



Сценарный прогноз декарбонизации транспортного сектора Российской Федерации – основа формирования прогрессивных технологий в транспортном секторе

Трофименко Юрий Васильевич,
руководитель дорожно-транспортного отделения РАТ,
заведующий кафедрой "Техносферная безопасность" МАДИ,
начальник НИИ Энергоэкологических проблем при МАДИ,
заслуженный деятель науки РФ, д.т.н., профессор

**Заседание Объединенного ученого совета Российской академии транспорта
30 марта 2022 года**

Основные драйверы научно-технологического развития транспорта

- **использование современных технологий и интеллектуальных систем, позволяющих перейти к концепции «Мобильность как услуга»:** обеспечение условий, направленных на создание мультимодальных транспортных систем, переход от конкуренции между различными видами транспорта к их взаимодополнению на магистральных, межрегиональных, пригородных и городских перевозках;
- **уберизация, каршеринг и совместное использование транспортных средств:** переход от использования личного автомобиля при сохранении безопасности и комфортабельности перевозки минимизирует время простаивания автомобиля на парковочном месте, способствует разгрузке улично-дорожной сети;
- **развитие ИТС, создание и применение беспилотных транспортных средств** (в том числе в рамках Национальной технологической инициативы, в проектах Фонда «Сколково» и др.) в целях обеспечения конкурентных преимуществ России на рынках будущего;
- **диверсификация источников энергии (декарбонизация):** рост численности парка ТС на газомоторном топливе, электромобилей, в том числе на топливных элементах (водород), создание заправочной инфраструктуры.

Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года (Утв. Распоряжением Правительства РФ 29.10.2021 N° 3052-р)

<http://static.government.ru/media/files/ADKkCzp3fWO3ze2yAoBhtlpyzWfHaiUa.pdf>

- ✓ Представлено обновлённое видение развития транспортной системы в интересах граждан, грузоотправителей, перевозчиков, государственных институтов, всего общества
- ✓ Обозначен переход на низкоуглеродное развитие транспортной отрасли (водород и электромобили)
- ✓ Предусмотрено внедрение ESG-требований и учёт целей устойчивого развития (ЦУР) ООН
- ✓ Установлен укрупнённый целевой индикатор по снижению выбросов ПГ на период до 2035 года – *«сокращение на 30...70% по сравнению с 2019 годом "углеродного следа" от эксплуатации общественного транспорта в крупных и крупнейших агломерациях»*.

Переход от традиционного топлива к новым видам энергоресурсов, потребление которых составит до 30% в 2035 году, потребует изменения структуры производства*:

- **электроэнергия:** доля электромобилей в автопарке легковых автомобилей к 2035 г. составит 45–50%, малотоннажных грузовых автомобилей – 15%, автобусов – 20%, тяжелых грузовых автомобилей – 5%. Ожидается развитие электрических маневровых локомотивов и переход на их закупку с 2024 г., общая доля парка которых составит 30–40% к 2030 г.;
- **природный газ (КПГ):** по прогнозам, к 2030 г. доля транспортных средств, работающих на газе, составит 5–10% от общего количества легковых транспортных средств, 7–12% от общего количества грузовых ТС, а также 20–30% от общего количества автобусов;
- **природный газ (СПГ):** общий объем потребления в 2030 г. в качестве моторного топлива составит от 0,95 до 3,75 млн т, при этом 12% потребления обеспечит железнодорожный транспорт, а 88% – автотранспорт. Доля СПГ в общей структуре топлива морского транспорта составит до 10%;
- **водородное топливо:** ожидается масштабное развитие на горизонте после 2030 г. и потребление, в том числе в автобусах, авиации, железнодорожном транспорте, водном транспорте. На текущий момент прорабатывается возможность использования поездов на водородном топливе в рамках проекта на острове Сахалин.

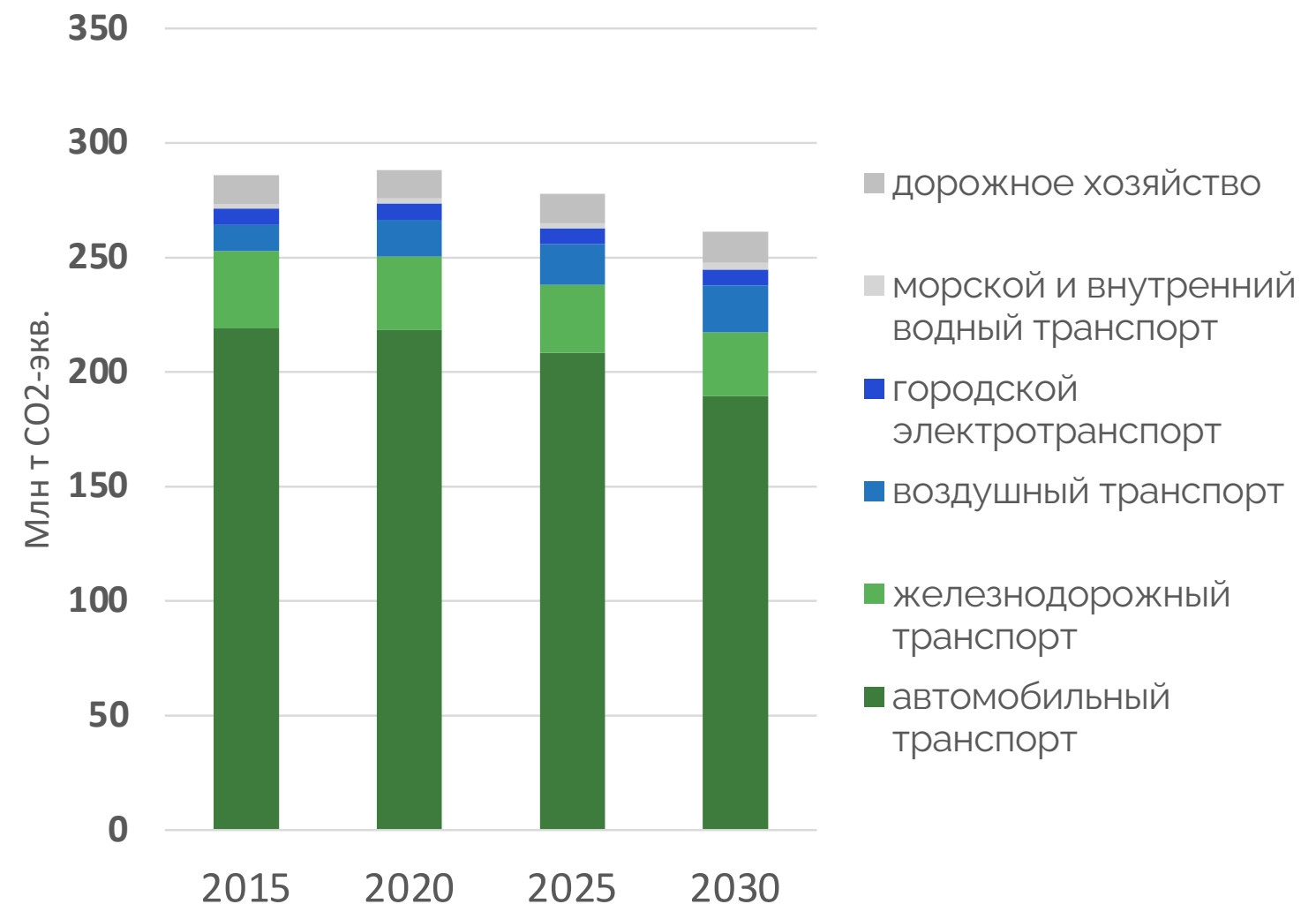
* - Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года

Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года утверждена распоряжением Правительства РФ от 29 октября 2021 г. № 3052-р.

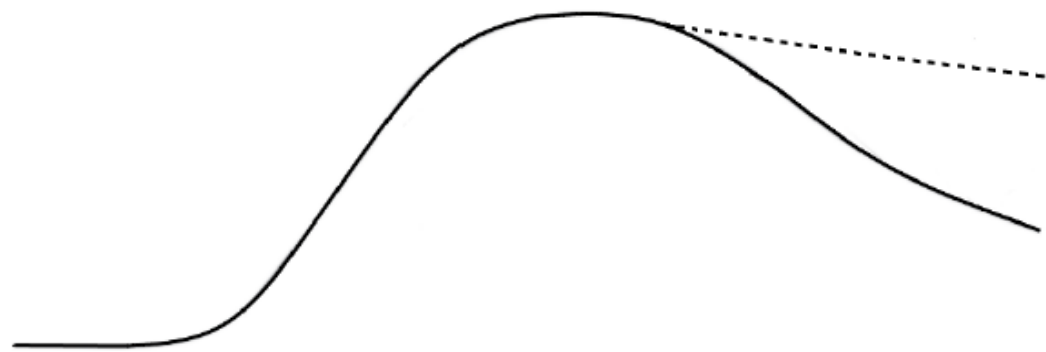
Для разработки прогноза выбросов сформирована модель долгосрочного развития транспортной отрасли с низким уровнем выбросов ПГ, исходя из:

- прогнозов развития мировой экономики,
- прогноза численности населения России,
- прогноза численности и структуры парка АТС,
- возможных негативных аспектов изменения климата и необходимости адаптации объектов транспорта,
- целевых показателей по уровню выбросов ПГ,
- использования альтернативных источников энергии на транспорте,
- трендов развития транспортно-логистических систем и транспортных средств с использованием утвержденных или разрабатываемых документов стратегического планирования транспорта и смежных отраслей.

Прогноз суммарных валовых выбросов ПГ всеми видами транспорта (инновационный сценарий) (МАДИ, 2018)

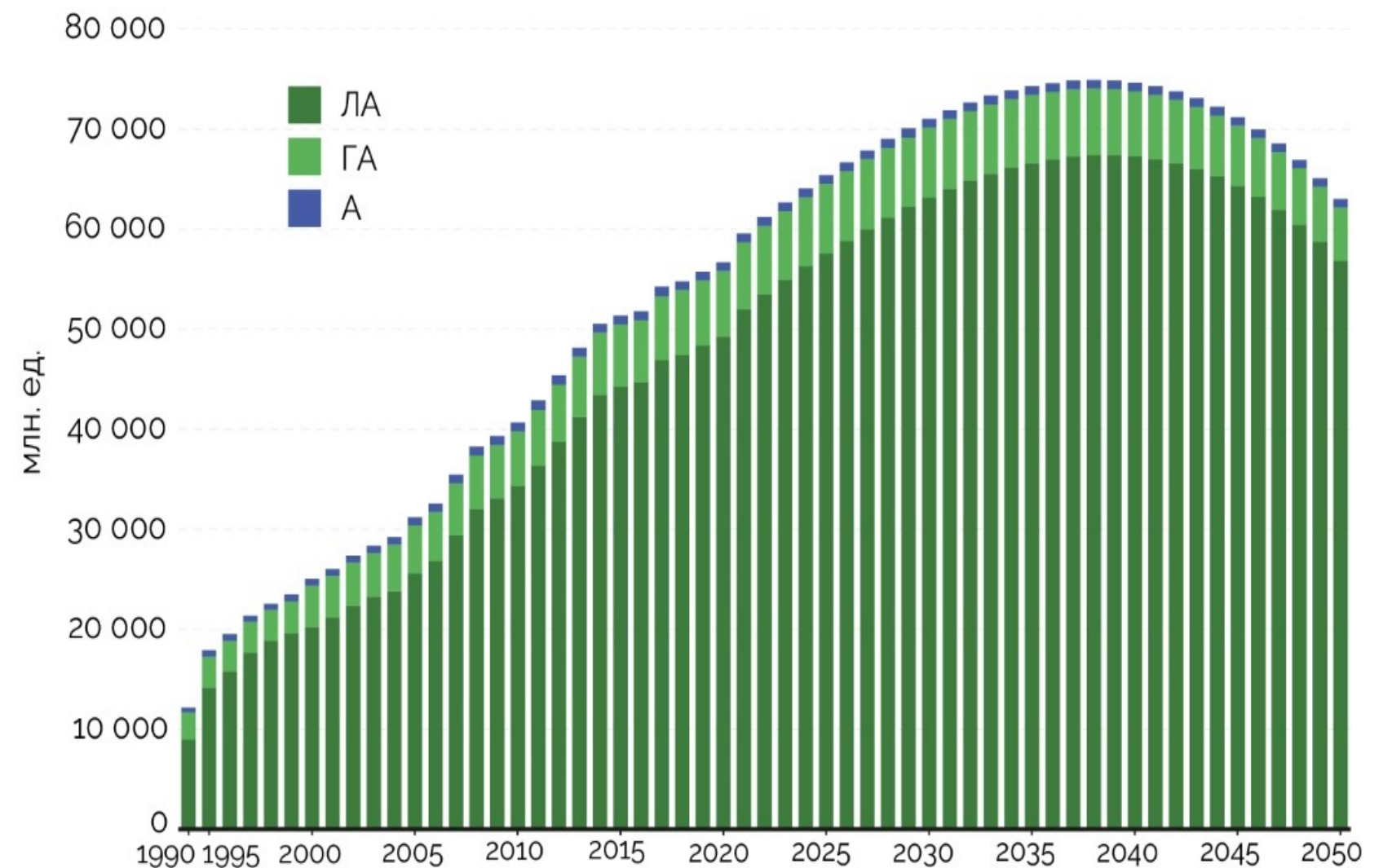


Прогноз численности парка АТС в РФ до 2050 года, млн. ед.



Вид кривой, описывающей процесс автомобилизации (численности парка легковых АТС на 1000 жителей) в условиях «революционных изменений»

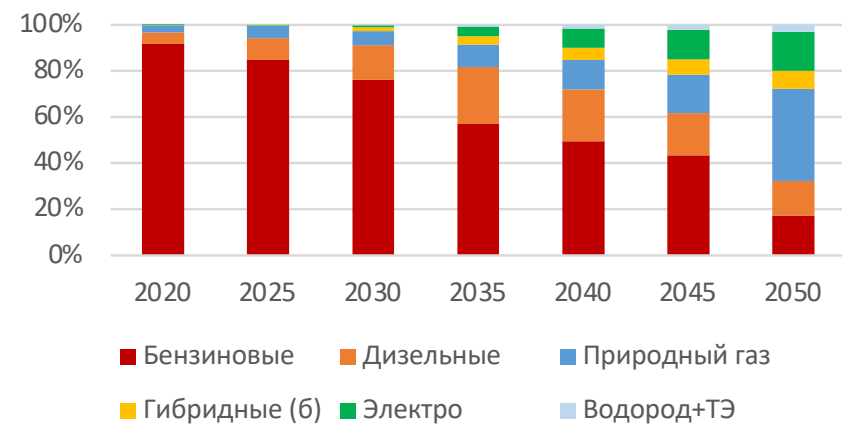
Прогноз численности парка АТС в РФ до 2050 г., млн. ед. (инновационный и сценарий «1,5 градуса») (МАДИ, 2021)



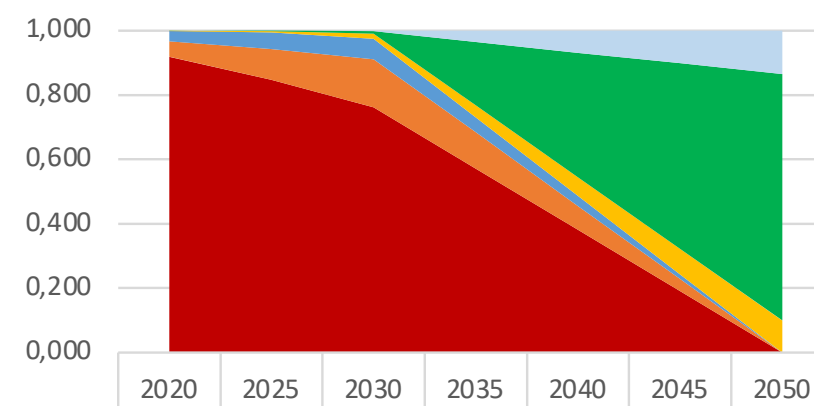
Прогноз структуры парка АТС РФ по типу энергоустановок

Инновационный, %

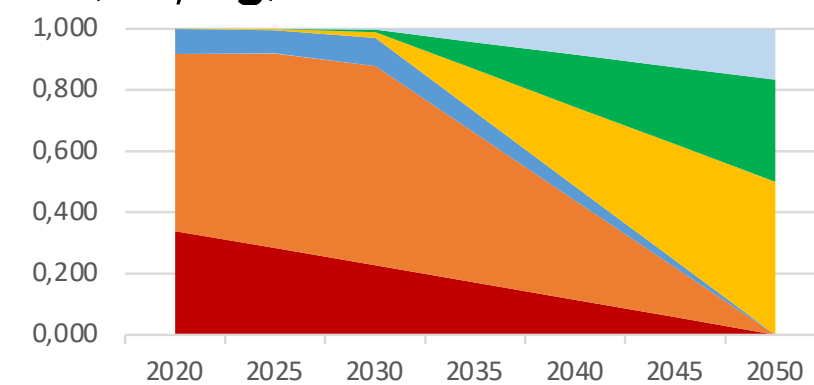
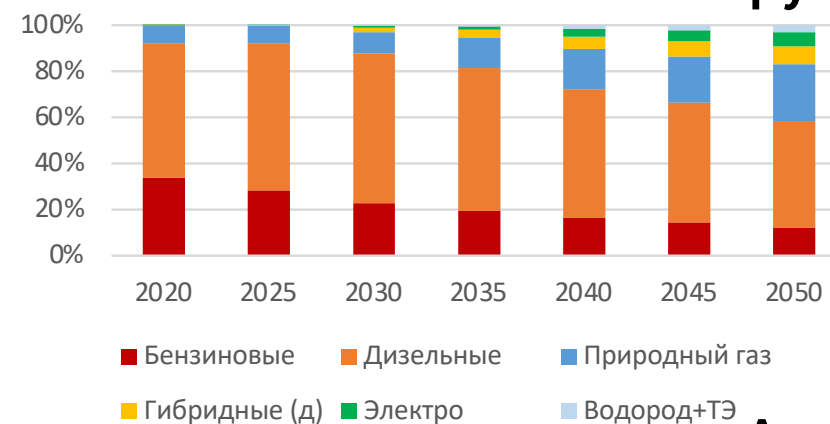
Легковые (M1, N1)



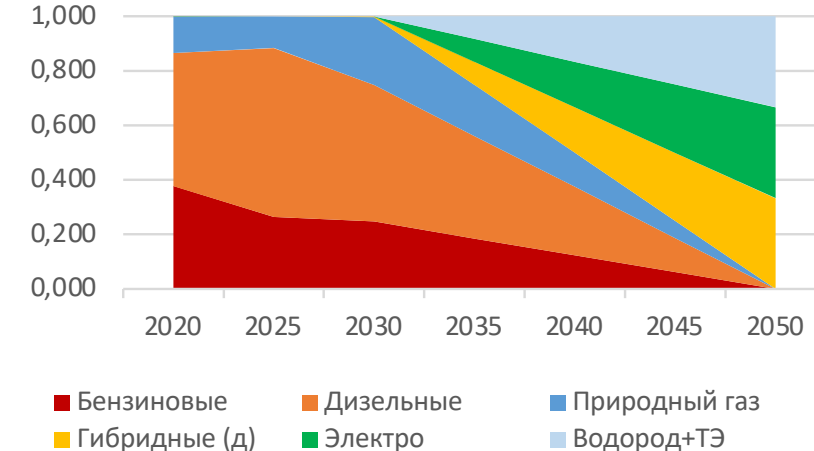
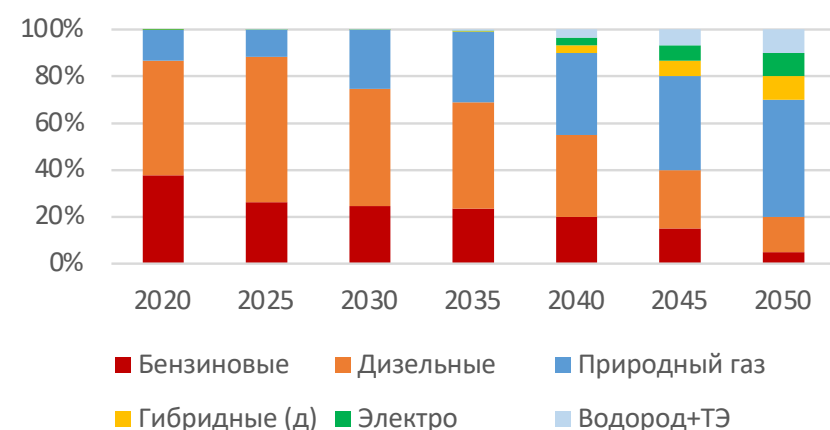
«1,5 градуса», доли



Грузовые (N2, N3)



Автобусы (M2, M3)



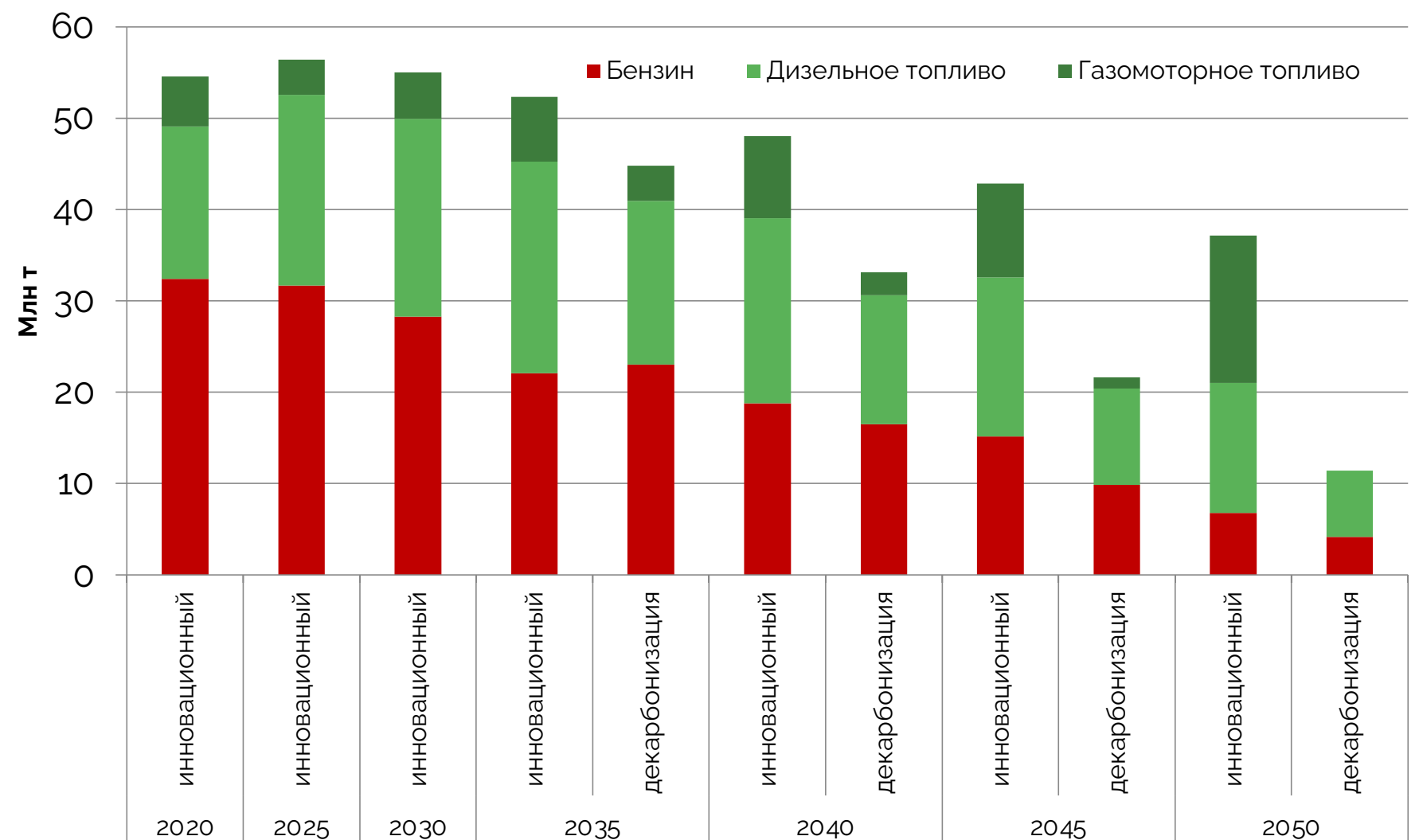
Сценарий «1,5 градуса» базируется на дополнении набора мер транспортной политики для инновационного сценария, которые позволяют обеспечить радикальное сокращение выбросов ПГ, в том числе за счет более интенсивного замещения традиционных видов топлива и энергии безуглеродными.

Как переломить тренд роста численности **легковых ТС** и добиться в перспективе декарбонизации автомобильного транспорта?

В прогнозе МАДИ учтены:

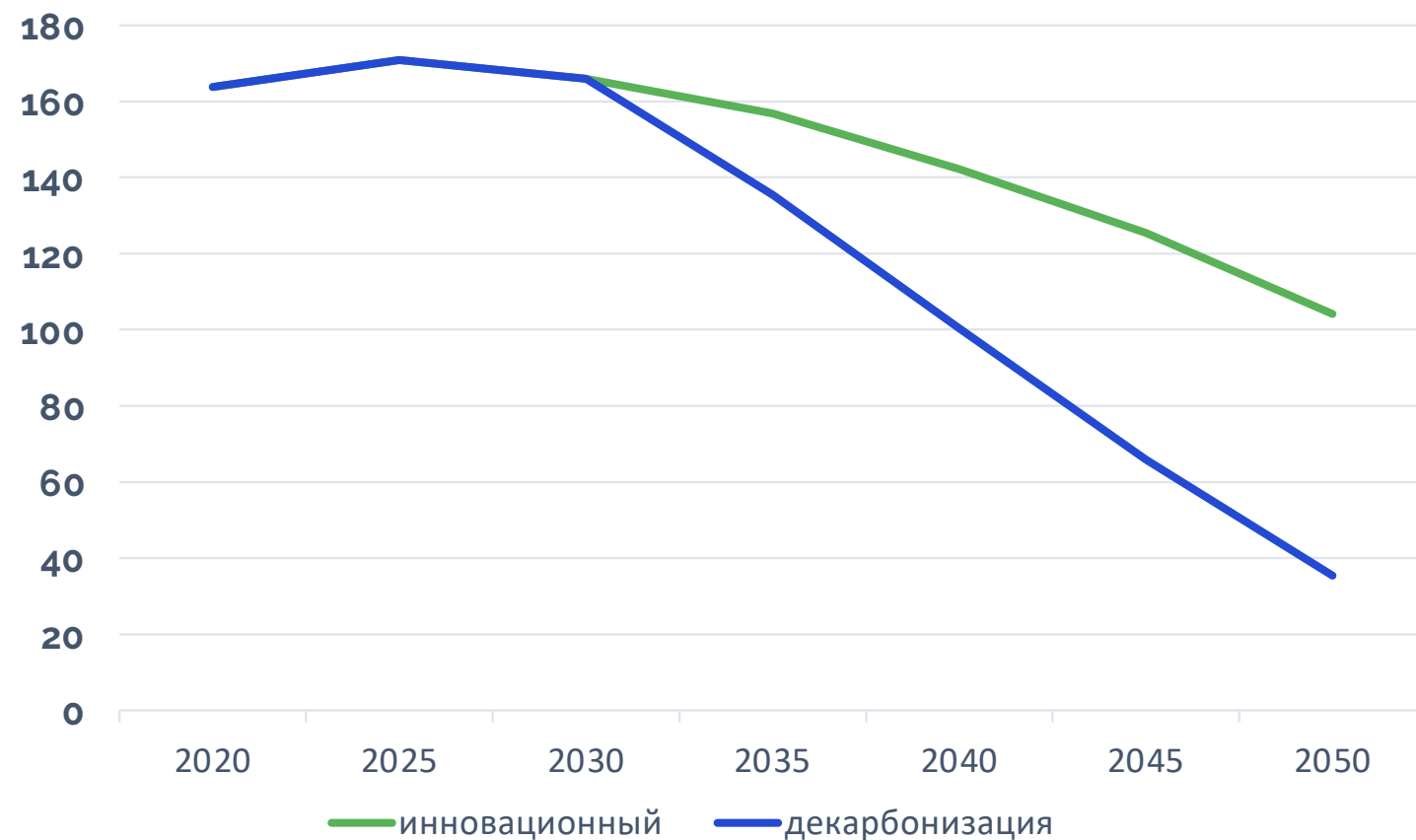
- тренды электрификации транспорта, как основного способа достижения углеродной нейтральности, цифровизация
- **тренды** массового использования высокоавтоматизированных транспортных средств
- **процессы внедрения** интеллектуальных транспортных технологий, ускорение которых наблюдается в постковидный период

Прогноз объемов потребления по видам моторного топлива парком АТС России до 2050 г (МАДИ, 2021)

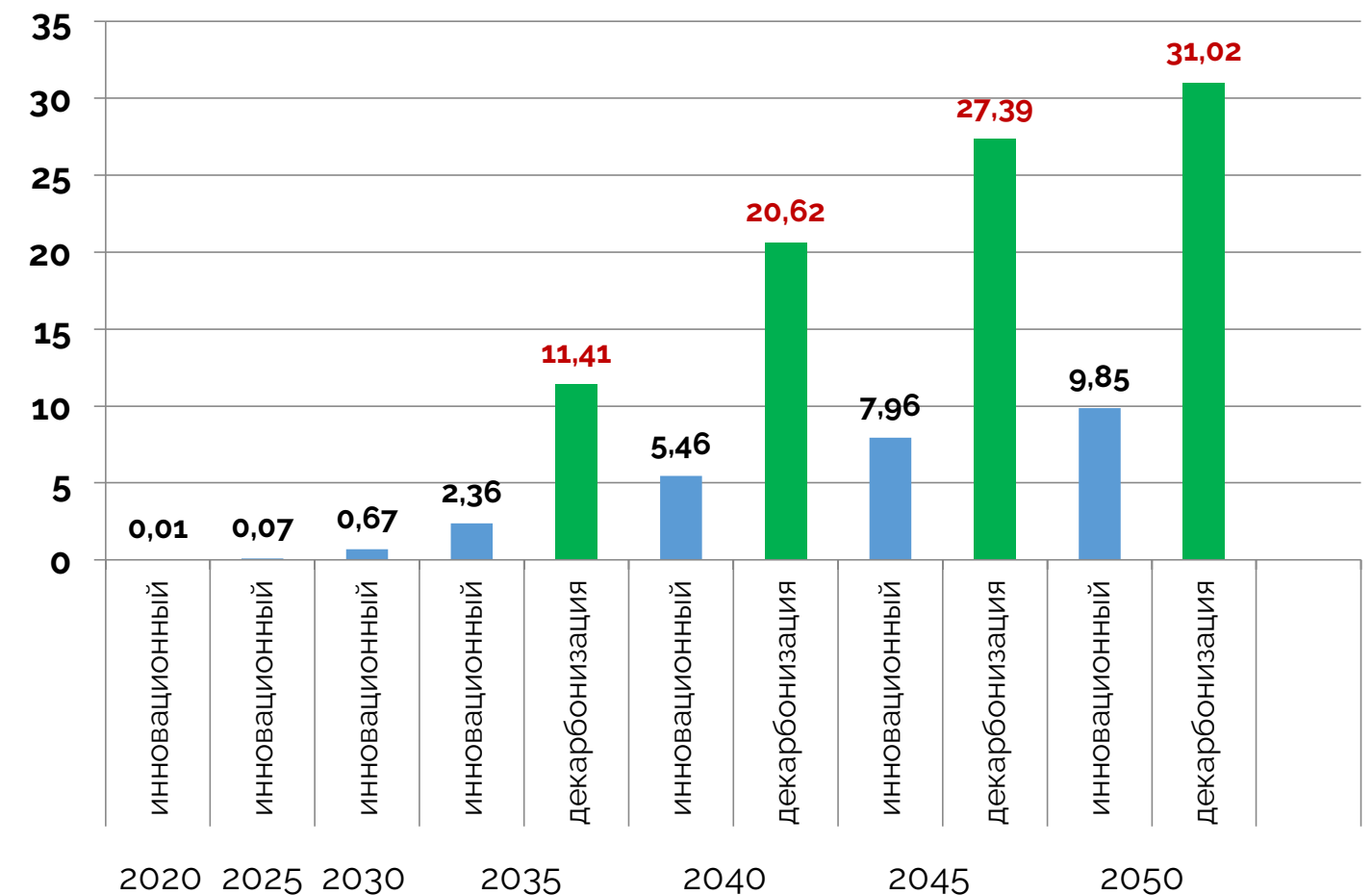


Результаты сценарного прогноза потребления топлива, прямых и косвенных выбросов ПГ автомобильным транспортом России до 2050 года (млн т CO₂)

Прогноз **прямых** (при сжигании топлива) выбросов CO₂ подвижными источниками автомобильного транспорта (без электропривода), млн т CO₂



Прогноз **косвенных** (при производстве электроэнергии) выбросов CO₂ подвижными источниками электротранспорта, млн т CO₂



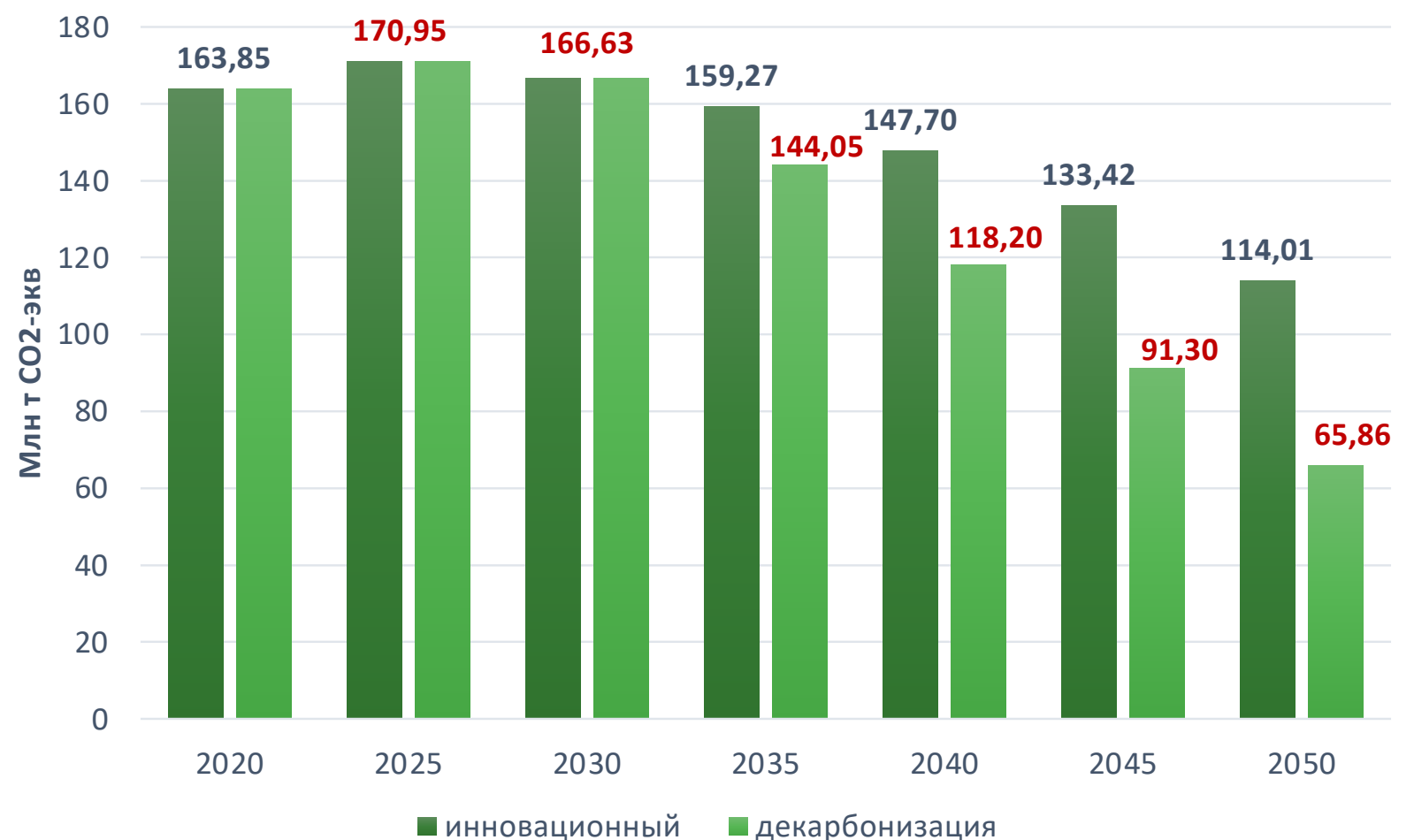
Энергоэффективность и электрификация транспорта позволят после 2025г снижать выбросы ПГ от АТС

Валовые выбросы ПГ будут в ближайшие 5-7 лет расти, а затем тренд поменяется на их снижение.

При реализации инновационного сценария в 2050 г суммарные выбросы ПГ по сравнению с 2020 г могут сократиться почти на 30% (на 50 млн. т CO₂)

При реализации сценария «1,5 градуса» (декарбонизации) - в 2,5 раза (почти на 100 млн т CO₂).

Прогноз **суммарных** валовых выбросов ПГ (прямых и косвенных) подвижными источниками автомобильного транспорта в РФ на период до 2050 г (МАДИ, 2021)



В 2053 г в сценарии декарбонизации будет достигнута декарбонизация парка АТС при сценарии «1,5 градуса». При реализации инновационного сценария – в 2066 г

Для гибридов, ЭМ с тяговым электроприводом, на топливных элементах при использовании водорода в 2050 г при реализации инновационного сценария потребуется дополнительно ввести энергетические мощности в ТЭК для **выработки 50 млрд. кВт.ч** электроэнергии, а при реализации сценария «1,5 градуса» (декарбонизации) - **210,65 млрд. кВт.ч**.

Согласно Энергетической стратегии РФ в 2035 г в РФ должно быть выработано **1076 млрд. кВт.ч электроэнергии**, т.е. в 18,5 раз больше, чем потребуется в этот год для ЭМ.

Если мощности электрогенерации на 2050 г станут такими же, как в 2035 г, то доля ЭМ в потреблении электроэнергии будет составлять менее 20%.

Прогноз объемов дополнительной электрогенерации в ТЭК для обеспечения работы ЭТС в автомобильном парке РФ до 2050 г, (МАДИ, 2021)



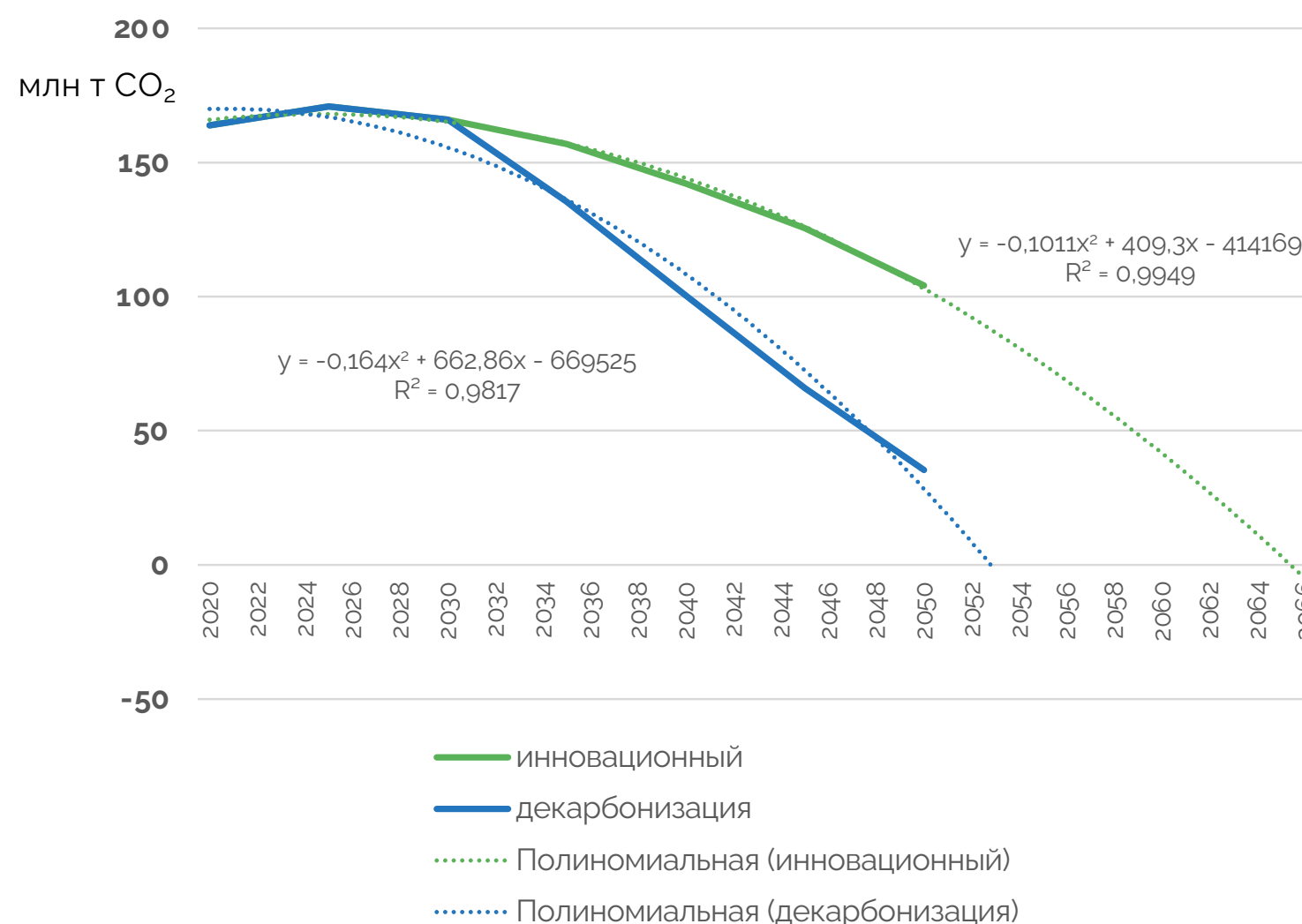
Основные пути достижения **полной** декарбонизации автомобильного транспорта в Российской Федерации

а) **прекращение эксплуатации** автомобилей с **ДВС**, работающими на невозобновляемых источниках энергии;

б) полное **замещение** в автомобильных парках гибридов с ДВС на бензине и дизельном топливе на гибриды, работающие на **возобновляемых** источниках энергии;

в) перевод остальных транспортных средств в парках легковых, грузовых АТС и автобусов на **использование электропривода** (электромобили, автомобили на топливных элементах, электробусы, грузовые автомобили с подачей электроэнергии по контактной сети).

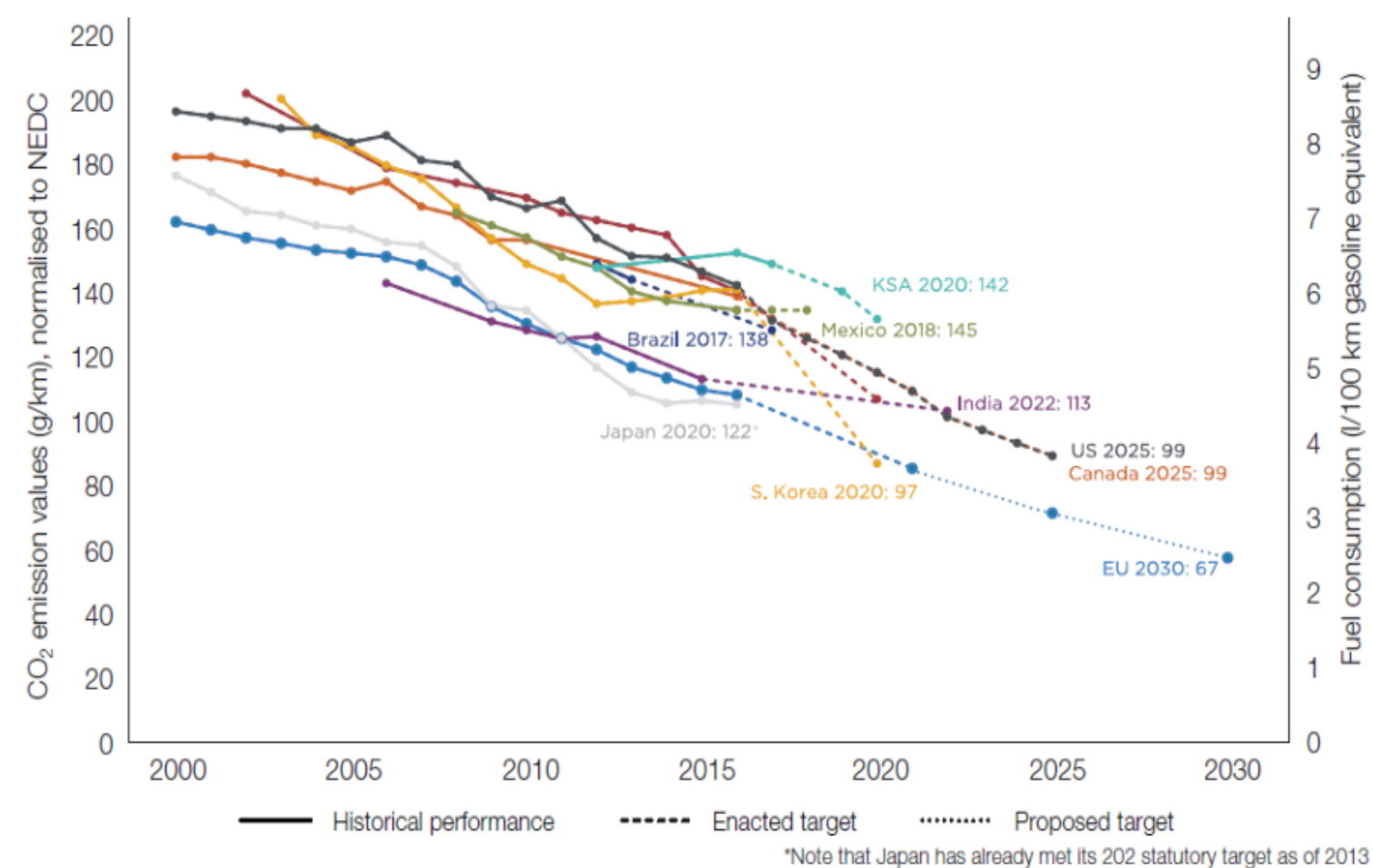
Прогноз сокращения выбросов ПГ автомобильным транспортом в РФ при реализации разных сценариев (МАДИ, 2021)



Административные механизмы регулирования выбросов ПГ автотранспортом до 2030 года

- Нормирование **удельных** выбросов
- Фискальные меры, основанные на налогообложении транспортных средств, **экономические стимулы**
- Административные меры ограничения **доступа** «экологически грязных» АТС на определенные **городские** территории
- Развитие **частного и** общественного **электро**транспорта
- Развитие немоторизованных видов транспорта
- Развитие интеллектуальных систем управления движением транспортных потоков, организацией платного парковочного пространства и т.д.

Динамика нормативных значений удельных выбросов CO₂ легковыми автомобилями в разных странах, г/км



Источник: ICCT (2018). Overview of Global Fuel Economy Policies

Основные технологические варианты декарбонизации автомобильного транспорта



Модельный ряд заводской техники на **природном газе** включает 229 моделей, в т.ч. 127 грузовых автомобилей, 43 ед. пассажирского транспорта, 36 ед. спецтехники, 19 моделей легкого коммерческого транспорта и 4 легковых автомобиля (LADA Largus CNG, LADA Vesta CNG, Ford Focus и Ford Mondeo).

Численность парка **АТС с тяговым электроприводом** в России составляет около 11 тыс. ед. В России с 2018 года серийно производятся конкурентоспособные городские электробусы ПАО "КАМАЗ", ПАО "ГАЗ" и ООО "Волгабас". Объем производства российских электробусов превышает 300 ед. в год.

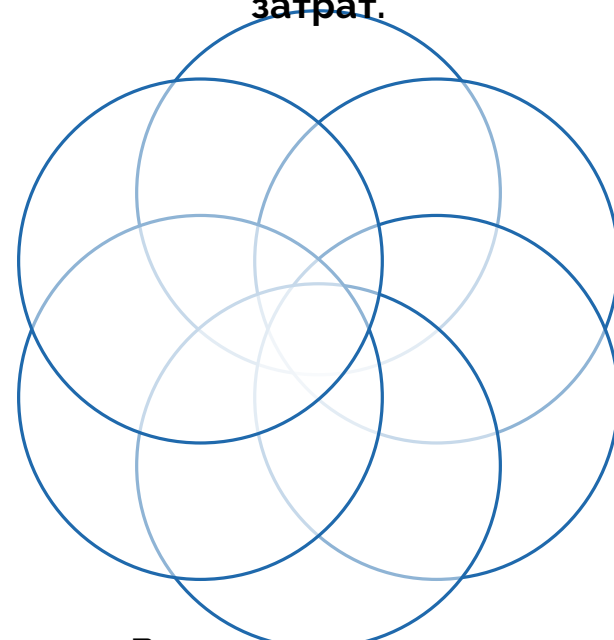
В России разработаны опытные образцы энергоустановок на **водородных топливных элементах**, электролизеры для производства «зеленого» водорода, установки по производству водорода из природного газа. На выставке Комтранс-2021 было представлено несколько прототипов водородных автобусов КАМАЗ и ГАЗ: большого класса – КамАЗ-6290, CITYMAX Hydrogen (85 пассажиров) и малого – ГАЗель City (22 пассажира); прототип водородного легкового автомобиля Aurus Senat (НАМИ), прототип автопоезда КАМАЗ на водороде и топливных элементах полной массой 44 т (конфигурация 6x2), который развивает мощность 570 л.с. и имеет запас хода 500 км.

Ключевые экономические проблемы АТС на газомоторном топливе (КПГ, СПГ) и заправочной инфраструктуры

Риск повышения цен на КПГ из-за длительного срока окупаемости АГНКС

Отсутствие государственного регулирования цен на СПГ. Установление предельной цены СПГ, экономически целесообразной для применения на транспорте

Длительный срок окупаемости инвестиций в газозаправочную инфраструктуру ввиду низкой загрузки и высоких капитальных затрат.

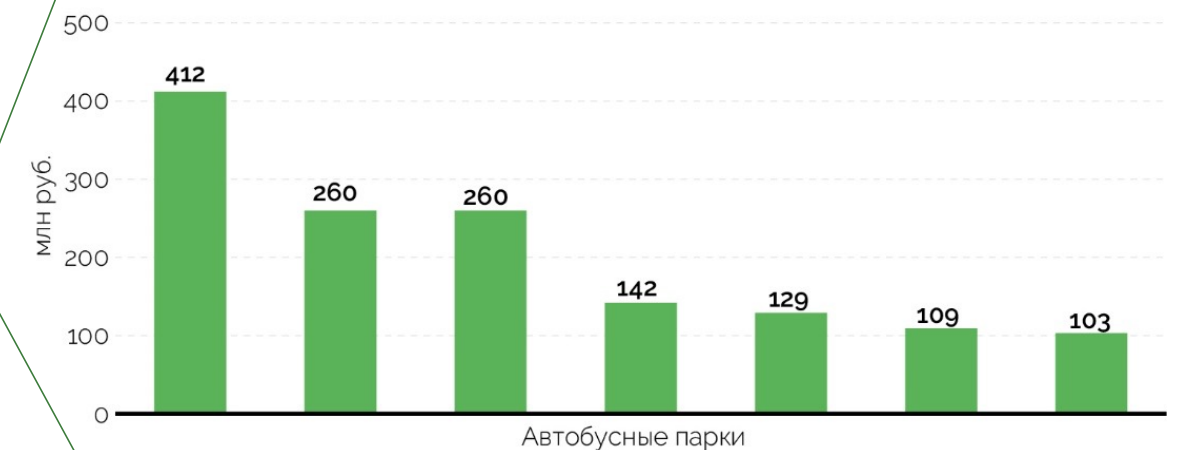


Высокая стоимость криогенного оборудования отечественного производства, что приводит к повышению цены на конечную технику.

Необоснованно жесткие противопожарные требования к ПТБ автомобильной техники на КПГ

Риск введение государственного регулирования цен на КПГ.

Затраты на реконструкцию ПТБ автобусных парков (подвижной состав на КПГ) в Московском регионе(МАДИ,2019)



С позиции потребителя (хозяйствующих субъектов и населения) экономически обоснованная мотивация перехода наземного транспорта на природный газ отсутствует, т.к. **стоимость владения АТС на ГМТ с учетом полного жизненного цикла моторного топлива существенно выше стоимости владения АТС на бензине или дизельном топливе.**

Использование СПГ вместо КПГ в качестве газомоторного топлива позволяет решить несколько ключевых проблем

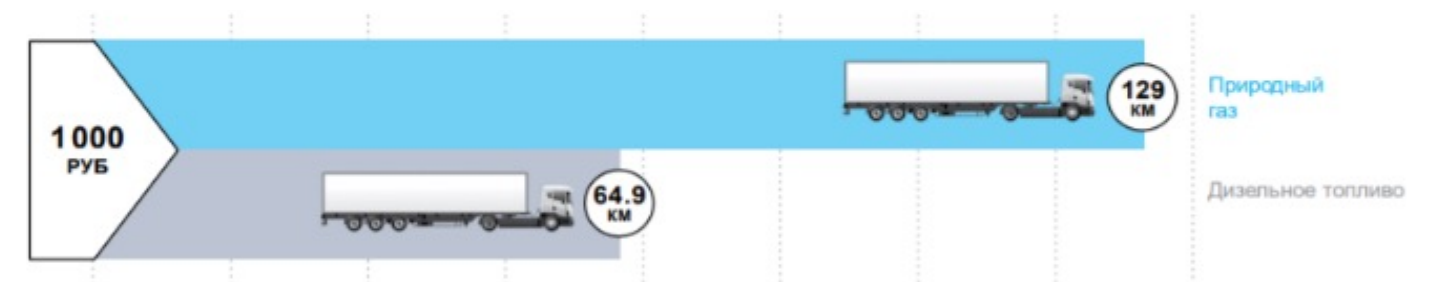
- Увеличение пробега АТС на ГМТ в 2-3 раза по сравнению с КПГ;
- Более широкий охват территории страны, т.к. нет привязки к газотранспортной системе;
- Значительно уменьшаются риски пожаро- и взрывобезопасности ПТБ и заправочной инфраструктуры, т.к. отсутствуют сосуды под высоким давлением.

При годовом пробеге автопоезда (4х2) 150000 км за счет сокращения затрат на топливо (СПГ вместо дизельного топлива) при стоимости СПГ на заправке 28,7 руб./кг может быть достигнут экономический эффект 1,15 млн руб. на 1 АТС.

Примерная стоимость СПГ на криоАЗС (данные ПАО «НОВАТЭК»)



Пробег грузового АТС на СПГ и ДТ при заправке на 1000 руб. (данные ПАО «НОВАТЭК»)



Ключевые организационно-технологические проблемы АТС с тяговым электроприводом и заправочной инфраструктуры

- Отсутствие долгосрочной стратегии развития электромобилестроения и парка ЭТС.
- Отсутствие политики по популяризации ЭМ и гибридов среди потребителей.
- Ограниченный ассортимент предлагаемых на рынке моделей ЭМ и гибридов. Недостаточное развитие зарядной инфраструктуры. Отсутствие сервисной инфраструктуры ЭТС
- Совершенствование механизма стимулирования спроса на ЭТС и заправки.
- Отсутствие **массового** производства литий-ионных аккумуляторов
- Отсутствие инфраструктуры вторичного использования аккумуляторных батарей для накопления электроэнергии от ВИЭ. Отсутствие эффективной инфраструктуры утилизации ЭМ и их составных частей (батарей).
- Отсутствие стимулирования производства отечественных ЭТС и зарядных станций.
- Совершенствование нормативно-правовой базы в части присоединения к электросетям объектов зарядной инфраструктуры.
- Отсутствие системы учета вредных выбросов и механизма платежей за негативное воздействие на окружающую среду при эксплуатации и утилизации ЭМ.

Стоимость владения легковым ЭМ уже к 2024 г может сравниться с АТС на бензине, ДТ или сжиженным углеводородным газом

Ключевые экономические проблемы АТС с тяговым электроприводом и заправочной инфраструктуры:

- Отсутствие комплексной государственной системы поддержки рынка ЭМ и гибридов.
- Отсутствие законодательства в сфере использования/продажи накопленной электроэнергии аккумуляторными батареями.
- Высокая цена и возможный дефицит электроэнергии в ряде регионов.

Стоимость владения легковым ЭМ примерно на 30% выше АТС на бензине или на СУГ, но уже к 2024 г она станет такой же.

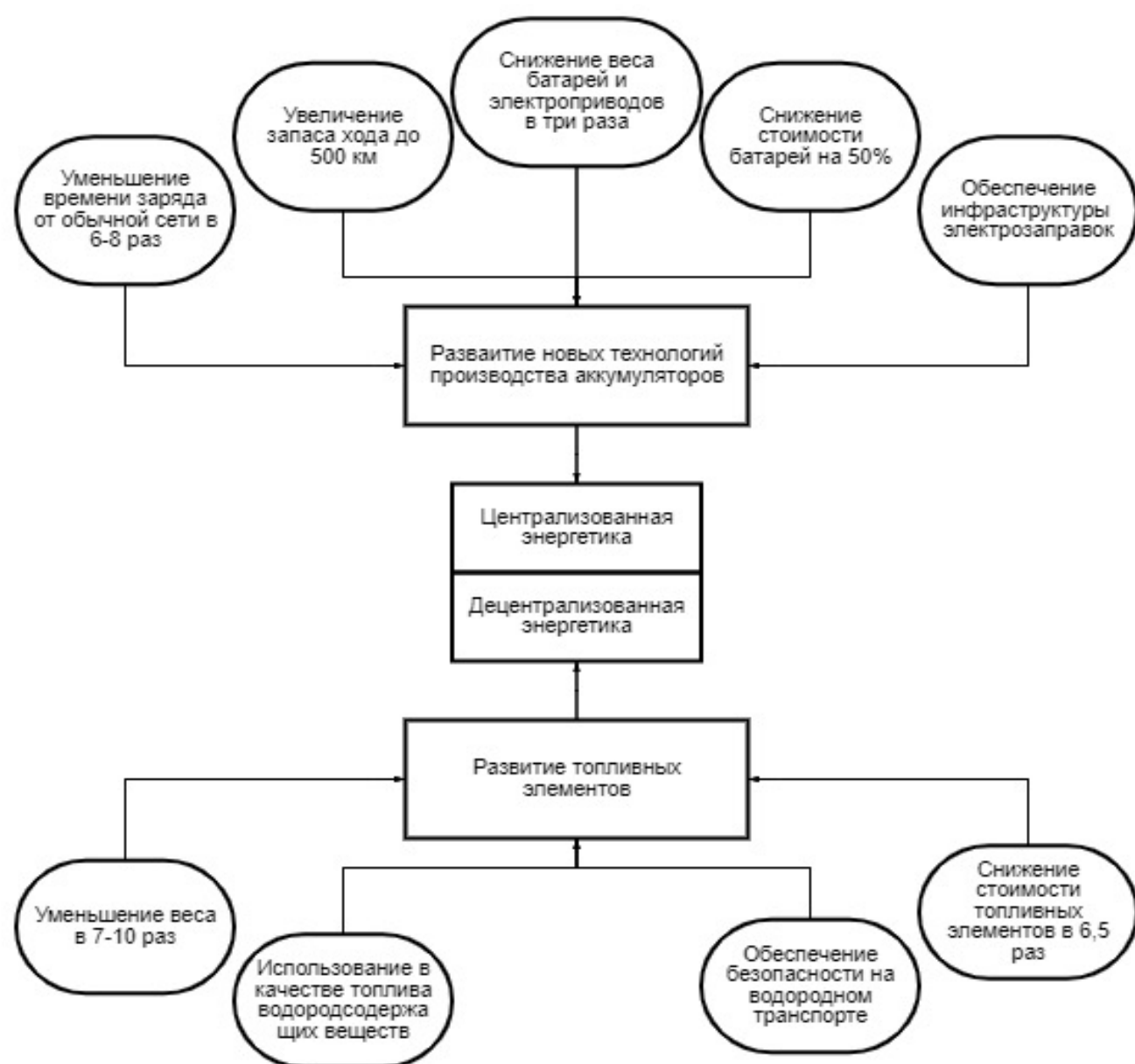
При этом цена ЭМ снизится с 2,9 до 1,8 млн руб.



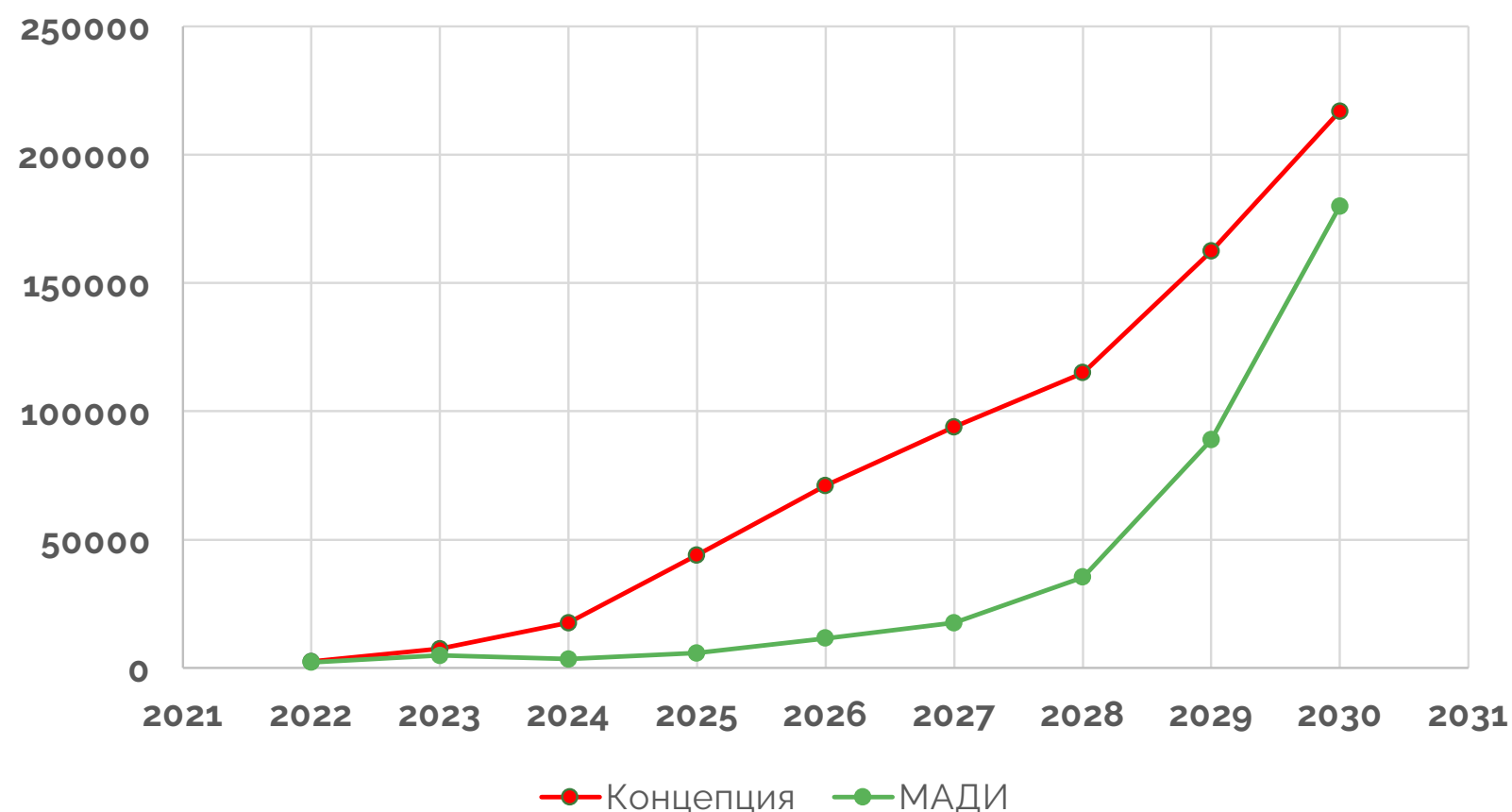
Стоимость новых АТС и стоимость владения легковым автомобилем Гольф-класса на разных видах топлива (энергии) в России на 2021 г., руб./км (а) и прогноз стоимости владения электромобиля, а также его цена (в) (Данные Казанского государственного энергетического университета)

Прогноз объемов продаж новых ЭТС в России

Технологические изменения, необходимые для достижения конкурентоспособности электромобилей (ИНХП РАН, МАДИ, 2021)



Прогноз объема поставок электромобилей в парк РФ по методике МАДИ и по данным Концепции по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в России до 2030 года*), ед.



*) РП от 23.08.2021 № 2290-р «Об утверждении **Концепции** по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в РФ на период до 2030 г, целевых показателей по производству электрического автомобильного транспорта и развитию зарядной инфраструктуры на период до 2030 г; плана мероприятий по развитию производства и использованию электрического автомобильного транспорта в РФ на период до 2024 г» **19**

Влияние технологий на выбросы парниковых газов транспортом

При массовой электрификации автомобильного транспорта, увеличении использования электрической и тепловой энергии из внешних источников на стационарных объектах транспорта эффект по снижению выбросов ПГ в транспортном секторе будет зависеть от интенсивности ввода новых генерируемых мощностей и объемов использования в ТЭК атомной энергии и ВИЭ, **электроэнергия от** которых будет потребляться транспортными средствами.

Прогноз значимости мероприятий по снижению выбросов ПГ транспортным сектором, % (экспертные оценки)

Наименование групп мероприятий	2020	2030	2040	2050
I группа – повышение энергоэффективности ТС и транспортных технологий, использующих традиционные виды моторного топлива	97	80	40	3
II группа – диверсификация использования различных источников энергии с меньшим выбросом ПГ для ТС всех видов транспорта	1	15	50	77
III группа – управление мобильностью	2	5	10	20
ВСЕГО	100	100	100	100

Концепция выхода на траекторию декарбонизации транспортного сектора в России

- ❖ Разработка эффективных, безопасных конструкций газомоторных АТС, технологий и инфраструктуры на КПГ и СПГ, а также синтез-газе (метан или синтез-газ с добавкой водорода до 15-20%).
- ❖ Разработка эффективных и безопасных конструкций пассажирских и грузовых электромобилей, технологий утилизации батарей, заправочной инфраструктуры, рост парка электромобилей всех типов, численности заливок.
- ❖ Разработка экономически и экологически эффективных (с минимальным углеродным следом) технологий получения водорода с уровнем чистоты 99,99%, в том числе из возобновляемых источников для использования в электрохимических генераторах энергоустановок АТС.
- ❖ Разработка эффективных и безопасных конструкций электромобилей на **топливных элементах** с хранением водорода на борту в сжатом, сжиженном виде, в виде гидридов, развитие водородных заливок.

Проблема, связанная с выходом транспорта России на декарбонизацию транспортной деятельности, исключительно сложна как сама по себе, так и из-за высокой степени неопределённости, т.к. зависит в определяющей степени от низкоуглеродного развития энергетики, других смежных энергоёмких отраслей экономики, а также **необходимости перехода от существующей конкуренции отдельных видов транспорта** при перевозке грузов и пассажиров по ряду направлений **к их взаимодополнению** и гармоничному устойчивому развитию.

Источники информации

- ❖ Отчет НИР по теме: «Научно обоснованный прогноз адаптации сектора автомобильного транспорта к вероятным последствиям изменения климата и возможные сценарии его декарбонизации в Российской Федерации». Сколково-МАДИ. 2022. – 134 с. https://sk.skolkovo.ru/storage/file_storage/b013d3a4-d719-43e1-a27b-1732879abe9a/SKOLKOVO_EneC_RU_Transport.pdf
- ❖ Отчет НИР по теме: «Разработка сценариев низкоуглеродного развития автомобильного транспорта в Российской Федерации, включая города Российской Федерации с населением более 1 миллиона человек. Москва, 2020. - 120 с. https://greenpeace.ru/wp-content/uploads/2020/06/greenpeace_отчет1-1.pdf
- ❖ Отчет НИР по теме: «Комплексная оценка последствий ратификации Парижского соглашения по климату для транспортной отрасли Российской Федерации и разработка научно обоснованных предложений по формированию отраслевых национальных методик определения объемов выбросов парниковых газов по всем видам транспорта в Российской Федерации». Госконтракт ФКУ «Ространсмодернизация» № РТМ-133/17 от 05 сентября 2017 г.
- ❖ Отчет НИР по теме: «Разработка научно-обоснованных предложений по определению объектов транспортной инфраструктуры Российской Федерации, подверженных риску полной или частичной утраты функциональности в связи с прогнозируемыми климатическими изменениями, в том числе с оттаиванием многолетней (вечной) мерзлоты, а также разработка научно обоснованных сценариев адаптации данных объектов транспортной инфраструктуры к прогнозируемым климатическим изменениям в части автомобильных дорог федерального значения». Госконтракт ФКУ «Ространсмодернизация» № РТМ-139/16 от 12 сентября 2016 г.

Спасибо за внимание!



www.eco-madi.ru

