

Эволюция транспортной инфраструктуры в целях охраны климата: развитие инновационных технологий автомобильного транспорта в России и мире

doi

Переход на электрические транспортные средства считается в мировом экспертном сообществе одним из наиболее перспективных способов декарбонизации транспорта, позволяющим сочетать экономический рост и снижение негативных воздействий на экологию и климат. Однако вопросы о том, насколько далеко может зайти процесс электрификации наземного транспорта в сложившейся структуре экономики, не возникнет ли при полном переходе на электрические транспортные средства ограничений топливного или сырьевого характера и, самое главное, позволит ли перевод на электричество решить проблемы воздействия на климат остаются открытыми. В настоящей работе предпринята попытка ответить на поставленные вопросы в среднесрочной перспективе (до 2030 г.). В статье проанализированы динамика и основные драйверы развития электротранспорта в 2013-2017 гг., на основе прогноза МЭА по росту рынка электромобилей получены прогнозы динамики спроса на сырье, топливо и материалы для производства аккумуляторов и элементов двигателей электромобилей, выполнен прогноз экологических эффектов от развития электротранспорта.

Ключевые слова: электромобили, климатические изменения, экологические эффекты, ресурсные ограничения, прогноз.

Введение

В настоящее время транспорт является одним из наиболее значимых эмиттеров парниковых газов в атмосферу, кроме того, его доля в общих выбросах постоянно растет в силу увеличивающегося уровня автомобилизации населения и повышения его мобильности в различных регионах планеты [1]. Поэтому проблемы его декарбонизации являются чрезвычайно актуальными. Переход на электрические транспортные средства считается в мировом экспертном сообществе одним из наиболее перспективных способов декарбонизации данной отрасли экономики, позволяющим сочетать экономический рост и снижение негативных воздействий на экологию и климат [2]. В первую очередь это касается наземного транспорта. Однако вопросы о том, насколько далеко может зайти процесс электрификации наземного транспорта в сложившейся структуре экономики, не возникнет ли при полном переходе на электрические транспортные средства ограничений топливного или сырьевого характера и, самое главное, позволит ли перевод на электричество решить проблемы воздействия на климат остаются открытыми.

В настоящей работе предпринята попытка ответить на поставленные вопросы в среднесрочной перспективе (до 2030 г.) с помощью анализа последних аналитических отчетов и обзоров Международного



С. В. Ратнер,
Д. Э. Н., доцент, В. Н. С.,
Институт проблем управления
им. В. А. Трапезникова РАН
lanarat@mail.ru, lanaratner@gmail.com

энергетического агентства (МЭА) [3, 4], отчетов Объединенного европейского исследовательского центра при Еврокомиссии [5, 6] и собственных расчетов. В статье проанализированы динамика и основные драйверы развития электротранспорта в 2013-2017 гг., на основе прогноза МЭА по росту рынка электромобилей получены прогнозы динамики спроса на сырье, топливо и материалы для производства аккумуляторов и элементов двигателей электромобилей, выполнен прогноз экологических эффектов от развития электротранспорта.

1. Динамика развития электротранспорта в 2013-2017 гг.

На начало 2018 г. общее количество электромобилей в мире достигло по последним статистическим данным МЭА [3] 3 млн 100 тыс. шт., причем за 2017 г. общий парк электромобилей вырос на 57% по сравнению с предыдущим 2016 г. (рис. 1). В свою очередь, темпы роста мирового парка электромобилей в 2016 г. составили 60% [4]. Полностью электрифицированные автомобили, снабженные батареей (Battery Electric Vehicle, BEV) составляют 2/3 мирового парка. В страновом разрезе наибольший парк электромобилей (более 1 млн шт.) в настоящее время имеет Китай. Его доля в мировом парке составляет около 40%. Доля ЕС и США в мировом парке составляет примерно по 25% [3].

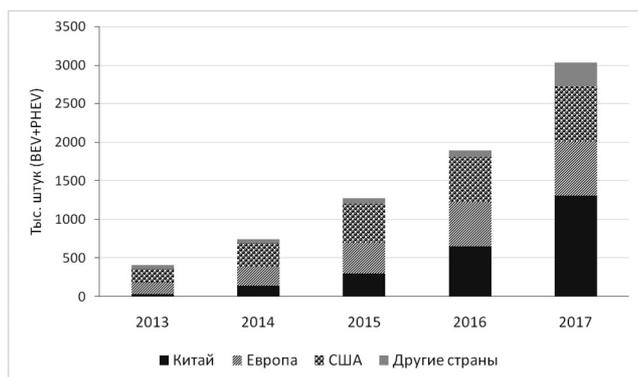


Рис. 1. Мировой парк электромобилей (BEV+PHEV) по оценкам IEA на основе данных по годовым продажам
Источник: составлено по данным [3]

Однако, несмотря на быстрый рост количества электромобилей, их уровень проникновения (т. е. доля в автопарке) по-прежнему составляет менее 1% даже в большинстве стран-лидерах. Уровень проникновения электромобилей один и более процента имеют лишь 3 страны: Норвегия (6,4%), Голландия (1,6%) и Швеция (1,0%) [7].

Положительным внешним эффектом от развития электромобилей является создание необходимой инфраструктуры и благоприятных условий для электрификации грузового и общественного транспорта (рис. 2). Автобусы и другие виды городского транспорта с определенными маршрутами и расписанием (например, уборочные машины) представляют собой наиболее легкие объекты для перевода на электричество. Китай, который первый пошел по данному пути, имеет к началу 2018 г. парк электрических и гибридных автобусов 370 тыс. единиц. Совместно с другими муниципальными транспортными средствами, количество электрифицированного транспорта в городах КНР достигает полумиллиона. Общее количество электроавтобусов на дорогах Европы, Японии и США составляет пока лишь 2,1 тыс. единиц [3, 7].

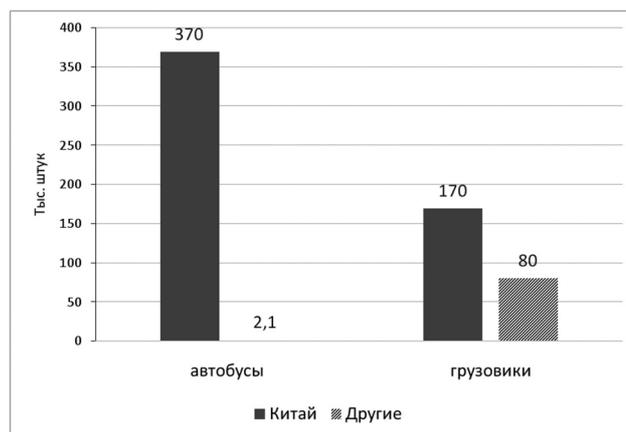


Рис. 2 Мировой парк электроавтобусов (BEV+PHEV), легких электрогрузовиков (BEV)
Источник: составлено по данным [3]

В парк электрических транспортных средств входит также около 250 тыс. легких электрогрузовиков, из них 170 тыс. эксплуатируются в Китае, еще 33 тыс. во Франции и 11 тыс. в Германии. Подавляющее большинство электрогрузовиков являются полностью электрифицированными, т. е. снабжены батареей, заряжаемой от сети. Как правило электрогрузовики приобретают государственные компании, например, Deutsche Post [7].

В России развитие рынка электромобилей пока сильно отстает от показателей стран-лидеров. По данным аналитического агентства «Автостат», количество электромобилей в России в середине 2018 г. достигло 2530 шт. В региональном разрезе наиболее «продвинутыми» являются Приморский край (586 шт.), Москва и Московская область (467 шт.), а также Хабаровский край (244 шт.). Несмотря на то, что темпы роста российского рынка за последний год приблизились к среднемировым значениям (57%), перспективы его дальнейшего развития до сих пор находятся под вопросом.

Анализируя темпы развития конкурирующей технологии — автомобилей на топливных элементах, мож-

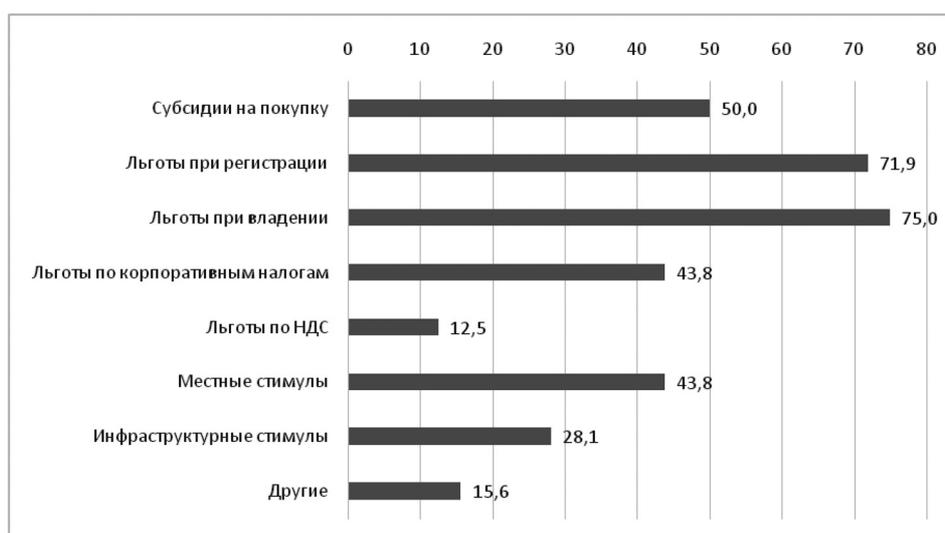


Рис. 3. Частота использования мер господдержки в странах ЕС+страны кандидаты
Источник: составлено по данным Европейской обсерватории альтернативного топлива (<http://www.eafo.eu>)

но отметить, что мировой парк транспортных средств данного типа к началу 2018 г. достиг показателя 7200 шт., что значительно меньше, нежели показатели развития парка электромобилей. Половина мирового парка автомобилей на топливных элементах приходится на США (Калифорния). Вторым по величине рынком автомобилей на топливных элементах является Япония (2300 шт.). Еще около 1200 автомобилей на водородном топливе входят в автопарки европейских стран, преимущественно, Германии и Франции.

Основным драйвером столь бурного роста мирового рынка электромобилей, по-прежнему являются меры государственной поддержки. Страны-лидеры по развитию электромобильного транспорта практикуют широкий спектр различных стимулов. На рис. 3 представлена частота практикуемых мер государственной поддержки в странах Евросоюза в процентном соотношении (доля стран, практикующих ту или иную меру). Как мы видим, наиболее часто используемыми мерами являются льготы при владении (это может быть нулевой транспортный или экологический налог, бесплатная зарядка автомобиля), льготы при регистрации и субсидирование покупки электромобиля.

Результаты статистического анализа (тестов на равенство средних, тестов Манна–Уитни, а также регрессионного и дисперсионного анализа) позволяют отнести к наиболее эффективным инструментам финансовые стимулы к приобретению электромобиля, стимулы, снижающие стоимость его эксплуатации, а также меры, направленные на развитие инфраструктуры подзарядки электромобилей [8-10].

Кроме того, как показывает опыт отдельных стран (например, Японии) значительный вклад в развитие электромобильного транспорта вносят государственные закупки. При достаточно больших объемах, они сразу делают технологию «видимой» для общества и бизнеса, способствуют развитию инфраструктуры подзарядки, а также стимулируют развитие производства к переходу от опытных партий к серийному выпуску, что значительно удешевляет продукцию [7].

2. Прогноз развития электротранспорта до 2030 г. по двум сценариям

В 2017 г. 13 странами – членами ассоциации Electric Vehicle Initiative¹ (под эгидой IEA) запущена программа глобальной кооперации EV30@30 в области развития электромобилей до 30% (доля в продажах) к 2030 г. С учетом заявленной цели предыдущие прогнозы, основанные на анализе стимулирующих политик отдельно по каждой из стран-участниц, все глобальные прогнозы МЭА пришлось пересмотреть в сторону увеличения. Поэтому в последующих расчетах они представлены в двух вариантах:

- 1) интегрированный прогноз на основе заявленных целей развития отдельных стран, учитывающий также цели по развитию производства и инфраструктуры (сценарий New Policy);
- 2) прогноз с учетом целей EV30@30.

Так на рис. 4, 5 представлены два сценария развития легковых электромобилей по 2030 г., а также два сценария развития рынка легких и тяжелых электрогрузовиков и электроавтобусов.

Как видно из данных, представленных на рис. 4, 5, по наиболее оптимистичному сценарию количество электромобилей в мире к 2030 г. может достичь 190 млн шт., электроавтобусов – 15 млн шт., легких и тяжелых грузовиков – 8 и 7 млн шт., соответственно.

3. Прогноз динамики спроса на сырье, топливо и материалы, обусловленный развитием электротранспорта

Стой стремительный прогнозируемый рост количества электротранспортных средств в производстве и эксплуатации актуализирует проблему оценки степени достаточности производственных мощностей и сырьевой базы, в первую очередь, для производства аккумуляторов. С учетом исторических (в период с 2013 по 2017 гг.) темпов роста энергетической плотности и мощности батарей, используемых в легковых

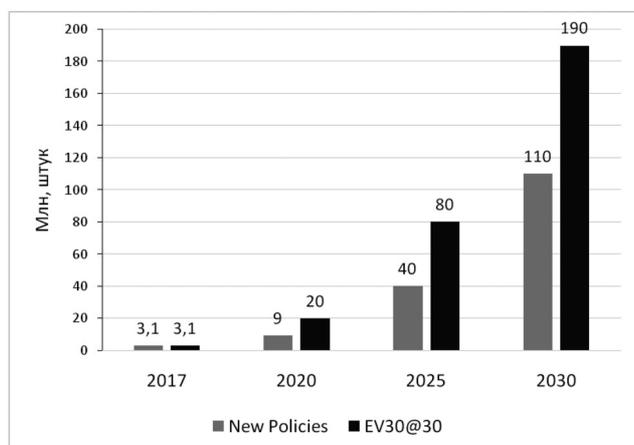


Рис. 4 Прогноз по легковым электромобилям

Источник [3]

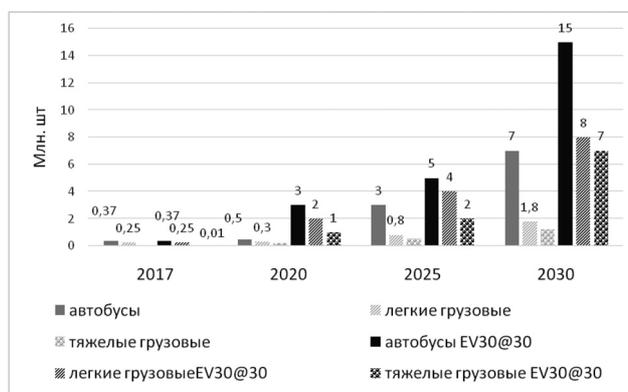


Рис. 5. Прогноз по электроавтобусам и грузовым автомобилям

Источник [3]

¹ Ассоциация EVI создана под эгидой Мирового энергетического агентства в 2010 г. и включает такие страны как Канада, Китай, Финляндия, Франция, Германия, Индия, Япония, Мексика, Голландия, Норвегия, Швеция, Великобритания и США.

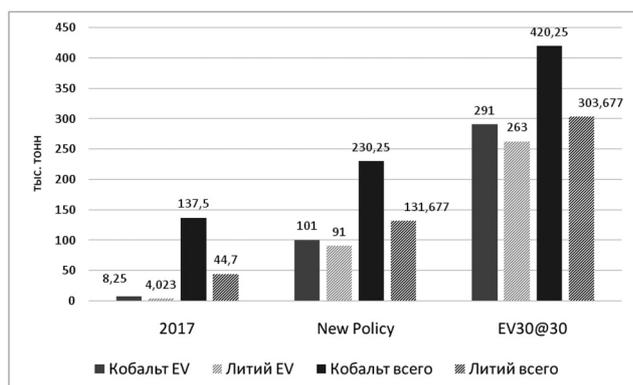


Рис. 6. Прогноз потребностей в кобальте и литии
Источник: расчеты автора

и грузовых BEV и PHEV, а также электроавтобусах, прогноз потребности в аккумуляторах составляет: по пессимистичному сценарию — 700 ГВт·ч/год к 2030 г., по оптимистичному — 2250 ГВт·ч/год [3].

Обеспечение многократного роста производства аккумуляторов с помощью современных и даже наиболее перспективных ресурсосберегающих технологий потребует также кратного увеличения производства основных металлов, входящих в компонентный состав батарей — кобальта и никеля (рис. 6).

В 2017 г. доля электромобилей в общем спросе на кобальт составила только 6%, а в общем спросе на литий — 9%. В 2030 г. эта доля в спросе на кобальт может составить от 43 до 71%, на литий от 69 до 87%, кратно увеличив общий спрос на эти металлы (от 1,67 до 3 раз на кобальт и от (2,94 до 6,8 на литий)².

С точки зрения разработки имеющихся запасов данных металлов, даже максимально ожидаемый рост спроса на кобальт и литий может быть теоретически удовлетворен (рис. 7, 8). Однако разработка новых месторождений требует больших объемов инвестиций, кроме того запасы данных географически распределены очень неравномерно, что создает определенные

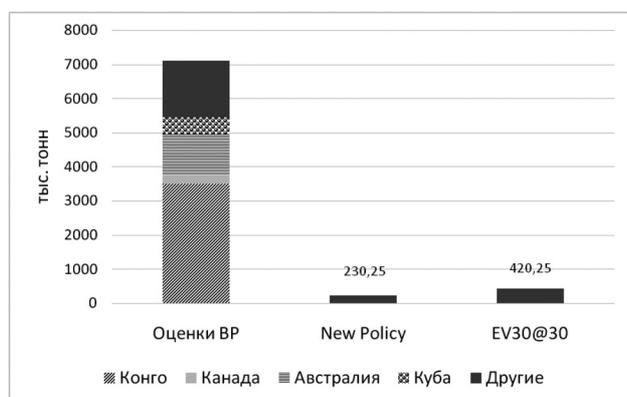


Рис. 8. Возможные ресурсные ограничения на кобальт
Источник: расчеты автора

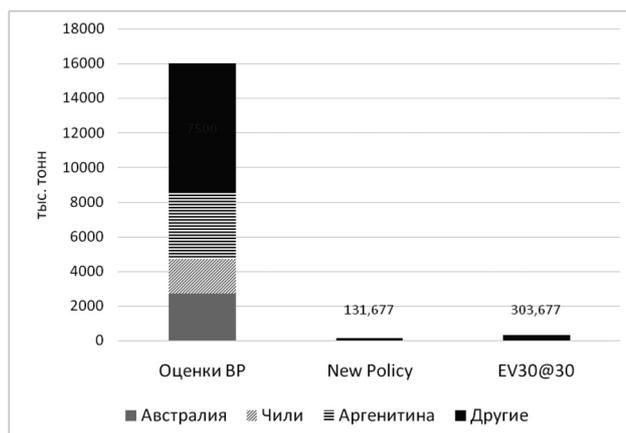


Рис. 7. Возможные ресурсные ограничения на литий
Источник: расчеты автора

опасения в возникновении ограничений политического характера.

Справочно отмечу, что доля России в мировых запасах кобальта (по оценкам ВР) составляет 3,5%, по литию — 0% [11].

Как наиболее перспективная альтернатива разработке новых месторождений кобальта рассматривается возможность его переработки, так как технологическая и инфраструктурная готовность к этому достаточно высоки. Уже сейчас в ЕС перерабатывается 35% кобальта, однако технологий переработки лития на настоящее время нет [6].

Кроме того, экспоненциальный рост электрического транспорта кратно увеличивает спрос на некоторые редкоземельные элементы (РЗЭ), входящие в состав постоянных магнитов, используемых в электродвигателях. В первую очередь, это неодим, празеодим и диспрозий, которые в ЕС и США отнесены к так называемым критическим (т. е. потенциально дефицитным) материалам [12, 13].

Прогноз роста спроса на РЗЭ со стороны электротранспорта представлен на рис. 9. Прогноз выполнен из расчета веса постоянного магнита на 1 электромобиль

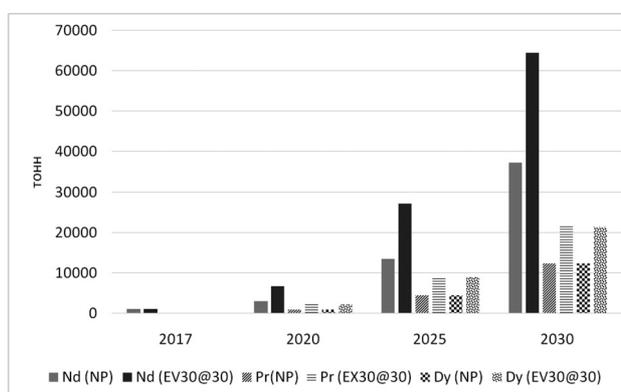


Рис. 9. Прогнозируемый рост спроса на редкоземельные элементы со стороны электротранспорта (неодим (Nd), празеодим (Pr), диспрозий (Dr))

Источник: расчеты автора

² Прогноз выполнен в предположении, что в 2030 г. доля катодов NMC 811 (никель марганец оксид кобальта, число — атомная доля каждого металла) составит 50%, NMC 622 — 40% и NCA (никель кобальт оксид алюминия) — 10% (данные МЭА).

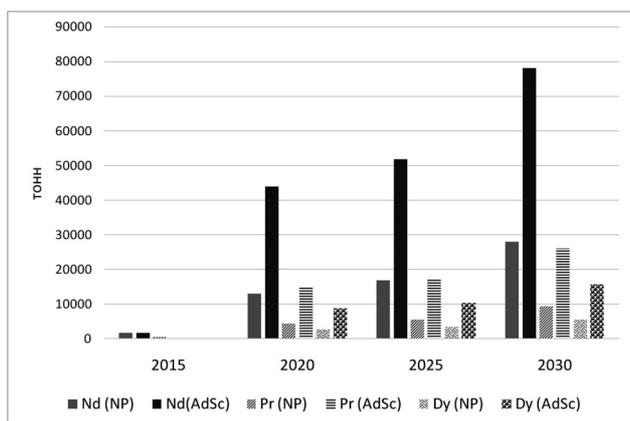


Рис. 10. Прогноз роста спроса на РЗЭ со стороны ветровой энергетики

Источник: расчеты автора

(PHEV или BEV) – 1,5 кг, доля неодима 22,5%, доля празеодима 7,55%, доля диспрозия – 7,5% [5].

Прогнозируя динамику глобального спроса за РЗЭ, необходимо также иметь в виду перспективы со-направленного развития электротранспорта и ВИЭ, которые обусловлены, во-первых, необходимостью создания более «чистой» структуры электрогенерации, а, во-вторых, технической возможностью использования электромобильных батарей в качестве передвижных систем хранения электроэнергии. Такие мобильные хранилища могут не только стабилизировать нагрузку в сети и сгладить пики энергопотребления, но и повышать коэффициент использования мощности (КИУМ) ветровых и солнечных установок, отбирая излишки производимой электроэнергии, которые сеть не может принять.

С точки зрения конкуренции на РЗЭ более интересно рассматривать совместную динамику электромобилей и ветровой энергетики. В последних прогнозах Global Wind Energy Council можно найти 4 сценария, но для анализа были выбраны крайние, исходя из соображений, со-направленности развития электромобилей и ветровой энергетики: сценарий New Policy – осторожно-оптимистичный, и сценарий Advanced – максимально смелый в отношении роста ветровой энергетики. На рис. 10 представлен прогноз роста спроса на РЗЭ со стороны ветровой энергетики по эти двум сценариям.

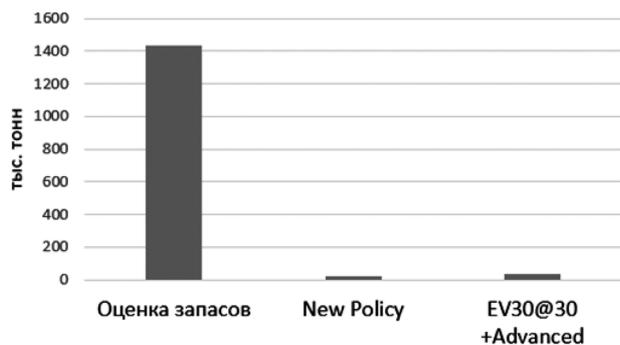


Рис. 12. Запасы и прогнозируемый спрос на диспрозий

Источник: расчеты автора

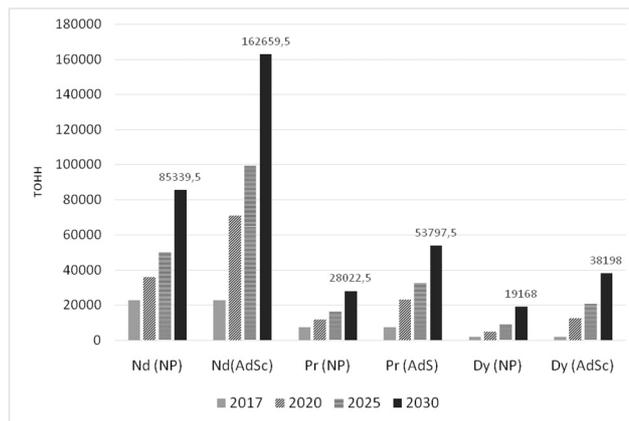


Рис. 11. Прогноз роста глобального спроса на неодим, празеодим и диспрозий

Источник: расчеты автора

Прогноз выполнен в предположении, что доля наземных ветровых турбин с прямым приводом и постоянным магнитом (DD-PMG) составит в 2020 г. 29%, в 2030 г. – 44% (сейчас 10%). Доля наземных ветровых турбин с передачей и постоянным магнитом (MS/HS-PMG) составит 24% в 2020 г. и 28% в 2030 г. (сейчас 18%). Доля морских ветровых турбин с прямой передачей и постоянным магнитом (DD-PMG) составит в 2020 г. 84% и в 2030 г. 100% (сейчас 21%). Вес постоянного магнита составляет 675 кг на 1 МВт ветровой турбины с прямым приводом и 120 кг на 1 МВт ветровой турбины с передачей. Доля неодима в постоянном магните 22,5%, празеодима – 7,5%, диспрозия – 4,5% [5].

Рост глобального спроса на РЗЭ, определяемый совместным ростом спроса со стороны и электромобилей, и ветровой энергетики представлен на рис. 11. Он вы-

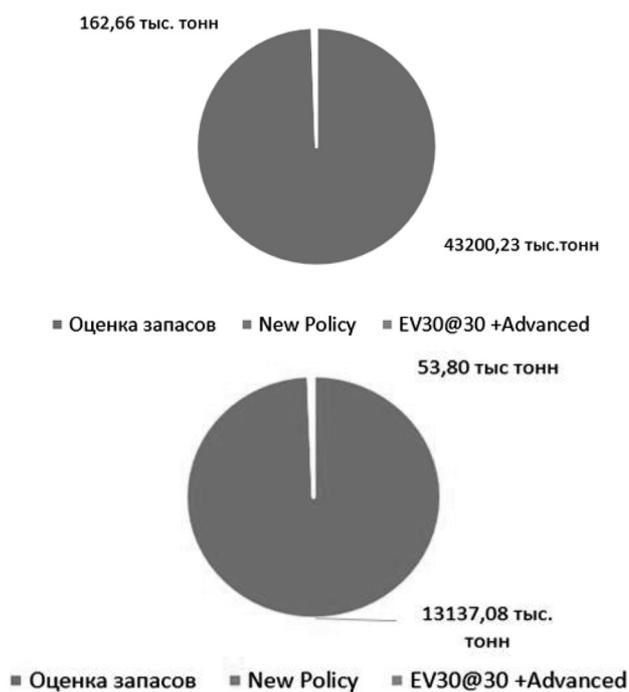


Рис. 13. Оценки запасов и спроса на неодим (верхний) и празеодим (нижний) в 2030 г.

Источник: расчеты автора

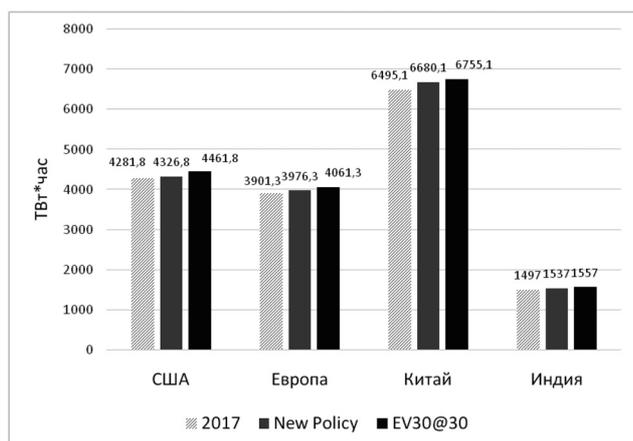


Рис. 14. Прогноз общего роста спроса на электроэнергию за счет развития электротранспорта

Источник [3]

полнен в предположении, что спрос со стороны других секторов экономики остается стабильным.

Прогноз показывает, что к 2030 г. общий мировой спрос на неюм может увеличиться от 3,7 до 7,2 раз, на празеодим от 3,9 до 7,5 раз, на диспрозий — от 10 до 20 раз. Сравнивая полученные прогнозные значения с оценками общемировых запасов РЗЭ (рис. 12, 13), приводимых в литературных источниках [14], можно заметить, что пока имеющиеся запасы теоретически позволяют удовлетворить этот растущий спрос, однако, во-первых, это также сопряжено с инвестиционными и геополитическими ограничениями, во-вторых, в долгосрочной перспективе может реально привести к проблеме ресурсных ограничений физического (точнее говоря, геологического) характера.

В вот прогнозируемое увеличение спроса на электроэнергию не является критичным, хотя потребление электроэнергии транспортными средствами должно увеличиться от 7 (по сценарию New Policy) до 17 (по сценарию EV30@30) раз по сравнению с текущим уровнем (2017 г.). Общее увеличение спроса на электроэнергию за счет развития электротранспорта в региональном разрезе представлено на рис. 14.

Соответственно снижение спроса на традиционное моторное топливо составит от 5 экзаджоулей (1018 Дж) (или 120 млн т нефтяного эквивалента или 2,57 млн баррелей в день) до 9,2 экзаджоулей (или 220 млн т нефтяного эквивалента, 4,74 млн баррелей в день). Учитывая, что текущее мировое потребление нефти составляет около 100 млн баррелей в сутки, снижение за счет развития электротранспорта не представляется существенным ни по сценарию New Policy, ни по сценарию EV30@30.

4. Прогноз экологических эффектов от развития электротранспорта

Что касается вопроса воздействия электромобилей на климат, то здесь необходимо отметить, что оценка сокращения выбросов парниковых газов от развития электротранспорта может быть произведена, как минимум, двумя способами:

- 1) с учетом только этапа эксплуатации транспортного средства;

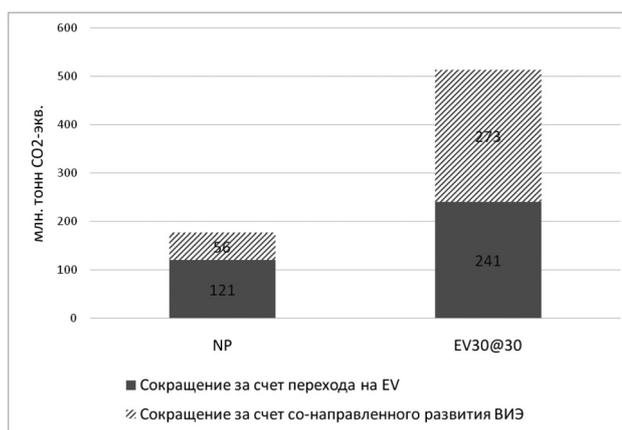


Рис. 15. Оценки потенциальных сокращений выбросов ПГ от развития электротранспорта

Источник [3]

- 2) либо с учетом всего топливно-энергетического цикла от начальных этапов добычи, переработки и транспортировки углеводородного сырья до этапа когда произведена транспортная работа (так называемый WTW цикл от скважины до колеса) [15].

Второй подход является более взвешенным и точным и в настоящее время все активнее входит в практику оценки потенциальных экологических эффектов производства любого вида продукции и услуг. Но его применение в прогнозировании экологических эффектов изменения транспортных систем сопряжено с необходимостью учета еще одной дополнительной составляющей — а именно потенциальных изменений в производственной системе производства топлива, в данном случае — производства электроэнергии. Этот факт и отражен в прогнозах на 2030 г., представленных на рис. 15.

За счет перехода на электромобили при сохранении текущей структуры электрогенерации по сценарию New Policy удастся избежать выбросов 121 млн т CO_2 — экв., по сценарию EV30@30 — примерно в 2 раза больше. С учетом со-направленного развития ВИЭ и декарбонизации электрогенерации, ожидаемые сокращения от перехода на электромобили составят 177 млн т CO_2 — экв. по сценарию New Policy и 514 млн т CO_2 — экв. по сценарию EV30@30.

Несмотря на достаточно высокие цифры потенциальных оценок снижения негативного воздействия на окружающую среду, их вклад в общий объем выбросов невелик — всего 1,42%.

Заключение

Темпы декарбонизации транспортной отрасли даже по самым смелым прогнозам нельзя признать достаточными для достижения целей сдерживания климатических изменений. Переход на электротранспорт в тех масштабах, которые просматриваются на временном горизонте до 2030 г., могут в большей или меньшей степени улучшить экологическую ситуацию локально — в городах как местах наибольшего скопления транспорта. Однако для достижения глобальных эффектов — таких как воздействие на климат — необхо-

димы более кардинальные изменения в сложившейся структуре транспортной системы — вероятнее всего, частичный отказ от личного автотранспорта.

Признательность

Работа выполнена при частичной финансовой поддержки Российского Фонда фундаментальных исследований (проект № 17-06-00390 «Разработка моделей со-направленного развития инновационных автотранспортных технологий и технологий электрогенерации») и представляет расширенную версию доклада на заседании Совета по приоритетному направлению Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации «Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии» от 18.04.2019 г.

Список использованных источников

1. В. В. Клименко, О. В. Микушина, А. Г. Терешин. Парижская конференция по климату — поворотный пункт в истории мировой энергетики//Доклады академии наук. 2016. Т. 468. № 5. С. 521.
2. С. В. Ратнер. Механизмы налогового стимулирования развития «зеленых» транспортных систем: опыт Норвегии//Финансы и кредит. 2018. Т. 24. № 4. С. 767-783.
3. Global EV Outlook 2018. Toward cross-modal electrification. OECD/IEA, 2018. Paris, France.
4. Global EV Outlook 2016. Beyond one million electric cars. IEA. Paris, France. 2016. P.61
5. D. T. Blagoeva, P. Alves Dias, A. Marmier, C.C. Pavel. Assessment of potential bottlenecks along the materials supply chain for the future deployment of low-carbon energy and transport technologies in the EU. Wind power, photovoltaic and electric vehicles technologies, time frame: 2015-2030.
6. F. Mathieux, F. Ardente, S. Bobba, P. Nuss et al. Critical Raw Materials and the Circular Economy — Background report. JRC Science-for-policy report, EUR 28832 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017.
7. В. В. Иосифов. Глобальные инновационные тренды развития транспортных систем и стратегические альтернативы для российского машиностроения//Друckerовский вестник. 2018. № 4. С. 165-178.
8. С. В. Ратнер, С. С. Маслова. Государственное стимулирование развития рынка электрических транспортных средств: мировой опыт//Финансы и кредит. 2017. Т. 23. Вып. 22. С. 1281-1299.
9. С. В. Ратнер, В. В. Иосифов. Моделирование эффектов со-направленного развития автотранспортных технологий и технологий электрогенерации//Друckerовский вестник. 2017. № 3. С. 49-59.
10. С. В. Ратнер, В. В. Иосифов. Прогнозирование экологических эффектов диффузии новых автотранспортных технологий на основе методологии кривых обучения//Экономический анализ: теория и практика. 2017. Т. 16. Вып. 4. С. 782-796.
11. BP Statistical Review of World Energy. 67th Edition. London. 2018.
12. Critical raw materials for the EU. 2010. P. 84.
13. D. Bauer et al. Critical Materials Strategy. 2010, U.S. Department of Energy: Washington, D.C.
14. B. Zhou, Z. Li, C. Chen. Global Potential of Rare Earth Resources and Rare Earth Demand from Clean Technologies//Minerals. 2017. No. 7. Iss. 203.
15. В. В. Иосифов. Оценка экологических эффектов инновационных автотранспортных технологий по стандарту ГОСТ Р ИСО 14040-2010//Эксплуатация морского транспорта. 2017. № 3 (84). С. 20-26.

Evolution of transport infrastructure for climate protection: development of innovative automobile transport technologies in Russia and in the world

S. V. Ratner, doctor of economics, associate professor, leading researcher, Institute of control sciences, Russian academy of sciences.

The transition to electric vehicles is considered one of the most promising ways to decarbonize the transport, allowing combining economic growth and reducing negative impacts on the environment and climate. However, such questions as how far the process of electrifying land transport can go in the current structure of the economy, will there be fuel or raw material constraints when switching to electric vehicles and, most importantly, will the transfer to electricity solve the effects of climate change remain opened. This paper attempts to answer this questions on the time horizon until 2030. The article analyzes the dynamics and the main drivers of electric transport development in 2013-2017, forecast the growth of the electric vehicle market and the dynamics of demand for raw materials, fuel and materials for the production of batteries and engine components of electric vehicles, and environmental effects from the development of electric vehicles.

Keywords: electric cars, climate change, environmental effects, resource constraints, forecast.