



# Дальше, выше, ЗЕЛЕНЕЕ

Валерий Вайсберг

*Новые требования к уровню выбросов вредных веществ и парниковых газов в сочетании с технологическим прогрессом и активной государственной поддержкой стремительно приближают нас к эре зеленого транспорта. Двигатели внутреннего сгорания, вытеснившие в течение XX века более экологичные силовые установки, сегодня сами уходят в прошлое не только на земле, но и в воздухе.*



Э

кспериментальные транспортные средства на электрической тяге появились в конце 1820-х годов и всего через несколько десятилетий стали реальной альтернативой паровым машинам. Помимо шума и дыма, существенным недостатком паровых автомобилей был длительный запуск: в холодные зимние месяцы на это уходило до 45 минут. Кроме того, требовалось часто пополнять запас воды, что сильно ограничивало запас хода. Вибрация, характерная для паровых машин, делала поездку не слишком комфортной. Появившиеся во второй половине XIX века двигатели внутреннего сгорания были проще в обслуживании, но при торможении и ускорении водителю приходилось переключать передачи, что затрудняло управление.

К началу XX века рекорд по запасу хода для электромобиля составлял 290 км, по скорости – 110 км/ч. Серийные модели, конеч-

но, имели гораздо более скромные параметры: пробег несколько десятков километров, скорость порядка 20 км/ч. Самый популярный электромобиль того времени, производившийся компанией Columbia Electric, стоил 850 долл. Именно такую стартовую цену на свою Модель Т с двигателем внутреннего сгорания в 1908 году установил Генри Форд.

В 1912 году бензиновые машины в США все еще оставались на третьем месте по популярности с долей рынка около 22%, но из-за эксплуатационных характеристик и стоимости владения электромобили уже существенно проигрывали конкуренту. Цена на них практически не менялась, в то время как Форд регулярно снижал цены: в 1923 году Модель Т стоила всего 265 долл. В итоге к 1935 году электромобили оказались полностью вытеснены с рынка.

В то время как на Западе интерес к электромобилям стремительно



*За последние 50 лет  
мощность  
электроустановок  
пассажирских  
самолетов выросла  
на порядок*



## Сегодня в мире

угасал, в СССР подобные разработки, напротив, только набирали ход. Первый советский электрокар на базе грузовика ЗИС-5 был представлен как раз в 1935 году. В кузове автомобиля располагались батареи общим весом более 1 т. Из-за большой массы скорость движения не превышала 25 км/ч, а запас хода – 40 км. Позднее, воспользовавшись американскими чертежами, советские изобретатели собрали первый электробус с существенно улучшенными скоростными характеристиками, который получал питание как от контактной сети, так и от батарей. Однако из-за высокой себестоимости и сложности в обслуживании практическая ценность этого изобретения оставляла желать лучшего.

В послевоенный период инженеры НАМИ представили новую линейку электрогрузовиков. Десять из них несколько лет использовались в Москве и Ленинграде для доставки корреспонденции, но так и не смогли отвоевать место под солнцем.

В 1968 году эпоха дешевого бензина и прожорливых двигателей внутреннего сгорания подошла к концу. Рост цен на нефть, кульминацией которого стало эмбарго арабских стран, заставил автопроизводителей вновь обратиться к электричеству. Уже в 1973 году компания Sebring-Vanguard представила модель CitiCar, самый массовый электромобиль в США вплоть до появления Tesla.

*Катализатором быстрого роста продаж электромобилей стали масштабные государственные субсидии*

В 1976 году в целях стимулирования производства электромобилей в США и Франции были приняты первые специальные государственные программы, однако низкая скорость, ограниченный запас хода и сомнительная эргономика продолжали ограничивать объемы продаж.

Несмотря на заметное улучшение технических характеристик, электромобили сегодня пригодны преимущественно для использования в городской среде, а их цена по-прежнему превышает стоимость бензиновых и дизельных машин. Тем не менее по итогам 2017 года глобальные продажи электромобилей превысили 1 млн штук, подскочив на 54%. По сравнению с общим объемом рынка, который достиг 71 млн машин, это пока лишь капля в море, однако в отдельных странах ситуация кардинально отличается от средних показателей. В Норвегии электромобили занимают 39% рынка, в Исландии и Швеции – 12 и 6%. В Китае, который является самым крупным в мире покупателем электромобилей, этот показатель уже превышает 2%.

Катализатором быстрого роста продаж электромобилей стали масштабные государственные субсидии. Налоговые вычеты для покупателей экологичного транспорта сегодня достигают в Европе 10 тыс. долл. Кроме того, ряд стран предоставляют длительные каникулы по налогу на имущество. Власти мегаполисов дают скидки на парковку, активно развивают зарядную инфраструктуру и электрифицируют городской транспорт. Еще одним драйвером электрификации стал каршеринг: провайдеры таких услуг в среднем покупают более экологичный транспорт, чем частные лица.

В последние годы ряд стран установил минимальные гарантированные объемы государственных и муниципальных закупок электромобилей. С 2015 года во



*штук – продажи электромобилей в мире по итогам 2017 года*

Франции не менее 50% новых правительственных машин должны иметь низкий уровень выбросов. В Канаде аналогичный показатель с 2019 года составит 75%, в США с 2020 года – 20%. Кроме того, отдельные государства утвердили запреты на продажу автомобилей с двигателями внутреннего сгорания. Например, в Норвегии ограничения вступят в силу в 2025 году.

Основываясь на анализе технологических тенденций и государственной политики, эксперты Международного энергетического агентства в базовом сценарии развития рынка прогнозируют рост годовых продаж электромобилей до 4 млн штук к 2020 году и до 21,5 млн штук к 2030 году.

Ключевым фактором для развития отрасли остается разработка новых типов батарей. Но если раньше инженеры стремились просто увеличить их емкость и снизить вес, то сейчас на первый план вы-



## Вполне вероятно, что принципиально новые батареи появятся на рынке к 2025 году

ходит скорость перезарядки. Этот показатель напрямую коррелирует с толщиной электродов, сделать которые и тонкими, и прочными одновременно удастся лишь ценой существенного увеличения себестоимости производства. Кроме того, при этом снижается плотность энергии аккумулятора.

Исследователи пытаются решить перечисленные проблемы несколькими способами. Во-первых, ищут способы сократить количество дорогостоящего кобальта, используемого для изготовления катодов. Во-вторых, совершенствуют графитовую структуру анода для ускорения процесса зарядки. В-третьих, разрабатывают различные варианты гелевого электролита. Вполне вероятно, что принципиально новые батареи появятся на рынке к 2025 году. Еще через несколько лет инженеры сумеют увеличить плотность энергии аккумуляторов, достигнув предела производительности литийионной технологии.

В последующие годы им на смену могут прийти литий-воздушные и литий-серные батареи.

Революционные изменения происходят сегодня и на железнодорожном транспорте. Роберт Дэвидсон изготовил первый электрический локомотив, двигавшийся со скоростью пешехода, еще в 1838 году, а некоторое время спустя в Англии и США были запатентованы контактные рельсы. Однако паровые двигатели в то время обладали значительно лучшими скоростными и тяговыми характеристиками, поэтому в течение следующих 100 лет паровозы были основными рабочими лошадками железных дорог.

Своих пределов эффективности технология достигла лишь к началу 1930-х годов. К этому моменту даже лучшие образцы паровозов развивали скорость (без состава) не более 230 км/ч. Кроме того, никак не удавалось решить проблему падения тяги на крутых склонах. До половины своего жизненного

цикла паровозы проводили на обслуживании в депо, а необходимость везти с собой запас угля и воды заметно сокращал полезную нагрузку. И наконец, ахиллесовой пятой паровой машины был коэффициент полезного действия: на 1 тонно-километр паровоз тратил вдвое больше энергии, чем электровоз.

К настоящему моменту уровень электрификации железных дорог в ведущих странах мира достиг экономически обоснованного предела, однако в общем объеме перевозок продолжают доминировать дизель-электрические локомотивы, в которых тягу обеспечивает двигатель внутреннего сгорания. Такой поезд потребляет в среднем 50 мегаджоулей на километр, тогда как локомотив на электрической тяге дает экономию энергии до 30%.

В настоящее время наиболее перспективным направлением модернизации тягового подвижного состава считается внедрение гибридных локомотивов. В них дизель-генераторы сопрягаются с аккумулятором и электродвигателем, которые обеспечивают рекуперацию энергии торможения. Запасенная энергия используется на борту, а также расходуется при ускорении поезда. Это позволяет экономить до 25% топлива, а также продлевать межремонтные сроки двигателей внутреннего сгорания. Подобные разработки активно тестируются как в Европе, так и в России.

Но настоящим вызовом для инженеров всего мира сегодня является создание так называемого «более электрического самолета».





Подобно автомобилю и локомотиву, идея создания электрического авиационного двигателя не является новой, однако первый настоящий самолет на электродвигателе поднялся в воздух лишь в октябре 1973 года.

Уровень электрификации традиционных самолетов большую часть XX века оставался крайне низким. Бомбардировщик Boeing B-29, принятый на вооружение ВВС США в 1940-х годах, был оснащен примерно сотней электродвигателей, помимо прочего приводивших в движение пулеметы, шасси. Сопоставимый по объему электрификации коммерческий лайнер (Boeing 737) появился только в 1967 году, а полная ликвидация механических сопряжений произошла только в Airbus A320 (1987 год) и Boeing 777 (1994 год). Но в последние 50 лет мощность электроустановок пассажирских самолетов выросла на порядок. В частности, Boeing 787 Dreamliner имеет бортовой генератор мощностью около 1 МВА, обслуживающий системы кондиционирования, торможения и антиобледенения.

Практически одновременно с первым полетом Dreamliner в 2009 году Международная ассоциация воздушного транспорта (IATA) приняла резолюцию о двукратном сокращении выбросов парниковых

газов к 2050 году. Уже в 2021 году начнется добровольная фаза внедрения системы компенсации и сокращения выбросов углерода для международной авиации (CORSIA), разработанная Международной организацией гражданской авиации. Эти регуляторные изменения будут подталкивать авиаперевозчиков к последовательному увеличению закупок более экологических лайнеров.

Сегодня приоритетными считаются три направления развития авиационных двигателей. Гибридно-электрическая схема предполагает либо параллельное подключение электроустановки к обычному газотурбинному двигателю, либо сочетание с ним электроустановки и аккумулятора. Электроустановка в этом случае может создавать дополнительную тягу при взлете и посадке или полностью самостоятельно обеспечивать крейсерский режим полета. Турбо-электрическая схема состоит из газотурбинного и электрического двигателей: первый генерирует электричество, а второй вращает турбины. Наконец, не исключен и вариант полностью электрической силовой установки, питаемой от аккумулятора.

Все три указанных конфигурации силовых установок сегодня





**200**  
компаний мира  
работают  
над электрификацией  
самолетов

*Динамика происходящих изменений позволяет предположить, что электрический транспорт перестанет быть экзотикой уже в ближайшее десятилетие. Этот технологический сдвиг позволит высвободить десятки триллионов долларов, которые сегодня тратятся на ископаемое топливо, избыточные провозные емкости и инфраструктуру. Позитивный экономический эффект ощутят все: и предприниматели, для которых уменьшатся себестоимость и логистические расходы, и государственные органы, отвечающие за работу общественного транспорта, и потребители, для которых многие товары и услуги станут доступнее и дешевле. И, наконец, главное: городская среда будет радовать нас чистым воздухом и зеленью, а риски серьезных природных катаклизмов существенно снизятся.*

успешно используются в автомобилестроении. Однако технические барьеры на пути создания более электрического самолета значительно сложнее. Первые годы эксплуатации Boeing 787 были омрачены частыми возгораниями и отказами литийионных батарей, поэтому сегодня продолжаются поиски надежной защиты от агрессивного содержимого аккумуляторов. Учитывая, что современные реактивные двигатели выдают мощность порядка 40 МВт, силу тяги электроустановок необходимо многократно увеличить, избежав при этом существенного утяжеления.

Новые требования предъявляются и к силовой электронике, которая должна не только работать с минимальными потерями энергии, но и обладать эффективной системой охлаждения. Сократить потери электричества, составляющие сегодня до 10%, можно за счет развертывания сети высокого напряжения. Однако это повышает риск пробоя изоляции и зажигания дуги. Если же кабели будут слишком толстыми, их вес уменьшит предельную полезную нагрузку.

На сегодняшний день существует несколько моделей самолетов,

способных перевозить двух-трех пассажиров на расстояние более 300 км. В Siemens, которая развивает вместе с Rolls-Royce и Airbus проект E-Fan Hybrid, полагают, что сверхлегкие электрические самолеты будут сертифицированы уже к 2022 году, а в 2025-м появятся их более продвинутые среднемагистральные версии. Первые регулярные коммерческие полеты гибридных лайнеров могут начаться уже в 2030 году.

Сегодня над электрификацией самолетов работают ученые и инженеры более чем из 200 компаний и институтов по всему миру. Например, ОАК, ЦАГИ и МАИ участвуют в совместном с Испанией, Италией и Францией проекте RESEARCH (REliability & Safety Enhanced Electrical Actuation System ARCHitectures). Ведутся и самостоятельные отечественные разработки. В частности, на МАКС-2017 был представлен макет российского электрического самолета, в котором используется эффект высокотемпературной сверхпроводимости. На базе этой технологии к 2020 году может появиться серийный электрический двигатель для самолета, рассчитанного на 9–19 пассажиров.

**Создание «более электрического самолета» – настоящий вызов для инженеров**