождаться обезлюдением остальной части страны. Это будет влиять как на изменения в спросе на пассажирские перевозки, требующие пересмотра маршрутной сетки, так и на дефицит кадров для РЖД, особенно на удаленных участках сети в районах с низкой плотностью населения.

В результате миграции в последние годы между наиболее плотно заселенными (2% общей площади) и наиболее слабозаселенными (более 90% площади) территориями страны перераспределяются ежегодно около 0,5 млн чел. Больше число мигрантов из Центрального, Южного и части Приволжского округов направляется в столичный регион, с Урала и из Западной Сибири едут работать в Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий АО, а также в другие регионы севера – Красноярский край, Якутию<sup>32</sup>.

В условиях сокращения населения Россия может стать привлекательной территорией для притока иностранных мигрантов. Усилиться это будет вынужденной миграцией, связанной с последствиями изменения климата.

Старение населения и урбанизация будут не только менять спрос на перевозки, но и могут стать вызовами для ОАО «РЖД» с точки зрения обеспечения кадрами, особенно на удаленных участках сети в районах с низкой плотностью населения.

## 2. ТРАНСФОРМАЦИЯ ТРАНСПОРТНОГО РЫНКА



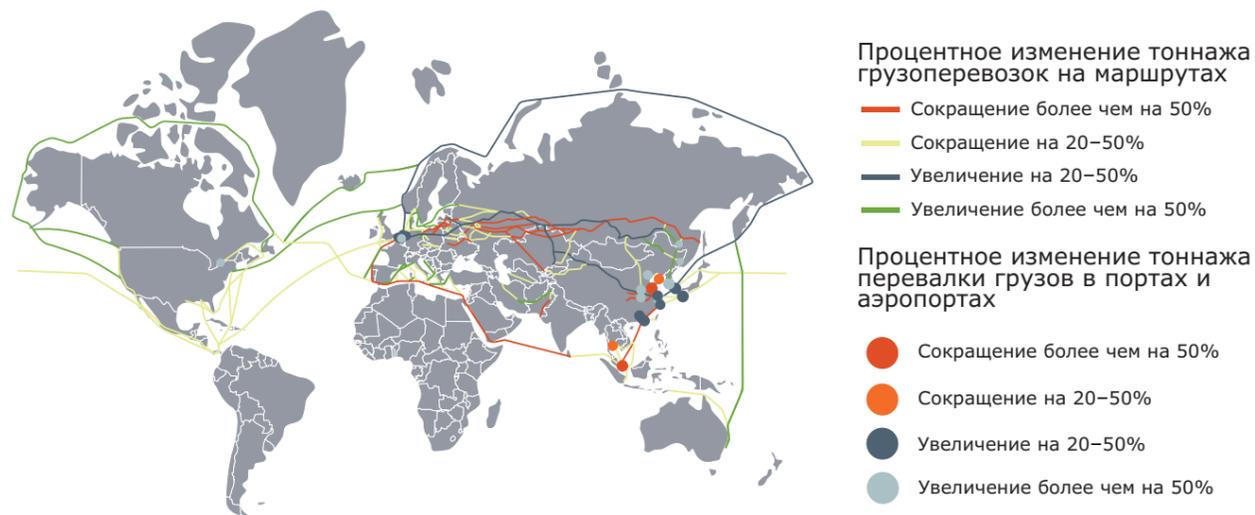
## Грузы меняют направления

С одной стороны, произойдет усиление макрорегиональных торговых партнерств, которые способствуют усилению интенсивности использования транспортных коридоров внутри макрорегионов и могут изменить баланс морского межконтинентального и сухопутного внутриконтинентального сообщения. С другой стороны, произойдет диверсификация рынков сбыта – иногда с положительным вектором изменений (например, контракты на закупку российского угля Индией), иногда с отрицательным (смещение баланса нефтегазодобычи из России на Ближний Восток и в Южную Америку, металлов – в Африку и т. п.). При благоприятном сценарии в ближайшие 10–15 лет объемы и структура экспортных потоков российских товаров, в том числе железной дорогой, в целом сохранятся. В горизонте до 2050 г. ожидается смещение вектора развития транспортных перевозок в сторону региона АТР, доля ЕС сократится. Россия станет все более интегрированной с азиатскими рынками, где будут формироваться новые торгово-экономические союзы и партнерства (вокруг США, Китая). Высока вероятность, что именно восточное направление будет доминировать

в спросе на российские энергоресурсы – основной груз российской экспортно ориентированной транспортной инфраструктуры. При этом состав стран – импортеров российского сырья будет диверсифицироваться. Благодаря этому достаточно длительное время транспортный сектор России будет относительно устойчив по показателям объема и структуры перевозимых грузов.

При негативном сценарии перестройка глобальных экспортных для России рынков будет происходить быстро и лавинообразно. Существенным образом вырастут платежи за экспортные перевозки углеродного сырья. Как следствие, могут возникать периоды перераспределения грузопотоков – как по составу грузов и различными грузоотправителями, так и по географии перевозок. В свою очередь, это окажет влияние на появление новых технологий в логистике. Системные риски начнутся в горизонте после 2030 г.: при неблагоприятном сценарии возможным видится полная остановка экспорта углеводородного сырья в европейском направлении и перераспределение потоков в сторону азиатских стран, что мы уже можем наблюдать в Китае и Индии.

Изменение глобальных грузоперевозок к 2050 г.



Источники: ITF, Сколково, InfoLine

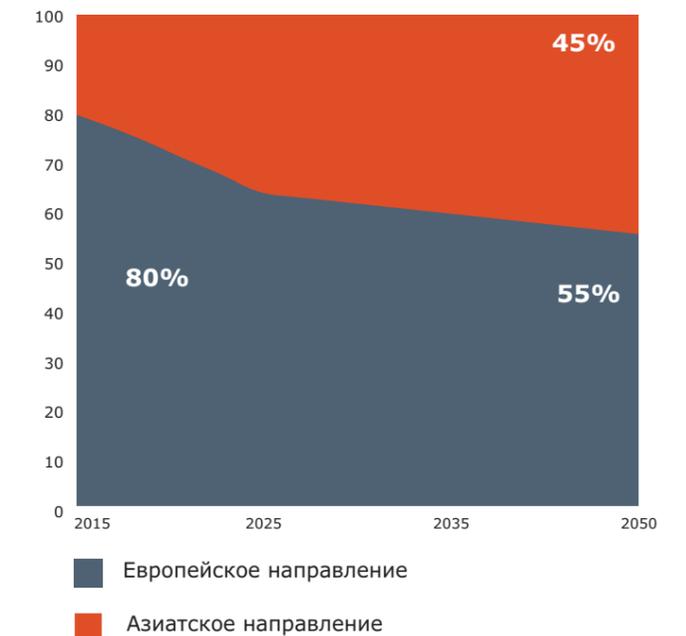
При любом сценарии роль транзитных потоков будет расти. Резко ускорить этот рост может решение ряда институциональных и инфраструктурных ограничений. Однако состав грузов может сильно измениться в 2050 г. Основной вектор изменений – диверсификация состава грузов. Востребованность российского транзита Европа – Азия обусловлена не только более высокой скоростью доставки, но и его надежностью. Важность последней наглядно продемонстрировал пример блокады Суэцкого канала судном Ever Given, что привело к крупным потерям участников международной торговли. Для снижения подобных рисков требуются новые логистические решения – развитие новых транспортных коридоров и расширение старых, диверсификация грузопотоков. Если эти риски будут хеджироваться за счет других направлений, ОАО «РЖД» сможет существенно увеличить объем транзитных перевозок.

Большой потенциал имеет также транзитный коридор Север – Юг. Но для развития потребуются партнерства, которые будут затрагивать не только логистику, но и международные экономические альянсы (при включении ряда стран Азии и Ближнего Востока). Уже реализующиеся проекты (в том числе и обновленные в результате пандемии) могут оказать позитивное влияние на развитие международной железнодорожной коммуникации (включая Южную и Восточную Азию)<sup>33,34</sup>. Однако данные проекты, в том числе коридор Мазари-Шариф – Кабул – Пешавар, весьма дорогостоящие и имеют существенные риски, связанные с безопасностью.

Изменения в транспортных потоках создают окно возможностей для реализации амбициозных инфраструктурных проектов. Например, строительство инфраструктуры в Африке (Китай взаимодействует со многими странами Африки по части развития железнодорожной инфраструктуры (Ангола, Джибути<sup>35,36</sup>) – вследствие чего могут получить развитие морские проекты Шелкового пути), Южной Америке (Китай финансирует множество проектов по строительству и энергетике в Южной Америке (Эквадор, Перу), в том числе и железнодорожных)<sup>37</sup>.

Будут востребованы проекты развития транспортных систем больших городов, включая развитие

Структура экспорта российских энергоресурсов до 2050 г., %



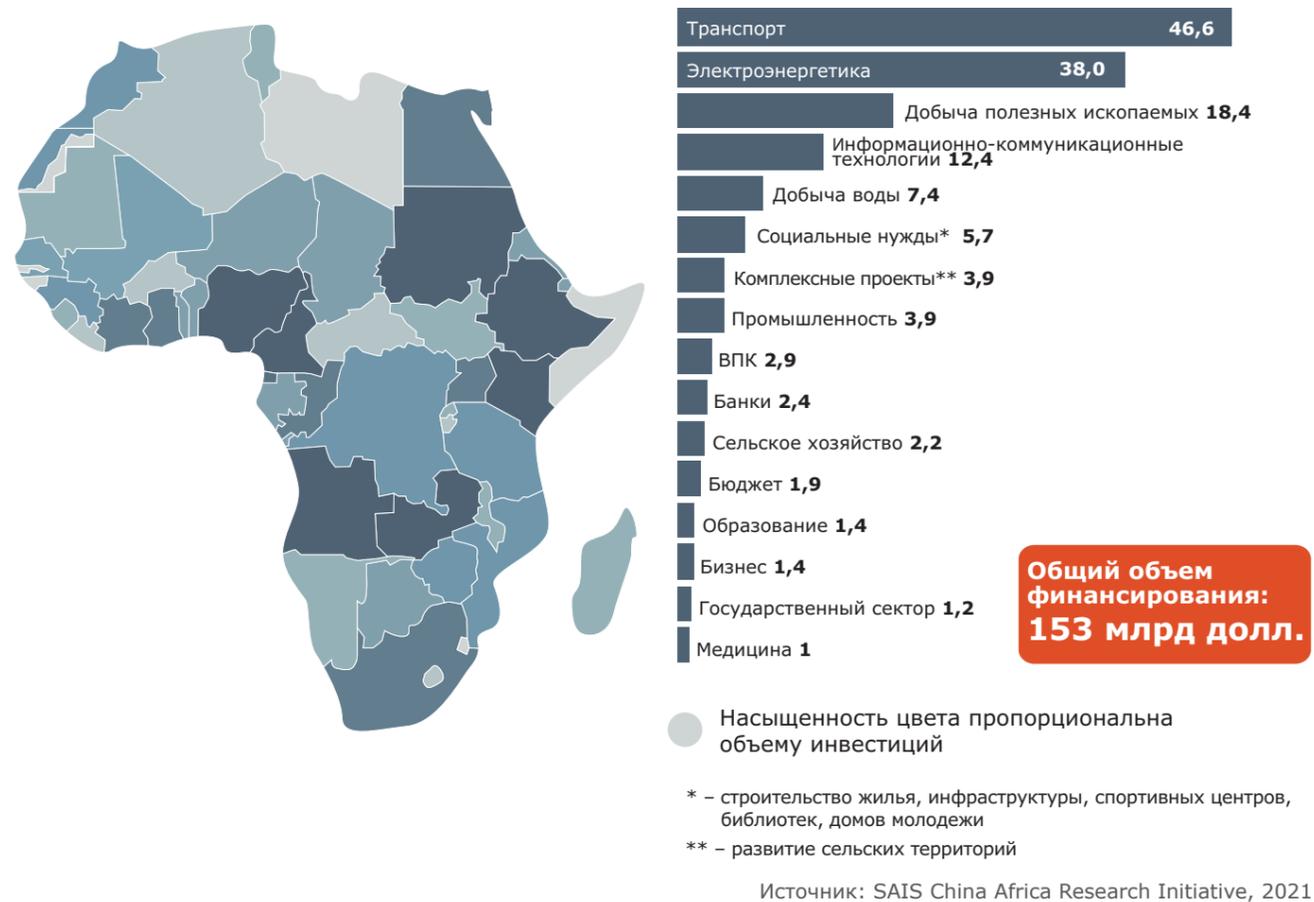
Источник: Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН



*АТР, Ближний Восток и Африка будут увеличивать спрос на уголь, но в долгосрочной перспективе произойдет снижение потребления. Окно возможностей для организации замещающих товарных потоков – ближайшее десятилетие*

железнодорожной инфраструктуры и коммуникаций мегагородов и пригородного сообщения, а также проекты для реализации транзитного потенциала: развитие восточного региона (транзит Европа – Азия, развитие Восточного полигона, Северный морской путь). При этом Северный морской путь не составит серьезной конкуренции железным дорогам по транзиту между Азией и Европой, в силу невозможности круглогодичной эксплуатации и гарантий соблюдения сроков доставки.

Китайское кредитование проектов в Африке в 2000–2020 гг., млрд долл.



Важнейшие проекты развития транспортного потенциала Дальнего Востока<sup>38</sup>:

- расширение пропускной способности Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожных магистралей до 210 млн тонн до 2030 г.;
- введение зонирования морских портов на Дальнем Востоке, передачи неэффективно используемых объектов портовой инфраструктуры новым инвесторам;
- субсидирование проектов по локализации производства контейнеров и строительству сухих портов на территории Дальнего Востока;
- обеспечение конкурентной стоимости ледокольного сопровождения судов по Северному морскому пути.

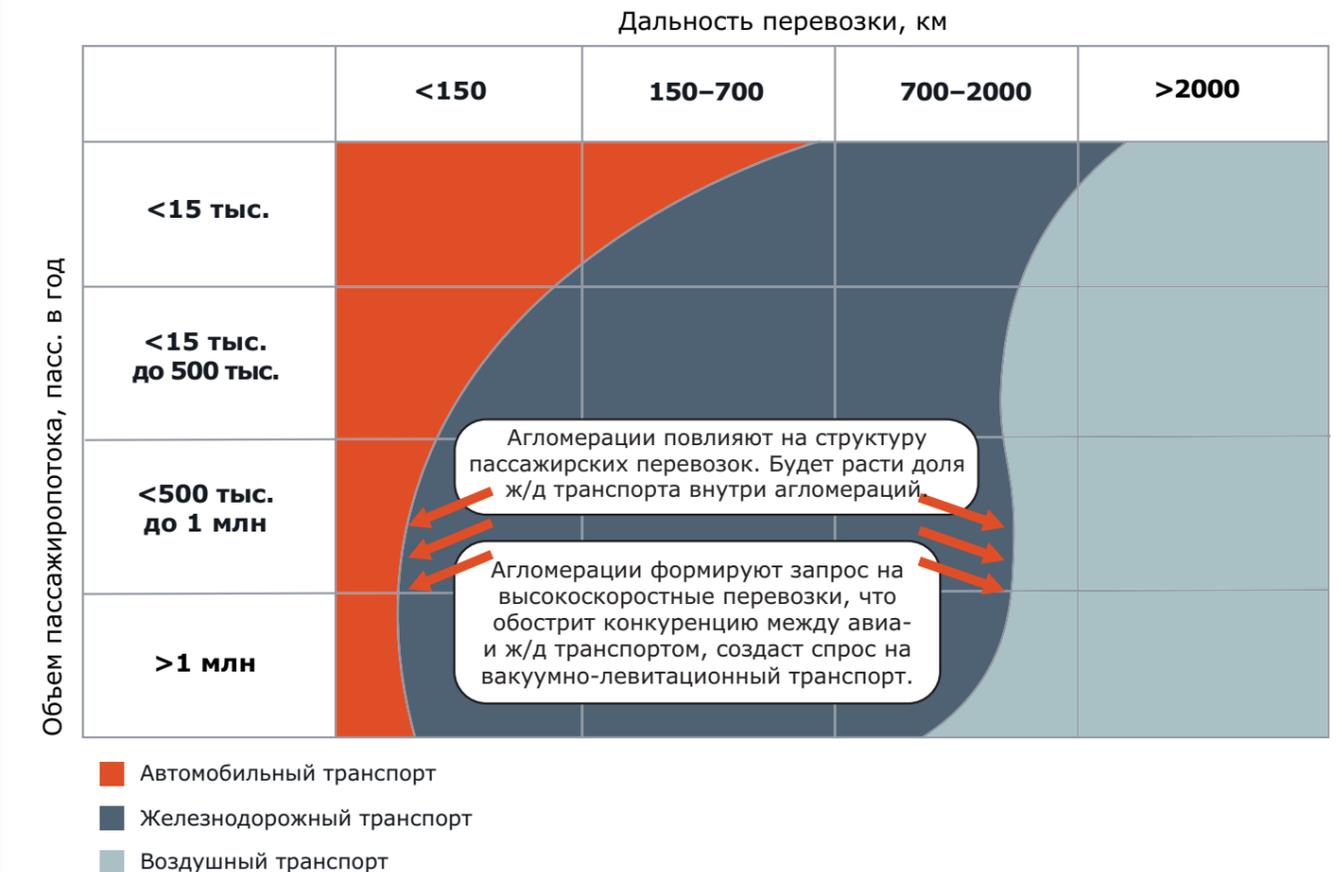
Развитие Восточного полигона железных дорог также сопровождается Комплексным планом модернизации и расширения магистральной инфраструктуры до 2024 г.<sup>39</sup>, в который входят: модернизация Приморской ГРЭС, сооружение двух энергоблоков (мощностью 215 МВт) на Нерюнгринской ГРЭС, увеличение мощности Партизанской ГРЭС и строительство электростанции в Бодайбинском районе Иркутской области<sup>40</sup>. Эти проекты позволят обеспечить электроэнергией железнодорожные тяговые подстанции, что, в свою очередь, обеспечит бесперебойное движение поездов и своевременную доставку грузов.

## Конкуренция видов транспорта: «от двери до двери», дешевле, экологичнее

Нарастание конкуренции различных видов транспорта будет обуславливаться прежде всего ростом экономичности электрических видов транспорта, которые способны обеспечить доставку «от двери до двери» и являются максимально экологичными. Электрический автомобильный транспорт составит значительную конкуренцию прежде всего железным дорогам. А развитие технологий автономного движения, модульных технологий перевозки (контейнеризация), снижение стоимости хранения энергии, развитие интеллектуальной логистики и многое другое сделают грузовые перевозки на электромобилях более кон-



Матрица конкуренции «объем-дальность» на рынке грузоперевозок



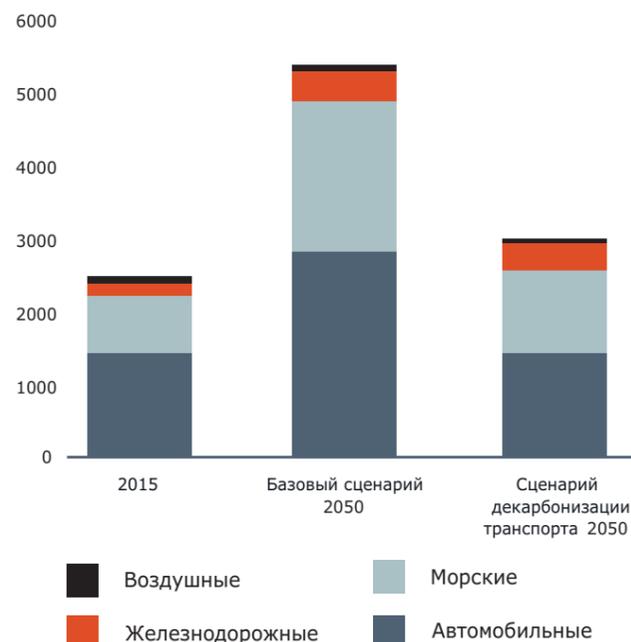
курентоспособными по сравнению с железными дорогами на коротких и средних дистанциях.

Основной зоной конкуренции между авто- и железнодорожным транспортом будут грузоперевозки на маршрутах от 1000 до 1500 км, особенно – для высокомаржинальных «сборных» грузов. Наиболее серьезная угроза в том, что в грузоперевозках конкурентоспособность железнодорожного транспорта сохранится только на сверхдальних дистанциях и для традиционных крупнотоннажных грузов (уголь, зерно, отдельные стройматериалы).

Основная конкуренция за пассажиров будет идти в агломерациях и в сообщении между агломерациями. Для перевозок между агломерациями важным фактором будет время перемещения, и здесь железной дороге предстоит конкурировать с авиакомпаниями, в том числе быстро растущими лоукостерами. При достижении скоростей 500 км/ч железные дороги могут доминировать на расстояниях до 1000 км, при достижении 1000 км/ч – до 2–3 тыс. км. Впрочем, на руку железным дорогам может сыграть климатическое регулирование: как показывает пример Франции, использование авиаперевозок на расстояниях, преодолеваемых за 2–3 ч на поезде, может быть ограничено административно<sup>41</sup>. Массовое использование электросамолетов, которые обеспечили бы авиации такую же экологичность, как у железнодорожного транспорта, можно ожидать лишь к 2050 г. и позднее. В России перспективными направлениями для развития высокоскоростного железнодорожного сообщения станут Москва – Казань – Екатеринбург и Москва – Юг.

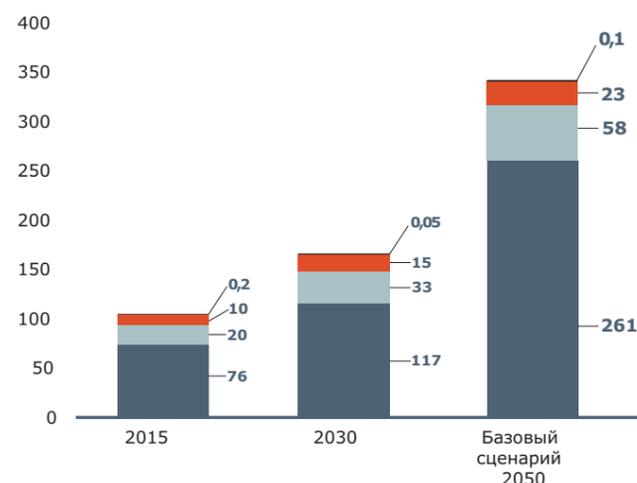
Потенциал использования вакуумно-левитационного транспорта в России ограничен. Для его окупаемости необходим значительный пассажиропоток, однако потребности наиболее напряженного направления Москва – Санкт-Петербург вскоре будут закрыты уже создаваемой ВСМ, и строительство вакуумно-левитационной линии не даст выигрыша в скорости достаточного, чтобы сделать проект экономически привлекательным. Оценивать целесообразность использования вакуумно-левитационного транспорта для коротких (например, внутриагломерационных) дистанций и грузоперевозок до уточнения его технико-экономических показателей преждевременно.

Прогнозируемые выбросы CO<sub>2</sub> от международных грузовых перевозок в 2015–2050 гг., млн т



Источник: ITF Transport Outlook, 2019

Прогноз мирового спроса на грузоперевозки к 2050 г., трлн т. км



Базовый сценарий – смоделирован компанией ITF.



Источник: ITF, Climate Action Tracker, Rail Forward, 2021

## Контейнеры «поумнеют» и умножатся числом

Значение контейнерных перевозок будет постепенно возрастать. Ключевым фактором этого станет универсализация контейнера как средства перевозки любых типов грузов, включая насыпные и наливные. Контейнеризация является отражением модульной революции – сквозного тренда для мировой промышленности, усилившегося в последние годы в связи с формированием глобальных технологических платформ, диктующих свои условия транспортировки и комплектации грузов, а также в связи с требованием потребителей получать стандартную транспортную услугу. В связи с этим все больше грузов будет приобретать форму стандартных модулей, а контейнеры будут приспособлены ко все большему числу различных грузов.

К 2050 г. контейнер будет представлять собой «подключенный» объект, информация о котором, а также о грузе которого будет доступна в любой точке Земли в режиме реального времени. Во многом это произойдет благодаря развитию нового поколения интернет-технологий и таким проектам,

как Starlink и OneWeb, обеспечивающим полное покрытие маршрутов связью. Аналог FlightRadar, Ship Finder\* в контейнерных перевозках станет повседневной реальностью транспортного рынка. Сортировочные станции для контейнеров могут превратиться в сухие терминалы\*\*.

Значительным импульсом для развития контейнерных перевозок станут технологии, позволяющие эффективно управлять мультимодальной логистикой, используя системы CRM (для управления взаимоотношениями с клиентами: чтобы фиксировать поступающие по всем каналам запросы и обеспечить диалог с грузоотправителями с помощью различных инструментов общения в сети Интернет) и SRM (для стратегического выбора поставщиков, выбора новых видов разрабатываемой продукции из возможных альтернатив, реализации всего цикла закупок, включая электронную торговую площадку, а также оперативного мониторинга и оценки деятельности поставщиков), которые уже становятся обязательной частью системы управления грузопотоками.

## Доставка сегодня

Ключевой сдвиг в области ритейла, который определит конфигурацию цепочек поставок для конечных потребителей в горизонте до 2030 г., – окончательное закрепление бизнес-модели bricks and clicks\*\*\*, связанное с развитием «многоканальной» электронной торговли.

Форматы локализации цепочек поставок для потребительских рынков будут определяться растущими требованиями к скорости доставки: вся номенклатура потребительских товаров должна будет доставляться потребителю в течение 24 часов вне зависимости от расстояния. Доставка в тот

\* Starlink – глобальная спутниковая система, разворачиваемая компанией SpaceX (США) для обеспечения высокоскоростным широкополосным доступом в интернет в местах, где он был ненадежным, дорогим или полностью недоступным.

OneWeb – взаимосвязанная система искусственных спутников Земли корпорации OneWeb (Великобритания), предназначенная для обеспечения широкополосного интернета с помощью технологий мобильной спутниковой связи.

FlightRadar24 – публичный веб-сервис, позволяющий в реальном времени наблюдать за положением воздушных судов. Сервер веб-сервиса расположен в Стокгольме, Швеция.

Ship Finder – публичный веб-сервис, позволяющий в реальном времени наблюдать за положением морских судов. Данные о морском движении, используемые Ship Finder, собираются через наземные приемные станции АИС (автоматическая идентификационная система), расположенные по всему миру.

\*\* Сухой терминал – это терминал, который размещен на некотором удалении от морской или речной акватории.

\*\*\* Bricks and clicks подразумевает совмещение традиционных способов ведения бизнеса и взаимодействия с клиентами онлайн.

же день уже является целевой моделью крупнейших онлайн-ритейлеров, так, Amazon запустил соответствующие эксперименты в Великобритании, США и Германии. До 2030 г. это станет стандартом в развитых странах и странах БРИКС.

В горизонте 2050 г. основные изменения в цепочках поставок будут включать в себя:

- пересборку системы поставщиков и партнеров, которые будут вынуждены обеспечивать практически мгновенное производство или доставку продукта по требованию;

- значительную локализацию производств;
- цифровизацию, необходимую для обеспечения полной прослеживаемости не только перемещения, но и происхождения продукта и его компонентов;
- повышение эффективности и гибкости логистических операций (в том числе в связи с неготовностью потребителей платить за доставку, растущим разнообразием продуктов и снижением объемов поставляемых партий вплоть до штучной поставки).

## Микромобильность – решение проблемы «последней мили» для городов

Города сталкиваются с быстрым ростом населения, потребность в перемещении большого числа жителей через существующие транспортные сети становится все более насущной. Спрос на городские пассажиро-километры во всех регионах может вырасти почти вдвое за период к 2050 г. по сравнению с 2015 г.<sup>42</sup>. Проблема «первой и последней мили», или в более широком смысле разница между доступностью общественного транспорта и потребностями населения, создает «транзитные пустыни» – районы с большим спросом на мобильность, но не имеющим предложений.

Микромобильность\* является решением этой проблемы и особенно актуальна при росте мегагородов. Уже сейчас она является одним из активно используемых решений транспортной проблемы, например, в Китае. Анализ велосипедных поездок показывает, что наибольшие потенциальные выгоды, вероятно, будут в основных городских центрах и в пригородных кварталах рядом с неболь-

шими коммерческими центрами. Другие пункты с низкой плотностью населения, где преобладают короткие поездки, такие как университетские города, корпоративные города и военные базы, также хорошо подходят для развития микромобильности.

Взрывной интерес к микромобильности во многом вызван эффектом новизны после появления доступных устройств с приемлемыми характеристиками. Однако есть и более долгосрочные факторы ее развития: внимание к экологии как пользователей устройств, так и городских властей, осознанное вытеснение из городов автомобилей. Временным сдерживающим фактором может стать необходимость адаптации для новых транспортных средств городской среды, однако это существенно более легкая задача, чем создание и поддержание автомобильной инфраструктуры для аналогичного объема внутригородских перемещений.

\* Микромобильность – это передвижение на короткие расстояния на компактных легких устройствах. По определению Institute for Transportation and Development Policy, к ним относят устройства весом менее 500 кг, обычно работающие на скоростях ниже 25 км/ч и идеально подходящие для поездок на расстояния до 10 км. Число типов таких устройств растет, например, к ним относятся моноколеса, традиционные и электрические самокаты и велосипеды, скутеры, электрические скейтборды.

Корпоративный сектор стал реагировать на происходящие изменения в «последней миле»: лидеры транспортного рынка диверсифицируют пакет активов, в том числе за счет микромобильности. Это направление стало фаворитом венчурного капитала: в 2019 г. стартапы, предлагающие услуги доставки «последней мили» розничным торговцам и частным лицам, привлекли \$11,1 млрд венчурного финансирования. Компании Bird и Lime стали самыми быстрыми «единорогами» в США – они до-

стигли оценки в \$1 млрд в течение года с момента создания.

Для крупных транспортных компаний микромобильность интересна возможностью обеспечить пассажирам поездку «от двери до двери», а также способом решить задачу «последней мили» для малогабаритных грузов. Примером подобного интереса может служить компания Deutsche Bahn, являющаяся крупнейшим владельцем велосипедов в Германии.

## Платформы захватят рынок

Экспансия цифровых платформ-агрегаторов транспортных услуг и персонализированных сервисов приведет к росту интеграции транспортного рынка, изменению спектра транспортных услуг, развитию бесшовных и мультимодальных перевозок.

К 2050 г. в пассажирских перевозках доминирующим на рынке станет подход «Мобильность-Как-Услуга» (MaaS), а цифровые платформы будут главным связующим звеном процесса. Аналогичный подход доставки «от двери до двери» в грузовых перевозках будет реализован еще быстрее. Постепенно произойдет цифровая интеграция многих элементов рынка, что приведет к формированию больших над- и полиотраслевых платформ: прежде всего монополистами будут становиться владельцы больших объемов данных.

Платформенные сервисные экосистемы формируются из модулей/приложений на базовой цифровой площадке (платформе), через которую осуществляется доступ поставщика модуля/приложения к потребителю. Поставщик железнодорожных услуг и потребитель являются пользователями платформы, обеспечивающей на основе единых стандартов проведение всех действий. В результате владелец платформы формирует свою экосистему – сеть поставщиков отдельных модулей или приложений, а также потребителей, взаимодействующих друг с другом через единый интерфейс.



ОАО «РЖД» предстоит сделать выбор: либо стать владельцем одной из доминирующих на рынке логистических платформ, либо поставщиком услуг для таковых. В условиях нарастающей конкуренции платформ выигрывать будут те из них, которые смогут агрегировать у себя все большее число взаимодействующих между собой участников рынка. В технологическом отношении понимание специфики конкуренции будет стимулировать движение платформ в сторону развития микросервисной архитектуры, обеспечения разумной открытости (open source, блокчейн, API-инфраструктура)<sup>43</sup>.

Проникновение на рынок цифровых платформ повлияет на распределение прибыли внутри

транспортной отрасли в целом – оно запустит механизм переоценки стоимости различных видов транспортных услуг и исключит традиционных посредников. При этом одним из следствий может стать увеличение на рынке числа мелких перевозочных компаний, а также значимость различных партнерств.

С развитием цифровых платформ будут гармонизировать развитие контейнерных перевозок и постепенный отказ населения от владения автомобилями в пользу каршеринга и карпулинга, которые приобретут особую популярность после перехода к беспилотному вождению.

## СТАТЬ ЛИДЕРОМ

### Условия лидерства логистической платформы ОАО «РЖД» на рынке

- Предоставление полного спектра транспортных и сопутствующих услуг клиентам любого размера.
- Открытость к интеграции с другими перевозчиками, в том числе малыми.
- Технологическое лидерство, активное внедрение инновационных решений.
- Высокая операционная эффективность, обеспечивающая низкие издержки.
- Готовность инвестировать в захват рынка, в том числе путем ценового превосходства.

### Противодействующие факторы

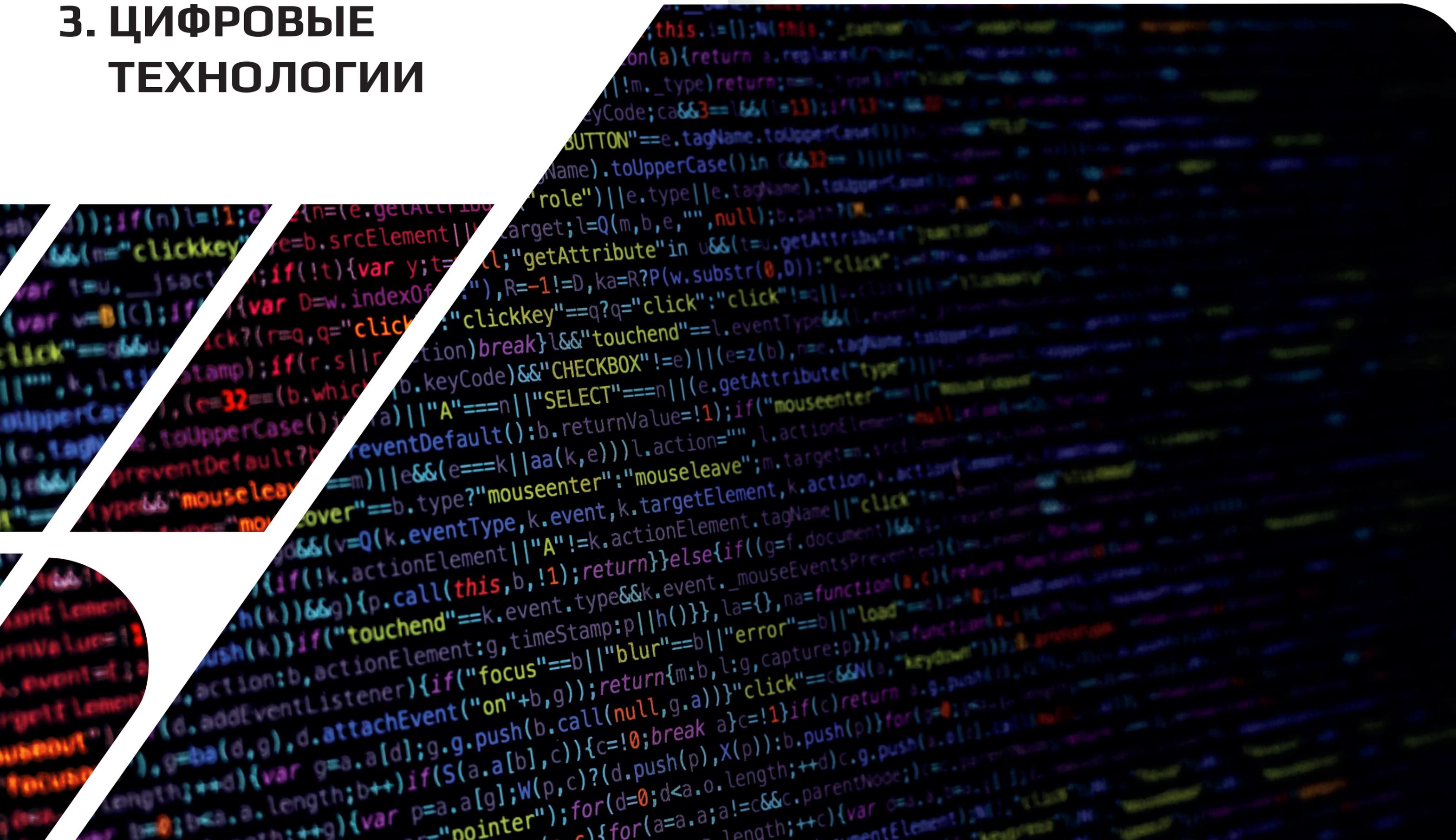
- Неготовность акционера ОАО «РЖД» к доминированию на рынке государственной логистической платформы.
- Агрессивная экспансия в отрасль сторонних игроков, имеющих опыт построения платформ, – ИТ-компаний, банков. «Черным лебедем» может стать выход на рынок логистики автопроизводителей: с переходом на беспилотное вождение у них исчезнет ключевой барьер, а их масштаб и собственное производство транспортных средств могут сделать их серьезной рыночной силой.
- Сосредоточенность компании на решении текущих социальных и производственных задач.



## Ключевые направления развития бизнес-моделей железнодорожных компаний

НАПРАВЛЕНИЕ	КЕЙСЫ
<p><b>Переход к межнациональному совместному управлению железнодорожными компаниями в рамках единого транспортного и информационного пространства</b></p> <p>Параллельно с этим виден тренд на частичную децентрализацию, в рамках которой единственным владельцем инфраструктуры становится государство, а ответственными за организацию перевозочного процесса – частные компании</p>	<p>Строительство интегрированных транспортных систем, например TEN-T и интегрированной Евразийской транспортной системы</p>
<p><b>Развитие интер- и мультимодальных транспортных перевозок</b></p> <p>Стимулирующим фактором этого процесса станет необходимость формирования клиентоориентированного подхода по предоставлению MaaS, в том числе пакетных сервисов и персонализированных предложений с учетом других видов транспорта</p>	<p><b>Грузовые перевозки:</b></p> <p>Schneider National Inc (США), GEFCO (Франция), Groupe PSA (Франция), DHL (Германия), MSC (Швейцария), «С-Интер» (Россия)</p> <p><b>Пассажирские перевозки:</b></p> <p>Железнодорожная станция с перехватывающей парковкой Schofields (Австралия), интермодальный пассажирский транспортный центр Jefferson Park (Чикаго, США)</p> <p>Shift2Rail, МСЖД</p>
<p><b>Кастомизация услуг и расширение их перечня за счет сопутствующих сервисов</b></p>	<p><b>Пассажирские перевозки:</b></p> <p>Security National Financial Corporation (США)</p>
<p><b>Цифровая трансформация (автоматизация) операционных и бизнес-процессов железнодорожных компаний</b></p> <p>Платформенные решения в железнодорожной отрасли используются и продолжают развиваться в целях мониторинга операций сотрудников, повышения эффективности их взаимодействия, анализа возможности повышения производительности труда, обеспечения безопасности</p>	<p><b>Пассажирские перевозки:</b></p> <p>Shift2Rail (ЕС), Security National Financial Corporation (США), МСЖД, Passenger Information Systems от компании Lanner (США)</p>
<p><b>Сотрудничество в рамках отрасли для создания инновационных решений</b></p> <p>Включает в себя создание инновационных лабораторий, R&amp;D-центров, проведение инновационно-направленных мероприятий (например, хакатоны), развитие взаимодействия с субъектами малого и среднего предпринимательства, формирование принципов внутрикорпоративного предпринимательства (интрапренерства)</p> <p>В долгосрочной перспективе будет сохраняться тенденция к объединению ресурсов компаний железнодорожной отрасли, а также с организациями, работающими в смежных отраслях экономики</p>	<p><b>Зарубежные R&amp;D-центры:</b></p> <p>Центр железнодорожных исследований (Мичиганский университет, США), Институт железнодорожных исследований при Университете Хаддесфилда (Великобритания); Центр железнодорожных исследований и образования при Университете Бирмингема (Великобритания), Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (Япония)</p> <p><b>Хакатоны:</b></p> <p>Дальневосточная железная дорога и компания YellowRockets; Куйбышевская железная дорога и компания Yandex.Cloud, YellowRockets; Trainhack (Швеция), HackTrains (Великобритания, Германия)</p>

# 3. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ



## Ключевые макротренды цифровизации до 2050 г.

- Цифровая экспансия: «интернет всего», распространение цифровых двойников, слияние операционных и информационных технологий.
- Клиентоцентричная архитектура – организация ориентированных на клиента бизнес-процессов, включающих подключение любого потребителя (пассажира или оператора-грузо-перевозчика) и груза на железной дороге к системе мониторинга и управления перевозками, для дальнейшей обработки всех данных с целью ориентации всех сервисов на потребности пользователей.
- Экосистема сервисов – бесшовная цифровая среда, в которой представлены собственные и партнерские сервисы компании.

Возможности для холдинга «РЖД» в использовании трендов цифровизации

Макротренд	Возможная реакция РЖД
<p><b>Интернет всего</b></p> <p>Поезд, объект инфраструктуры, пассажир или груз становятся подключенными</p>	<p>Консорциумы с держателями инженерных решений в машиностроении, транспорте и логистике, финансах; создание системы цифровых двойников</p>
<p><b>Клиентоцентричная архитектура</b></p> <p>Интеграция клиента в платформы ОАО «РЖД» «на лету», в том числе в безынтерфейсном формате</p>	<p>Партнерства с создателями таких моделей; подключение груза и пассажира, построение моделей и целевого образа клиента</p>
<p><b>Экосистема сервисов</b></p> <p>Формирование дополнительной ценности в управлении данными; рост маржинальности у держателей MaaS*-платформ</p>	<p>Развитие API**, стратегия предотвращения киберугроз; выстраивание мультисервисной архитектуры, установление границ открытых данных</p>

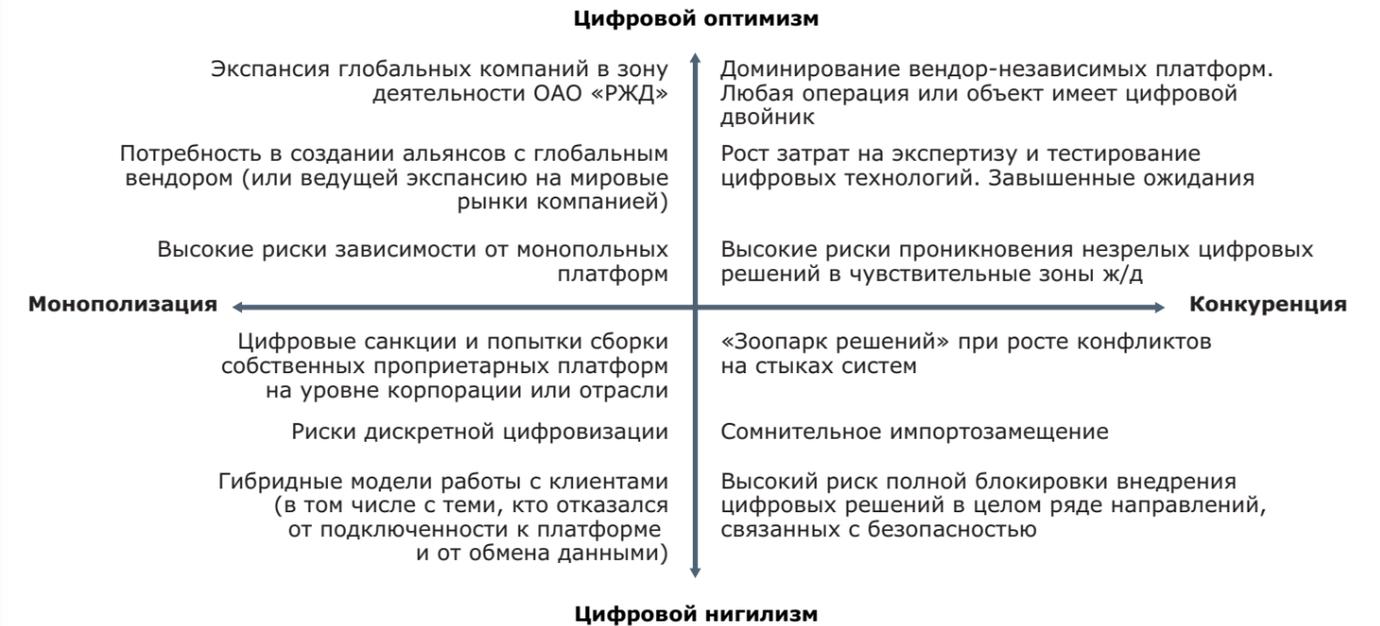
\*MaaS – модель «мобильность как услуга»  
\*\*API – программный интерфейс приложения

«Интернет всего» – комплекс технических решений, позволяющий собирать данные с любых процессов, устройств, конструкций и от человека; делающий возможным управление и проектирование систем посредством работы с цифровыми двойниками с использованием больших массивов данных и аналитических инструментов их обработки.

Поле возможных направлений цифровой трансформации ОАО «РЖД» до 2050 г. задается двумя параметрами: степенью монополизации

рынка и уровнем «цифрового оптимизма» – готовностью инвестировать в цифровые технологии.

Сценарии цифровой трансформации ОАО «РЖД» к 2050 г.



## Искусственный интеллект: больше и сильнее

ИИ может стать одним из основных источников инноваций для железнодорожного транспорта в ближайшие два десятилетия.

Системы на основе ИИ будут использоваться для управления перевозками, автоведения поездов, контроля поведения сотрудников и пассажиров, диагностики объектов инфраструктуры и подвижного состава, управления запасами и закупками. Важную роль ИИ будет играть в сфере работы с клиентами: он позволит прогнозировать спрос, формировать гибкие персонифицированные тарифы, управлять развлекательным контентом, контролировать состояние пассажиров и грузов.

Расширение сфер применения ИИ и кооперация с другими игроками потребуют выработки стандартов обмена данными между различными компаниями и с государством, а также повышения защиты данных, прежде всего персональных и связанных с безопасностью движения.

Одновременно с этим будет происходить развитие процессорной базы – тензорных процессоров, которые предназначены для выполнения узкого круга математических операций и применяются в решении задач машинного обучения, и нейроморфных, архитектура чипа которых основывается на принципах работы человеческого мозга.

Большим потенциалом обладают квантовые вычисления – решение задач с использованием явлений квантовой механики: квантовой суперпозиции (нахождения квантовой системы одновременно в нескольких состояниях) и квантовой запутанности (зависимости квантовых состояний).

Сейчас известны четыре класса задач, в которых квантовые вычисления обладают существенно лучшими результатами, чем классические компьютеры. Это криптография, машинное обучение, имитационное моделирование и оптимизация.

Главным бенефициаром развития квантовых вычислений станет транспортная отрасль<sup>44</sup>. Квантовые вычисления будут востребованы для радикального ускорения обработки больших данных, расчетов, требующих учета большого числа параметров, в том числе для управления движением, оптимизации логистических цепочек, прогнозиро-

вания спроса, распознавания мошеннических действий, формирования индивидуальных тарифов для отдельных перевозчиков.

К 2023–2025 гг. ожидается появление первых версий коммерческих технологий. В России, согласно утвержденной правительством дорожной карте, первые отечественные квантовые вычислительные устройства появятся уже в 2024 г.<sup>45</sup>. Однако для их использования будет необходимо специальное программное обеспечение под конкретные задачи. Это потребует вовлечения потребителей, в том числе ОАО «РЖД» и других компаний, в процесс разработки и создания у них собственных центров компетенций в этом направлении.

Прогресс в глубоком обучении искусственных нейронных сетей менее чем за 10 лет преобразил мир, принес эффективные технологии распознавания лиц и речи, принятия решений и прогнози-

Выигрыш от использования квантовых вычислений, млрд долл.

Симуляция и моделирования	Оптимизация	Машинное обучение	Криптография
Фарма: разработка лекарств <b>40-80</b>	Финансовая система: оптимизация портфеля <b>20-50</b>	Автоматизированное проектирование: беспилотный транспорт; ИИ-алгоритмы <b>0-10</b>	Государственный сектор: шифрование и дешифрование <b>20-40</b>
Аэрокосмонавтика: вычислительная гидродинамика <b>10-20</b>	Страхование: риск-менеджмент <b>10-20</b>	Финансовая система: антимошеннические системы, системы для борьбы с отмыванием денег <b>20-30</b>	Корпоративный сектор: дешифрование <b>20-40</b>
Химическая промышленность: дизайн катализаторов <b>20-50</b>	Логистика: оптимизация сети <b>50-100</b>	Технологии: оптимизация поиска и рекламы <b>50-100</b>	
Энергетика: дизайн катализаторов <b>10-30</b>	Аэрокосмонавтика: оптимизация маршрута, навигация <b>20-50</b>		
Финансовая система: стимуляция рынка (в т.ч. ценообразование деривативов) <b>20-35</b>			
Машинное обучение оказывает влияние практически на все индустрии			

Источник: BCG, 2021

### «ЦИФРОВАЯ ВОЗДЕРЖАННОСТЬ»

В обозримой перспективе будет происходить лавинообразное накопление данных. Они крайне ценны и для повышения операционной эффективности и расширения спектра услуг собственного бизнеса, и как инструмент влияния на рынок, и как товар. Однако их сбор, хранение и обработка имеют свою цену, и при взрывном росте генерации данных она не сможет быть компенсирована постепенным удешевлением технических решений. Поэтому уже в среднесрочной перспективе распространение может получить «цифровая воздержанность» – осознанный и взвешенный подход к вопросу накопления данных, основанный на понимании возможностей их использования и позволяющий оптимизировать их объем.

роования исходов для многих задач – от банковского скоринга до прогноза погоды, обеспечив возможность создания беспилотных транспортных средств и автоматизации широкого круга профессий: от продавцов и складских рабочих до юристов и бухгалтеров. Однако дальнейшее развитие не обязательно будет линейной имплементацией уже существующих технологий. Новые математические методы, рост вычислительных мощностей, в том числе квантовых, и накопленных данных могут привести к качественному скачку.

Таким может стать появление «сильного» искусственного интеллекта – способного к решению широкого круга задач и действию в условиях неопределенности, обладающего самосознанием. Появление такого «сильного» ИИ радикально трансформирует управление обществом и экономикой, в том числе транспортом. Однако на данный момент нельзя спрогнозировать развитие «сильного» ИИ. Среди экспертов сильны сомнения в реализуемости «сильного» ИИ и возможности применения его технологий на практике.

## Мир цифровых двойников

Цифровые двойники – это глубоко детализированные цифровые модели, которые отражают основные характеристики физического актива. Их использование в железнодорожном транспорте помогает оптимизировать проектирование в со-

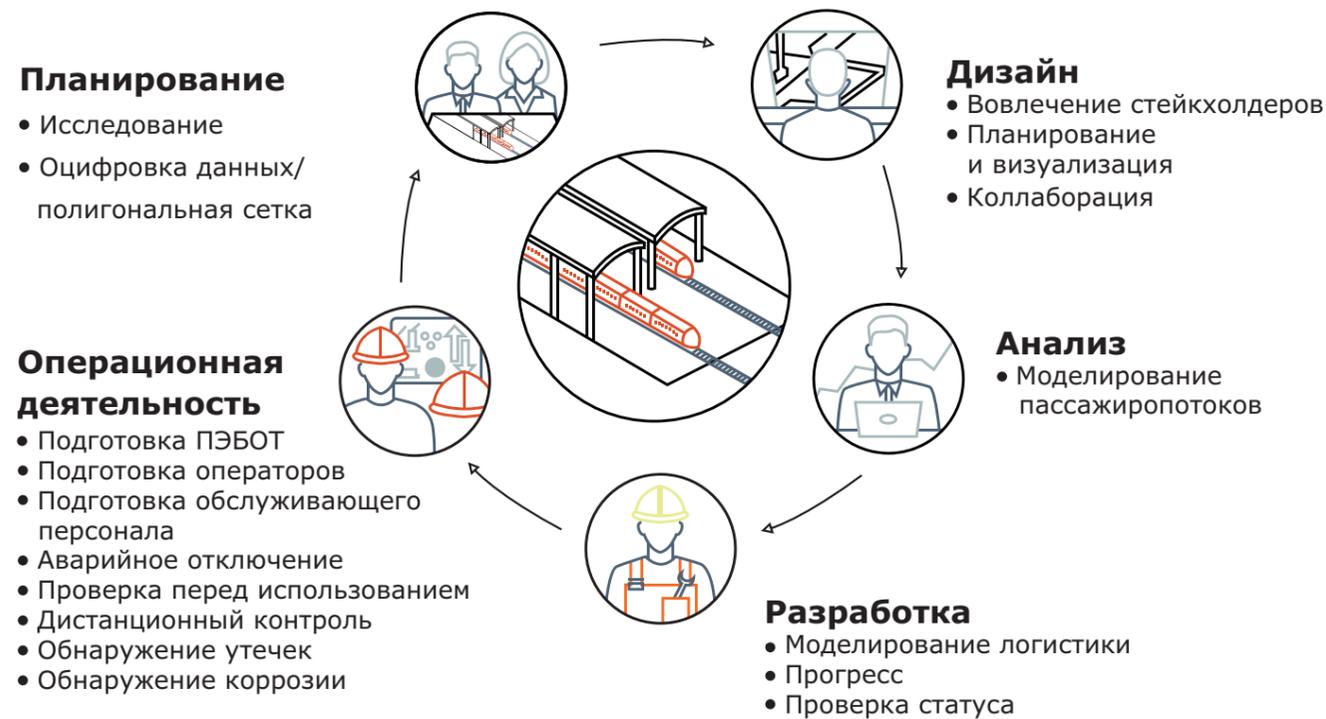


В Индии на основе технологии ИИ был создан чат-бот AskDISHA, который ежедневно обрабатывает около 150 000 запросов пассажиров. За счет этого запросы клиентов по другим каналам, таким как социальные сети, телефонные звонки и электронные письма, были сокращены на 70%. Пассажиры получают немедленные ответы с точностью 90%, а отзывы пользователей о сервисе chatbot были на 85% положительными<sup>46</sup>

Но даже в случае появления «сильный» ИИ может унаследовать неотъемлемый недостаток технологий машинного обучения – невозможность проанализировать и объяснить получаемые выводы, что заставит сохранить принятие принципиальных решений за носителями естественного интеллекта.

ответствии с эксплуатационными требованиями, повышать производительность, эффективность и надежность эксплуатации. В дальнейшем возможно масштабирование полунатурного моделирования новых разработок на основе цифровых двой-

Жизненный цикл цифрового двойника в железнодорожном транспорте



Цифровые технологии позволили замкнуть жизненный цикл объекта с помощью потока цифровых данных, которыми обмениваются разные элементы системы.

Источник: Solutions for Rail and Transit // Bentley, 2021

ников в сфере железных дорог. Полунатурное моделирование уже сейчас активно применяется в различных отраслях, например, в авиационной – MATLAB&Simulink, судостроительной – внедрение Shipbuilding 4.0 (в США – Newport News Shipyard, в Южной Корее – инновационный центр Ulsan, верфь Geoje, в Австралии – Adelaide Australian Navy). В России пока развиваются разрозненные примеры цифровизации отдельных процессов. Например, проект Ctrl2GO по внедрению цифрового депо. Масштабирование внедрения цифрового моделирования и автоматизации позволит сократить издержки эксплуатации и, главное, увеличить производительность.

В настоящее время в России и за рубежом активно ведется работа по созданию цифровых двой-

ников объектов железнодорожной инфраструктуры и систем подвижного состава. В ближайшее десятилетие будет преобладать формирование набора независимых цифровых двойников для отдельных активов. Далее преобладающей тенденцией станет объединение цифровых двойников в единые интегрированные системы.

К 2050 г. крупные региональные системы железных дорог будут иметь цифровые двойники, содержащие цифровые отображения всех транспортных потоков, подвижного состава и инфраструктуры, вовлеченных в перевозки на всех стадиях жизненного цикла. Это позволит моделировать мобильность в макрорегиональном масштабе и обеспечивать гибкость принимаемых решений.

## От BIM- к CIM-моделированию

Технологии информационного моделирования зданий (BIM) основаны на использовании интеллектуальных 3D-моделей. С помощью этих технологий можно эффективно планировать, проектировать, строить и эксплуатировать здания и объекты инфраструктуры. В настоящее время BIM уже получили развитие в пилотных проектах российских строительных и промышленных компаний, включая ОАО «РЖД».

Повсеместное внедрение BIM-технологий позволит повысить точность прогнозирования стоимости строительства и ремонта капитальных сооружений, улучшить качество эксплуатации инженерных объектов, снизить количество ошибок при проектировании. Постепенно будет формироваться спрос на создание библиотек проектных решений, которые могут быть собраны на платформах управления данными ОАО «РЖД» (в том числе созданных в разных подразделениях холдинга «РЖД»), а также в библиотеках решений поставщиков специализированного программного обеспечения. Нарботанный опыт проектирования сложных инженерных объектов может быть коммерциализован ОАО «РЖД» по предоставлению собственных моделей сторонним заказчикам.

Долгосрочные горизонты развития BIM, в том числе в железнодорожной индустрии, связаны с формированием целостных цифровых моделей, содержащих

в себе не только отражения отдельных объектов, но и целых территорий с объектами инфраструктуры, имеющих сложную структуру и состав, – информационное моделирование городов (CIM). К 2035 г. ожидается реализация пилотных проектов информационного городского планирования преимущественно в границах городских систем, а использование технологии BIM может стать обязательным требованием ко всем объектам строительства в железнодорожной индустрии.

К 2050 г. интегрированное проектирование в модели CIM станет возможным благодаря переходу градостроительной документации и региональных геоинформационных систем (ГИС) в полностью цифровой вид.

ОАО «РЖД» предстоит сделать выбор – в какой мере участвовать в создании стандартов BIM/CIM-проектирования и управления капитальными объектами. Они могут быть сформированы при непосредственном участии ОАО «РЖД» либо будут импортированы в отрасль с требованием внедрения в ограниченном временном периоде и со всеми сопутствующими ограничениями (приведению транспортной отрасли к единому для всех перевозчиков стандарту, снижению бюджетов на строительство). Для холдинга более предпочтительный вариант непосредственного участия в создании стандартов и моделей.



Источник: Diarmad Campbell, British Geological Survey

## Слияние операционных и информационных технологий

Ключевым технологическим трендом «интернета вещей» (IoT) является интеграция информационных (IT) и операционных (OT) систем, которая дает возможность повышения эффективности управления железной дорогой.

OT/IT-интеграция заложена в основу эталонной архитектуры компьютерно-интегрированного производства CIM 2.0 – «подключенного цифрового предприятия», которая включает:

- формирование системы «цифровых двойников» объектов и технологических процессов;
- переход от описательной к предсказательной, а затем и к предписывающей аналитике;
- создание интегрированных моделей управления активами;
- цифровую трансформацию финансовой, управленческой и бизнес-моделей компании, совер-

шенствование и оптимизацию цепочек поставок;

- переход от ревизионной и реакционной модели оптимизации к постоянной (через частое обновление программного обеспечения);
- агрегацию данных и алгоритмов, унификацию управления различными программными решениями в цифровых платформах;
- дистанционное управление в режиме реального времени;
- расширение возможностей аналитики данных и искусственного интеллекта для принятия решений.

IT/OT-интеграция способна существенным образом усовершенствовать методологию моделирования капитальных и операционных затрат компании, оптимизировать расходы и повысить качество и прозрачность использования активов.

## Все как сервис

IT/OT-интеграция открывает возможности для новых бизнес-моделей. В управлении капитальными активами железной дороги происходит распространение новых подходов управления на основе сервисной модели (SaaS\*, PaaS\*\*, IaaS\*\*\*, XaaS\*\*\*\*). Семейство этих бизнес-моделей XaaS позволит сократить капитальные затраты, оптимизировать эксплуатационные расходы, в том числе на основе точной калькуляции стоимости использования активов в любом времен-

ном интервале («продвинутая» версия контрактов жизненного цикла). ОАО «РЖД» может быть как оператором, так и пользователем моделей XaaS.

В будущем будет происходить переход к MaaS как к бизнес-модели самого высокого уровня и постепенной интеграции различных MaaS-платформ на уровне мировой экономики. К 2050 г. рынок приобретет форму федерации MaaS-платформ (Smart

\* Software as a Service – программное обеспечение как услуга.

\*\* Platform as a Service – платформа как услуга.

\*\*\* Infrastructure as a Service – инфраструктура как услуга.

\*\*\*\* Anything as a service – все как услуга.

MaaS), которая будет «забирать» на себя часть прибыли рынка.

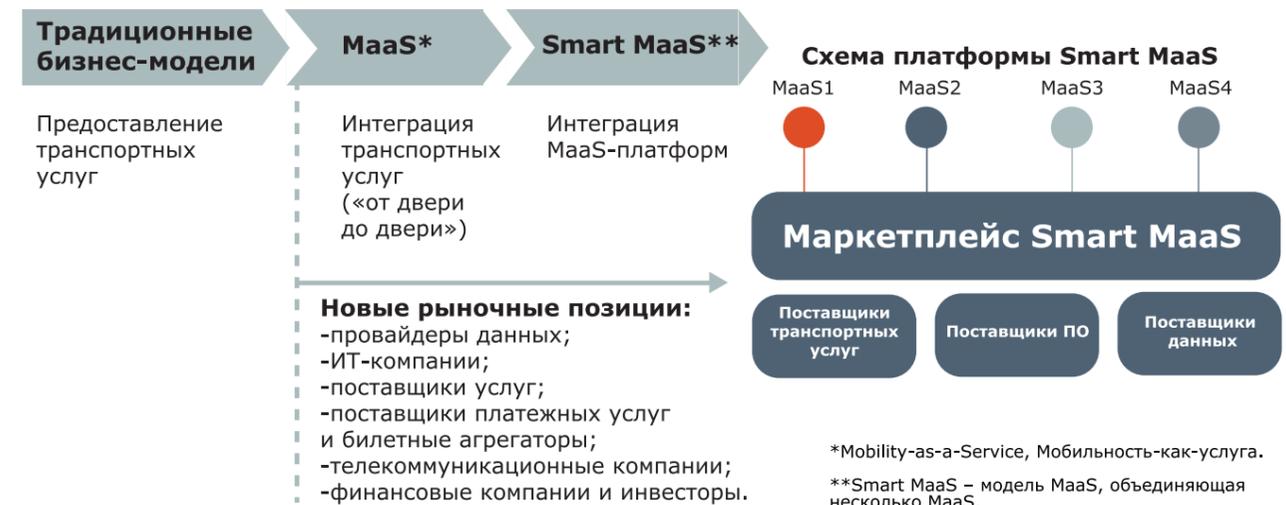
Это приведет к появлению новых рыночных позиций, различных игроков, каждый из которых будет бороться за максимизацию своей маржинальности. Среди них будут провайдеры данных, IT-компа-

нии, поставщики транспортных и платежных услуг, билетные агрегаторы, телекоммуникационные и финансовые компании, инвесторы.

Одной из перспективных бизнес-моделей в рамках XaaS является подписка, которая открывает новые возможности для опережающего роста до-

Схема перехода к платформе Smart MaaS

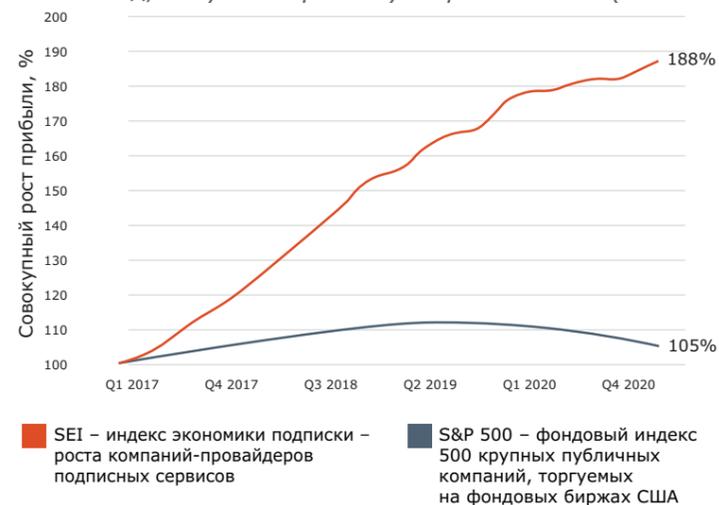
Тип услуги	Кейс
<b>Software-as-a-Service (SaaS)</b> ПО-как-услуга	ПО для совместного с другими компаниями управления цепочками поставок (Flexport, США). Позволяет сократить штрафы по неустойкам на 90%.
<b>Platform-as-a-Service (PaaS)</b> Платформа-как-услуга	Azure Digital Twins (Microsoft, США) – платформа, позволяющая создавать базы знаний на основе цифровых моделей целых сред (знания, фабрики, энергосистемы, железные дороги и др.). Платформа позволила сократить время составления расписания обслуживания поездов на линии West Coast Mainline в Великобритании с 30 минут до 19 секунд.
<b>Trains-as-a-Service</b> Поезда-как-услуга	Hitachi (ABB, Швейцария) – предоставляет 122 поезда в лизинг железным дорогам Великобритании. Компания получает плату за обслуживание и безаварийную работу поездов. Поезда остаются в собственности компании. Модель позволяет сократить энергопотребление на 18% и расходы на ремонт путей на 43%.
<b>Product-as-a-Service (PaaS)</b> Оборудование-как-услуга	Hilti (Лихтенштейн) – предоставляют свои строительные инструменты с ежемесячной оплатой. Это увеличило рост компании на 5–10% в год.
<b>Tunnel-Drilling-Machinery-as-a-Service</b> Техника для бурения тоннелей-как-услуга	Эксперимент компании EPOS, Португалия и производственной компании Atlas Copco, Швеция по представлению техники для проходки тоннелей по фиксированной цене за 1 м <sup>2</sup> . Это решение позволяет подрядчику получить полный контроль над расходами.



ходов и обеспечивает более устойчивый рост компаний. С учетом возрастающей цифровизации модель ХааS может широко проникнуть в железнодорожную отрасль до 2030 г.: от услуг ремонта по подписке (при условии достижения высокой точности предиктивной аналитики обслуживаемого подвижного состава) до грузовых перевозок (например, подписки на перевозку контейнеров по железной дороге).

Реализация новых бизнес-моделей требует создания ранее не существовавшей цифровой инфраструктуры и реорганизации бизнес-процессов компании. Одним из необходимых условий станет увеличение центров сбора и управления цифровыми данными.

Компании, которые начали продавать услуги по подписке 5 лет назад, получили прибавку к прибыли 80% (S&P 500)



Источник: The Subscription Economy Index. // Subscribed Institute, 2021<sup>47</sup>

## Для людей и вместо людей

В XX веке сначала механизация, а затем роботизация избавили значительную часть человечества от тяжелого и монотонного физического труда. Развитие технологий ИИ уже в ближайшее десятилетие даст новую волну спасения от рутинного труда, на этот раз интеллектуального.

В ближайшие 10 лет может быть сокращено более 50% рабочих мест офисных служащих. В ОАО «РЖД», например, значительным потенциалом автоматизации обладают финансово-экономический и бухгалтерский блоки, блок закупок и снабжения, правовой блок, блок управления кадрами. Из специфичных для отрасли профессий уже в ближайшее время может быть автоматизирован труд машинистов, персонала, связанного с диагностикой инфраструктуры. В более отдаленной перспективе речь может идти об автоматизации части функций младшего и среднего менеджмента.

Подобная автоматизация позволит резко повысить производительность труда и увеличить надежность

работы за счет снижения числа ошибок и искажений, вызываемых человеческим фактором, а также отчасти решить проблему дефицита кадров на удаленных участках железнодорожной сети ОАО «РЖД», которая будет нарастать по мере снижения численности молодежи и изменения ее предпочтений в отношении работы и места жительства. Обратной стороной станет необходимость переобучения высвобождающихся кадров, возможности которого ограничены структурными несовпадениями, и аутплейсмента (помощь в трудоустройстве увольняемых сотрудников). Однако значительная часть высвобождаемых работников не будет относиться к узкоотраслевым специальностям, это облегчит ей поиск работы на рынке труда.

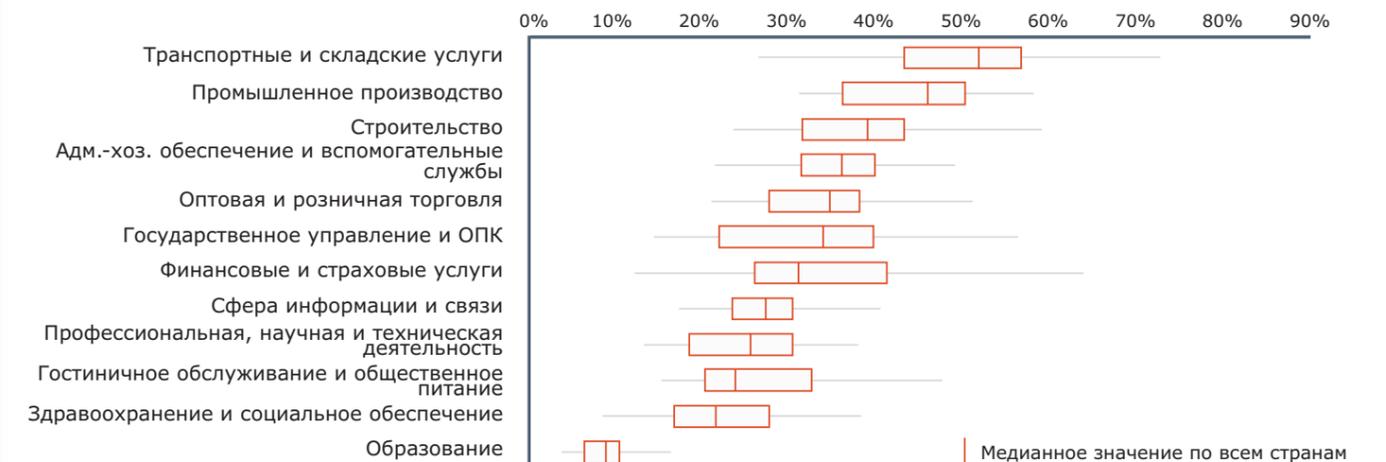
Сугубо отраслевые задачи в меньшей степени будут подвержены автоматизации в ближайшие годы. Хотя в некоторых из них, например в управлении поездами, анализе состояния объектов инфраструктуры и подвижного состава, диспетчер-

ской работе, число людей может быть заметно сокращено.

Смягчить негативные последствия автоматизации и наиболее эффективно использовать ее потенциал смо-

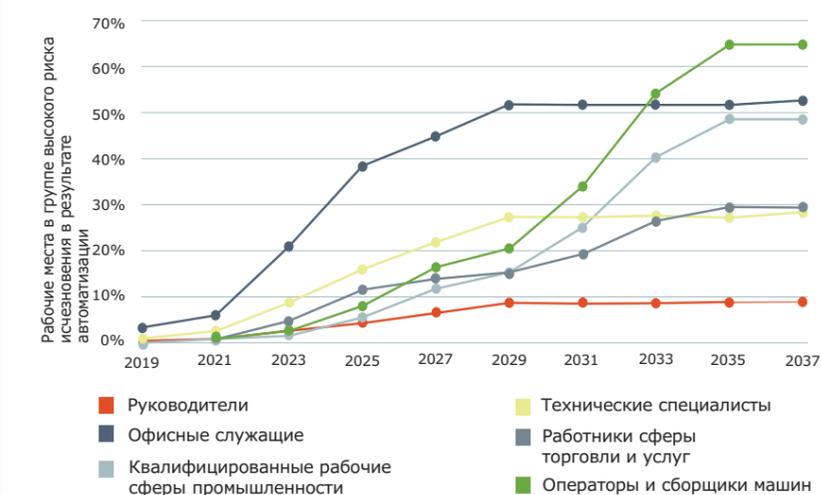
жет проактивное управление изменениями в штате, основанное на детализированном перспективном кадровом портрете ОАО «РЖД», учитывающем изменения в технологиях работы и на рынке труда, возможности и ограничения переобучения и релокации персонала.

Транспорт является лидером по потенциалу автоматизации рабочих мест (по уровню 2020 г.)  
Доля рабочих мест с высоким потенциалом автоматизации



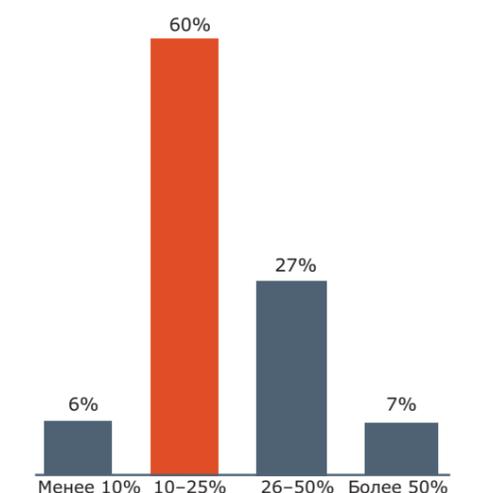
Источник: PwC по данным Международной программы по оценке компетенций взрослого населения (PIAAC)<sup>48</sup>

Более половины рабочих мест «офисных» профессий может быть автоматизировано уже до 2030 г.



Источник: PwC по данным Международной программы по оценке компетенций взрослого населения (PIAAC)<sup>50</sup>

Насколько ОАО «РЖД» может сократить штат персонала в 2050 г. по отношению к 2021 г.?



Результаты опроса в рамках стратегической сессии с руководством ОАО «РЖД»

\* Кадровый портрет – плановый состав сотрудников компании, структурированный по территориальному и возрастному признакам, по профессиям и уровням управления.

## Потенциал влияния автоматизации в сфере транспорта



\* – доля автоматизируемых операций.

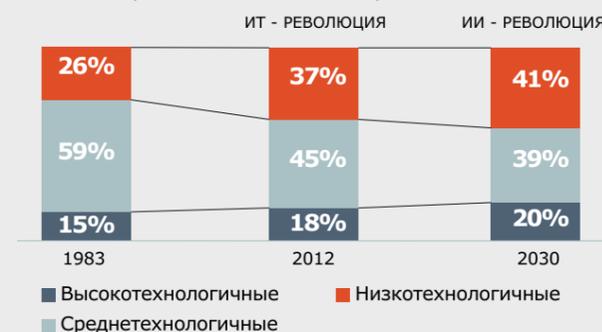
Источник: Frey and Osborne. Technological Forecasting and Social Change, 2017

## ДРУГАЯ РЕАЛЬНОСТЬ

Технологии XR\*/AR\*\*/VR\*\*\* /MR\*\*\*\* позволяют повысить эффективность и безопасность обучения и переобучения сотрудников. Обучение новых сотрудников при помощи XR-технологий требует в 10 раз меньше времени, а результаты лучше на 30–40%. При этом обучающиеся не работают в опасной среде.

Технологии AR также могут быть использованы при производстве ремонтных и складских работ, поиске неисправностей, для вывода поддерживающей информации машинистам поездов и диспетчерам.

Использование технологии ИИ больше всего сократит долю среднетехнологичных рабочих мест



Источник: Frost &amp; Sullivan

\* XR – технологически опосредованные опыты, сочетающие в себе среды и реальности виртуального и реального миров (часто обозначает AR, VR и MR вместе взятые).

\*\* AR – дополненная реальность.

\*\*\* VR – виртуальная реальность.

\*\*\*\* MR – смешанная реальность.

## УПРАВЛЕНИЕ ЗНАНИЯМИ

По мере увеличения количества релевантной информации и «информационного шума» резко растут издержки поиска необходимых знаний, дублируются усилия по их созданию. Для решения этих проблем используется система управления знаниями (СУЗ) – совокупность организационных и технологических решений, связанных с поиском, накоплением, структуризацией, применением, использованием, сохранением, распространением и развитием знаний, которыми обладает организация.

СУЗ также позволяет значительно повысить эффективность использования человеческого капитала организации и накопленных ей знаний, путем повышения вовлеченности персонала в производственную и инновационную деятельность и его мотивации, решения проблемы вымывания компетенций, связанного со старением и уходом специалистов. Все это особенно актуально для холдинга «РЖД», обладающего крупнейшим в России штатом персонала и множеством подразделений, порознь генерирующих и использующих различные знания.

## Базовые элементы корпоративной СУЗ

- Единая база корпоративных знаний с системой сбора и обработки информации.
- Система поддержки принятия решений, включающая интеллектуальный поиск, автоматическую подготовку отчетов.
- Система непрерывного развития и обучения работников, наставничества.
- Система выявления объектов интеллектуальной собственности (ИС), управление правами на результаты интеллектуальной деятельности (РИД).
- Инструменты для проведения экспертиз с привлечением внутренних и внешних экспертов, включая процедуру краудсорсинга.
- Социальная сеть организации, включающая профессиональные сообщества, форумы/обсуждения, блоги и экспертные сети (профили компетенций, рейтинги экспертов отрасли, их подбор для проведения экспертиз, консультаций и участия в реализации проектов).
- Инструменты совместной работы для организации работы проектных команд.
- Экспертные системы.

В будущем развитии СУЗ эти базовые элементы будут пополняться сервисами на основе технологий ИИ.

## В СУЗ 2.0 могут войти:

- Формирование персонализированных траекторий обучения для каждого сотрудника с учетом его профиля знаний и способностей к обучению, реализация «невидимого обучения» – встраивания обучения в единый рабочий и коммуникативный поток сотрудника.
- Оценка сотрудников на основании поведенческих и образовательных паттернов.
- Конкурентная разведка с помощью самообучаемых поисковых агентов, анализирующих открытые данные, формирующих запросы в открытых источниках и ранжирующих информацию по важности/релевантности.
- Автоматическое формирование информационных слоев для дополненной реальности.
- «Цифровые эксперты» по определенным областям знаний.
- Автоматический поиск и структурирование знаний, в том числе автоматический подбор наиболее релевантных экспертов, а также автоматизированный семантический анализ открытых данных для анализа потенциальных направлений развития или решения иных задач.
- Анализ открытых научно-технологических данных (статьи, патенты и др.) для автоматизированного формирования поля решений той или иной научной, технологической задачи.
- Технологии генеративного дизайна, генетические алгоритмы синтеза и поиска решений для формирования новых знаний без участия человека.

## Цифровизация угроз

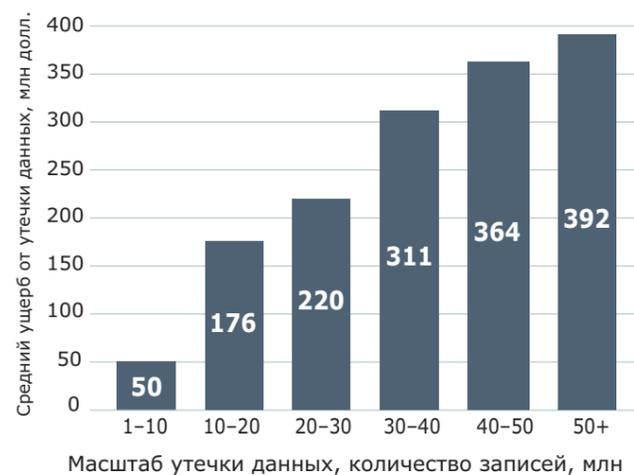
Цифровизация ведет к наращиванию взаимосвязей с внешними системами и количества подключенных к сетям объектов, что влечет за собой рост рисков, связанных с кибербезопасностью. Утечки персональных данных угрожают репутационными и финансовыми потерями, а несанкционированный доступ к объектам железнодорожной инфраструктуры – безопасности работы. Специфическими для систем, использующих технологии на основе ИИ, являются отравляющие атаки, при которых искусственный интеллект получает ложные данные, что может привести к малопредсказуемым изменениям в результатах его работы. В долгосрочной перспективе значение безопасности будет только возрастать по мере увеличения объема собираемых и требующих обработки цифровых данных.

Революцией в кибербезопасности станет использование квантовых технологий и, в частности, квантовых коммуникаций, лидером которых в России является ОАО «РЖД».

Основные вызовы кибербезопасности для железнодорожных компаний<sup>49</sup>

- Низкий уровень осведомленности о киберугрозах в отрасли.
- Сложность соединения принципов транспортной и кибербезопасности.
- Цифровая трансформация железнодорожного бизнеса.
- Зависимость кибербезопасности от цепочки поставок.
- Широкие географические рамки железнодорожной инфраструктуры и районы с устаревшей транспортной системой (инфраструктура).
- Необходимость баланса безопасности, конкурентоспособности и операционной эффективности.
- Сложность правил кибербезопасности. Поскольку операторы услуг пытаются соответствовать требованиям кибербезопасности, установленным различными национальными нормативными актами, соблюдение нормативных требований, объединение больших объемов информации и множество административных задач может быть затруднено.

Средний ущерб от утечки данных



Источник: IBM Cost of Data Breach Report, 2020

Для эффективного противодействия этим вызовам необходимо обеспечивать меры противодействия, которые можно разделить на 4 группы<sup>49</sup>:

- Управление и развитие экосистемы:
  - Управление рисками.
  - Управление по принципу экосистемы.
- Пассивная защита от угроз:
  - Идентификация для доступа.
  - Безопасная архитектура ИТ-систем.
  - Управление ИТ-безопасностью.
  - Поддержание ИТ-безопасности.
  - Физическая безопасность и безопасность среды.
- Активная защита от угроз:
  - Развитие кризисного управления.
  - Постоянство процедур безопасности.
- Сопротивление угрозам:
  - Обнаружение угроз.
  - Работа с инцидентами компьютерной безопасности.

## Цифра и климат

Искусственный интеллект позволит сократить объемы выбросов CO<sub>2</sub> за счет управления расходом энергии и возможностью отслеживания данных по уровню выбросов CO<sub>2</sub> онлайн. Для поездов, имеющих накопители энергии, системы искусственного интеллекта будут обеспечивать оптимальные сценарии подзарядки.

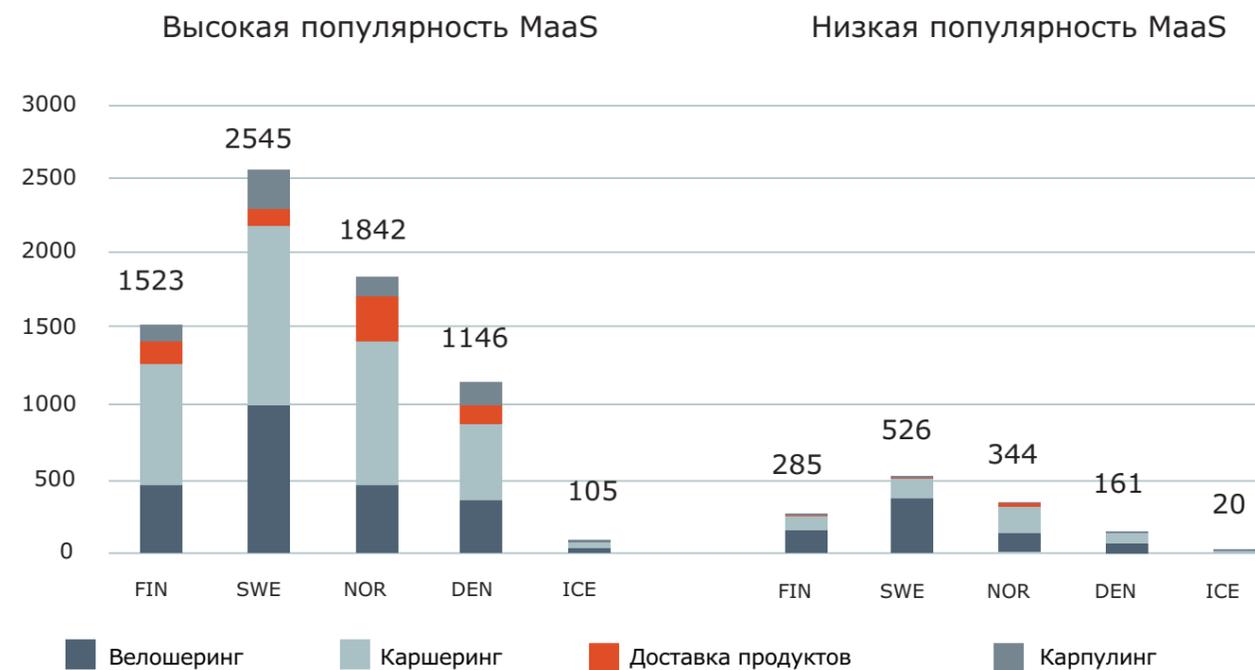
Интеграция данных также откроет возможности для комплексной оценки и снижения карбонового следа в транспортных логистических цепочках в целом и при построении каждого маршрута в частности, что может быть начато использоваться уже в ближайшие 3–5 лет. Снижение углеродного следа при использовании инструментов MaaS достигается за счет:

- эффекта флота: комбинирование различных видов транспорта по всей цепочке доставки;

- изменения поведенческих моделей: самостоятельного принятия решений перевозчиками на основе исходных данных, выбор «чистых» маршрутов;
- улучшения качества проектирования транспортных систем: учета данных об углеродном следе с целью устранения «узких» мест в будущем;
- сокращения использования не соответствующих требованиям углеродной нейтральности видов транспорта владельцем транспортной цепочки.

В то же время активная цифровизация ведет к росту потребления электроэнергии центрами обработки данных. Потребление энергии ими может в будущем оказаться сопоставимым с потреблением в промышленности.

Общий потенциал услуг MaaS по сокращению выбросов CO<sub>2</sub> на примере стран Северного совета, тыс. т эквивалента CO<sub>2</sub> в год



Источник: Nordic Council of Ministers

## 4. НОВЫЕ ВИДЫ ТРАНСПОРТА



**К** 2050 г. широкое распространение получат новые виды транспорта, что приведет к усилению конкуренции на рынке перевозок, а также серьезно трансформирует существующие транспортные системы.

#### Основные факторы и тренды изменений

- Рост требований к экологичности транспорта, прежде всего с точки зрения потребления энергоресурсов и углеродного следа. Следствием станет увеличение доли транспортных средств, использующих накопители электроэнергии и водород в качестве энергоносителя.
- Повышение автоматизации и интеллектуализации самих транспортных средств, а также

транспортной инфраструктуры и систем управления движением; насыщение их сенсорами и актуаторами, интегрированными в сети («интернет вещей»).

- Рост требований компаний и населения к возможности выбирать между различными видами транспорта, перевозочными маршрутами и характером использования и владения транспортными средствами.
- Усиление интеграции различных видов транспорта, элементов инфраструктуры (дороги, аэропорты, порты, железнодорожные пути), систем операторов дорог и логистических компаний, формирование мультиагентных транспортных систем, планирование раз-

вития и управление транспортом как единой системой.

- Повышение значимости государства в развитии транспортной отрасли в связи с необходимостью формирования новой нормативной базы (для организации беспилотного движения), создания новой инфраструктуры (зарядные станции, управление воздушным движением), введения требований и ограничений экологического характера, субсидирования развития новых видов транспорта.

Массовое использование новых видов транспорта, которые смогут существенным образом повлиять на железнодорожные перевозки, в значительной степени будет зависеть от появления следующих технических решений:

- Компактных, емких и экономически доступных накопителей энергии. Пока на эту роль претендуют различные виды аккумуляторов, хотя альтернативу им, особенно для перевозок на средние и дальние дистанции, с высокой вероятностью может составить использование водородных топливных элементов.
- Систем беспилотного движения, обеспечивающих полную автономность транспортного средства от человека.
- Решений по высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП), резко улучшающих показатели энергоэффективности электродвигателей для электротранспорта и электромагнитов для магнитной левитации.



## Беспилотный наземный транспорт

Использование автоматизированных грузовиков и их управляемых колонн может стать подрывной инновацией для рынка грузоперевозок. Успешно прошли первые эксперименты по эксплуатации грузовых автопоездов, которые могут начать широко применяться уже до 2030 г. Это приведет к снижению затрат на водителей и аварийности, обеспечит возможность круглосуточного движения, что серьезно увеличит конкурентное превосходство автомобильного транспорта над железнодорожным на малых и средних дистанциях. Существенно ускорить распространение грузового беспилотного транспорта может создание выделенных полос для него на автомагистралях.

Пассажирские перевозки беспилотным автотранспортом будут распространяться более медленно, что прежде всего обусловлено необходимостью дополнительного обеспечения безопасности и преодоления недоверия пассажиров. Тем не менее на горизонте 2030–2040 гг. они получают уже достаточно широкое

распространение, что приведет к увеличению доли автотранспорта во внутригородских и пригородных пассажирских перевозках.

Важным направлением станет организация беспилотного движения на железнодорожном транспорте. В настоящее время уже существуют технические решения для использования беспилотного железнодорожного движения: сначала на обособленных (например, сортировочные станции), внутригородских и пригородных маршрутах (период 2020–2030 гг.), а впоследствии – на дальнемагистральных маршрутах (период 2030–2040 гг.).

Беспилотные технологии позволят полностью автоматизировать погрузочно-разгрузочные операции, а необходимость работать с беспилотным транспортом грузоотправителей и грузополучателей потребует адаптации складского и логистического хозяйства ОАО «РЖД».

### ОСНОВНЫЕ ДРАЙВЕРЫ РОСТА:

- увеличение вычислительной мощности бортовых компьютеров и прогресс в интеллектуализации программного обеспечения;
- создание эффективных средств локации и компьютерного зрения;
- сочетание с электродвижением;
- оснащение автодорог и железнодорожных магистралей устройствами IoT;
- увеличение пропускной способности систем связи, появление решений 5G и 6G;
- распространение систем заказа такси и каршеринга.

### ПРОБЛЕМЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ:

- недостаточность нормативной базы;
- ограниченность систем распознавания и реагирования;
- низкое качество дорожной инфраструктуры;
- высокая стоимость оборудования транспортного средства;
- недоверие к беспилотным технологиям со стороны большей части общества и значительное сокращение рабочих мест при их внедрении.

### ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ:

- переключение существенной части грузовых перевозок средней дальности на автотранспорт;
- переключение части локальных пассажирских поездок на автотранспорт;
- необходимость интеграции складского хозяйства и логистики с беспилотным транспортом.



## Электрические и водородные автомобили

Быстрое распространение автомобилей, использующих для движения электроэнергию и водород, в развитых странах будет обусловлено требованиями климатического регулирования. Об отказе от производства автомобилей с двигателем внутреннего сгорания до 2030 г. уже заявил ряд крупнейших автопроизводителей.

Водородный транспорт будет конкурировать с аккумуляторным электрическим. Ограничениями развития водородной энергетики пока являются высокая относительно углеводородов стоимость водорода, а также топливных элементов, неразвитость мощностей по производству водорода и инфраструктуры по его перевозке и хранению. Недостаточно отработаны технологии безопасного хранения и применения водорода. При этом основной объем производимого в мире водорода сейчас происходит путем конверсии метана с получением углекислого газа, что является минусом с точки зрения достижения целей климатического регулирования, нацеленного на снижение его выбросов.

В то же время высокая плотность энергии водорода (примерно в 10 раз выше плотности энергии по сравнению с перезаряжаемыми электрохимическими батареями) делает его перспективным для питания транспортных устройств. Водород обеспечивает воз-

можность более быстрой заправки и более длительного движения на ней, что позволяет использовать менее плотную сеть зарядок, чем для электромобилей. Также переход на использование водорода не повышает нагрузку на уже существующую энергетическую

### ОСНОВНЫЕ ДРАЙВЕРЫ РОСТА:

- ужесточение экологических требований к выбросам автотранспорта;
- улучшение характеристик и снижение стоимости аккумуляторов и топливных элементов;
- прогресс в создании емкостей высокого давления для хранения сжиженного водорода;
- развитие ВИЭ, обеспечивающих «зеленую» электроэнергию;
- исчерпание потенциала совершенствования ДВС.

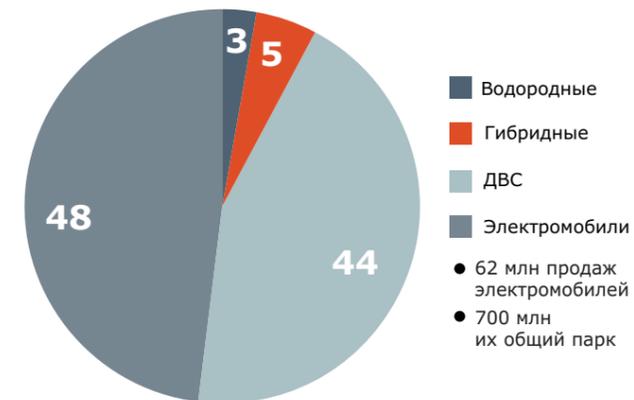
### ПРОБЛЕМЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ:

- высокая цена аккумуляторов и топливных элементов текущего поколения;
- неразвитая инфраструктура зарядки электромобилей и ограниченный пробег на одной зарядке;
- сложность утилизации и рециклинга аккумуляторов;
- недостаточные производственные мощности по получению водорода без выбросов CO<sub>2</sub> и его высокая стоимость;
- неразвитая инфраструктура транспортировки и хранения водорода.

### ВОЗМОЖНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ:

- сокращение объемов железнодорожных перевозок нефти и нефтепродуктов;
- нивелирование преимущества железнодорожного транспорта как более экологичного;
- удешевление аккумуляторов и топливных элементов, а также развитие водородной инфраструктуры облегчат распространение железнодорожного подвижного состава на аккумуляторной и водородной тяге.

Продажи различных видов автомобилей в мире в 2050 г., %



Источник: Wood Mackenzie

систему. При этом потенциал повышения энергоемкости и снижения стоимости электрохимических аккумуляторов ограничен, а их переработка дорогостояща.

Все это в долгосрочной перспективе может привести к тому, что аккумуляторный электрический транспорт будет преимущественно использоваться на небольших дистанциях, а водородный – на средних и дальних.

Уход автотранспорта от ДВС приведет к существенному сокращению использования нефтепродуктов

в качестве автомобильного топлива, что вызовет падение перевозок нефти и нефтепродуктов, в т.ч. по железной дороге; а также отчасти нивелирует преимущество железнодорожного транспорта по отношению к автомобильному как более экологичного.

В то же время удешевление аккумуляторов и развитие водородной инфраструктуры будут способствовать распространению локомотивов с использованием аккумуляторной и водородной тяги.

## Автономные наземные дроны малого размера

Дроны – компактные роботизированные, относительно низкоскоростные транспортные средства, предназначенные для перемещения малогабаритных и маловесных грузов, которые могут передвигаться как по автодорогам, так и по пешеходным зонам.

В холдинге «РЖД» они могут прежде всего быть в качестве средства доставки грузов на «последней миле». Позднее они могут быть дополнены и частично вытеснены авиадронами.

Второе направление использования наземных дронов – перемещение грузов внутри складов, грузовых дворов и вокзалов. Их применение как часть процесса внедрения безлюдных технологий позволит сократить расходы на выполнение производственных операций и оптимизирует количество персонала, заявленного под эти операции, а также повлияет на повышение уровня безопасности работы на объектах транспортной инфраструктуры.

### ОСНОВНЫЕ ДРАЙВЕРЫ РОСТА:

- улучшение характеристик и снижение стоимости аккумуляторов;
- увеличение вычислительной мощности бортовых компьютеров и прогресс в программном обеспечении;
- создание эффективных средств локализации и компьютерного зрения;
- рост популярности дистанционных продаж с доставкой заказов на дом;
- развитие мультимодальной логистики;
- высокая стоимость рабочей силы в развитых странах;
- развитие практик удаленной работы.

### ПРОБЛЕМЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ:

- вандализм и хищения дронов и грузов;
- конкуренция с услугами курьеров и в перспективе с аэродронами;
- ограниченность систем распознавания и реагирования;
- высокая стоимость сенсоров;
- сложность работы в зданиях (доставка до входа);
- малый радиус доставки.

### ВОЗМОЖНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ:

- использование дронов как средства доставки грузов на «последней миле»;
- использование дронов на грузовых дворах, складах, вокзалах;
- ускорение разгрузки вагонов.

## Авиадроны и средства индивидуальной аэромобильности

В мире активное применение для наблюдения, мониторинга и охраны находят авиадроны, в том числе на железных дорогах. Например, при помощи дронов можно контролировать процессы строительства и ремонта, оценивать состояние объектов инфраструктуры, в том числе элементов пути и контактной сети, определять возможные места схода лавин и оползней. В горизонте до 2030 г. прогнозируется их массовое использование.

После решения вопросов, связанных с правовым регулированием их применения, грузовые авиадроны уже на горизонте 2030 г. могут начать широко использоваться при доставке небольших грузов весом до нескольких килограммов. Прежде всего они найдут применение как средство доставки в малонаселенных и труднодоступных местностях.

Применение более тяжелых грузовых дронов, особенно в условиях городской застройки, требует решения принципиальных вопросов и создания специальной инфраструктуры регулирования воздушного движения и более мощных и компактных, чем сегодня, накопителей энергии. Предположительное время решения этих вопросов – не ранее 2035 г. Но даже после этого тяжелые грузовые дроны станут не столько конкурентом для железных дорог, сколько их дополнением в логистической цепочке – средством доставки грузов «последней мили».

Средства индивидуальной аэромобильности – это мини-авиатранспорт на несколько пассажиров, имеющий возможность взлета с неподготовленных площадок (вертикальный взлет). Проблемы в их развитии идентичны проблемам тяжелых грузовых авиадронов с добавлением необходимости обеспечить еще больший уровень безопасности в связи с перевозкой людей. Поэтому относительно массового появления такого транспорта можно ожидать не ранее 2040 г., и использоваться он будет прежде всего вне городской черты. Чуть раньше может начаться его эксплуатация

экстренными службами. В силу малой грузоподъемности данных транспортных средств и их технических ограничений, полеты на них будут достаточно дорогими и, следовательно, не массовыми.

### ОСНОВНЫЕ ДРАЙВЕРЫ РОСТА:

- улучшение характеристик и снижение стоимости аккумуляторов;
- наличие позитивного опыта применения БПЛА военного назначения;
- создание эффективных средств локации и компьютерного зрения;
- рост популярности дистанционных продаж с доставкой заказов на дом;
- развитие мультимодальной логистики;
- рост загруженности наземных транспортных магистралей.

### ПРОБЛЕМЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ:

- ограниченность возможности достижения требуемой плотности энергии в литий-ионных аккумуляторах;
- неразвитость нормативной базы;
- необходимость создания инфраструктуры управления воздушным движением;
- конкуренция с курьерами, постаматами, наземными дронами.

### ВОЗМОЖНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ:

- использование для мониторинга железнодорожной инфраструктуры;
- использование для срочной доставки грузов на железнодорожной сети (малогабаритные запчасти и другие мелкие грузы);
- интеграция в логистические цепочки как средства доставки грузов на «последней миле».

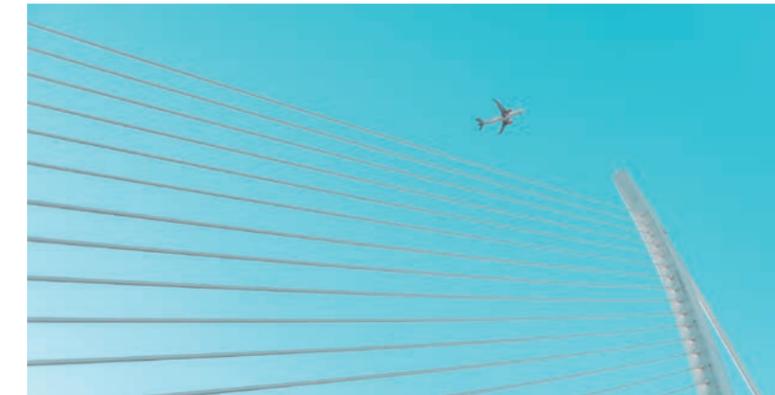
## Самолеты на альтернативных источниках энергии

На горизонте до 2040 г. не просматривается технических решений, которые смогут обеспечить энерговооруженность самолетов, использующих в качестве основного источника энергии аккумуляторы, достаточные для эксплуатации на магистральных авиалиниях. В случае появления таких решений потребуется время для отработки конструктивных особенностей полностью электрического самолета, его испытаний и запуска в серию. В этой связи появление аккумуляторных самолетов до 2050 г. в массовом количестве на магистральных авиалиниях маловероятно.

Значительно быстрее может выйти на рынок магистральный самолет на водородных топливных элементах или гибридных силовых установках. При благоприятном сценарии летный демонстратор такого воздушного судна может появиться уже к 2030 г.

Ускорить разработку самолетов на новых видах источников энергии может ужесточение климатического регулирования, в том числе запреты на полеты на небольшие дистанции. Появление таких

моделей сможет снизить стоимость перелета, при этом преимущество железнодорожного транспорта как более экологичного будет нивелировано, а снижение шумности полетов создаст возможность использовать авиатранспорт в непосредственной близости от населенных пунктов, что еще больше повысит его привлекательность. Вследствие этого такие самолеты смогут стать серьезным конкурентом железных дорог при перевозках пассажиров и ряда категорий высокомаржинальных грузов.



### ОСНОВНЫЕ ДРАЙВЕРЫ РОСТА:

- ужесточение климатического регулирования;
- улучшение характеристик аккумуляторов и топливных элементов;
- возможность существенного снижения стоимости перелета;
- возможность снижения шумности, позволяющего приблизить аэропорты к населенным пунктам.

### ПРОБЛЕМЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ:

- отсутствие подтвержденных технических решений;
- ограниченность энергоемкости аккумуляторов;
- высокая стоимость и большая длительность разработки авиационной техники.

### ВОЗМОЖНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ:

- переток значительной части пассажирских перевозок средней дальности на авиатранспорт;
- переток части грузоперевозок на авиатранспорт.

## Вакуумно-левитационный транспорт

Пока даже в экспериментальных условиях не продемонстрировано достижение заявляемых инициаторами различных проектов показателей: скорость более 1000 км/ч и более низкая стоимость пере-

возок по сравнению воздушным транспортом и ВСМ. Даже в случае решения всех технических проблем первые коммерческие трассы с большой вероятностью появятся в виде коротких внутри-

### ОСНОВНЫЕ ДРАЙВЕРЫ РОСТА:

- ограничения на авиаперелеты на короткие дистанции;
- высокая стоимость авиаперелетов на региональных линиях;
- развитие мегаполисов и агломераций;
- ограниченность скоростных показателей ВСМ (400 км/ч) и маглева (600 км/ч).

### ПРОБЛЕМЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ:

- отсутствие подтвержденных технических решений;
- высокие затраты на создание и эксплуатацию;
- необходимость создания инфраструктуры «с нуля»;
- конкуренция не только с железными дорогами, но и с авиалиниями, в том числе в перспективе – с воздушными судами на новых видах источников энергии.

### ВОЗМОЖНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ:

- конкуренция с высокоскоростными магистральными поездами;
- возможность интеграции с внутриагломерационными железнодорожными перевозками.

агломерационных маршрутов длиной в несколько десятков километров, что не позволит продемонстрировать весь потенциал технологии. На средне- и дальнемагистральных маршрутах вакуумно-левитационный транспорт может составить

существенную конкуренцию ВСМ – как подрывная для отрасли технология при достижении безопасности, заявленной низкой стоимости и высокой скорости перевозок. Однако это произойдет, скорее всего, уже за горизонтом 2050 г.

### Периоды активного проникновения на рынок новых видов транспорта

ВИД ТРАНСПОРТА	Настоящее время	2020–2030 гг.	2030–2040 гг.	2040–2050 гг.
Автономные машины	Пилотное тестирование	Повышение автономности. Грузовые колонны. Такси в малых городах	Беспилотные авто в мегаполисах	Массовое распространение автономных машин
Электромобили	Серийный выпуск, много моделей	Рост доли новых продаж. Развитие инфраструктуры	Ускорение рынка и падение стоимости	30–50% автопарка развитых стран
Наземные дроны	Испытания образцов	Рост числа локальных роботов-доставщиков	Широкое применение вместе с беспилотными грузовиками	Конкуренция с воздушными беспилотниками
Авиадроны	Массовое использование для мониторинга. Эксперименты с грузовыми моделями	Развитие нормативной базы. Массовое использование легких дронов	Развитие инфраструктуры. Использование грузовых дронов вне городов	Массовое использование в городской черте
Аэромобили	Прототипы и пробные полеты	Развитие принципов УВД. Выбор конструкции. Пилотные проекты	Разработка и тестирование. Развитие инфраструктуры	Эксплуатация вне городов
Электро- и гибридный самолет	Первые прототипы	Разработка и тестирование	Разработка и тестирование	Опытная эксплуатация на региональных линиях
Вакуумно-левитационный	Только эксперименты на коротких трассах	Образцы, подтверждающие жизнеспособность	Первые пилоты, опытная эксплуатация	Короткие пилотные трассы в городах

Период активного проникновения на рынок



# 5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ЭНЕРГЕТИКИ

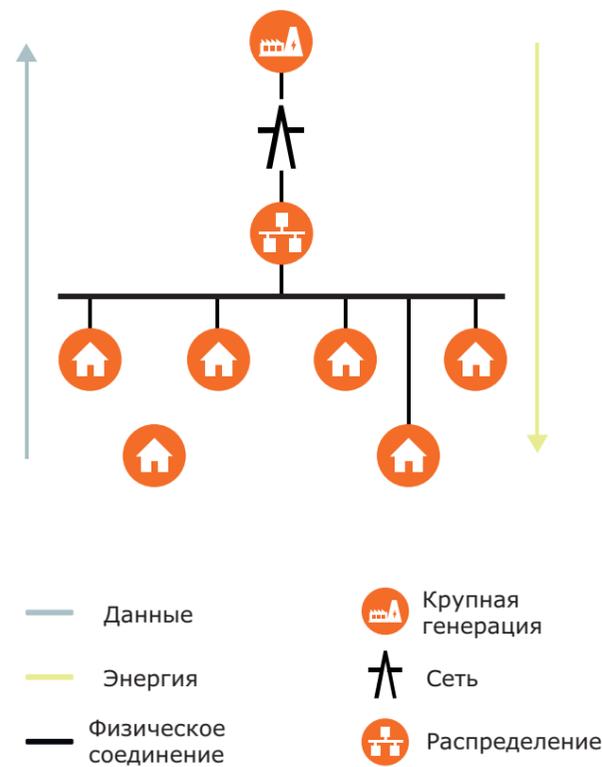


На горизонте до 2050 г. ключевое влияние на развитие энергетики и взаимосвязанных с ней отраслей будет иметь энергетический переход – принципиальные изменения структуры, состава и характера энергетических систем, определяемые процессами декарбонизации, децентрализации и цифровизации.

Основными комплексными решениями и практиками, связанными с переходом на новую архитектуру энергетики и освоением новых технологий, на горизонте до 2050 г. являются промышленные и коммерческие микрогриды, «умные» цифровые сети, управление спросом, водородная энергетика, системы накопления энергии, генерация на основе ВИЭ, потребительские энергетические сервисы.

Сравнение типов энергосистем

### Традиционная энергосистема



### Децентрализованная энергосистема (Интернет энергии)



Источник: ИЦ «Энерджинет»

## Промышленные и коммерческие микрогриды

Микрогрид – локальная энергосистема или система электроснабжения, представляющая собой технологический комплекс, включающий объекты генерации (источники энергии), источники энергетической гибкости и потребителей электроэнергии, которые собраны под единым управлением в целях обеспечения как можно более эффективного и удобного для потребителя электроснабжения. Микрогрид может быть как присоединен к сетям централизованной энергосистемы и дополнять электроснабжение, обеспечиваемое этими сетями, так и быть изолированной энергосистемой.

При создании микрогридов используются:

- гибридные источники энергии, сочетающие несколько типов генерации;

- системы накопления электрической энергии;
- управляемая нагрузка – дистанционно или автоматически регулируемая;
- интеллектуальные энергопринимающие устройства;
- цифровые технологии интеграции и распределенного управления микрогридами, в частности платформенные технологии энергообмена и управления энергетической гибкостью;
- технологии plug & play интеграции объектов распределенной энергетики, которые обеспечивают легкое масштабирование микрогридов за счет моментального присоединения новых участни-

Типовая архитектура микрогрида



Источник: IEA, 2020

ков и оборудования и их включения в контур управления без изменения системы управления.

Особое значение микрогриды имеют для организации снабжения электроэнергией в изолированных от основных сетей регионах, причиной тому относительно низкие капитальные затраты по сравнению с созданием традиционной системы энергоснабжения и масштабируемость решений.

В настоящее время синхронизация и обеспечение оптимально сбалансированной работы таких гибридных объектов генерации, объединенных в микрогриды, является сложной инженерной задачей, требующей использования подходящих средств автоматики и программного обеспечения. Однако уже в среднесрочной перспективе

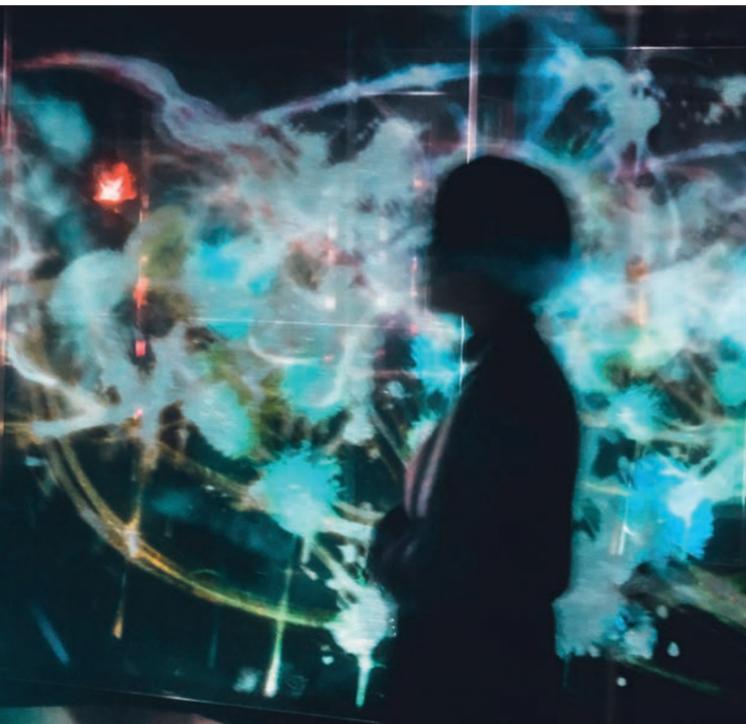
## «Умные» цифровые сети

Технологии цифровых сетей включают комплекс решений, обеспечивающих эффективную и надежную работу распределительной сети, откры-

эти проблемы будут решены за счет совершенствования аппаратного и программного обеспечения, позволяющего генерирующим мощностям и накопителям энергии, включенным в микросети, работать в наиболее оптимальном для них режиме и сохраняющего при этом заданный уровень надежности и устойчивости работы энергосистемы; создания гибкой бесшовной системы, масштабируемой по принципу «подключи и работай» (plug-and-play), которая не требовала бы обширного перепроектирования при добавлении или удалении различных энергетических ресурсов; внедрения механизмов автоматизированного управления производством и потреблением множества распределенных генерирующих устройств (просьюмеров) в рамках микросетей, в том числе с использованием технологий «интернета вещей».

той и адаптивной к новым объектам и участникам рынка. Их распространение будет обусловлено развитием возобновляемой и распределенной генерации, требующей изменения принципов функционирования сети; снижением стоимости автоматизации и новых технологий, позволяющих снижать эксплуатационные затраты и повышать надежность; ростом спроса на электроэнергию, требующим развития инфраструктуры. При этом уже начавшийся процесс распространения «умных» цифровых сетей займет несколько десятилетий, поскольку модернизация сетевых активов – ресурсоемкий процесс.

Инфраструктура за счет цифровых технологий и автоматики становится активно-адаптивным элементом энергетической системы. В сочетании с системами интеллектуального управления коммерческими и технологическими процессами сетевая инфраструктура преобразуется в новую киберфизическую платформу для гибкого и эффективного энергообеспечения потребителей.



## Управление спросом

Управление спросом – это механизм изменения потребления электроэнергии конечными потребителями относительно их нормального профиля нагрузки в ответ на прямые команды или ценовые сигналы. Такими сигналами могут быть изменение цен на электроэнергию во времени или стимулирующие выплаты, предусмотренные для того, чтобы снизить потребление в периоды высоких цен на электроэнергию на оптовом рынке, обеспечить динамическое регулирование генерации на базе ВИЭ или в моменты, когда системная надежность под угрозой.

Управление спросом розничных потребителей электроэнергии в перспективе – важный инструмент поддержания и регулирования баланса спроса и предложения на электроэнергетическом рынке. Он – источник гибкости для энергосистемы, который может использоваться для оперативного регулирования баланса мощности в ней, повышения системной надежности, снижения цен. При этом управление спросом позволяет массовым потребителям зарабатывать на этом рынке, внося вклад в улучшение работы энергосистемы.

Распространение механизма управления спросом в России по аналогии с другими странами будет сперва происходить среди крупных потребителей с мощной централизованно управляемой нагрузкой, затем он станет использоваться среди промышленных и



коммерческих потребителей поменьше, суммарный потенциал гибкости которых связан в основном с насосно-перекачивающим оборудованием, системами вентиляции и кондиционирования, холодильными установками промышленной и особенно коммерческой недвижимости. Решения для маломощных коммерческих и бытовых потребителей станут последней волной распространения механизма управления спросом.

## Водородная энергетика

МЭА прогнозируется, что технологии водородной энергетики, использующие водород в качестве топлива, получат массовое распространение на частном и общественном транспорте, а также в распределенном энергоснабжении частных домохозяйств и коммерческой недвижимости.

Развитие водородной энергетики будет определяться скоростью создания капиталоемкой ин-

фраструктуры для производства, хранения и распределения водорода, а также темпами снижения стоимости водородных топливных элементов и емкостей для хранения сжиженного водорода. В связи с этим массовым применение водорода на транспорте станет не ранее 2030 г.

С точки зрения климатического регулирования и минимизации экологического воздействия

Для классификации водорода по технологиям производства и исходному сырью используется цветовая шкала. «Серый» водород производят из природного газа путем конверсии метана, «бурый» водород – из бурого угля путем газификации с получением синтез-газа. Производство «серого» и «бурого» водорода предполагает выбросы CO<sub>2</sub> в атмосферу. Другим их важным недостатком является невозможность использования полученного таким образом водорода в топливных элементах с протонообменной мембраной, крайне чувствительных к чистоте водорода. «Голубой» водород производят из природного газа с образованием CO<sub>2</sub>, который улавливается и хранится. «Синий» водород получают разложением метана на водород и чистый углерод путем пиролиза. «Зеленый» водород получается электролизом воды за счет энергии (ВИЭ), «желтый» – за счет электролиза с использованием атомной энергии. При получении этих трех видов водорода CO<sub>2</sub> не образуется или его количество минимально. Нарастание производства будет происходить прежде всего за счет «зеленого» и «желтого» водорода.

наиболее привлекательным является «зеленый» водород, получаемый электролизом воды. Наиболее распространенными являются технологии электролиза с жидким щелочным электролитом и твердым полимерным электролитом

в виде протонпроводящей мембраны. В перспективе 2025 г. и далее ожидается существенное развитие электролизных технологий и снижение стоимости производимого электролизом водорода.

## Системы накопления энергии

Стремительное развитие рынка систем накопления энергии (СНЭ) обусловлено распространением переменных (ветер, солнце) возобновляемых источников энергии, эволюцией и падением стоимости технологий и оборудования, в частности литий-ионных батарей. Основная причина роста – масштабное развитие ВИЭ (стационарное применение для сглаживания неравномерности выработки) и электротранспорта (батарей для электромобилей), напрямую или косвенно использующих накопители. Прогнозируется, что к 2050 г. на электромобили добавится около 3950 тВт·ч нового спроса на электроэнергию в мире, что составляет 9% мировых потребностей в электроэнергии<sup>11</sup>.

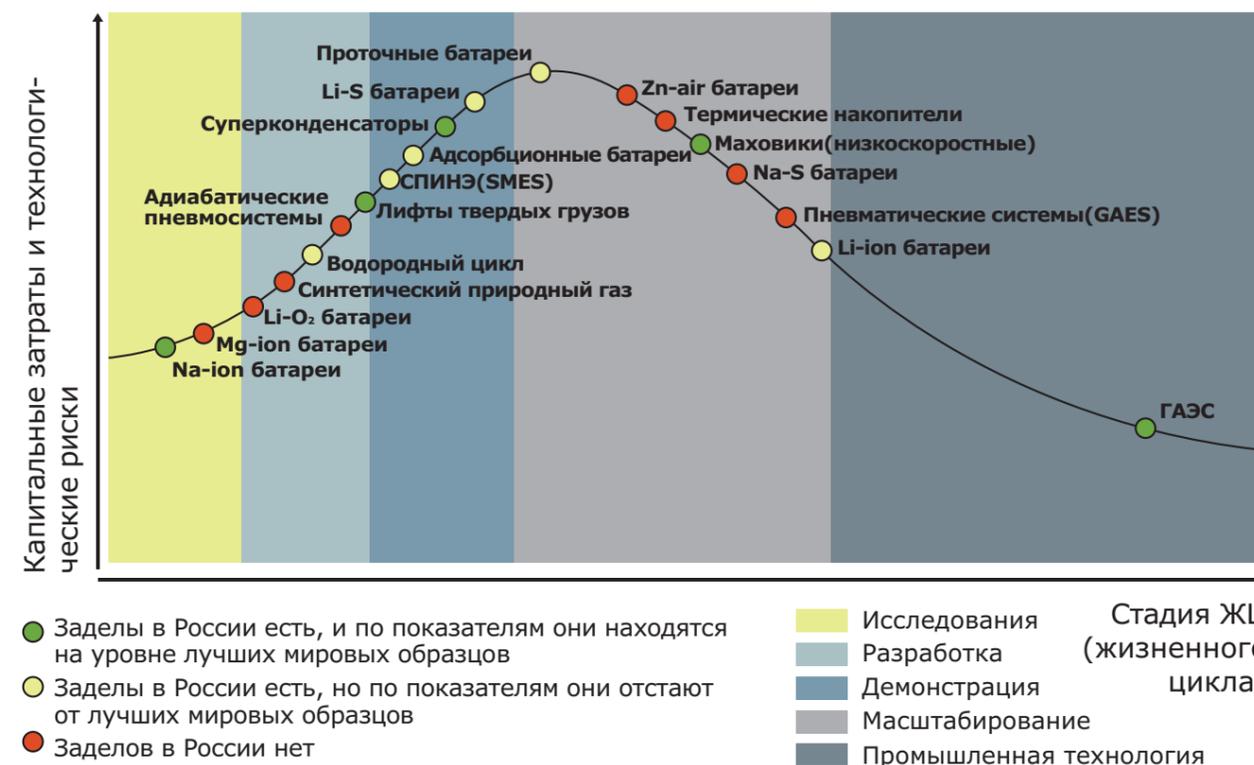
Несмотря на то что развитие ВИЭ в России даже в среднесрочной перспективе не станет настолько масштабным, чтобы создать серьезный спрос на СНЭ, таковые будут востребованы в составе объектов распределенной энергетики, особенно в изолированных энергосистемах; для установки у потребителей («за счетчиком»)

с целью оптимизации затрат на энергоснабжение; для применения СНЭ как элемента электросетевой инфраструктуры с целью обеспечения надежности поставок электрической энергии и отсрочки инвестиций в модернизацию и новое сетевое строительство.

Повышение доступности систем накопления энергии обусловлено эволюцией технологий (снижением материалоемкости, повышением удельных характеристик) и эффектом масштаба производства, который во многом был обеспечен стремительным развитием электрического транспорта, что привело к резкому падению стоимости литий-ионных аккумуляторов.

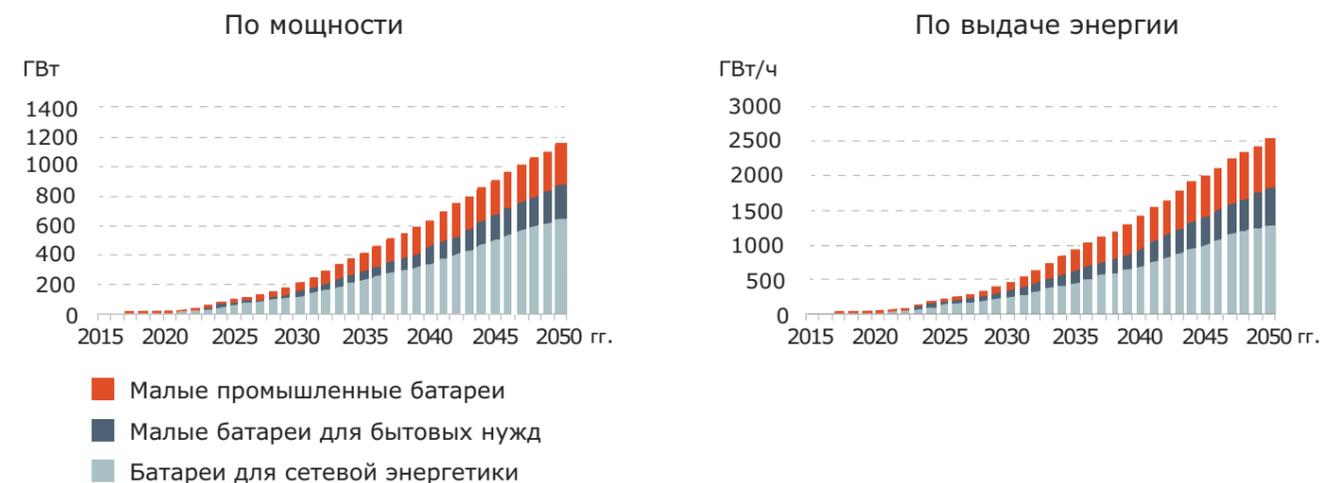
Анализ траекторий развития технологий позволяет сделать вывод, что технологиями, готовыми в ближайшее время к широкому применению, станут проточные накопители, высокоскоростные маховики и суперконденсаторы. На горизонте 2035–2050 гг. получат распространение пост-литий-ионные аккумуляторы: Li-S и Li-воздушные.

Кривая зрелости отраслевых технологий в России



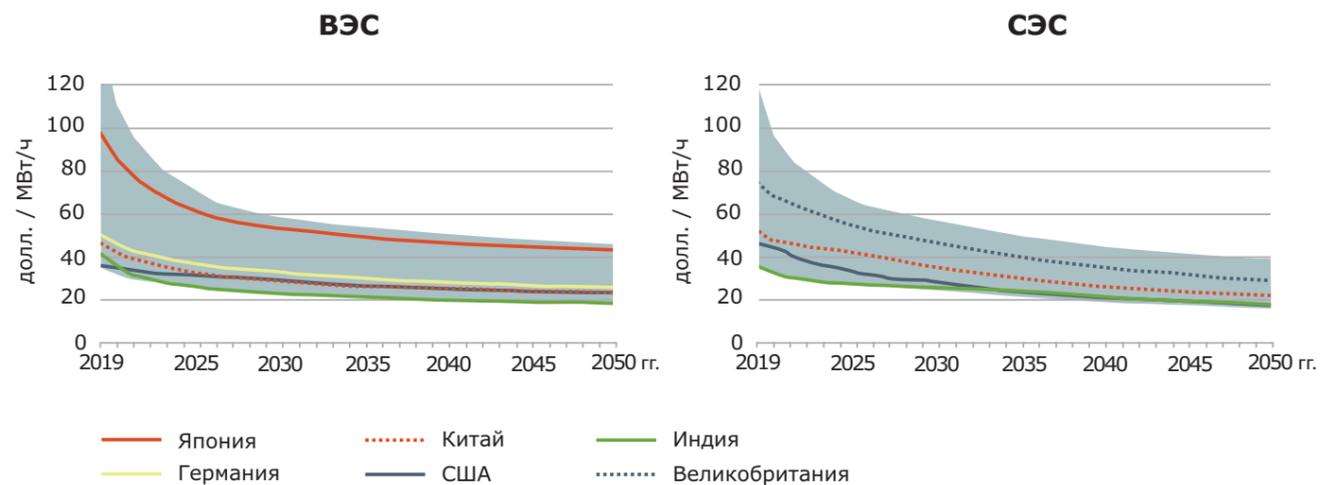
Источник: Инфраструктурный центр EnergyNet<sup>51</sup>

Прогноз общей установленной емкости накопителей по удельной мощности и выдаче



Источник: New Energy Outlook, 2019

Прогноз средней расчетной себестоимости производства электроэнергии на протяжении всего жизненного цикла (LCOE) ветровой (ВЭС) и солнечной (СЭС) электростанции



Источник: New Energy Outlook, 2019

## Генерация на основе ВИЭ

В скором времени ценовой паритет солнечной и ветровой энергии с энергией из традиционных источников будет достигнут не только в странах – лидерах по данному направлению (Китай, Германия, США, Италия, Великобритания, Индия), но и в других регионах<sup>52</sup>.

Развитие распределенной генерации на основе ВИЭ в перспективе до 2050 г. будет способ-

ствовать развитию децентрализации энергетики по всему миру, при этом доля угольной, газовой и ядерной энергетики значительно уменьшится. Генерация на основе ВИЭ может использоваться как непосредственно на различных видах транспорта (солнечные панели, биотопливо), так и размещаться на объектах транспортной инфраструктуры.

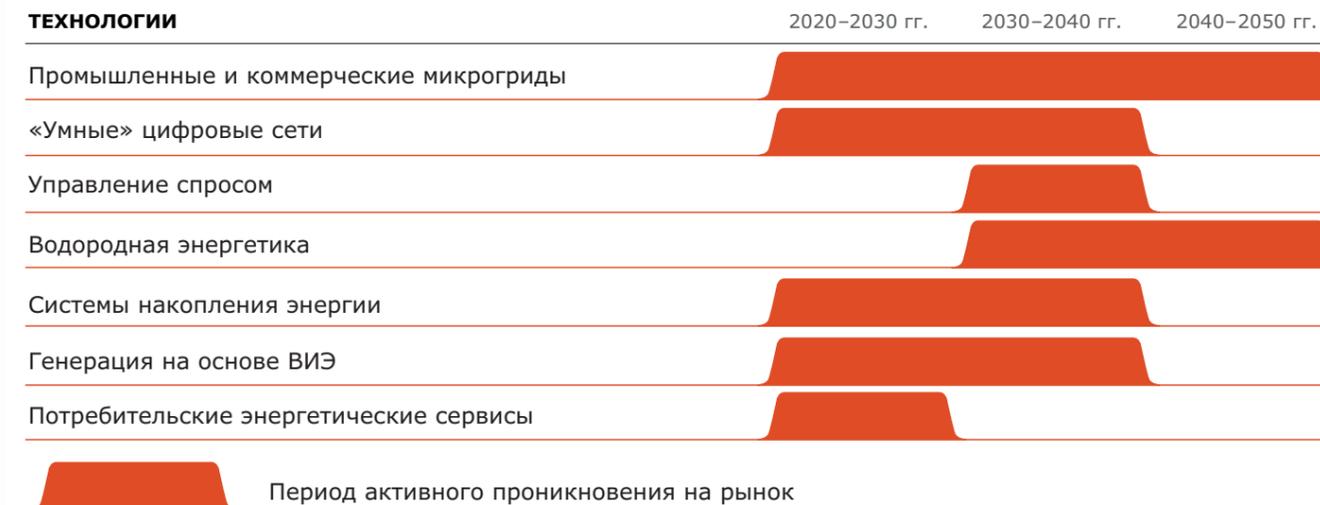
## Потребительские энергетические сервисы

Потребители превращаются в поставщиков электроэнергии и конфликтуют с не предусматривающими подобного совмещения ролей существующей системой управления энергосистемой и нормами традиционного регулирования рынка электроэнергии, требуют «энергетической демократии». Появление новых технологий в финансовом секторе, таких как блокчейн, «умные» контракты, соз-

дает возможности для масштабного привлечения частных инвестиций в энергетику, монетизации потребительских сервисов, формирования различных практик энергообмена.

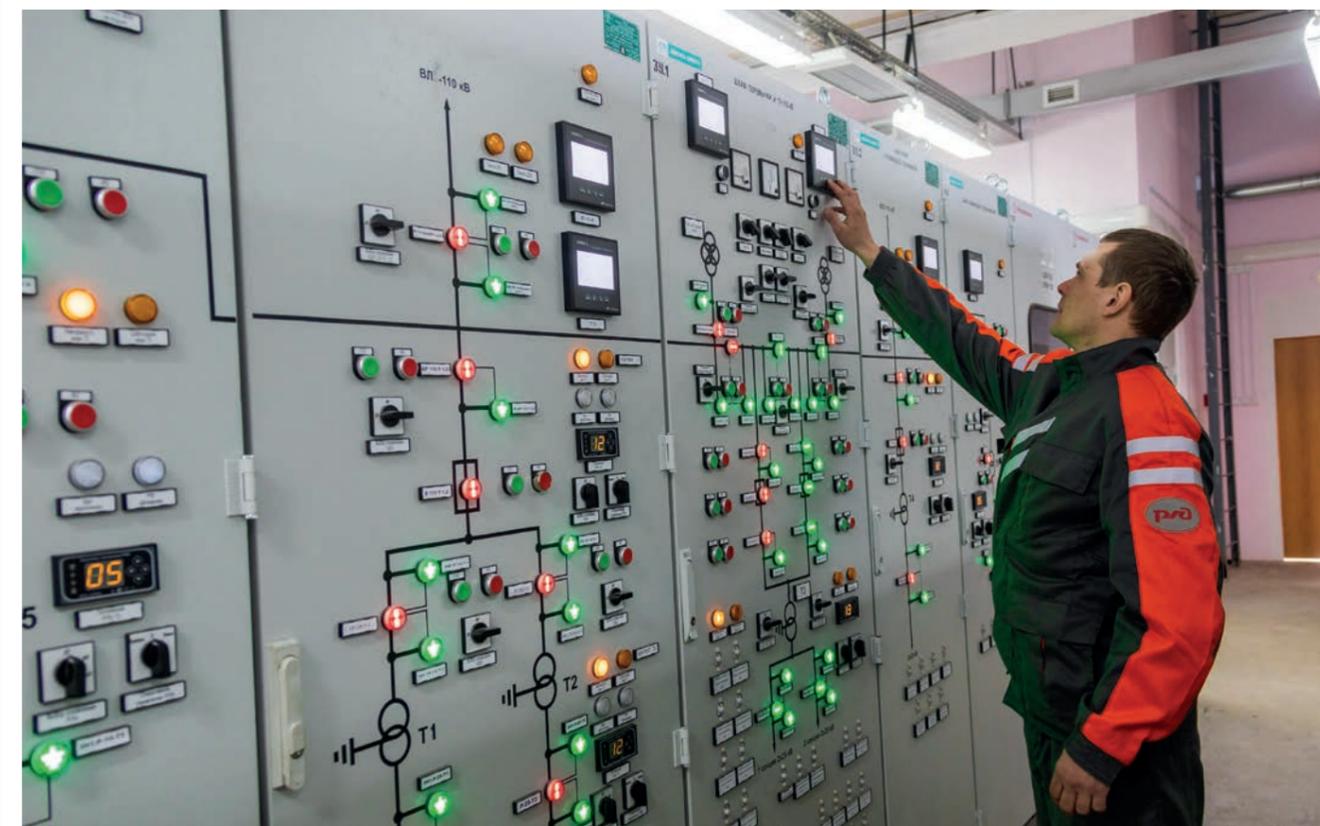
Благодаря этому уже в среднесрочной перспективе к 2030 г. в ряде стран будет осуществлен массовый переход к новым социальным практикам,

Периоды активного проникновения на рынок новых решений



определяющим новые возможности для конечных потребителей, сервисных организаций, регуляторов, – использование открытых данных и открытых сервисных платформ, развитие практики «интернета вещей» для инженерной инфраструктуры и энергопринимающих устройств, активное формирование новых ценностей и новых моде-

лей поведения потребителей за счет использования социальных сетей, аналитических сервисов, геймификации новых практик, будут активно появляться развивающиеся инвестиционные сервисы агрегирования, локальные энергетические рынки, маркетплейсы приложений для сервисов, ценообразование, близкое к реальному времени.

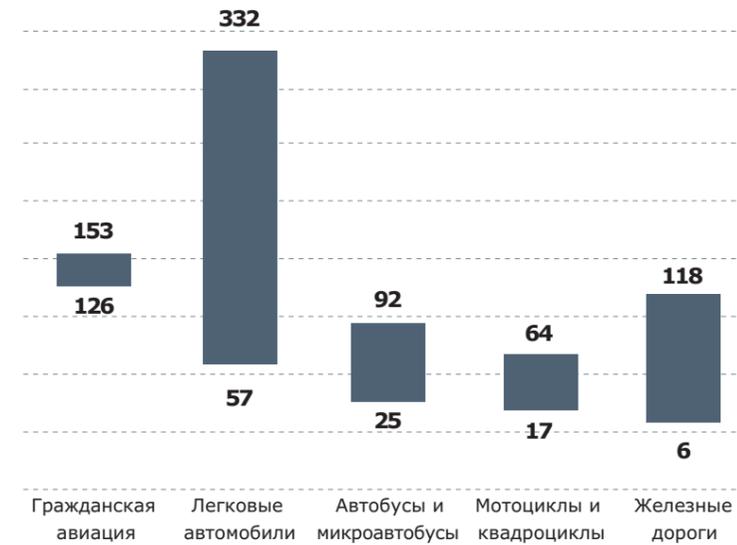


## Влияние на железнодорожную отрасль

Железные дороги пока обладают заметным преимуществом по удельной эмиссии парниковых газов, однако по мере распространения электрического и водородного автомобильного транспорта оно может быть утеряно. Для предотвращения этого, а также для повышения эффективности и надежности работы энергетического хозяйства на железнодорожном транспорте могут быть востребованы следующие решения:

- Использование микрогридов для обеспечения собственного потребления. В первую очередь технологии промышленных микрогридов целесообразно использовать в крупных центрах потребления электроэнергии и мощности, характеризующихся неравномерной нагрузкой, для снижения расходов на их электроснабжение.

Диапазон удельной эмиссии парниковых газов разными видами транспорта, г CO<sub>2</sub>-экв. на пасс.-км



Источник: IEA, 2020

- Использование технологий «умных» цифровых сетей, интегрирующих распределенные источники энергии и гибкости, позволит создать систему распределенного управления собственными сетями, электрификацией тяги и энергоснабжением объектов пути. Это позволит снять ограничения на число пар проходящих поездов на ряде участков железнодорожного сообщения, уменьшить потери в контактной сети и расходы на электроэнергию, а также снизить инвестиции в новые тяговые подстанции.
- Использование технологий управления спросом на транспортных узлах, в первую очередь для маневровой работы с возможностью ограничивать или переносить по времени потребление электроэнергии и мощности, позволит снизить затраты на электроэнергию и мощность, обеспечить рост надежности электроснабжения.
- Использование водорода для обеспечения тяги поездов (как локомотивной, так и моторвагонной схем формирования) для участков железных дорог без электрификации будет способствовать

декарбонизации железнодорожного транспорта и снижению шумового воздействия.

- Использование накопителей энергии не только на тяговых подстанциях, но и на локомотивах позволит выравнять нагрузку на дизельные двигатели и увеличивать их межремонтный ресурс в несколько раз, при применении на электропоездах и электропоездах – снять ограничения для числа пар проходящих поездов на некоторых участках пути. Распространение практики использования накопителей энергии позволит железным дорогам повысить эффективность управления собственной гибкостью, качеством и надежностью электроснабжения.
- Использование генерации на основе ВИЭ, в первую очередь солнечной и ветровой, позволит железнодорожным компаниям снизить затраты на электроэнергию, получить дополнительный источник энергетической гибкости, а также повысить эффективность использования земельных участков и объектов железнодорожной инфраструктуры («солнечные крыши»).



# 6. НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНО- ДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА



Основными факторами, определяющими изменения в составе материалов и особенностях их применения в железнодорожном транспорте, являются:

- ужесточение регулирования воздействия на окружающую среду с учетом полного жизненного цикла продуктов, в т.ч. выбросов парниковых газов;
- необходимость повышения энергоэффективности и снижения ресурсоемкости производственных и транспортных процессов;
- рост требований пассажиров к комфорту.

## Композитные материалы

В ближайшие десятилетия инновационные сплавы, пластики и композиты будут все более активно использоваться для создания высокопрочных, износостойких и сверхлегких конструкций. Легкие, высокопрочные, коррозионностойкие и долговечные композитные материалы в будущем могут оказаться одним из наиболее значимых источников экономии энергии и снижения издержек для железнодорожной индустрии.

### ОСНОВНЫЕ ДРАЙВЕРЫ РОСТА:

- экологические ограничения и требования по увеличению жизненного цикла;
- развитие использования альтернативных источников энергии;

Композитные мосты в среднем на 30% легче аналогичных стальных конструкций, что снижает расходы на сооружение фундаментов и монтаж. При этом конструкция из композитных материалов может быть смонтирована в течение суток, что позволяет избежать перебоев в работе железнодорожного транспорта. Кроме того, композитные мостовые конструкции могут иметь срок службы 60 лет и более и требуют минимального техобслуживания.

Технологии повторной переработки, биосовместимые и биоразлагаемые материалы являются неотъемлемой составляющей новых технологий и позволят снизить пагубное воздействие на природу. Замена традиционных полимеров и металла на биоразлагаемые и природные материалы будет обусловлена законодательными требованиями по защите окружающей среды. Однако в настоящее время отсутствуют биоматериалы, способные заменить сталь и конструкционные композиты, а также ряд специальных пластмасс и каучуков. И в период до 2050 г. такая замена будет возможна лишь отчасти.

- требования безопасности в условиях техногенных и природных воздействий;
- развитие методов цифрового проектирования и производства.

### КЛЮЧЕВЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА:

- снижение веса конструкций и потребления энергии механизмами при сохранении прочностных характеристик;
- увеличение сроков эксплуатации изделий, значительная устойчивость к природным воздействиям, коррозионная устойчивость;

- технологии производства композитных изделий обеспечивают более широкие возможности дизайна, высокий уровень кастомизации, быстроту монтажа конструкций;
- инженерные пластики обеспечивают новые комбинации свойств (например, прочность и прозрачность).

### ПРОБЛЕМЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ:

- Более высокая стоимость по сравнению с металлами и традиционными пластиками.

Основными компонентами для производства высокопрочных композитов будут являться инженерные термопласты, высокотемпературные смолы и углеродные волокна. Объемы производства данных материалов сравнительно невелики по сравнению с объемами производства стали и конструкционных сплавов. Существует ряд технологических ограничений для снижения стоимости и ее привязка к ценам на нефть и природный газ. Однако увеличение объемов выпуска материалов и новые технологии производства позволят снизить себестоимость углепластиков. Стоимость материалов на основе стекловолокна уже сейчас сопоставима с металлами, но и уровень свойств заметно ниже, чем у углепластиков.

- Сложность повторного использования композитных материалов.

Основу современных матриц композитов составляют эпоксидные смолы. При получении композита эпоксидные смолы сшиваются, и их повторное использование невозможно. Повторная переработка композитных материалов возможна при более широком использовании термопластичных матриц и разработке технологий повторной переработки композитов с рекуперацией волокна и пластмасс.

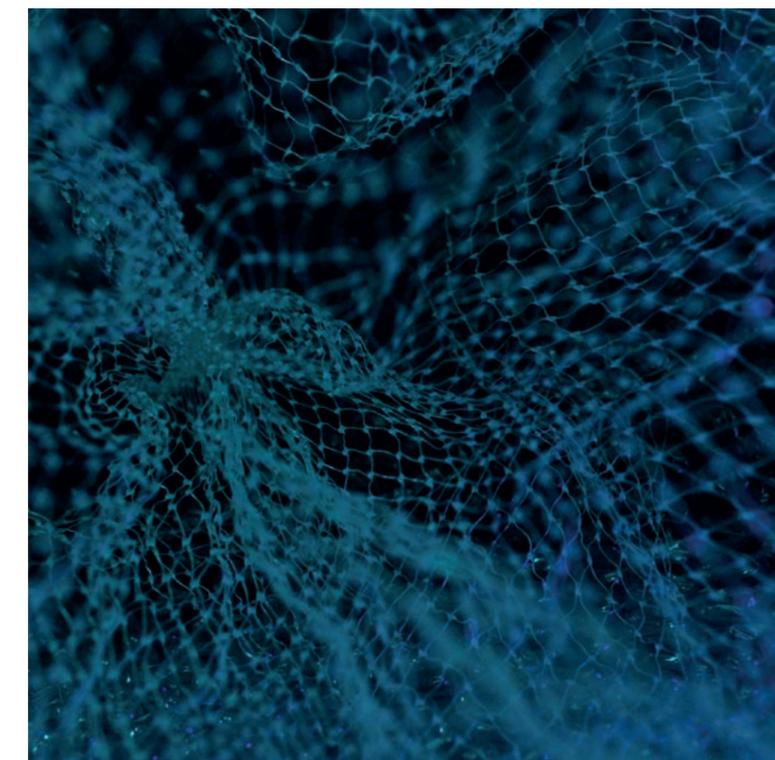
Другой сложностью является повторное использование армирующего волокна – при повторной переработке волокна могут разрушаться. Рекуперированные волокна не будут сопоставимы по свойствам и технологической перерабатываемости с исходными. Решение этой проблемы возможно за счет развития технологий композитов на основе дискретных волокон.

- Дополнительным прорывом будет создание биополимеров и биоволокон со свойствами, сопоставимыми с традиционными композитными материалами.
- Недостаточная устойчивость композитов к пожарам.

Полимерные матрицы обладают существенным снижением прочности при нагреве и заметной термодеструкцией. Как результат, материал катастрофически теряет механические свойства и деформируется при воздействии температуры и огня. Дополнительным негативным фактором является выделение токсичных газов при термодеструкции. Решение проблемы связано с массовым внедрением высокотемпературных связующих и полимеров, а также огнезащитных покрытий, встроенных в структуру композитов.

- Недостаточный опыт проектирования и длительной эксплуатации композитов.

Анизотропный характер свойств композитов и необходимость совместного конструкторского и технологического проектирования делают процесс разработки изделий более сложным. Развитие современных средств разработки и обучение персонала позволят снизить влияние данного ограничения.



## Функциональные покрытия

Использование покрытий позволяет придать материалам и конструкциям новые функциональные свойства без существенного увеличения стоимости конструкций. При этом удельная масса требуемого материала для покрытий невелика по сравнению с массой конструкции. С их помощью могут быть обеспечены и созданы:

- устойчивость к износу и заданное изменение коэффициентов трения для контакта колесо – рельс и в тормозных системах;
- повышение устойчивости к коррозии и солнечному свету для подвижного состава и сооружений;
- гидрофобные и гидроизоляционные покрытия;
- электропроводящие и экранирующие покрытия;
- окрашивающие и антивандальные покрытия;
- противопожарные покрытия;
- бактерицидные покрытия.

Важным направлением применения покрытий являются технологии их наплавки и нанесения при ремонте и восстановлении изношенных деталей.



### ОСНОВНЫЕ ДРАЙВЕРЫ РОСТА:

- повышение энергоэффективности и энергосбережения;
- увеличение жизненного цикла изделий и снижение инвестиционных затрат;
- введение экологических требований по утилизации материалов;
- снижение затрат на обслуживание и очистку поверхностей (в случае гидрофобных покрытий);
- привлекательный дизайн.

### ПРОБЛЕМЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ:

- разрушение, отслаивание и деградация покрытий при эксплуатации. Различие в механических свойствах покрытия и основного материала может приводить к растрескиваниям, отслоениям и другим видам разрушений при термическом и механическом воздействии. Данное ограничение будет снято разработкой новых материалов покрытий с высокой прочностью и механической устойчивостью на основном материале, а также созданием комбинированных многослойных покрытий. Важным решением также является развитие технологий ремонта и восстановления покрытий;
- сложность рекуперации и повторного использования материалов покрытий и изделий с нанесенными покрытиями. Состав покрытий, как правило, заметно отличается от состава основного материала, и для удаления и сбора покрытия требуются специальные технологические операции и оборудование, что значительно удорожает процесс, а малое количество материала покрытия делает процесс его повторного использования крайне затратным. Решить эти проблемы отчасти сможет разработка биоразлагаемых и биосовместимых материалов покрытий, технологий эффективной рекуперации и восстановления покрытий.

## Материалы для энергетики

Глобальный тренд на отказ от использования ископаемых топлив как основного источника энергии в пользу электричества и тепла, генерируемых возобновляемыми источниками, будет требовать повышения степени электрификации железнодорожного транспорта, а также роста его энергоэффективности. На это большое влияние будут оказывать решения, связанные с использованием новых материалов, в числе которых:

- материалы для СНЭ (для литиевых батарей и суперконденсаторов), а также накопления и утилизации тепловой энергии (расплавы и растворы солей, сорбентов и теплопроводящих композитов на их основе);
- материалы для тягового привода, систем регулирования и передачи энергии, новые тепло- и электропроводящие материалы;



- материалы для систем транспортировки и хранения водорода, водородных топливных элементов. Ключевыми задачами станут замена дорогого платинового катализатора окисления водорода и снижение стоимости топливных баков повышенного давления.

## «Умные» материалы

«Умные» материалы – обладающие возможностью мониторинга состояния, активного механического отклика, а также самовосстанавливающиеся – являются новым направлением развития материаловедения.

Сочетание конструкционных и сенсорных свойств с различными актуаторами позволяет создавать конструкции, осуществляющие непрерывный мониторинг и онлайн-передачу данных об их состояниях, а также осуществлять стабилизацию конструкций, работающих в режиме переменных нагрузок, что особенно актуально для деталей подвижного состава. Материалы с автоматическим регулированием свойств (электро- и теплопроводности, светопропускания) дают возможность соз-

давать конструкции зданий с функцией стабилизации состояния при климатическом воздействии.

На настоящий момент технологии использования «умных» материалов находятся на лабораторном и испытательном уровне. Однако после 2040 г. можно ожидать их широкого применения.

### ДРАЙВЕРЫ РОСТА:

- появление новых «умных» материалов;
- развитие цифровых технологий проектирования;
- повышение требований безопасности.

«Умное» стекло меняет прозрачность от 1 до 70% под действием тока и позволяет снижать расходы на охлаждение в летний период.

Материалы с изменением фазового состояния (твердое – жидкое) аккумулируют избыточное тепло и выделяют его при необходимости.

Самовосстанавливающиеся бетоны и композиты обеспечивают самозаполнение трещин. Для этого, например, могут использоваться капилляры со смолой и отвердителем, а также бактерии со специальным субстратом.

Покрyтия из углеродных наночастиц используются для создания теплоизлучающих поверхностей с сенсорными функциями.

Сплавы с эффектом запоминания формы, которые используются в первую очередь в электроприводах и двигателях. Самым распространенным из них является NiTi (сплав на основе никелида титана), который может возвращать свою форму в исходное состояние при воздействии определенного внешнего стимула. Изначально этот внешний стимул был тепловым, что могло привести к слабому высокочастотному отклику. Тем не менее быстрое развитие технологий магнитной активации и разработка тонкопленочных сплавов с эффектом запоминания формы открывают возможности для решения этой проблемы.

## Графеновые материалы

Графен и мультиграфеновые структуры (например, нанотрубки) обладают большим потенциалом создания новых классов материалов с высокими прочностными и функциональными характеристиками. Существующие технологии мультиграфеновых материалов активно внедряются в промышленность. Созданы новые оптоэлектронные системы, антикоррозионные покрытия, материалы для химических источников тока, теплоотводящие материалы и материалы для герметизации.

Значительным шагом станет использование материалов на основе однослойного графена, которые пока реализуются в основном в лабораторных образцах, причиной чему является отсутствие промышленной технологии получения

двумерных слоев графеновых материалов. Однако после преодоления данного ограничения на горизонте 2040–2050 гг. материалы на основе графена могут найти применение на железнодорожном транспорте для создания «умных» материалов со встроенными датчиками на основе графена, в различных энергетических приложениях (аккумуляторы, суперконденсаторы, электроды и т.п.).

### ДРАЙВЕРЫ РОСТА:

- повышение энергоэффективности и энергосбережения;
- введение экологических ограничений и требований по увеличению жизненного цикла.



# 7. ПОДРЫВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ



**П**одрывные технологии – это инновации, которые разрушают или серьезно переформируют существующие рынки, приводя к ради-

кальной смене расстановки сил на них. Вероятность их появления далека от единицы, но последствия могут быть настолько серьезны, что заслуживают учета.

## Сверхпроводимость

Сверхпроводимость – это физический феномен, характеризующийся полным отсутствием электрического сопротивления и выталкиванием магнитного поля из объема сверхпроводника. Отсутствие потерь при прохождении тока через сверхпроводники делает их применение очень привлекательным для передачи электричества, а выталкивание магнитного поля используется для создания решений на основе магнитной левитации.

Высокотемпературная сверхпроводимость при температуре жидкого азота уже начинает находить широкое применение. В настоящее время разрабатываются решения по ее применению в линиях электропередач, высоковольтных токоограничивающих устройствах, электродвигателях, ветрогенерации, накопителях энергии, на магнитно-левитационном транспорте.

Технологический прорыв в области ВТСП приведет к возникновению передачи электроэнергии

с околонулевыми потерями при близких к комнатной температурах и близких к атмосферному давлению – КТСП (комнатнотемпературной сверхпроводимости). Ее достижение, скорее всего, будет зависеть от прогресса в использовании богатых водородом материалов, который позволит преодолеть главную проблему – необходимость сверхвысокого давления.

Следствия реализации КТСП:

- экспоненциальное развитие технологий магнитной левитации для магистрального транспорта и контейнерной логистики;
- снижение энергопотерь в железнодорожных электросетях;
- снижение стоимости электроэнергии;
- ускоренное распространение квантовых вычислений.

## Управляемый термоядерный синтез

Управляемый термоядерный синтез (УТС) – получение более тяжелых атомных ядер из более легких с целью получения энергии, который, в отличие от взрывного термоядерного синтеза (используемого в военных целях), носит управляемый характер.

В результате использования УТС может быть достигнуто резкое падение стоимости электроэнергии, влекущее полный отказ от нефти и угля в качестве энергоносителей, удешевление эксплуатации электротранспорта и стоимости «зеленого» водорода.



На данный момент с участием России строится международный экспериментальный термоядерный реактор ИТЭР, который предназначен для демонстрации возможности коммерческого использования термоядерной реакции и решения физических и технологических проблем, связанных с ним.

Главная проблема УТС – обеспечение эффективной изоляции плазмы от стенок реактора. Другими серьезными проблемами являются обеспечение радиационной защиты при работе термоядерных реакторов и разработка надежных решений для предотвращения возможных аварий.

Планируется, что к 2025 г. ИТЭР перейдет в режим регулярной работы. А уже в период до 2030 г. могут появиться промышленные образцы компактных термоядерных реакторов.

Технологии и решения, созданные при разработке и оптимизации конфигурации термоядерных установок, могут найти применение в других отраслях, в том числе в транспортной.

Среди них ВТСП, системы управления, новые материалы, технологии строительства крупных инфраструктурных объектов.

## 3D-печать

Аддитивные технологии (3D-печать) – это способы создания различных объемных объектов путем добавления слой за слоем различных мате-

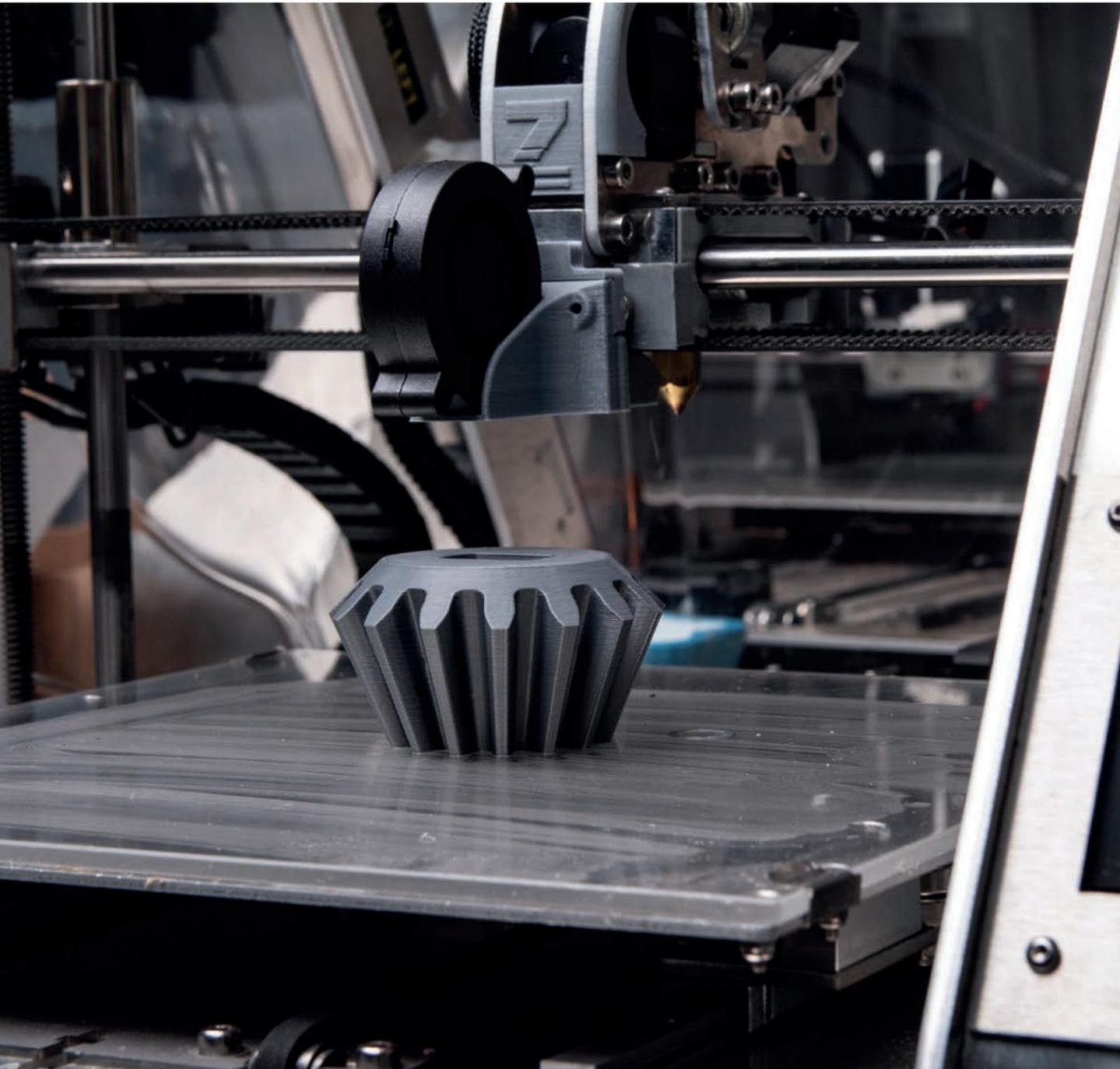
риалов (пластиков, металлов, бетона, пищевых продуктов и пр.). При этом используются, например, послойное наплавление, выборочное лазер-

ное спекание, струйные технологии, послойное ламинирование.

В ближайшее десятилетие 3D-печать может получить широкое распространение в производстве. Это позволит усовершенствовать технологии печати, что приведет к росту качества изделий и снижению стоимости их производства, увеличению типов применяемых материалов, в том числе гетерогенных, и их видов, росту потребности

в кастомизации продукции и сокращению запуска производства.

Большой потенциал имеет применение аддитивных технологий в строительстве. 3D-печать позволит ускорить и удешевить создание как типовых объектов, так и разнообразных геометрически сложных конструкций, в том числе мостов, декоративных архитектурных элементов, предметов интерьера.



Следствия:

- постепенное рассредоточение и разукрупнение промышленного производства;
- рост числа грузоотправлений при одновременном снижении их среднего веса и общего объема перевозок;

- развитие локального производства элементов инфраструктуры и запчастей, что может быть востребовано железнодорожными компаниями для оптимизации складских запасов и снижения сроков ремонтов подвижного состава и объектов инфраструктуры.

## Альтернативные технологии производства пищи

В сельском хозяйстве есть два направления, которые могут заметно повлиять на транспортные потоки. В 2020-е гг. стоит ожидать быстрого роста популярности «искусственного мяса», получаемого из различных растительных ингредиентов. Во второй половине 2030-х гг. возможен взрывной рост клеточного сельского хозяйства – производства в биореакторах традиционных сельскохозяйственных продуктов, прежде всего продуктов животноводства из клеточных культур без получения

полноценных организмов. Для этого ему предстоит существенно снизить стоимость продукции, в том числе за счет ускорения производственного цикла.

Развитие этих двух направлений может привести к существенному падению производства и потребления традиционной сельхозпродукции, объемов ее перевозок, а также перевозок, связанных с получением грузов (удобрения, зерно и другие корма, агрохимия).

*Периоды возможного проявления подрывных технологий*

ТЕХНОЛОГИЯ	2020 – 2030 гг.	2030 – 2040 гг.	2040 – 2050 гг.
ВТСП и КТСП	Использование при температуре жидкого азота (ВТСП)	Постепенное внедрение в транспортную отрасль (ВТСП)	Появление технологий КТСП
Управляемый термоядерный синтез	Отработка технологий ИТЭР		Промышленное освоение ИТЭР
Аккумуляторы и редокс-системы	Создание мощных, компактных аккумуляторов и редокс-систем	Широкое распространение на рынке	
3D-печать	Массовое распространение 3D-печати в строительстве и производстве		
Биореакторы и альтернативные пищевые технологии	Распространение технологий создания искусственного мяса	Распространение клеточного сельского хозяйства (cellular culture)	

 Период активного проникновения на рынок

# 8. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ЖЕЛЕЗ- НОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА



В период до 2050 г. железнодорожный транспорт в мире столкнется с несколькими значимыми вызовами. Наиболее важный из них – рост конкуренции со стороны других видов транспорта. Поворотной точкой в этом станет широкое распространение беспилотного управления грузовыми автомобилями, что существенно снизит стоимость перевозок ими. Также важными вызовами станет перенос основной части транспортной маржи на «последнюю милю», распространение концепции MaaS и перевозок «от двери до двери». Без активного распространения MaaS-платформ железнодорожный транспорт рискует потерять заметную часть пассажиров и грузов. При этом важным условием сохранения высокой маржинальности перевозок будет являться именно наличие собственной цифровой MaaS-платформы.

Поиск ответов на эти вызовы будет происходить на фоне роста загруженности железнодорожных маршрутов и значимости киберугроз, ужесточения требований в сфере безопасности и экологии, в том числе климатического регулирования. При этом широкое распространение электромобилей нивелирует преимущество железных дорог как экологичного вида транспорта, а на конкуренцию будет оказывать существенное влияние оценка полного углеродного следа с учетом использования экологичных материалов, применения более чистой электроэнергии и чистой грузовой базы. Также актуальными останутся суще-

ствующие различия в ширине колеи национальных железнодорожных систем и рост городских агломераций, требующий интеграции железнодорожных сетей в систему общественного городского транспорта.

Важнейшим драйвером развития рассматриваемых в данной главе направлений железнодорожной отрасли станет цифровизация. Сильное влияние окажет повышение спроса в секторе железнодорожных перевозок, которое будет обусловлено ростом урбанизации и численности населения в сочетании с интенсификацией экономических связей и появлением новых логистических цепочек. Это ускорит темпы внедрения инновационного подвижного состава и повлияет на увеличение уровня кооперации всех транспортных секторов в рамках создания единого транспортно-логистического пространства.

Потребность в развитии пригородного и внутригородского транспортного сообщения и интеграции железнодорожной инфраструктуры в единую систему городского и общественного транспорта будет требовать уже в среднесрочной перспективе модернизации инфраструктурного комплекса.

Революционным потенциалом обладает магнитолевитационный транспорт, дающий сопоставимую с авиацией скорость перевозок, более легкую адаптацию к рельефу местности, высокую энергетическую эф-

Ключевые вызовы технологического развития железнодорожной отрасли на период до 2050 г.



фективность и становящуюся все более важной в населенных пунктах бесшумность. Привлекательность маглева будет расти по мере совершенствования используемых им технологий, в том числе высокотемпературной сверхпроводимости, однако сроки замены им системы «колесо – рельс» во многом будут определяться позицией государства, без участия которого невозможно появление любых высокоскоростных перевозок вне зависимости от лежащих в их основе технологий. Перспективы вакуумно-левитационного транспорта станут ясны в ближайшие годы, после подтверждения технической реализуемости и экономической обоснованности проектов с его использованием.

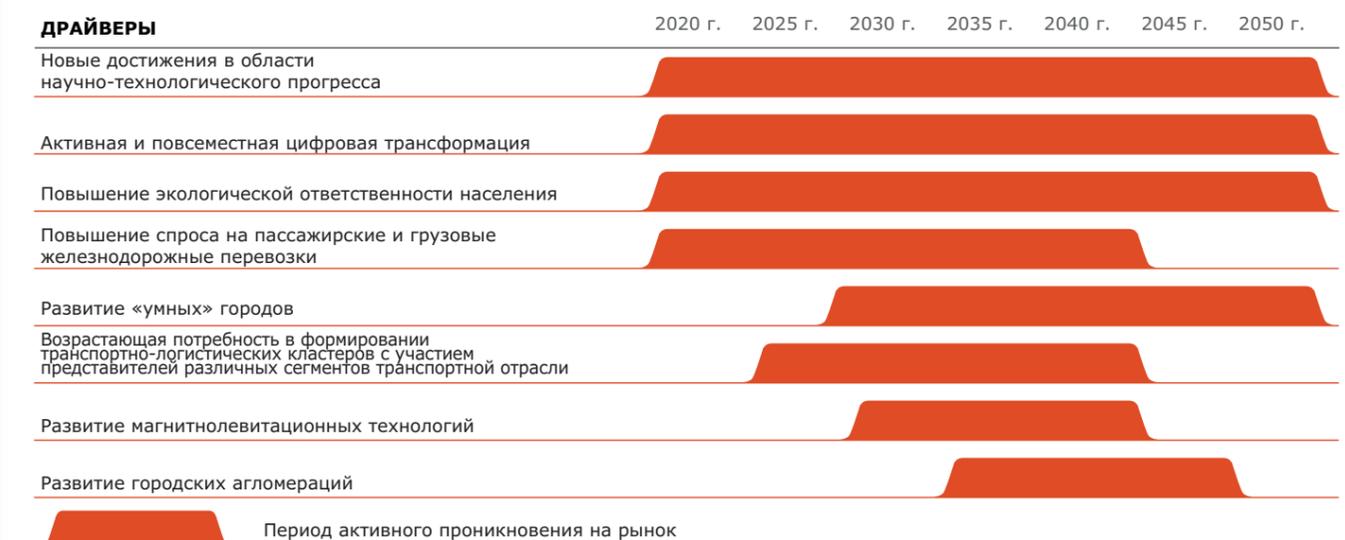
Меняться будет не только технологическая основа железнодорожного транспорта, но и бизнес-модели железнодорожных перевозок. Наиболее важными направлениями их изменений являются:

- формирование многофункциональных транспортно-логистических хабов под влиянием развития мультимодальных перевозок, ускорение взаимной интеграции деятельности транспортных компаний и технологических компаний, появление цифровых платформ, организующих перевозки «от двери до двери». Особое внимание в рамках данного процесса будет уделяться организации технической возможности для полной прослеживаемости всех этапов перево-

зочного процесса и контроля состояния грузов в режиме реального времени с помощью специализированных систем контроля;

- кастомизация услуг и расширение их перечня, рост доли в выручке от дополнительных услуг, предлагаемых клиентам железнодорожной компании;
- цифровая трансформация, которая позволяет не только автоматизировать операционные и бизнес-процессы, но и предлагать новые услуги, делает железнодорожные компании владельцами огромных массивов данных;
- рост значения кооперационных связей и партнерств для создания инновационных решений, выработки единых стандартов, разработки новых пакетных продуктов для пассажиров и клиентов;
- возможное распространение практики межнационального совместного управления железнодорожными компаниями для формирования единого транспортного и информационного пространства. Драйвером этой тенденции может стать активная реализация крупных межнациональных проектов по строительству интегрированных транспортных систем, таких как Транс-европейская транспортная сеть.

Ключевые вызовы технологического развития железнодорожной отрасли на период до 2050 г.



Периоды наиболее активного распространения решений, связанных с изменениями в бизнес-моделях железнодорожных компаний

№	Решение	2020–2030	2031–2040	2041–2050
1.	Информационные системы планирования и организации мультимодальных перевозок	✓		
2.	Единый цифровой «сквозной» перевозочный документ	✓		
3.	Технологии цифрового моделирования функционирования железнодорожной сети в режиме реального времени	✓	✓	
4.	Решения для обслуживания клиентов на базе транспортно-логистических хабов и железнодорожных станций		✓	
5.	Автономные капсульные транспортные системы		✓	✓
6.	Виртуальные витрины на железнодорожных станциях		✓	
7.	Интеллектуальные автоматизированные системы взаимодействия с клиентами	✓	✓	✓
8.	Системы предоставления сопутствующих услуг по запросу клиентов	✓		
9.	Безбилетные технологии для авторизации/идентификации пассажиров	✓	✓	
10.	Системы синхронизации планов и графиков в зависимости от потребностей клиента	✓		
11.	Технологии цифрового планирования и прогнозирования спроса на пассажирские и грузовые перевозки	✓		
12.	Взаимная интеграция грузовых и пассажирских перевозок в части перевозок малогабаритных грузов	✓		
13.	Системы контроля и мониторинга состояния грузов в режиме реального времени	✓	✓	
14.	Цифровые платформы с открытым программным кодом для оптимизации операционных процессов	✓		
15.	Смарт-контракты и системы документооборота на базе систем распределенных реестров	✓	✓	
16.	Цифровые платформы взаимодействия и обслуживания клиентов	✓		
17.	Облачная инфраструктура для оптимизации операционных и бизнес-процессов	✓		
18.	Продвинутые алгоритмы и методы обработки и интерпретации больших данных	✓		

«Образ будущего» ключевых направлений деятельности железнодорожных компаний

НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	2020–2030 гг.	2030–2040 гг.	2040–2050 гг.
<b>Динамические системы управления перевозочным процессом</b>	Автоматизированное управление перевозочным процессом	Единое цифровое транспортное пространство: платформенная интеграция	Цифровой двойник перевозочного процесса
<b>Инновационный подвижной состав</b>	Аддитивное производство, интеллектуальные системы управления подвижным составом, ТОиР	Высокоскоростной подвижной состав (свыше 320 км/ч), автономное управление, альтернативные источники энергии	Новые транспортные системы (маглев), цифровые двойники подвижного состава
<b>Инфраструктурный комплекс</b>	Строительство ВСМ, активное применение BIM-технологий, мультимодальные транспортно-логистические хабы	«Умные» сети, интеллектуальные роботизированные системы ТОиР	Единое транспортное пространство, цифровой двойник инфраструктурного комплекса, беспроводная передача энергии

## Подвижной состав

Ключевыми тенденциями технологического развития подвижного состава, формирующими его «образ будущего», станут:

- массовое внедрение передовых цифровых технологий, в том числе для прогнозирования эксплуатационного ресурса, использование цифровых двойников;
- рост масштабов применения новых материалов с минимальным углеродным следом, в том числе композитных;
- распространение применения аддитивного производства для оптимизации складских запасов и сокращения времени ремонта, в перспективе такой процесс может выиграть у закупки готовых деталей по стоимости: например, немецкий оператор Deutsche Bahn уже применяет аддитивные технологии для обслуживания и ремонта

подвижного состава, включая производство элементов конструкций тормозных систем;

- распространение модульных вагонов для контейнерных и контрейлерных перевозок под воздействием экспоненциального роста объемов мультимодальных перевозок;
- развитие характеристик подвижного состава в части экологической безопасности и энергетической эффективности;
- автоматизация процессов управления жизненным циклом тягового подвижного состава и перевозочным процессом, в том числе в части распространения дистанционного управления группами транспортных средств;
- распространение использования высокоскоростного подвижного состава для улучшения

№	Решение	2020–2030	2031–2040	2041–2050
1.	Подвижной состав из новых (композитных) материалов	✓	✓	
2.	Системы аддитивного производства элементов конструкции подвижного состава	✓		
3.	Инновационные контейнеры	✓		
4.	Пассажирские вагоны с местами-трансформерами	✓		
5.	Автономные подземные капсулы, предназначенные для грузовых перевозок и логистики товаров на территории городских агломераций			✓
6.	Новые типы и конструкции подвижного состава для различных задач и условий перевозки (грузов, скоростей, климата и рельефа)	✓	✓	
7.	Тяжеловесный подвижной состав (с нагрузкой на ось выше 27 т)	✓		
8.	Интеллектуальные системы управления подвижным составом в автоматизированном (в т.ч. дистанционном) режиме	✓	✓	
9.	Интеллектуальные системы мониторинга в режиме реального времени и прогнозирования эксплуатационного ресурса подвижного состава	✓		
10.	Инновационные системы мониторинга движения (трекинговые системы) поездов в режиме реального времени	✓		
11.	Интеллектуальные системы энергоэффективного управления железнодорожным подвижным составом	✓	✓	
12.	Автоматизированные датчики и метки (пломбы) для отслеживания и контроля безопасности передвижения грузов	✓	✓	
13.	Цифровой двойник подвижного состава		✓	✓
14.	Виртуальные системы обучения машинистов	✓	✓	
15.	Тяговый привод подвижного состава на водородных топливных элементах	✓	✓	
16.	Системы тягового привода на аккумуляторных батареях		✓	✓
17.	Гибридный тяговый привод	✓	✓	
18.	Энергоэффективные модели высокоскоростного подвижного состава	✓		
19.	Магнитолевитационные транспортные системы		✓	✓
20.	Высокоскоростные вакуумно-левитационные транспортные системы		✓	✓

качества предоставляемых услуг и удовлетворения потребностей клиентов в мобильности.

«Образ будущего» подвижного состава к 2050 г.

- Большую долю парка подвижного состава крупнейших мировых железнодорожных операторов будут составлять высокоскоростные поезда с максимальной эксплуатационной скоростью движения свыше 320 км/ч; будут реализованы пилотные проекты по строительству и эксплуатации вакуумно-левитационных транспортных систем, преимущественно на территории городских агломераций в сегменте грузовых (малогабаритных и высокомаржинальных) перевозок, а также пассажирских перевозок.
- Широко будут использоваться новые материалы, включая композитные, для производ-

ства элементов конструкции подвижного состава.

- Ключевым параметром выбора подвижного состава будет являться его экологическая безопасность и энергетическая эффективность: наибольшее распространение получит электрический подвижной состав, а также подвижной состав с гибридным тяговым приводом и тяговым приводом, использующим альтернативные источники энергии.
- Проведение технического обслуживания и ремонта подвижного состава и объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта будет осуществляться на основе мониторинга их эксплуатационного ресурса в режиме реального времени, а также его прогнозирования на базе предиктивного моделирования с использованием цифровых двойников.



## Управление перевозочным процессом

Цифровые системы автоматизированного принятия решений в режиме реального времени на базе технологий ИИ, больших данных сенсорики и промышленного интернета позволят в средне- и долгосрочной перспективе осуществить переход к проактивному управлению: от реагирования на уже случившиеся события к автоматизированному мониторингу и прогнозированию будущих событий – на горизонте до 2050 г. к формированию цифрового двойника перевозочного процесса.

Ключевыми тенденциями технологического развития данного направления станут:

- разработка и внедрение решений и технологий, направленных на обеспечение безопасности перевозочного процесса, в том числе «безлюдных» технологий для снижения человеческого фактора;
- развитие автоматизированных систем управления энергопотреблением поезда, а также интеллектуально-адаптивных систем планирования, нормирования, учета и стимулирования экономии топливно-энергетических ресурсов;
- создание систем управления мультимодальными перевозками, интеграционных цифровых платформ, позволяющих углубить кооперацию в рамках процессов перевозки как внутри же-

лезнодорожной отрасли, так и с другими видами транспорта;

- внедрение автоматизированных систем управления железнодорожным транспортом для повышения пропускной способности транспортно-логистических сетей, улучшения показателей надежности, безопасности и экономической эффективности перевозок.

«Образ будущего» динамических систем управления перевозочным процессом к 2050 г.

- Использование «сквозных» цифровых технологий и промышленного «интернета вещей» и технологий искусственного интеллекта позволят перевести управление перевозочным процессом в автоматизированный режим.
- Широкое распространение получат различные системы имитационного моделирования и планирования процессов управления, в том числе планирования и учета ресурсов, моделирования взаимодействия объектов, управления перевозочным процессом в режиме реального времени.
- Развитие цифровых платформенных решений будет способствовать интеграции и повышению интеллектуальности информационных систем

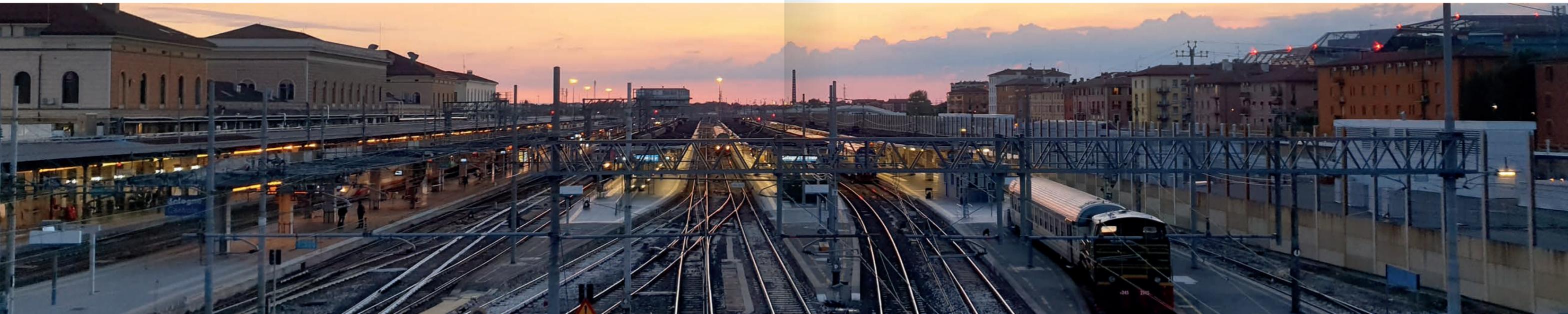
Периоды наиболее активного распространения решений, связанных с изменениями в динамических системах управления перевозочным процессом

№	Решение	2020–2030	2031–2040	2041–2050
1.	Интеллектуально-адаптивные системы планирования, нормирования, учета и стимулирования экономии топливно-энергетических ресурсов	✓		
2.	Системы имитационного моделирования взаимодействия подвижного состава и инфраструктуры	✓	✓	
3.	Продвинутое методы обработки и интерпретации данных для интеллектуального управления движением	✓	✓	✓
4.	Интеллектуальные автоматизированные системы управления перевозочным процессом	✓	✓	
5.	Продвинутое сенсоры и датчики	✓	✓	
6.	Системы автоматического контроля производственных процессов для снижения травматизма и влияния человеческого фактора	✓		
7.	Интеллектуальные интеграционные технологические платформы, формирующие единое информационное пространство для сервисного сопровождения перевозки пассажиров и грузов	✓	✓	

контроля производственных процессов, снизит влияние человеческого фактора и уровень травматизма.

- В долгосрочном периоде ожидается постепенная интеграция различных платформ, направ-

ленная на формирование цифрового двойника перевозочного процесса: за счет внедрения интеграционных платформ будет сформировано единое цифровое пространство для сервисного сопровождения перевозки пассажиров и грузов.



## Железнодорожная инфраструктура

Ключевыми тенденциями технологического развития данного направления станут:

- использование новых материалов для элементов железнодорожной инфраструктуры, прежде всего композитов, а также керамики, титанитов и биокерамики: их термостойкость и прочность позволят повысить срок полезного использования инфраструктурных объектов; в перспективе ожидается внедрение «умных» материалов, в том числе способных к самовосстановлению и самоочищению, материалов с памятью формы;
- расширение использования автономной робототехники и развитие технологий сенсорики для процессов технического обслуживания и ремонта инфраструктуры;
- развитие передовых систем в области электрификации и электроснабжения;
- развитие инфраструктурного комплекса для организации высокоскоростного железнодорожного сообщения: существенный потенциал строительства высокоскоростных магистралей обуславливается активным развитием городских агломераций и мегаполисов и ростом спроса на мобильность в целом;
- формирование единого транспортного пространства: строительство новых железнодорожных коридоров и связующих узлов, создание дополнительных элементов инфраструктурного комплекса, позволяющих оптимизировать процесс смены транспорта при мультимодальных перевозках;
- строительство выделенных грузовых и пассажирских линий, позволяющих повысить пропускную способность магистралей.

«Образ будущего» инфраструктурного комплекса

- Строительство железнодорожной инфраструктуры будет ориентировано на высокоскорост-

ное железнодорожное сообщение, широкое распространение получит безбалластный путь.

- Для целей проектирования и строительства объектов железнодорожной инфраструктуры будут активно использоваться инструменты BIM-технологий, обязательным станет использование цифровых двойников.
- Энергетическая сеть будет представлять собой «умную» сеть, частично генерирующую энергию. Интеллектуальные энергетические сети будут в автоматическом режиме осуществлять мониторинг процессов энергопотребления, перераспределять энергетическую нагрузку, анализировать потребление энергии объектами сети. Это повысит эффективность, надежность и устойчивость энергосистемы, уменьшит потери электроэнергии, достигаются оптимальные режимы работы объектов энергетической инфраструктуры.
- Передовые технологии контроля обеспечат мониторинг состояния всех инфраструктурных объектов в режиме реального времени, оперативное выявление повреждений и неэффективное расходование ресурсов, оперативную передачу информации в случае чрезвычайных ситуаций. Они позволят повысить эффективность планирования использования, обслуживания и обновления инфраструктуры, выявлять и использовать свободные мощности, заранее определять количество необходимых комплектующих и решать другие важные технологические задачи.
- Для повышения пропускной способности на части магистралей будет проведена спецификация грузовых и пассажирских линий.
- Массовое строительство мультимодальных транспортно-логистических хабов обеспечит организацию мультимодальных перевозок и взаимной интеграции различных транспортных систем.

Периоды наиболее активного распространения перспективных технических средств и технологий инфраструктуры путевого комплекса, железнодорожной автоматики, телемеханики, электрификации и электро-снабжения

№	Технологическое решение	2020–2030	2031–2040	2041–2050
1.	Новые материалы при строительстве инфраструктурных объектов (композитные материалы, сверхстойчивые полимеры, «умные» материалы)	✓	✓	
2.	Наноструктурированные многослойные покрытия металлов	✓		
3.	«Умные» сети, обеспечивающие перераспределение электроэнергии, мониторинг, реконфигурацию и управление эксплуатационным состоянием электрической подсистемы в режиме реального времени		✓	
4.	Технологии динамической беспроводной передачи энергии			✓
5.	Системы трансформации кинетической энергии в электрическую	✓		
6.	Системы генерации электроэнергии с применением ВИЭ	✓	✓	
7.	Инновационные системы мониторинга и контроля состояния инфраструктурных объектов в режиме реального времени	✓		
8.	Системы прогнозирования эксплуатационного ресурса на основе предиктивного моделирования	✓		
9.	Технологии имитационного моделирования в рамках проектирования инфраструктуры	✓	✓	
10.	Интеллектуальные роботизированные комплексы по техническому обслуживанию и ремонту		✓	✓
11.	Автоматизированные роботизированные комплексы по осуществлению погрузо-разгрузочных работ		✓	
12.	Технологии виртуальной и дополненной реальности		✓	
13.	Системы аддитивного производства элементов инфраструктуры	✓		
14.	Цифровые двойники инфраструктурного комплекса		✓	✓
15.	Мультимодальные транспортно-логистические хабы	✓		
16.	Транспортно-логистические подземные железнодорожные линии			✓
17.	Специфицированные грузовые и пассажирские железнодорожные линии	✓		
18.	Безбалластный путь	✓	✓	
19.	Интеллектуальные системы организации обеспечения безопасности	✓	✓	

## Список использованных источников

<sup>1</sup> The Long View. How will the global economy order change by 2050? // PwC. 2017. URL: <https://www.pwc.com/gx/en/world-2050/assets/pwc-the-world-in-2050-full-report-feb-2017.pdf>

<sup>2</sup> На основе анализа торговых показателей базы данных UN Comtrade // UN Comtrade. 2021 URL: <https://comtrade.un.org/labs/data-explorer>

<sup>3</sup> The Joint Leaders Statement of the 4th RCEP Summit // ASEAN. 2020 URL: <https://rcepsec.org/wp-content/uploads/2020/11/RCEP-Summit-4-Joint-Leaders-Statement-Min-Dec-on-India-2.pdf>

<sup>4</sup> Regional Comprehensive Economic Partnership (RCEP) // CalChamber Advocacy. 2020 URL: <https://advocacy.calchamber.com/international/trade/regional-comprehensive-economic-partnership/>

<sup>5</sup> Что Россия может предложить Африке. // РСМД. 2019. URL: <https://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/analytics/chto-rossiya-mozhet-predlozhit-afrike/>

<sup>6</sup> The Paris Agreement // United Nations. Climate Action. URL: <https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement>

<sup>7</sup> Zero Carbon Action Plan. New York: Sustainable Development Solutions Network. 2020. URL: <https://irp-cdn.multiscreensite.com/6f2c9f57/files/uploaded/zero-carbon-action-plan%20%281%29.pdf>

<sup>8</sup> European Green Deal: 2030 climate & energy framework. // European Commission. URL: [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en)

<sup>9</sup> The joint impact of the European Union emissions trading system on carbon emissions and economic performance. // EOCED. 2018. URL: [https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ECO/WKP\(2018\)63&docLanguage=En](https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ECO/WKP(2018)63&docLanguage=En)

<sup>10</sup> Communication from the Commission to The European Parliament, The European Council, The Council, The European Economic and The Social Committee of The Regions. // The European Green Deal. 2019. URL: [https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/european-green-deal-communication\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/european-green-deal-communication_en.pdf)

<sup>11</sup> New Energy Outlook 2019. // Bloomberg New Energy Finance. 2019. URL: <https://about.bnef.com/new-energy-outlook/>

<sup>12</sup> Emerging Markets Cross-Border Clean Energy Investment. // Climatescope2020. Bloomberg New Energy Finance. 2020. URL: <https://global-climatescope.org/clean-energy-investments>

<sup>13</sup> Statistical Review of World Energy – 2021 70th edition // British Petroleum. 2021. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>

<sup>14</sup> Renewable Energy Market Update 2021. Renewable electricity. // IEA. 2021. URL: <https://www.iea.org/reports/renewable-energy-market-update-2021/renewable-electricity>

<sup>15</sup> Oil 2021. Analysis and Forecast 2026. // IEA. 2021. URL: [https://www.iea.org/reports/oil-2021?utm\\_content=buffer4c4a7&utm\\_medium=social&utm\\_source=twitter.com&utm\\_campaign=buffer](https://www.iea.org/reports/oil-2021?utm_content=buffer4c4a7&utm_medium=social&utm_source=twitter.com&utm_campaign=buffer)

<sup>16</sup> Global Energy Perspective 2021. // McKinsey&Company. 2021. URL: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Oil%20and%20Gas/Our%20Insights/Global%20Energy%20Perspective%202021/Global-Energy-Perspective-2021-final.pdf>

<sup>17</sup> Интервью Анатолия Яновского «Российской газете»: Какое будущее ожидает российский уголь. // Министерство энергетики Российской Федерации. 2021. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/19811>

<sup>18</sup> Поставки угля из России в Китай в первой половине 2020 года выросли на 10% // Министерство энергетики Российской Федерации. 2020. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/19374>

<sup>19</sup> New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding. // Nature. 2019. URL: <https://www.nature.com/articles/s41467-019-12808-z>

<sup>20</sup> Обзор доклада Николаса Стерна «Экономика изменения климата» / Кокорин А. О., Кураев С. Н. WWF, GOF. – М.: WWF России, 2007. – 50 с. URL: <https://infoik.net.kg/images/files/economy.pdf>

<sup>21</sup> Оценочный отчет: Основные природные и социально-экономические последствия изменения климата в районах распространения многолетне-мерзлых пород: прогноз на основе синтеза наблю-

дений и моделирования // Greenpeace. 2010. URL: <https://greenpeace.ru/wp-content/uploads/2020/06/doklad-climate-ru.pdf>

<sup>22</sup> EU cross-border carbon regulations: over EUR 50 per tonne of CO<sub>2</sub>. // PwC. 2021. URL: <https://www.pwc.ru/en/tax-consulting-services/assets/legislation/tax-flash-report-2021-27-eng.pdf>

<sup>23</sup> State and Trends of Carbon Pricing 2020. // World Bank Group. 2020. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/33809/9781464815867.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

<sup>24</sup> Taskforce on scaling voluntary carbon markets. // Institute of International Finance. 2021. URL: [https://www.iif.com/Portals/1/Files/TSVCM\\_Report.pdf](https://www.iif.com/Portals/1/Files/TSVCM_Report.pdf)

<sup>25</sup> Послание Президента Федеральному Собранию // Официальный сайт Президента России, 2021. URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/transcripts/messages/65418>

<sup>26</sup> Правительство готовится запустить в 2022 году национальную систему зеленых сертификатов. // Ведомости. 2021. URL: <https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2021/06/02/872582-zelenih-sertifikatov>

<sup>27</sup> Риски и преимущества ОАО «РЖД» в свете климатической политики ЕС: оценка ИПЕМ. // ИПЕМ. 2020. URL: <http://ipem.ru/news/ipem/2035.html>

<sup>28</sup> World Population Prospects 2019 // Доклад Департамента по экономическим и социальным вопросам ООН. 2019. – URL: [https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019\\_Highlights.pdf](https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf)

<sup>29</sup> HP Commits to Educate 100,000 Across Africa in the Next Three Years, Opens HP LIFE Center for Entrepreneurship in South Africa. // HP. 2018. URL: <https://press.hp.com/us/en/press-releases/2018/hp-commits-to-educate-100-000-across-africa-in-the-next-three-ye.html>

<sup>30</sup> Future of Rail 2050. // ARUP. 2019. URL: <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/future-of-rail-2050>

<sup>31</sup> World Urbanization Prospects 2018. // United Nations. 2018. URL: <https://population.un.org/wup/Country-Profiles/>

<sup>32</sup> Демографические вызовы России. Экспертно-аналитический доклад. // Центр стратегических разработок. 2017. URL: <https://www.csr.ru/uploads/2017/11/Report-Demography-web.pdf>

<sup>33</sup> Рассмотрены пути взаимодействия в сфере железнодорожного транспорта с РФ. // Министерство инвестиций и внешней торговли Республики Узбекистан. 2021. URL: <https://mift.uz/ru/news/rassmotreny-puti-vzaimodejstvija-v-sfere-zheleznodorozhnogo-transporta-s-rf>

<sup>34</sup> Заседание Совместной комиссии на уровне глав правительств Российской Федерации и Республики Узбекистан. // Сайт Правительства Российской Федерации. 2021. URL: <http://government.ru/news/42569/>

<sup>35</sup> The Chinese Loans to Africa (CLA) Database. // China-Africa Research Initiative, Boston University Global Development Policy Center. 2020. URL: <http://www.sais-cari.org/data>

<sup>36</sup> Project «Addis Ababa-Djibouti Railway, Ethiopia». Overseas Business. // China Railway Group Limited. 2021. URL: <http://www.crecg.com/english/2745/2808/10068432/index.html>

<sup>37</sup> Annual Report 2020. // China Railway Group Limited. 2020. URL: [http://www.ir-cloud.com/china/601390/financial/27/EN/2020%20Annual%20Report\\_RKG8uk5A5Bdt.pdf](http://www.ir-cloud.com/china/601390/financial/27/EN/2020%20Annual%20Report_RKG8uk5A5Bdt.pdf)

<sup>38</sup> Национальная программа социально-экономического развития Дальнего Востока на период до 2024 года и на перспективу до 2035 года. // Сайт Правительства Российской Федерации. 2020. URL: <http://static.government.ru/media/files/NAISPJ8QMRZUPd9LI MWJoeVhn1I6eGqD.pdf>

<sup>39</sup> Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года. // Портал Правительства Российской Федерации. 2021. URL: <http://gov.garant.ru/SESSION/PILOT/main.htm>

<sup>40</sup> Правительство включило новые мероприятия в Комплексный план модернизации и расширения

магистральной инфраструктуры. // Портал Правительства Российской Федерации. 2021. URL: <http://government.ru/news/41594/>

<sup>41</sup> L'Assemblée nationale adopte le projet de loi Climat et résilience. // Официальный сайт Правительства Франции. 2021. URL: <https://www.gouvernement.fr/l-assemblee-nationale-adopte-le-projet-de-loi-climat-et-resilience>

<sup>42</sup> Small is beautiful. Making micromobility work for citizens, cities, and service providers. // Deloitte. 2019. URL: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/future-of-mobility/micro-mobility-is-the-future-of-urban-transportation.html>

<sup>43</sup> The Future of Work 2050. // The Millennium Project. 2019. URL: <https://ageofrobots.net/the-future-of-work-2050/>

<sup>44</sup> What Happens When 'If' Turns to 'When' in Quantum Computing? // BCG. 2021. URL: <https://www.bcg.com/publications/2021/building-quantum-advantage>

<sup>45</sup> Паспорт «дорожной карты» развития высокотехнологической области «Квантовые вычисления» на период до 2024 года. // Министерство цифрового развития России. 2020. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_384559/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_384559/)

<sup>46</sup> Powered by Microsoft Azure and developed by CoRover, IRCTC's AI chatbot AskDISHA enhances

user experience. // Microsoft. 2021. URL: <https://news.microsoft.com/en-in/microsoft-azure-powered-corover-developed-irctc-ai-chatbot-askdisha/>

<sup>47</sup> The Subscription Economy Index. // Subscribed Institute. 2021. URL: <https://s3.amazonaws.com/media.mediapost.com/uploads/SubscriptionEconomyIndexReportMarch2021.pdf>

<sup>48</sup> Украдут ли роботы наши рабочие места? Международный анализ потенциальных долгосрочных последствий автоматизации. // PwC. 2020. URL: <https://www.pwc.ru/publications/collection/how-will-automation-impact-jobs-designer.pdf>

<sup>49</sup> Railway Cybersecurity. Security measures in Railway Transport Sector. // ENISA. 2020. URL: <https://www.enisa.europa.eu/publications/railway-cybersecurity/@download/fullReport>

<sup>50</sup> Применение систем накопления энергии в России: возможности и барьеры. Экспертно-аналитический отчет. Под ред. Холкина Д.В. и Корева Д.А. // Инфраструктурный центр EnergyNet. 2019. URL: <https://www.eprussia.ru/upload/iblock/1b8/1b83729ddd27beaeb629e380293a4585.pdf>

<sup>51</sup> Международные тенденции в области возобновляемых источников энергии // Deloitte. 2018. URL: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Documents/energy-resources/Russian/global-renewable-energy-trends.pdf>

