ISSN 2311-8725 (Online)
ISSN 2073-039X (Print)

Комплексный экономико-социально-экологический анализ

СЦЕНАРНЫЙ АНАЛИЗ СО-НАПРАВЛЕННОГО РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИОННЫХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАЦИИ*

Валерий Викторович ИОСИФОВ

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой машиностроения и автомобильного транспорта,
Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Российская Федерация
iosifov_v@mail.ru

История статьи:
Принята 16.08.2016
Принята в доработанном виде 31.08.2016
Одобрена 15.09.2016

УДК 004.94:620.9
JEL: O18, O33, Q42

Ключевые слова:
инновационные автотранспортные технологии, диффузия инновационных технологий, экологические эффекты, прогнозирование, сценарный анализ

Аннотация

Предмет. Рассматриваются методологические подходы к прогнозированию экономико-экологических эффектов диффузии инновационных автотранспортных технологий – электромобилей и автомобилей на водородном топливе. Сложность этой проблемы заключается в необходимости учета динамики развития не только основных замещаемой и замещающих технологий, но и обеспечивающих технологий, роль которых в данном случае выполняют технологии электрогенерации и риформинг метана.

Методология. Предложен метод сценарного анализа, включающий анализ временных рядов, метод кривых обучения и регрессионные модели. Прогнозирование динамики технико-экономических параметров основных и обеспечивающих технологий осуществляется при помощи моделей кривых обучения, прогнозирование уровня спроса на исследуемые технологии – при помощи моделей временных рядов, а уровень диффузии замещающей технологии определяется воздействием различных внешних факторов, в том числе стимулирующей государственной политикой. В зависимости от интенсивности воздействия экзогенных факторов вырабатываются основные сценарии, в рамках которых осуществляется прогноз экономико-экологических эффектов исследуемого процесса замещения технологий.

Результаты. Упрощенный вариант сценарного анализа апробирован на примере Псковской области – региона, демонстрирующего наиболее высокие удельные показатели выбросов загрязняющих веществ от автомобильного транспорта (на единицу валового регионального продукта и на душу населения). Получены количественные оценки чистого экологического эффекта для случая полной диффузии электромобильной технологии в секторе личного автотранспорта.

Выводы. Полученные количественные оценки снижения уровня выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при полном замещении личного автотранспорта населения электромобилями доказывают необоснованность опасений, что широко пропагандируемые позитивные экологические последствия широкомасштабного внедрения новых автомобильных технологий полностью нивелируются ростом негативных экологических эффектов на других стадиях жизненного цикла. Увеличение спроса на электроэнергию, возникающее вследствие перехода на новые автотранспортные технологии, в условиях сложившейся структуры генерации в пилотном регионе оказывается несущественным и вполне может быть покрыто за счет увеличения коэффициента использования уже существующих генерирующих мощностей.

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2016

Понимание качественных закономерностей и временных параметров развития инновационных технологий, определяющих будущий технологический ландшафт экономики – энергетических, транспортных, коммуникационных – имеет первостепенное значение для выработки эффективных управленческих стратегий, обеспечивающих аккумуляцию ресурсов на наиболее перспективных направлениях технологического развития, способных принести максимальную экономическую отдачу.

В масштабах отдельно взятой компании правильное понимание ближайших или более отдаленных перспектив инновационного развития открывает возможности для формирования новых рынков и получения инновационной ренты.

В масштабах национальной экономики такое понимание необходимо еще и для того, чтобы реализовать возможности мультипликативного роста всей экономической системы, а не только отдельных отраслей – драйверов технологического прогресса.

Поэтому проблема разработки методов прогнозирования траекторий технологического развития в последние несколько десятков лет не теряет актуальности, несмотря на появление все

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 15-06-06360_а «Моделирование влияния процесса смены технологических укладов в энергетике на экономику России и оптимизация стратегии ее адаптации».

более новых и изощренных теоретических и инструментальных подходов.

В авторском исследовании ставится проблема разработки подходов к прогнозированию эколого-экономических эффектов со-направленного развития нескольких перспективных инновационных технологий – электромобилей, автомобилей на водородном топливе (далее будем называть их новыми автомобильными технологиями) и возобновляемой энергетики (преимущественно рассматривается солнечная и ветровая энергетика как наиболее технологически зрелые).

Библиографический анализ работ российских и зарубежных ученых позволяет выделить несколько наиболее часто используемых подходов к прогнозированию различных параметров развития технологий: метод форсайта [1, 2], метод кривых обучения [3, 4], сценарный анализ, включающий экстраполяцию и анализ чувствительности[1].

Если первый метод, преимущественно используется для прогнозирования качественных параметров технологического развития, то другие больше основаны на количественных моделях. Следует отметить, что данное разделение весьма условно, так как форсайт вполне может включать в себя сценарное моделирование, сценарный анализ может проводиться с использованием технологий форсайта (например, экспертных оценок, SWOT-анализа и др.), а модели кривых обучения могут подвергаться экстраполяции и анализу чувствительности.

Тем не менее можно сказать, что в настоящее время в научной среде сформировались определенные технологии прогнозирования, определяющие, какой класс задач прогнозирования решается тем или иным методом.

Так, унифицированные методики прогнозирования стоимости новых автомобильных технологий (например, производство топливных элементов [5], водородных генераторов [6]), впервые предложенные Международным энергетическим агентством в 2007 г., основаны на методологии кривых обучения. Ранее эта же методология успешно применялась для прогнозирования стоимостных параметров развивающихся технологий возобновляемой, в частности, ветровой [7, 8] и солнечной энергетики [7, 9]. До сих пор данные методики считаются наиболее обоснованными в случае развития массового производства и используются в большом массиве прогностических исследований, в том числе и российских [10, 11].

Метод Дельфи как основа форсайт-прогнозирования уже традиционно используется для анализа глобальных трендов в энергетике и определения наиболее вероятных направлений развития инновационных энергетических технологий в масштабах всей мировой экономики и отдельных стран [12–14] в долгосрочной перспективе.

Как правило, выбор той или иной технологии определяется на основе анализа динамики факторов спроса и предложения, ресурсного и инфраструктурного обеспечения, направлений инвестиционных потоков, понимания глобальных вызовов. При этом могут рассматриваться несколько (до трех) основных сценариев развития отмеченных перспективных технологий, зависящих, как правило, от интенсивности управленческих воздействий, осуществляемых посредством различных государственных политик.

Несмотря на то, что точные количественные оценки различных параметров развития инновационных технологий с помощью форсайт-прогнозирования получить невозможно, метод имеет несколько существенных преимуществ, одним из которых является возможность визуализации наиболее полной картины будущего с учетом взаимосвязи развивающихся технологических и социальных инноваций, их совокупного влияния на экономику и общество в целом.

Задачи среднесрочного прогнозирования динамики развития энергетических рынков в зависимости от поведения основных игроков, изменения базовых технико-экономических параметров развивающихся инновационных технологий и вероятного появления технологий-конкурентов требуют использования более сложного математического аппарата и часто решаются с помощью комбинации различных методов анализа временных рядов и имитационного моделирования [15–18]. При этом анализируется структура временных рядов, описывающих изменение во времени основных параметров исследуемых технологий, осуществляется экстраполяция, строятся модели, описывающие зависимости между прогнозируемыми параметрами

[1] IEA Energy Technology Essentials: Fuel Cells. International Energy Agency. IEA, 2007; Experience curves for energy technology policy. International Energy Agency, IEA. Paris, France. 2000.

инновационных технологий и факторами, оказывающими на них влияние, с помощью имитационного моделирования проводится анализ чувствительности прогнозируемых параметров инновационных технологий к изменению различных факторов. При таком подходе также строятся различные сценарии, однако их количество, как правило, гораздо больше трех, а очертания каждого сценария имеют точную количественную оценку [17, 18].

Данный подход позволяет учитывать как внутреннюю динамику развития инновационных процессов, качественное описание которой предоставляет современная экономическая теория, так и причинно-следственные взаимосвязи между драйверами и социально-экономическими эффектами внедрения новых технологий.

Рассмотрим возможности применения данного подхода для решения актуальной практической задачи – анализа экологических эффектов со-направленного развития новых автомобильных технологий и технологий возобновляемой энергетики. Вопросы необходимости развития данных технологий в России до сих пор являются дискуссионными и привлекают внимание не только специалистов из различных отраслей знаний, но и представителей бизнес-структур, общественности [19].

В частности, в аналитической литературе и в средствах массовой информации можно встретить мнение, что широко пропагандируемые позитивные экологические последствия широкомасштабного внедрения данных технологий полностью нивелируются ростом негативных экологических эффектов на других стадиях жизненного цикла. Например, снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при использовании электромобилей компенсируется ростом выбросов практически тех же видов загрязняющих веществ при генерации дополнительной электрической энергии.

Снижение выбросов при использовании ветровых и солнечных установок может компенсироваться ростом выбросов при производстве необходимого объема мощностей (в несколько раз превосходящего мощности традиционного генерирующего оборудования) массивного ветроэнергетического и химически интенсивного фотоэлектрического оборудования. Однако специализированные научные исследования, проводимые по методологии анализа жизненного цикла (АЖЦ) продукции в соответствии со стандартами ISO 14040-14044, не подтверждают данных опасений.

Так, полученные по методологии анализа жизненного цикла в работах [20–24] оценки выбросов загрязняющих веществ в пересчете на CO_2 – эквивалент для технологий возобновляемой энергетики, показывают, что ветровая наземная энергетика в настоящее время производит в среднем в 10 раз меньше выбросов [20], чем технологии генерации энергии за счет сжигания природного газа [21], ветровая офшорная энергетика – в 12 раз меньше [22], солнечные кремниевые фотоэлементы – в среднем в 10 раз меньше [23], тонкопленочные – в 14 раз меньше [24].

Наиболее детальный анализ выбросов CO_2 в полном цикле производства топлива для электромобилей и автомобилей на водородных топливных элементах выполнен в работе [25] в предположении о том, что первичным видом топлива и для той, и для другой технологии является природный газ. Основной вопрос, который ставится в работе, сформулирован следующим образом: что является более эффективным – преобразовать природный газ в электричество на центральной электростанции, чтобы зарядить батареи электродвигателя, или конвертировать этот природный газ в водород для запуска электрического автомобиля на топливных элементах? Расчеты авторов показали, что при полном цикле производства топлива на существующих технологиях затраты первичного топлива для производства водородных топливных элементов, достаточных для пробега 400 км, на 22–48% меньше, нежели затраты на производство электроэнергии, достаточной для аналогичного пробега электромобиля. В случае увеличения пробега до 480 км (300 миль) преимущество автомобиля на топливных элементах по затратам энергии возрастает до 33–55%.

Улучшенная энергоэффективность полного цикла производства топлива для электрического транспортного средства на водородных топливных элементах объясняется более высокой эффективностью процесса паровой конверсии природного газа в водород по сравнению с конверсией природного газа в электричество [26]. Риформинг метана с использованием пара преобразует природный газ в водород с эффективностью примерно 75%. Современные электростанции по производству природного газа с комбинированным циклом имеют в лучшем случае 48% эффективности в преобразовании природного газа в электроэнергию. В результате

оценка выбросов CO_2 для автомобилей на водородном топливе в случае максимального пробега 320 км (200 миль) составила 180 г/км, для электромобилей с аналогичным максимальным пробегом – 285 г/км (соотношение 1,58). При увеличении максимального пробега до 480 км (300 миль) оценка выбросов водородного автомобиля составляет 182 г/км, электромобиля – 339 г/км (соотношение 1,86).

Дополнительно в работе [25] рассматривается эффективность полного цикла производства топлива в случаях, если в энергобалансе увеличивается доля возобновляемой энергии, в частности, энергии биомассы или энергии ветра. Выявлено, что при преобразовании биомассы в водород для обеспечения пробега автомобиля в 400 км (250 миль) используется на 35% меньше энергии, чем при производстве электроэнергии для электромобиля на батареях, а в случае увеличения пробега до 480 км (300 миль) расход энергии биомассы становится на 40% меньше.

Преимущество электромобилей на топливных элементах уменьшается, если пробег снижается до 160 км (100 миль). В то же время использование солнечной или ветровой электроэнергии непосредственно для зарядки электромобиля на батареях считается в большинстве исследований более эффективным, нежели преобразование того же объема электричества в водород для топливных элементов, так как на стадии электролиза теряется примерно 25% электрической энергии, и батарея более эффективна, чем топливный элемент.

Как показано в работе [27], электромобиль на улучшенном литий-ионном аккумуляторе будет использовать на 40% меньше электроэнергии ветра (124 кВт•ч), чтобы преодолеть расстояние 400 км (250 миль), чем электромобиль на водородных топливных элементах.

Кроме отмеченных в работе [25] потенциальных преимуществ со-направленного развития электромобилей и возобновляемой энергетики на основе солнечной и ветровой генерации с точки зрения эффективности полного цикла производства топлива, необходимо также отметить и такое технологическое преимущество, как возможность синхронизации нестабильной выработки электроэнергии солнечными и ветровыми электростанциями и спроса на нее со стороны инфраструктуры подзарядки электромобилей [26].

Получить более точные количественные оценки экологических последствий диффузии новых автомобильных технологий возможно только в привязке к конкретной территории с известной структурой генерации электроэнергии. Тогда схема применения метода сценарного анализа будет выглядеть так, как это представлено на рис. 1.

Стоит заметить, что схема, представленная на рис. 1, сфокусирована на получении количественных оценок чистых экологических эффектов, под которыми понимаются выбросы кумулятивного объема всего спектра загрязняющих веществ в атмосферу. Однако она также может быть применена для расчета сокращения или увеличения отдельных компонент загрязняющих веществ (например, оксида углерода, окислов азота, диоксида серы и пр.). Кроме того, метод позволяет прогнозировать и основные экономические эффекты замещения технологий – потребность в новых генерирующих мощностях, изменение стоимостных характеристик замещаемой и замещающей технологий, которые не внесены в схему отдельными блоками лишь в целях облегчения визуального восприятия основной идеи метода.

Используем упрощенный вариант метода сценарного анализа для оценки экологического эффекта от диффузии автомобильных технологий на примере российских регионов с наиболее интенсивными выбросами от автомобильного автотранспорта.

Согласно статистическим данным, приведенным в Государственном докладе «О состоянии и об охране окружающей среды в Российской Федерации в 2014 году»[2], наибольшее количество выбросов от автомобильного транспорта на душу населения отмечается в регионах, представленных на рис. 2, а наибольшее количество выбросов на единицу ВРП – в регионах, представленных на рис. 3.

Такие регионы, как Псковская и Орловская области можно считать наиболее подверженными негативному экологическому воздействию автотранспорта, а потому наиболее вероятными претендентами на диффузию новых автотранспортных технологий.

В качестве примера использования упрощенного метода сценарного анализа проведем расчеты для Псковской области.

Предположим, что стимулирующая политика органов региональной власти направлена на замену личного автотранспорта населения на

[2] Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды в Российской Федерации в 2014 году». URL: http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1101

электромобили, и ее интенсивность позволяет достичь полной замены личного автопарка населения в краткосрочной перспективе. Тогда динамику уровня автомобилизации населения (стрелки 4 и 5 на рис. 1), динамику совершенствования технологий (как автотранспортных, так и технологий генерации электроэнергии, стрелки 3, 9, 10 на рис. 1) и динамику диффузии электромобильной технологии (уровень проникновения автомобилей, стрелки 6, 10 на рис. 1) при расчетах можно не учитывать. Остальные количественные оценки параметров, учитываемых при расчете экологического эффекта от полной диффузии электромобильной технологии в секторе личного автотранспорта, представлены в табл. 1.

Результаты расчетов экологического эффекта, выполненные в указанных предположениях, представлены в табл. 2.

Предположим также, что региональная политика властей направлена на стимулирование развития возобновляемой энергетики и удовлетворение растущего спроса на электроэнергию за счет развития ветровой или солнечной генерации. Тогда оценка чистого экологического эффекта, достигаемого при полной диффузии инновационной автотранспортной технологии (электромобилей), увеличится на 0,4 т выбросов загрязняющих веществ в год (сценарий 2). Такое увеличение представляется не очень существенным, однако при вовлечении в процесс смены технологий других секторов автотранспорта (например, автобусного, грузового) оно может расти.

Более сложные сценарии предполагают достаточно длительный срок диффузии инновационных автотранспортных технологий, при котором уже необходимо учитывать динамику изменения технических характеристик как технологии-заместителя, так и замещаемой технологии, а также рост общего уровня автомобилизации населения. При этом оценка кумулятивного чистого экологического эффекта может измениться по сравнению с полученной оценкой (табл. 2) в предположении «мгновенного» перехода на замещающую технологию. Изменится она в большую или меньшую сторону – зависит от того, у какой из двух конкурирующих технологий будет выше скорость усовершенствования, а также от того, какова будет скорость усовершенствования обеспечивающей технологии, которую в данном случае представляет технология электрогенерации, основанная на сжигании природного газа.

Таблица 1

Данные для проведения оценок экологических эффектов упрощенным методом сценарного анализа

Table 1

Source data for evaluating the ecological effects using the simplified scenario analysis method

Расчетный параметр	Количественная оценка
Средний пробег автомобиля, тыс. км в год	16,7
Уровень автомобилизации в Псковской области (количество автомобилей на 1 000 чел.), ед.	371,5
Уровень энергоэффективности автомобилей с двигателями внутреннего сгорания (из расчета средней возрастной структуры автомобильного парка), л/100 км	8
Уровень энергоэффективности электромобилей (по данным эксплуатационных характеристик Tesla Model S), кВт·ч/км	0,18
Удельные выбросы загрязняющих веществ легковым автотранспортом (из расчета структуры автомобильного парка и стандартов автомобильного топлива), г/км	23
Удельные выбросы загрязняющих веществ при электрогенерации, кВт·ч	0,37

Источник: рассчитано по данным аналитического агентства «Автостат»; Росстата; ОАО «ОГК-2» для Псковской ГРЭС

Source: Calculations based on the data of Avtostat analytical agency, Federal State Statistics Service, OAO OGK-2 for Pskov GRES Power Plant

Таблица 2

Количественные оценки основных эффектов диффузии электромобильной технологии в секторе личного автотранспорта (сценарий 1)

Table 2

Quantitative estimates of primary effects of diffusion of electric car technologies in the private transport sector (scenario 1)

Эффект диффузии технологии	Количественная оценка
Сокращение выбросов автотранспорта, т в год	143
Рост спроса на электроэнергию, млн кВт·ч в год	1,117
Увеличение выбросов от электрогенерации при сохранении структуры генерации, т в год	0,4
Чистый экологический эффект (сокращение выбросов), т в год	142,6

Источник: авторская разработка

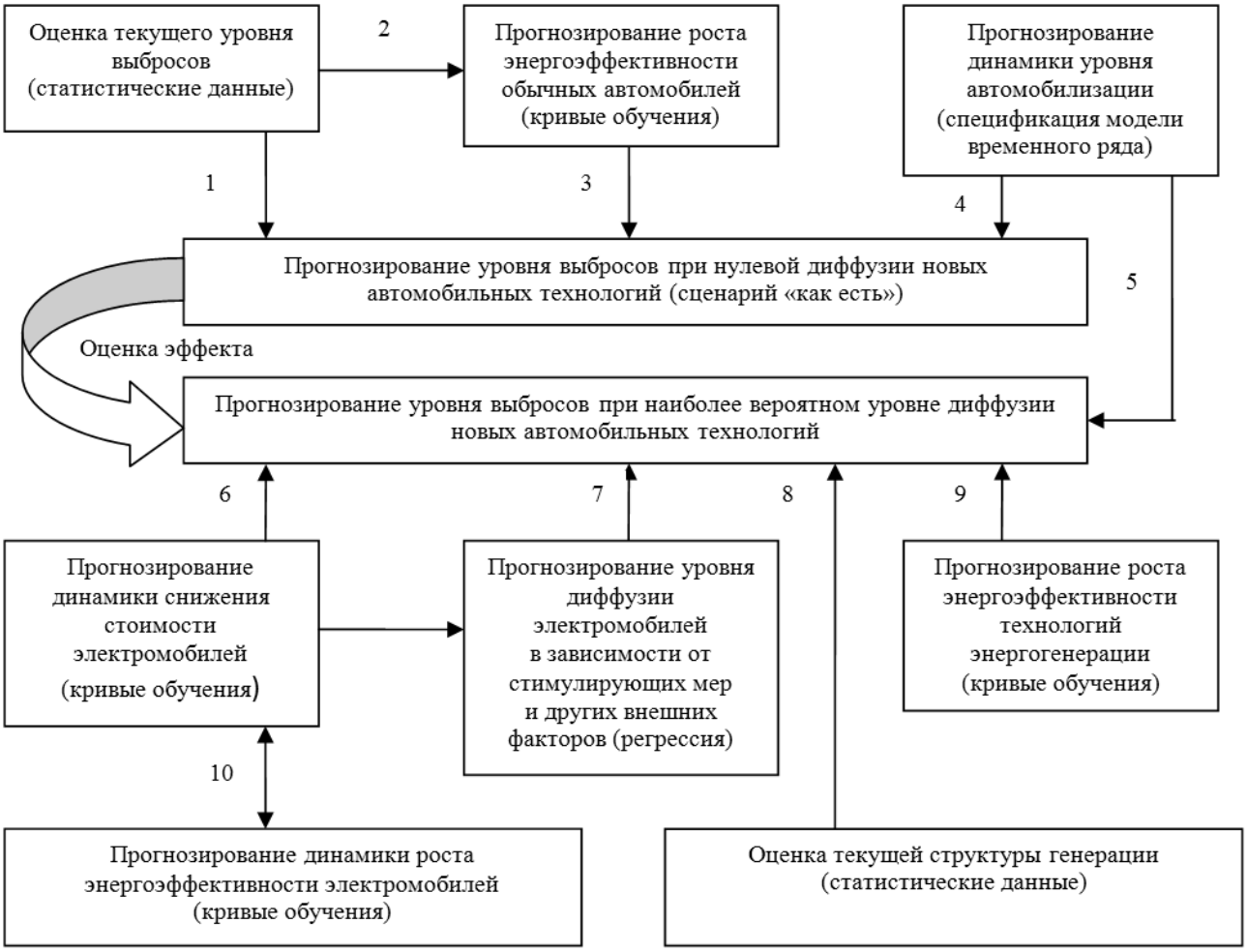
Source: Authoring

Рисунок 1

Схема применения сценарного анализа для оценки экологических эффектов диффузии новых автомобильных технологий (для электромобилей)

Figure 1

The application diagram for scenario analysis to evaluate the ecologic effects of diffusion of new automobile technologies (for electric cars)



Источник: авторская разработка

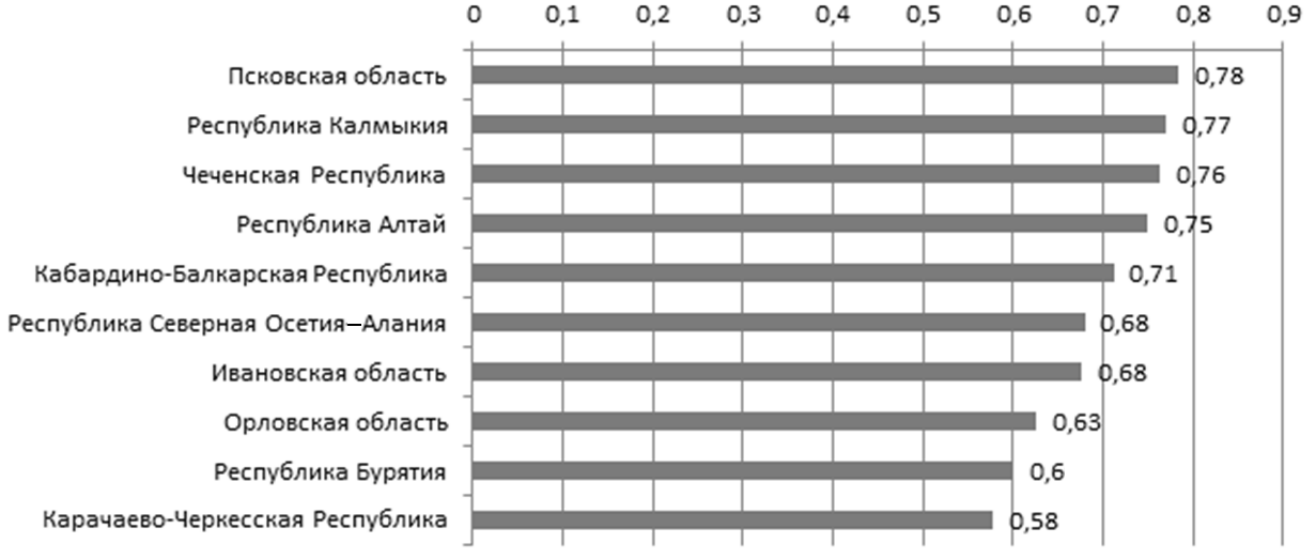
Source: Authoring

Рисунок 2

Регионы с наибольшим объемом выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта на единицу ВРП в 2014 г., т/млн руб.

Figure 2

Regions with the largest amount of pollutant emissions from motor transport per GRP unit in 2014, tonne per million RUB



Источник: авторская разработка

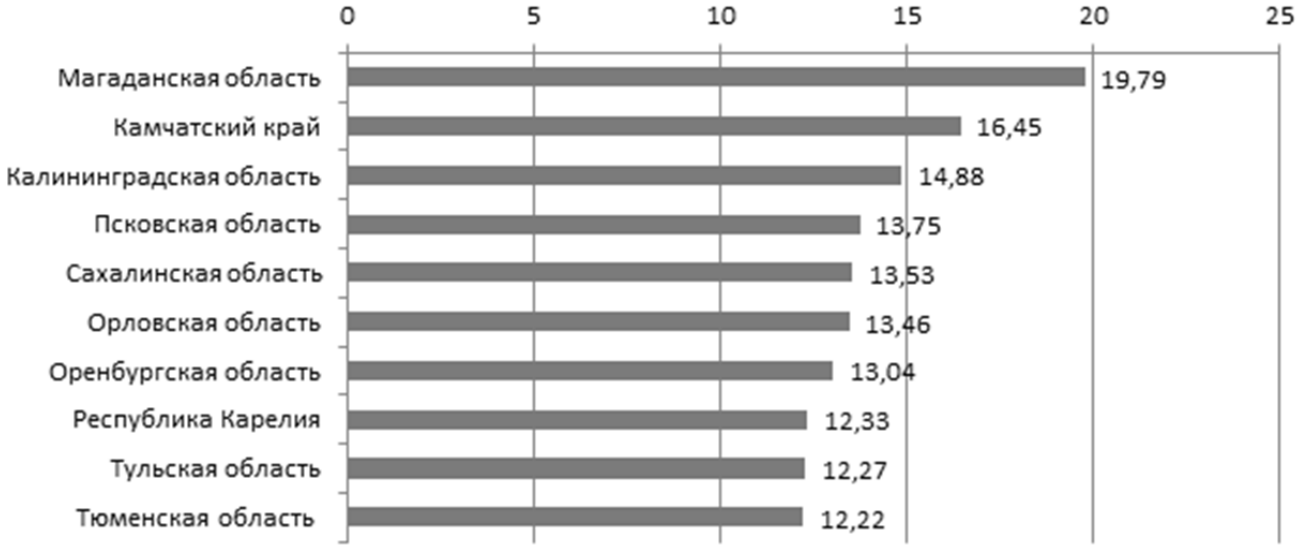
Source: Authoring

Рисунок 3

Регионы с наибольшим объемом выбросов загрязняющих веществ от автомобильного транспорта на душу населения в 2014 г., т/тыс. чел.

Figure 3

Regions with the largest amount of pollutant emissions from motor transport per capita in 2014, tonne per thousand people



Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Список литературы

1. *Rohrbeck R., Battistella C., Huizingh E.* Corporate Foresight: An emerging field with a rich tradition. *Technological Forecasting and Social Change*, 2015, vol. 101, pp. 1–9. doi: 10.1016/j.techfore.2015.11.002

2. *Воронина Л.А., Иванова Н.Е., Ратнер С.В.* Использование методологии «Форсайт» при разработке инновационной стратегии вуза: опыт Кубанского государственного университета // ЭКО. 2008. № 9. С. 133–140.

3. *Rout U.K., Blesl M., Fahl U., Emme U., Voß A.* Uncertainty in the Learning Rates of Energy Technologies: An experiment in a global multi-regional energy system model. *Energy Policy*, 2009, vol. 37, iss. 12, pp. 4927–4942. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2009.06.056

4. *Клочков В.В., Ратнер С.В.* Управление развитием «зеленых» технологий: экономические аспекты. М.: ИПУ РАН, 2013. 292 с.

5. *Weimer-Jehle W., Buchgeister J., Hauser W., Kosow H. et al.* Context Scenarios and Their Usage for the Construction of Socio-Technical Energy Scenarios. *Energy*, 2016, vol. 111, pp. 956–970. doi: 10.1016/j.energy.2016.05.073

6. *Guillaume J.H.A., Arshad M., Jakeman A.J., Jalava M., Kummu M.* Robust Discrimination Between Uncertain Management Alternatives by Iterative Reflection on Crossover Point Scenarios: Principles, Design and Implementations. *Environmental Modelling & Software*, 2016, vol. 83, pp. 326–343. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.04.005

7. *Offer G.J., Howey D., Contestabile M., Clague R., Brandon N.P.* Comparative Analysis of Battery Electric, Hydrogen Fuel Cell and Hybrid Vehicles in a Future Sustainable Road Transport System. *Energy Policy*, 2010, vol. 38, iss. 1, pp. 24–29. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2009.08.040

8. *Neij L.* Cost Dynamics of Wind Power. *Energy*, 1999, vol. 24, iss. 5, pp. 375–389.

9. *Cody G.D., Tiedje T.* A Learning Curve Approach to Projecting Cost and Performance for Photovoltaic Technologies. In: Proceedings of the First Conference on Future Generation Photovoltaic Technologies, Denver, CO, USA, 1997, vol. 404. doi: 10.1063/1.53464

10. *Ратнер С.В., Иосифов В.В.* Перспективы развития солнечной энергетики в России: стоимостной анализ // Вестник Уральского Федерального университета. Сер.: Экономика и управление. 2014. № 4. С. 52–62.

11. *Ратнер С.В.* Стоимостной анализ развития солнечной энергетики в мире и ее перспективы для России // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2014. № 3. С. 90–97.

12. *Doukas H., Karakosta C., Flamos A., Psarras J.* Foresight for Energy Policy: Techniques and Methods Employed in Greece. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy*, 2014, no. 9, pp. 109–119. doi: http://dx.doi.org/10.1080/15567241003735217

13. *David B., De Lattre-Gasquet M., Mathy S., Moncomble J.E., Rozenberg J.* Energy Foresight: The Possible, the Desirable and the Acceptable. *Futuribles: Analyse et Prospective*, 2014, no. 398, pp. 37–47.

14. *Proskuryakova L., Filippov S.* Energy Technology Foresight 2030 in Russia: An Outlook for Safer and More Efficient Energy Future. *Energy Procedia*, 2015, vol. 75, pp. 2798–2806. doi: 10.1016/j.egypro.2015.07.550

15. *Lundmark R., Pettersson F.* The Economics of Power Generation Technology Choice and Investment Timing in the Presence of Policy Uncertainly. *Low Carbon Economy*, 2012, vol. 3, no. 1, pp. 1–10. doi: 10.4236/lce.2012.31001

16. *Yang M., Blyth W., Bradley R., Bunn D., Clarke C., Wilson T.* Evaluating the Power Investment Options with Uncertainly in Climate Policy. *Energy Economics*, 2008, vol. 30, iss. 4, pp. 1933–1950. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2007.06.004

17. *Ратнер С.В.* Управление технологическим портфелем энергетической компании: сценарный подход // Управление большими системами. 2013. Вып. 45. URL: http://www.ipu.ru/de/taxonomy/term/17491?page=1/.

18. *Синяк Ю.В., Некрасов А.С., Воронина С.А., Семикашев В.В., Колпаков А.Ю.* Топливно-энергетический комплекс России: возможности и перспективы // Проблемы прогнозирования. 2013. № 1. С. 4–21.

19. *Собко А.* Нужно ли торопиться? К инициативам по внедрению ВИЭ в России. URL: https://www.nalin.ru/nuzhno-li-toropitsya-k-iniciativam-po-vnedreniyu-vie-v-rossii-1967/.

20. *Padey P., Blanc I., Le Boulch D., Xiusheng Z.* A Simplified Life Cycle Approach for Assessing Greenhouse Gas Emissions of Wind Electricity. *Journal of Industrial Ecology*, 2012, vol. 16, iss. S1, pp. S28–S38. doi: 10.1111/j.1530-9290.2012.00466.x

21. *Turconi R., Boldrin A., Astrup T.* Life Cycle Assessment (LCA) of Electricity Generation Technologies: Overview, Comparability and Limitations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, vol. 28, iss. C, pp. 555–565. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.013

22. *Raadal H.L., Vold B.I., Myhr A., Nygaard T.A*. GHG Emissions and Energy Performance of Offshore Wind Power. *Renewable Energy*, 2014, no. 66, pp. 314–324. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2013.11.075

23. *Chang Y., Huang R., Ries R.J., Masanet E.* Life-Cycle Comparison of Greenhouse Gas Emissions and Water Consumption for Coal and Shale Gas Fired Power Generation in China. *Energy*, 2015, vol. 86, pp. 335–343. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.04.034

24. *Kim H.C., Fthenakis V., Choi J.-K., Turney D.E.* Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Thin-film Photovoltaic Electricity Generation. Systematic Review and Harmonization. *Journal of Industrial Ecology*, 2012, vol. 16, iss. S1, pp. S110–S121. doi: 10.1111/j.1530-9290.2011.00423.x

25. *Thomas C.E.* Fuel Cell and Battery Electric Vehicles Compared. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2009, vol. 34, iss. 15, pp. 6005–6020. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.06.003

26. *Иосифов В.В., Ратнер С.В.* Анализ барьеров и перспектив развития инновационных технологий автомобильного транспорта // Инновации. 2016. № 4. С. 12–20.

27. *Burke A.F.* Batteries and Ultracapacitors for Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles. *Proceedings of the IEEE*, 2007, vol. 95, iss. 4, pp. 806–820. doi: 10.1109/JPROC.2007.892490

ISSN 2311-8725 (Online)
ISSN 2073-039X (Print)

Integrated Economic-Socio-Ecological Analysis

A SCENARIO ANALYSIS OF THE CO-DIRECTIONAL DEVELOPMENT OF INNOVATIVE TECHNOLOGY IN AUTOMOBILE TRANSPORT AND POWER GENERATION

Valerii V. IOSIFOV

Kuban State Technological University, Krasnodar, Russian Federation
iosifov_v@mail.ru

Article history:
Received 16 August 2016
Received in revised form
31 August 2016
Accepted 15 September 2016

JEL classification: O18, O33, Q42

Keywords: innovative automobile technologies, diffusion of innovative technologies, ecologic effects, forecasting, scenario analysis

Abstract

Subject The article considers methodological approaches to forecasting the economic and ecological effects of diffusion of innovative automobile transport technologies, i.e. electric cars and hydrogen-powered cars.

Methods I employ a scenario analysis. The forecast of changes in technical and economic parameters of primary and supporting technologies rests on learning curve models, the forecast of demand for new technologies – on time series, and the diffusion level of new technologies is determined by a variety of external factors, including the State policy. I propose several scenarios that further serve as a framework to forecast the economic and ecological effects of the technology replacement process subject to the impact of exogenous factors.

Results A simplified version of the scenario-based analysis has been tested in the Pskov oblast (a region with the highest indicators of air pollution by automobile transport per unit of GRP and per capita). I obtained quantitative estimation of pure ecological effect for the case of full diffusion of the electric car technology in the private transport sector.

Conclusions The quantitative estimations of decreasing pollution after complete replacement of private cars by electric ones prove the invalidity of concerns that positive ecological effect of new automobile technologies introduction is completely smoothed over by increased negative ecological effects at other stages of the life cycle. The increase in demand for electricity caused by the transition to new automobile technologies has been insignificant in the pilot region, and could be compensated for by increasing the use factor of existing power-generating capacities.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2016

Acknowledgments

The article was supported by the Russian Foundation for Basic Research, project No. 15-06-06360_a *Modeling the Impact of Changed Technological Modes in Power Industry on the Russian Economy and Optimizing the Strategy of Its Adaptation*.

References

1. Rohrbeck R., Battistella C., Huizingh E. Corporate Foresight: An emerging field with a rich tradition. *Technological Forecasting and Social Change*, 2015, vol. 101, pp. 1–9. doi: 10.1016/j.techfore.2015.11.002

2. Voronina L.A., Ivanova N.E., Ratner S.V. [Using the foresight methodology when developing the innovation strategy of the higher school: The Kuban State University case]. *EKO = ECO*, 2008, no. 9, pp. 133–140. (In Russ.)

3. Rout U.K., Blesl M., Fahl U., Emme U., Voß A. Uncertainty in the Learning Rates of Energy Technologies: An experiment in a global multi-regional energy system model. *Energy Policy*, 2009, vol. 37, iss. 11, pp. 4927–4942. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2009.06.056

4. Klochkov V.V., Ratner S.V. *Upravlenie razvitiem "zelenykh" tekhnologii: ekonomicheskie aspekty* [Managing the development of green technologies: Economic aspects]. Moscow, Institute of Control Sciences of RAS Publ., 2013, 292 p.

5. Weimer-Jehle W., Buchgeister J., Hauser W., Kosow H. et al. Context Scenarios and Their Usage for the Construction of Socio-Technical Energy Scenarios. *Energy*, 2016, vol. 111, pp. 956–970. doi: 10.1016/j.energy.2016.05.073

6. Guillaume J.H.A., Arshad M., Jakeman A.J., Jalava M., Kummu M. Robust Discrimination Between Uncertain Management Alternatives by Iterative Reflection on Crossover Point Scenarios: Principles,

Design and Implementations. *Environmental Modelling & Software*, 2016, vol. 83, pp. 326–343. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.04.005

7. Offer G.J., Howey D., Contestabile M., Clague R., Brandon N.P. Comparative Analysis of Battery Electric, Hydrogen Fuel Cell and Hybrid Vehicles in a Future Sustainable Road Transport System. *Energy Policy*, 2010, vol. 38, iss. 1, pp. 24–29. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2009.08.040

8. Neij L. Cost Dynamics of Wind Power. *Energy*, 1999, vol. 24, iss. 5, pp. 375–389.

9. Cody G.D., Tiedje T. A Learning Curve Approach to Projecting Cost and Performance for Photovoltaic Technologies. In: Proceedings of the First Conference on Future Generation Photovoltaic Technologies, Denver, CO, USA, 1997, vol. 404. doi: 10.1063/1.53464

10. Ratner S.V., Iosifov V.V. [Prospects for solar energy development in Russia: Cost analysis]. *Vestnik Ural'skogo Federal'nogo universiteta. Seriya: Ekonomika i upravlenie = Bulletin of Ural Federal University. Series Economics and Management*, 2014, no. 4, pp. 52–62. (In Russ.)

11. Ratner S.V. [Cost analysis of solar energy development in the world and its prospects for Russia]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta = Saint-Petersburg State Polytechnic University Journal. Economics*, 2014, no. 3, pp. 90–97. (In Russ.)

12. Doukas H., Karakosta C., Flamos A., Psarras J. Foresight for Energy Policy: Techniques and Methods Employed in Greece. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy*, 2014, no. 9, pp. 109–119. doi: http://dx.doi.org/10.1080/15567241003735217

13. David B., De Lattre-Gasquet M., Mathy S., Moncomble J.E., Rozenberg J. Energy Foresight: The Possible, the Desirable and the Acceptable. *Futuribles: Analyse et Prospective*, 2014, no. 398, pp. 37–47.

14. Proskuryakova L., Filippov S. Energy Technology Foresight 2030 in Russia: An Outlook for Safer and More Efficient Energy Future. *Energy Procedia*, 2015, vol. 75, pp. 2798–2806. doi: 10.1016/j.egypro.2015.07.550

15. Lundmark R., Pettersson F. The Economics of Power Generation Technology Choice and Investment Timing in the Presence of Policy Uncertainly. *Low Carbon Economy*, 2012, vol. 3, no. 1, pp. 1–10. doi: 10.4236/lce.2012.31001

16. Yang M., Blyth W., Bradley R., Bunn D., Clarke C., Wilson T. Evaluating the Power Investment Options with Uncertainly in Climate Policy. *Energy Economics*, 2008, vol. 30, iss. 4, pp. 1933–1950. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2007.06.004

17. Ratner S.V. [Managing the technology portfolio of the energy company: scenario approach]. *Upravlenie bol'shimi sistemami*, 2013, vol. 45. (In Russ.) Available at: http://www.ipu.ru/de/taxonomy/term/17491?page=1/.

18. Sinyak Yu.V., Nekrasov A.S., Voronina S.A., Semikashev V.V., Kolpakov A.Yu. [Fuel and energy complex of Russia: Opportunities and prospects]. *Problemy prognozirovaniya = Problems of Forecasting*, 2013, no. 1, pp. 4–21. (In Russ.)

19. Sobko A. *Nuzhno li toropit'sya? K initsiativam po vnedreniyu VIE v Rossii* [Do we need to hurry? On initiatives to introduce renewables in Russia]. Available at: https://www.nalin.ru/nuzhno-li-toropitsya-k-iniciativam-po-vnedreniyu-vie-v-rossii-1967. (In Russ.)

20. Padey P., Blanc I., Le Boulch D., Xiusheng Z. A Simplified Life Cycle Approach for Assessing Greenhouse Gas Emissions of Wind Electricity. *Journal of Industrial Ecology*, 2012, vol. 16, iss. S1, pp. S28–S38. doi: 10.1111/j.1530-9290.2012.00466.x

21. Turconi R., Boldrin A., Astrup T. Life Cycle Assessment (LCA) of Electricity Generation Technologies: Overview, Comparability and Limitations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, vol. 28, iss. C, pp. 555–565. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.013

22. Raadal H.L., Vold B.I., Myhr A., Nygaard T.A. GHG Emissions and Energy Performance of Offshore Wind Power. *Renewable Energy*, 2014, no. 66, pp. 314–324. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2013.11.075

23. Chang Y., Huang R., Ries R.J., Masanet E. Life-cycle Comparison of Greenhouse Gas Emissions and Water Consumption for Coal and Shale Gas Fired Power Generation in China. *Energy*, 2015, vol. 86, pp. 335–343. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.04.034

24. Kim H.C., Fthenakis V., Choi J.-K., Turney D.E. Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Thin-film Photovoltaic Electricity Generation. Systematic Review and Harmonization. *Journal of Industrial Ecology*, 2012, vol. 16, iss. s1, pp. S110–S121. doi: 10.1111/j.1530-9290.2011.00423.x

25. Thomas C.E. Fuel Cell and Battery Electric Vehicles Compared. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2009, vol. 34, iss. 15, pp. 6005–6020. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.06.003

26. Iosifov V.V., Ratner S.V. [Analysis of barriers and development prospects for motor transport innovative technologies]. *Innovatsii = Innovation*, 2016, no. 4, pp. 12–20. (In Russ.)

27. Burke A.F. Batteries and Ultracapacitors for Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles. *Proceedings of the IEEE*, 2007, vol. 95, iss. 4, pp. 806–820. doi: 10.1109/JPROC.2007.892490