



**Валерий Гончаров,**  
директор Центра системного  
анализа и стратегических  
исследований НАН Беларусь,  
кандидат экономических наук

## Экономика электромобильности: исследование будущего



**Наталья Янкевич,**  
заведующая отделом  
Центра системного  
анализа и стратегических  
исследований НАН Беларусь,  
кандидат технических наук

Электромобильность сегодня – устойчивый тренд в развитии мирового автомобилестроения. Наиболее подготовленным к нему оказался Китай: в 2024 г. продажи электромобилей и гибридов в стране впервые превысили реализацию машин с двигателями внутреннего сгорания [1]. Однако КНР не спешит декларировать отказ от сборки традиционных автомобилей, планируя сделать это лишь к 2060 г. [2]. Такая умеренность в стратегическом видении весьма показательна и объясняется довольно просто. Пока весь мир с той или иной степенью энтузиазма готовится расширять парк электрических транспортных средств, следя за экологическим императивом, на повестке до сих пор остаются важнейшие вопросы, требующие ответов. Один из первейших – формирование бизнес-модели, предусматривающей получение прибыли при производстве электромобилей.

## Обновиться и не разориться

Производитель пылесосов Dyson, декларировавший стремление разработать собственный электромобиль, одним из первых признал, что производство таких машин не окупается. Компания рассчитывала вложить в новое направление 2,7 млрд долл., ради чего приобрела несколько стартапов и переключила на разработку новшества 523 сотрудника. Ими даже был создан его прототип, но в итоге проект закрыли – по причине того, что не нашлось варианта, как сделать производство коммерчески обоснованным.

Та же участь постигла Ford Motors, который отменил запуск электропикапа под брендом Lincoln. Компания работала над ним совместно со стартапом Rivian, но предпочла «списать» 500 млн долл. инвестиций и отказаться от первоначальной идеи – выпуска электрического внедорожника, который должен был поступить в производство уже в 2025 г. На смену ему придет семейство таких же машин с гибридными двигателями. За счет этих изменений расходы Ford на «чистые» электромобили сократятся с 40 до 30%, но при этом издержки уже составили 400 млн долл., а полностью в реорганизацию требуется вложить 1,5 млрд долл. [3].

Финансовые отчеты стартапов по созданию электромобилей имеют одну общую черту: значительные убытки (Nikola, Rivian и т.д.). Согласно исследованию международной компании Deloitte, которая занимается консультированием крупного бизнеса, многие изготовители электрокаров и комплектующих к ним не выживут из-за крайне высокой стоимости оборудования и производства.

GM, Mercedes-Benz или Fiat Chrysler покрывают убыточность своих электромобилей доходами от продаж обычных машин с ДВС. Но если мир действительно целиком перейдет на электротягу, отказавшись от бензина и дизеля, прибыль от «традиционных» автомобилей тоже исчезнет. Автоконцернам, таким образом, надо будет трансформировать ценовую политику, которая, в конечном счете, будет реализована «за счет» потребителей.

## Жертвы электрификации

Существуют целые государства, для которых переход на электромобильность может быть невыгоден экономически как экспортерам углеводородов. Например, в России в качестве экологичной альтер-

нативы дизелям и бензину государственная корпорация «Газпром» начала продвигать природный газ – метан (EcoGas). Преимущества у него действительно есть: автомобили на природном газе дешевле содержать за счет низкой стоимости топлива, да и его экологические характеристики лучше. Тем временем в Евросоюзе пошли другим путем: с 2023 г. на его территории вступил в действие «углеродный налог». Больше всего от него пострадали производители железа, стали и азотных удобрений. При этом в полную силу трансграничное углеродное регулирование начнет действовать только с будущего, 2026 г.

Согласно оценкам, из-за отказа мировой экономики от углеводородов Россия может потерять до 10% валового внутреннего продукта. Однако, по мнению экспертов, она сможет сохранить статус энергетической державы, если заместит их экспортом водорода.

Под вопросом выгода и для другого крупного нефтедобывающего – Саудовской Аравии. В то время как власти государства анонсировали переход на электромобили, в Международном энергетическом агентстве МЭА заявили, что масштабная электрификация легкового транспорта спровоцирует снижение спроса на нефть.

Стоит отметить, что рост потребления нефти в мире в последние годы во многом обеспечивался за счет его увеличения в Китае (с 2012 по 2024 г. оно выросло более чем на 60% – с 10 млн до 16,6 млн баррелей в сутки). Именно потребности Поднебесной позволили удержать цены на данный вид сырья (за счет использования американской сланцевой нефти, а также России, нараставшей добычу почти в 1,5 раза). Сегодня около 40% всех проданных в Китае электромобилей – это гибриды, требующие при их эксплуатации углеродного топлива [4].

Но следует учесть и то, что количество личных автомобилей в КНР не очень высоко: на 1 тыс. жителей приходится 232 собственные машины всех видов (для сравнения: в Республике Беларусь – 517) [5]. Кроме того, согласно прогнозам, к 2030 г. доля электромобилей в структуре всего легкового парка Китая составит 30%, что может снизить рост спроса на нефть в стране до 0,3 млн баррелей в сутки.

В отличие от КНР, стабильный прирост спроса (на 0,2–0,3 млн баррелей в сутки) по крайней мере в 2025 г. может сохранить Индия. Хотя в этом государстве также расширяется рынок электротранспорта (продажи достигли 100 тыс. ед./год),

в ближайшие годы здесь ожидаются стабильные темпы роста потребления бензина и дизельного топлива. Немалую роль в этом сыграет низкий уровень автомобилизации (в 2024 г. на 1 тыс. чел. в Индии приходился всего 31 автомобиль, без учета популярного в стране двух- и трехколесного транспорта): высок нереализованный спрос на личные средства передвижения [4].

Случаи ограничения распространения электротранспорта отмечаются в США. К примеру, штат Индиана ввел дополнительный сбор в 150 долл. в год с владельцев электрических машин (причина – такие водители не тратят деньги на заправках и тем самым уменьшают налогоблагаемую базу штата). По расчетам местных властей, эта мера способна принести в бюджет до 2 млн долл. ежегодно.

Дополнительные сборы с владельцев электромобилей действуют и в других штатах: например, в Мичигане, Миннесоте и Арканзасе. Вопрос постепенно приобретает значимость на уровне целой страны. Еще 5 лет назад дискуссию о том, стоит ли финансировать распространение электромобилей из бюджета, невозможно было представить: ответ априори был положительным. Но сейчас обсуждение началось. Американских водителей машин с ДВС возмущает, что за ремонт дорог платят только они; сформировавшийся политический запрос стимулирует власти не просто урезать субсидии электромобилям, но и повышать стоимость содержания электрического автомобиля в целом.

## Экономика на весах экологии

Все чаще звучат заявления о том, что углеродный след от электромобиля с учетом его производства выше, чем у машины с ДВС (даже не принимая во внимание процесс утилизации батарей, представляющий собой отдельную проблему).

Многочисленные исследования показали, что электромобили не являются более экологичными, чем машины с ДВС. К такому выводу пришли, в частности, авторы изыскания, опубликованного немецким научным журналом Ifo Schnelldienst при Мюнхенском университете. В своей работе ученые сравнили углеродный след от бензинового Mercedes-Benz и электрической Tesla [6, 7]. По причине больших выбросов CO<sub>2</sub> при производстве аккумуляторов и добыче лития, марганца и кобальта углеродный след Tesla составил 156–181 г на 1 км пути, в то время как у бензинового Mercedes-Benz – 112 г на 1 км.

Выводы исследователей поддержали практики из Polestar – суббренда компании Volvo. При сравнении электрического Polestar 2 и бензинового Volvo XC40 оказалось, что производство кроссовера с ДВС провоцирует выброс 14 т CO<sub>2</sub>, а выпуск электрокара с учетом аккумулятора эквивалентен 24 т углерода. Уравнять показатели этих машин можно только после 50 тыс. км пробега, но даже тогда модели сравняются по выбросам только CO<sub>2</sub> – есть еще соединения ванадия, ангидриды, мышьяк и остальные вещества, выбрасываемые электростанциями, необходимыми для регулярной зарядки электромобиля, и эти выбросы здесь не учтены [7, 8].

При наличии спорных вопросов в отношении реальной степени экологичности таких машин их владельцы зачастую не удовлетворены их невыгодной остаточной стоимостью, обусловленной тем, что аккумуляторы стремительно деградируют. Из-за этого, например, в Европе только в первый год эксплуатации электромобиль может потерять в цене до 20%, а за 3 года при пробеге 60 тыс. км он утрачивает от первоначальной стоимости порядка 60%.

Много вопросов возникло и к надежности авто на электротяге. Ождалось, что в силу более простой конструкции поломки в них будут происходить реже, чем в машинах с двигателями внутреннего сгорания. Однако немецкий автомобильный союз ADAC приводит следующие данные: в 2023 г. в Германии число аварий и отказов двигателей у электрокаров выросло на 50%. При этом главный зафиксированный дефект – отказ аккумуляторов (44%), 23% приходится на проблемы с электродвигателем, есть нарекания и на бортовую электронику [9].

Так или иначе, согласно последним данным Automotive News, более половины (55%) опрошенных представителей автобизнеса ответили, что электромобили не вызывают большого интереса клиентов. Бизнесмены отмечают, что потребительский спрос на электрокары невелик, хотя и считают, что все дело лишь в неразвитой зарядной инфраструктуре [10].

## Во что обойдется «очистка следа»

Следует отметить, что сократить объем выбросов парниковых газов при производстве электромобиля сейчас крайне трудно, впрочем, как и в ближайшей перспективе, поскольку большую роль в этих машинах играет аккумулятор, а следовательно, и используемые для его производства природные ресурсы.

К примеру, процесс переработки кобальтовой руды сделать более экологичным в ближайшие годы

не представляется возможным. Главный добывчик ископаемого кобальта – Республика Конго – отправляет руду для обработки либо в столицу государства, либо в другие страны, преимущественно в Китай (где перерабатывается около 40% всего добытого в мире кобальта). Но ни в Конго, ни в КНР предприятия не получают экологически чистую энергию. В Китае более 56% выработки электричества – это угольная генерация, причем пока неизвестно, когда страна сможет серьезно снизить использование угля, заменив его на ВИЭ. КНР наращивает число ветряных электростанций и солнечных панелей, но в процентном соотношении уголь все равно занимает преимущественную позицию, причем инвестиции в его использование не уменьшаются. Китайские банки и компании по состоянию на ноябрь – декабрь 2021 г. принимали участие в строительстве около 80 угольных электростанций с общей генерирующей мощностью свыше 52 ГВт (для сравнения: общий объем солнечной генерации в КНР за 2020 г. – 253,4 ГВт; общая выработка в стране – 7624 ТВт·ч).

Из-за такой особенности энергетики КНР существенная доля мировой переработки кобальта в ближайшие 5–10 лет не будет снижать свой углеродный след, тем более – если объем добычи ископаемого станет расти. В исследовании, подготовленном аналитическим агентством Roskill (принадлежит международной консалтинговой компании Wood Mackenzie) говорится, что объем выбросов CO<sub>2</sub> при производстве кобальта по итогам 2021 г. составил около 1,6 млн т, а в соответствии с представленным прогнозом в 2030 г. этот показатель почти удвоится.

Примерно те же проблемы можно отнести и к литию, большая часть которого добывается в Чили, Австралии, Аргентине, Китае, Бразилии, Боливии и Зимбабве (*таблица*). Электромобильность стимулировала рост мировой добычи лития: за 10 лет, с 2008 по 2018 г., она увеличилась в 8 раз [11].

Тем не менее падение цен на этот металл в 2024 г. вынудило предприятия в Китае и Западной Австралии сократить производство в целях ограничения убытков и уменьшения избыточного предложения лития. Однако принадлежащие китайским производителям аккумуляторов африканские рудники работают на полную мощь. Поэтому ожидается, что рынок останется перенасыщенным вплоть до 2027 г. [12].

В ближайшие годы, пока Австралия, Китай и Чили остаются лидерами по переработке этого металла, снизить углеродный след от производства лития не получится. Во всех трех странах для

Страна	Доказанные запасы лития (металл) по состоянию на конец 2024 г., млн т	Объем добычи (металл) в 2024 г., тыс. т
Чили	9,3	44,0
Австралия	6,2	86,0
Аргентина	3,6	9,6
Китай	3,0	33,0

Таблица. Добыча лития

большей части энергогенерации используются углеводороды. Как уже говорилось ранее, в КНР уголь занимает до 56% в энергобалансе. В Австралии, в последние годы активно наращивающей ВИЭ-мощности, доля ископаемого топлива в общей генерации все равно велика: так, за 2020 г. она составляла 76%, причем более половины (54%) от этого объема – уголь, а 20% – газ (по данным Министерства инноваций, промышленности, науки и исследований Австралии). В Чили углеводороды также играют ключевую роль для выработки электричества.

Даже если через 5–10 лет ситуация на рынке лития изменится, углеродный след от добычи такого ископаемого не снизится. Латиноамериканские страны не могут себе позволить интенсивный переход на ВИЭ, как, скажем, государства Евросоюза, а значит, для извлечения и транспортировки редкоземельных металлов будут использоваться углеводороды, производящие выбросы CO<sub>2</sub>.

Похожая ситуация сложилась и с никелем. По этой причине еще летом 2020 г. глава компании Tesla Илон Маск, рассчитывая сократить углеродный след от производства электромобилей, пообещал заключение гигантского долгосрочного контракта любой компании, если она сможет экологически безопасно добывать указанный металл.

По данным Геологической службы США (USGS), мировые запасы никеля по состоянию на январь 2023 г. составляли 102,1 млн т. и приходились на несколько основных стран и регионов: по 20,6% – на Индонезию и Австралию, 15,7% – Бразилию; Россия и Новая Кaledония располагали 7,3% и 7% соответственно.

Добыча кадмия и лития не только загрязняет подземные воды, но также приводит к опустыниванию. Яркий пример – Атакама в Чили. Площадь этой пустыни растет, а оазисы исчезают из-за добычи лития. При извлечении этого металла компании выкачивают гигантские колодцы воды, что иссушает почву и лишает местных животных пищи. По аналогичному сценарию развивается ситуация в Боливии,

Тибете, Австралии и других регионах. Люди, непосредственно занятые этим промыслом, подвержены развитию отека легких и плеврита из-за вдыхания литиевой пыли и щелочных соединений.

Учитывая растущий спрос в мире на литий, кобальт и никель, есть вероятность, что компании, которые занимаются их добычей и переработкой, в ближайшие годы будут озабочены наращиванием объемов производства, а не сокращением выбросов парниковых газов. Поэтому экологический аспект в добыче ключевого сырья для создания электромобилей в ближайшей перспективе не утратит актуальности.

## Ресайкинг ценой в...

Однако кроме этого существует еще и нерешенная проблема утилизации аккумуляторов, которые не могут быть просто выброшены – хотя бы по той простой причине, что это приведет к накоплению в почве вредных токсинов, включая тяжелые металлы.

В США, Евросоюзе и некоторых других странах уже вводится практика возложения ответственности за утилизацию батарей на их производителей или на производителей электромобилей. Такая мера в перспективе может значительно увеличить расходы компаний, а следовательно, повлиять на стоимость их новой продукции. Работа с литий-ионными батареями настолько сложна, что дилерские автоцентры, особенно в США, все чаще отправляют в место утилизации не батарею, а сразу весь электромобиль: дело в том, что для извлечения аккумулятора требуется оборудование и соответствующие специалисты, которых у дилеров нет.

Разговоры о повторном использовании отработанных аккумуляторов – пока что больше популизм, чем отражение реальности. Даже в Королевском институте Фарадея (Великобритания) специалисты, исследующие проблемы батарей, признали, что почти все ныне применяемые их варианты не предназначены для вторичной переработки, так как:

- *они сильно отличаются по химическому составу и конструкции, что затрудняет создание универсальных систем утилизации;*
- *компоненты аккумуляторов скрепляются жесткими kleями, которые затрудняют их разборку;*
- *сложность и дороговизна утилизации настолько высоки, что компаниям дешевле купить свежедобытые редкоземельные металлы, чем пустить в оборот уже существующие в старом устройстве.*

Для переработки батарей используются два метода – пирометаллургия и гидрометаллургия. Оба процесса характеризуются тем, что выделяют большие объемы парниковых газов. Это крайне энергоемкие отрасли, а значит, работа таких предприятий в условиях высоких цен на газ, нефть и уголь заметно ударит по бюджету компаний, ответственных за процесс утилизации.

По оценкам исследователей Университета Аалто (Финляндия), к 2030 г. мировой рынок переработки литиевых батарей составит 19 млрд долл. При этом ведущие автопроизводители избегают публикаций в открытых источниках реальной стоимости такой утилизации.

Остается открытым вопрос о том, хватит ли в ближайшие годы мощностей по переработке аккумуляторов. Например, по оценкам Международного энергетического агентства (IEA), в 2021 г. в мире хватало ресурса для переработки 180 тыс. т разряженных батарей электромобилей в год (для сравнения: такие машины, запущенные в эксплуатацию в 2019 г., на тот момент уже стали источником 500 тыс. т отработанных батарей).

Непрогнозируемый спрос на машины с электрической тягой уже вызывает ряд проблем у поставщиков аккумуляторов. Так, завод LG Energy Solution (40% глобального дохода корейской компании) в Польше рассматривает возможность перехода к производству статических хранилищ электроэнергии из-за меньшей, чем прогнозировалось, востребованности батарей для электротранспорта. На предприятии изучают новые направления развития, поскольку продажи аккумуляторов падают из-за высоких цен и отмены государственных субсидий на электромобили в разных странах мира [13].

## «Электро» – не всегда «Эко»

Известно, что около 38% всего электричества в мире получают с помощью сжигания угля. В результате этого процесса в атмосферу попадают диоксид серы и оксиды азота, которые могут вызывать кислотные дожди, а также летучая зора, мышьяк, ртуть и даже радиоактивный торий с ураном. До тех пор, пока энергия для электромобилей поступает от угольных электростанций, этот вид машин будет лишь увеличивать экологические проблемы. «Чистая» энергия атомных станций предполагает наличие сопряженных расходов для систем захоронения, гарантирующих надежную изоляцию отработанного ядерного топлива [14].

Добыча кадмия, теллура, галлия, германия, индия, селена и, конечно, кремния, без которого не обходится ни один электромобиль, провоцирует токсическое загрязнение почвы, воздуха и воды в наиболее уязвимых природных зонах: значительную часть этих материалов получают в районах Азии, Африки и Южной Америки с хрупкими экосистемами [15].

Подписанный множеством стран Парижский протокол приравнивает самые разные способы загрязнения экологии к измеримому показателю CO<sub>2</sub>, который считают ключевым виновником парникового эффекта. Хотя само это вещество не является токсичным и не отравляет живую природу (в отличие от кадмия, ртути, сажи и других продуктов – последствий работы электростанций), в большинстве научных работ изучается именно углекислый газ как источник парникового эффекта.

## Дефицит специалистов

Стремительный рост спроса на аккумуляторы привел к исчерпанию кадрового ресурса. В 2024 г. продажи литий-ионных аккумуляторов в глобальном масштабе достигли 42,1 млрд долл. Годом ранее объем данного рынка оценивался в 38,91 млрд долл.

По оценке Корейской ассоциации производителей аккумуляторов, в Южной Корее, где сектор их производства за последние 5 лет увеличился вдвое, сейчас не хватает почти 3 тыс. профильных специалистов с высшим образованием (для сравнения: в LGES, SK On и Samsung SDI суммарно насчитывается около 19 тыс. сотрудников).

Ситуация в Корее отражает дефицит компетентных работников в более широком масштабе. Группа планирования европейского объединения European Battery Alliance заявила, что ЕС необходимо уделить внимание переподготовке и повышению квалификации кадров, потому что в 2025 г. местной аккумуляторной отрасли потребуется 800 тыс. новых сотрудников [16].

Таким образом, широкое внедрение электромобильности требует значительной проработки как обеспеченности природными ресурсами, важными для применения соответствующих технических решений, так и наличия высококвалифицированного персонала и экономических ресурсов, необходимых, в частности, для реализации программ субсидирования. С этой точки зрения рассматриваемый процесс носит глобальный характер, требуя не только выработки разными странами согласованной политики, но и скординированного ее претворения в жизнь.

Можно предположить, что электромобили могут быть активно востребованы в крупных мегаполисах, что приведет к улучшению экологической обстановки в городах. При этом оценка реальной экологичности электрических машин с учетом всех аспектов их производства и утилизации требует значительных всесторонних исследований, учитывающих межотраслевые (энергетика, добыча и обработка сырья, промышленность, транспорт и др.) и трансграничные потоки сырья и материалов, готовых товаров, работ, услуг. ■

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Крылов М. Гибриды и электрокары обогнали по продажам авто с ДВС в Китае / Mail.ru // <https://auto.mail.ru/article/95311-gibridyi-i-elektrokaryi-obognali-po-prodazham-avto/?fromemail>.
2. Мануков С. Mercedes возвращается к автомобилям с двигателями внутреннего сгорания / Монокль // <https://monocle.ru/2024/05/10/mercedes/>.
3. Крылов М. Ford свернул проект большого электрического внедорожника / Mail.ru // <https://auto.mail.ru/article/95626-ford-svernil-proekt-bolshogo-elektricheskogo-vnedorozhnika/?fromemail>.
4. Электрошок: бум электрокаров в Китае грозит мировому рынку нефти / Mail.ru // <https://auto.mail.ru/article/100506-elektroshok-bum-elektrokarov-v-kitae-grozit-mirovomu-ryinku-nefti/>.
5. ГАИ: автомобиль есть у каждого второго белоруса / Mail.ru // <https://news.mail.ru/society/64499303/>.
6. Windmotorenund Dieselmotoren: Was zeigt die CO<sub>2</sub> – Bilanz? / C. Buchal, H.-D., H.-W. Sinn. Kohlemotoren / FORSHUNGSERGEBNISSE // <https://www.ifo.de/DocDL/sd-2019-08-sinn-karl-buchal-motoren-2019-04-25.pdf>.
7. Сарханянц К. Почему переход на электромобили – это не всегда хорошо / Mail.ru // [https://auto.mail.ru/article/80894-pochemu\\_perehod\\_na\\_elektromobili\\_eto\\_ne\\_vsegda\\_hорошо/?from=obves](https://auto.mail.ru/article/80894-pochemu_perehod_na_elektromobili_eto_ne_vsegda_hорошо/?from=obves).
8. Погорельский А. Нет, мир не перейдет на электромобили: 5 главных препятствий / Auto.ru // <https://mag.auto.ru/article/whynotonlyelectro>.
9. Граматчиков А. Электрическое сопротивление / Монокль // <https://monocle.ru/2024/16/elektricheskoye-soprotivleniye/>.
10. Ильин С. Американские дилеры недовольны политикой Байдена по электрокарам: власти США подталкивают отрасль к слишком быстрой электрификации / Motor // <https://motor.ru/news/biden-vs-usa-dealers-04-02-2024.htm>.
11. Socio-environmental impacts of lithium mineral extraction: towards a research agenda / D. B. Agusdinata, W. Liu, // <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aae9b1>.
12. Гуринович Е. Литию пророчат перенасыщение / Mail.ru // <https://finance.mail.ru/2024-12-13/litiyu-prorochat-perenasyshenie-64056004/?from=swap&swap=2>.
13. Крылов М. Крупнейший в ЕС производитель аккумуляторов страдает из-за падения спроса / Mail.ru // <https://auto.mail.ru/article/95046-krupnejshij-v-es-proizvoditel-akkumulyatorov-strad/?fromemail>.
14. P. Roche, B. Thuiller, etc. The Global Crisis of Nuclear Waste // Green Peace France // [https://wayback.archive-it.org/9650/20200415030152/http://p3-raw.greenpeace.org/belgium/Global/belgium/report/2019/REPORT\\_NUCLEAR\\_WASTE\\_CRISIS\\_ENG\\_BD.pdf](https://wayback.archive-it.org/9650/20200415030152/http://p3-raw.greenpeace.org/belgium/Global/belgium/report/2019/REPORT_NUCLEAR_WASTE_CRISIS_ENG_BD.pdf).
15. Bliwas D.I. By product Mineral Commodities Used for the Production of Photovoltaic Cells / USGS. 2010. // <https://pubs.usgs.gov/circ/1365/Circ1365.pdf>.
16. Острая нехватка кадров может затормозить переход на электромобили / Время электроники // <https://russianelectronics.ru/2021-10-06-elektromobile/>.