

DOI: 10.18721/JE.11416
УДК 004.94:620.9

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНКУРИРУЮЩИХ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НАЗЕМНОГО АВТОТРАНСПОРТА ПО ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

С.В. Ратнер¹, В.В. Иосифов²

¹ Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
г. Москва, Российская Федерация

² Кубанский государственный технологический университет,
г. Краснодар, Российская Федерация

В последние годы в научной литературе активно дискутируется проблема выбора альтернативных моделей развития современных наземных транспортных систем, соответствующих как растущим экологическим требованиям, так и критериям коммерческой целесообразности. Цель данного исследования – проведение сравнительного анализа наиболее зрелых конкурирующих технологий автомобильного транспорта – электромобилей, автомобилей, работающих на компрессированном природном газе, и автомобилей, использующих чистый биодизель в качестве топлива, одновременно как по экономическим (полная стоимость владения и эксплуатации), так и по экологическим критериям (выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в CO₂-эквиваленте). Предложен подход к прогнозированию изменения комплексного показателя эколого-экономической эффективности в динамике для каждой пары сравниваемых альтернатив. Стоимостные параметры каждой конкурирующей технологии рассчитаны с привязкой к рынку топлива США как одному из наиболее диверсифицированных в мире. Моделирование показало, что наиболее предпочтительной альтернативой традиционному бензиновому автомобилю по комплексному показателю эколого-экономической эффективности, рассчитанному на основе методологии анализа жизненного цикла без учета этапа утилизации автомобиля, является электромобиль. Второй по предпочтительности альтернативой бензиновому автомобилю является автомобиль, работающий на чистом биодизеле. Автомобиль на природном газе как альтернатива традиционному бензиновому варианту становится более предпочтительным примерно с четвертого года эксплуатации. Результаты исследования могут быть использованы в процессе разработки различных государственных программ стимулирования развития того или иного вида транспортных средств, в том числе при расчете величины требуемых налоговых льгот или налоговых дестимуляторов. Особенностью исследования является учет выбросов загрязняющих веществ на всех стадиях жизненного цикла – «от колыбели до колеса», т. е. всех выбросов в атмосферу, которые были произведены непосредственно до эксплуатационного периода. Такой учет негативных экологических эффектов особенно важен в том случае, когда автомобильное топливо производится на той же территории (в пределах той же страны или региона), где и потребляется.

Ключевые слова: инновации, наземный транспорт, электромобили, биодизель, анализ жизненного цикла

Ссылка при цитировании: Ратнер С.В., Иосифов В.В. Сравнительный анализ конкурирующих инновационных технологий наземного автотранспорта по эколого-экономическим показателям // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2018. Т. 11, № 4. С. 212–221. DOI: 10.18721/JE.11416

COMPARATIVE ANALYSIS OF COMPETING INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF LAND VEHICLES WITH RESPECT TO ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC INDICATORS

S.V. Ratner¹, V.V. Iosifov²

¹ V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russian Federation

² Kuban State Technological University, Krasnodar, Russian Federation

Currently, academic and specialized analytical literature is actively discussing the problem of choosing alternative models for the developing modern land transport systems that would satisfy both the growing environmental requirements and the commercial feasibility criteria. The goal of this paper is to perform a comparative analysis of the best-developed competing technologies of road transport, such as electric vehicles, cars operating on compressed natural gas, and cars using pure biodiesel as fuel, both by economic (full cost of ownership and operation) and environmental criteria (emissions of pollutants into the atmosphere in the CO₂ equivalent). The paper suggests an approach to forecasting the change in the complex index of environmental and economic efficiency in dynamics for each pair of compared alternatives. The cost parameters of each competing technology are calculated with reference to the US fuel market as one of the most diversified in the world. The simulation showed that the most preferable alternative to the traditional gasoline car based on the integrated indicator of environmental and economic efficiency is an electric vehicle. The second most preferable alternative to a gasoline car is a car running on pure biodiesel. A car with natural gas as an alternative to the traditional gasoline version becomes more preferable from about the fourth year of operation. The results of the work can be used in the process of developing various state policies to stimulate the development of a particular type of vehicle, including the calculation of the required tax incentives or disincentives. The peculiarity of the study is the calculation of pollutant emissions at all stages of the life cycle «from well to wheel», including all emissions to the atmosphere that were produced in upstream activities. Taking into account these negative environmental effects is especially important when car fuel is produced in the same territory (within the same country or region) where it is consumed.

Keywords: innovations, ground transportation, electric vehicles, biodiesel, life cycle analysis

Citation: S.V. Ratner, V.V. Iosifov, Comparative analysis of competing innovative technologies of land vehicles with respect to environmental and economic indicators, St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics, 11 (4) (2018) 212–221. DOI: 10.18721/JE.11416

Введение. В настоящее время в научной литературе активно дискутируется проблема выбора альтернативных моделей развития современных наземных транспортных систем, которые бы удовлетворяли как растущим экологическим требованиям, так и критериям коммерческой целесообразности. Среди конкурирующих технологических решений большинство ученых выделяют электромобили, различные модификации традиционных бензиновых автомобилей, способных использовать биотопливо (как в чистом виде, так и в виде смесей различного про-

центного содержания углеводов) или природный газ (компрессированный или сжиженный) и автомобили на топливных элементах [1–4]. При проведении сравнительного анализа конкурирующих технологий по экономическим параметрам чаще всего рассматриваются такие показатели, как стоимость владения автомобилем, стоимость эксплуатации автомобиля и те [5–6], которые, в общем случае, могут быть адекватно оценены только для промышленно освоенных технико-технологических решений, в то время как для концептуальных и эксклюзив-

ных моделей могут пока только прогнозироваться [7]. Сравнительный анализ технологий по экологическим критериям в зарубежной научной литературе в последние годы все чаще проводится с использованием методологии анализа жизненного цикла (Life Cycle Analysis) в соответствии с международными стандартами ISO 14040–14043 [8–10]. Преимуществом данного подхода является полный учет всех негативных экологических эффектов, которые производятся не только при эксплуатации автомобиля, но и при производстве топлива, необходимого для его эксплуатации, а также при производстве самого автомобиля, включая стадии добычи первичного сырья и материалов, производства и транспортировки компонентов, сборки и доставки готовой продукции до потребителя. Однако такой подход имеет значительные сложности в практическом применении, обусловленные нехваткой подтвержденных статистических данных о негативных экологических эффектах, производимых на всех этапах жизненного цикла автомобиля, и может быть применен только для относительно зрелых технологий производства топлива. Совмещение указанных двух подходов в одном и решение задачи сравнительного анализа конкурирующих технологий по экологическим и экономическим критериям является еще более сложной задачей, поэтому подобные исследования пока являются единичными и, как правило, ограничены сравнением двух-трех альтернатив [11–12].

Цель данного исследования – проведение сравнительного анализа наиболее зрелых конкурирующих технологий автомобильного транспорта – электромобилей, автомобилей, работающих на компрессированном природном газе, и автомобилей, использующих чистый биодизель в качестве топлива, одновременно как по экономическим (полная стоимость владения и эксплуатации), так и по экологическим критериям (выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в CO_2 -эквиваленте). Базовой технологией для сравнения является обычный бензиновый автомобиль наиболее высокого класса энергоэффективности.

Методика исследования. Информационной базой исследования послужили аналитические и научно-исследовательские отчеты Аргоннской национальной лаборатории

(США) (<http://www.anl.gov>) и Ассоциации по анализу жизненного цикла (США) (<http://www.lifecycleassociates.com>), которые в настоящее время являются одними из ведущих исследовательских организаций мира, осуществляющих разработку моделей оценки жизненного цикла топлива, а также данные исследований научных подразделений Департамента энергетики США, занимающихся проблемами разработки и коммерциализации альтернативных видов топлива, в частности Alternative Fuels Data Center (<https://www.afdc.energy.gov>). Данные о стоимостных характеристиках автомобилей собраны с сайтов крупнейших автомобильных дилеров США (<https://usautosales.info>). Привязка к рынку США обусловлена тем фактом, что рынок автомобильного топлива в этой стране является одним из наиболее диверсифицированных [1, 7, 11]. На протяжении последнего десятилетия США являются крупнейшим в мире производителем биотоплива, основная часть которого идет на внутреннее потребление (рис. 1).

Кроме нескольких видов биотоплива (этанол, биодизель и их смеси с обычным бензином в различных процентных соотношениях) на рынке США уже в течение достаточно длительного периода времени представлены такие виды альтернативного топлива, как компрессионный природный газ (КПГ) и электричество (для электромобилей) [1, 6], что позволяет проводить сравнительные оценки их стоимостных характеристик (рис. 2).

Оценки экологических параметров альтернативных видов топлива, полученные нами по всему жизненному циклу на основе метаанализа данных,¹ включающего этапы валидации данных, их гармонизации (перевод в одни и те же единицы измерения, выполненные в одинаковых условиях и обладающие свойствами прецизионности) и первичного статистического анализа, представлены в табл. 1.

¹ ГОСТ Р ИСО 14041–2000. Управление окружающей средой. Оценка жизненного цикла. Определение цели, области исследования и инвентаризационный анализ. Госстандарт России. М., 2000. 21 с.; ГОСТ Р ИСО 14042–2001. Управление окружающей средой. Оценка жизненного цикла. Оценка воздействия жизненного цикла. М.: Госстандарт России, 2001. 16 с.

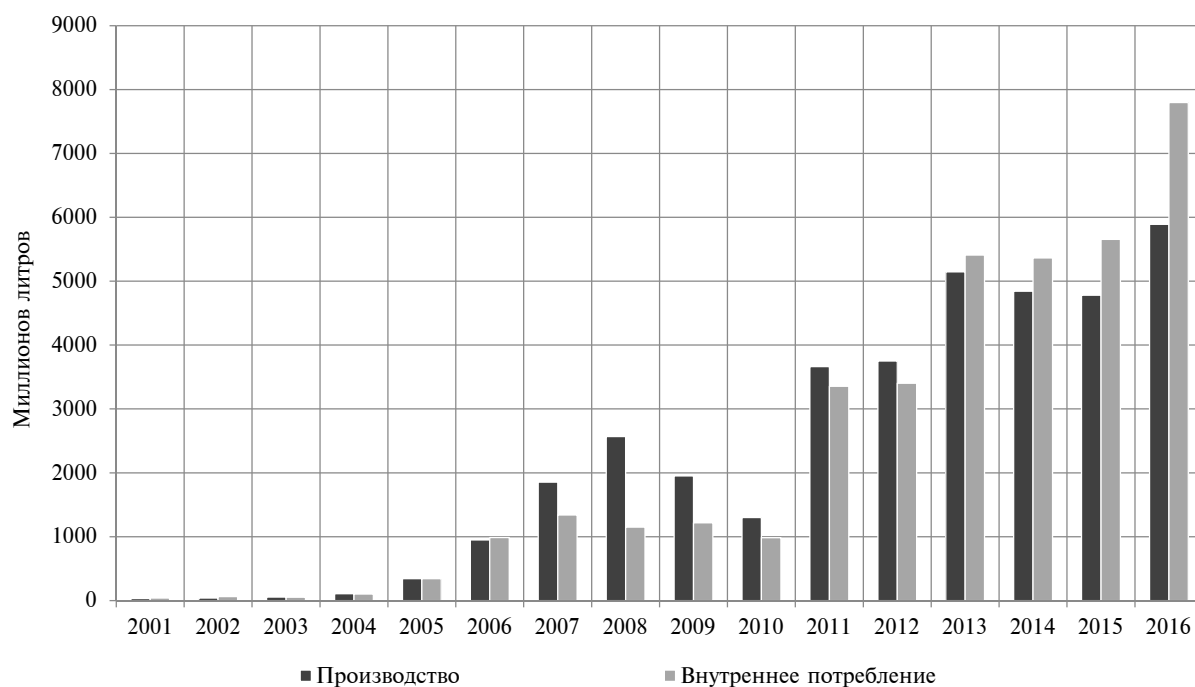


Рис. 1. Динамика производства и потребления биотоплива в США

И с т о ч н и к . Составлено авторами по данным Департамента энергетики США (<https://www.afdc.energy.gov>)

Fig. 1. Dynamics of production and consumption of biofuel in the USA

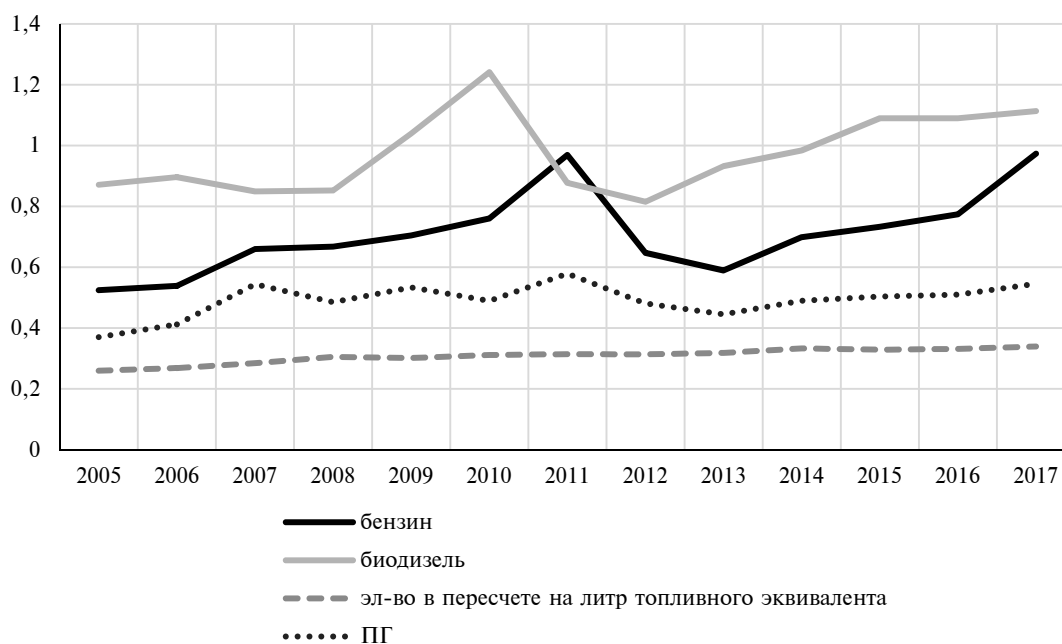


Рис. 2. Динамика цены (в долл. США) на бензин, биодизель, компрессионный природный газ и электричество (в пересчете на бензиновый эквивалент топливной эффективности) в США в период 2005–2017 гг.

И с т о ч н и к . <https://www.afdc.energy.gov> (пересчет авторов)

Fig. 2. The dynamics of the price (in US dollars) for gasoline, biodiesel, compressed natural gas and electricity (in terms of gasoline equivalents of fuel efficiency) in the United States in 2005-2017.

Результаты метаанализа данных по стоимостным характеристикам автомобилей, работающих с различными видами топлива на американском рынке, приведены в табл. 2.

Далее нами проводились расчеты кумулятивной стоимости владения и эксплуатации каждого вида автомобиля в динамике на временном горизонте 10 лет в предположении о сохранении текущего уровня цен на все виды топлива и что средний годовой пробег составляет 17 тыс. км [11]. Сравнение кумулятивной стоимости различных типов автомобилей в зависимости от срока эксплуатации проводилось попарно в процентном соотношении. Также попарно проводилось сравнение кумулятивных выбросов за

весь жизненный цикл различных типов автомобилей.

Результаты исследования. Результаты сравнительного анализа экономических параметров конкурирующих топливных альтернатив для автомобильного транспорта классов А – С представлены на рис. 3. Для легкого прочтения представленной информации необходимо внести некоторые пояснения: расположение кривой разницы кумулятивной стоимости двух альтернатив в положительной зоне означает, что первая из сравниваемых альтернатив является более дешевой. Выход кривой в отрицательную полуплоскость означает, что вторая из сравниваемых альтернатив является более дешевой.

Таблица 1

Выбросы парниковых газов по всему жизненному циклу альтернативных видов топлива в пересчете на CO₂-эквивалент, приведенные к единице топливной эффективности на 1 км пробега

Emissions of greenhouse gases throughout the life cycle of alternative fuels in terms of CO₂-equivalent, reduced to a unit of fuel efficiency per 1 km of run

Вид топлива	Выбросы парниковых газов, г/км				
	Минимальное значение	Максимальное значение	Среднее значение	Количество источников данных	Выбросы на этапе эксплуатации
Бензин	245	299	275	8	217 ²
Природный газ	218	279	242	4	152 ³
Биодизель	154	188	173	6	130 ⁴
Электричество	104	176	122	4	0

Источники: <https://www.afdc.energy.gov>. Пересчет в единые единицы измерения и дополнительные оценки выполнены авторами.

Таблица 2

Стоимость автомобилей с разными типами двигателей (средневзвешенные значения, долл. США)

The cost of cars with different types of engines (weighted average values, USD)

Класс автомобиля	Стоимость бензинового автомобиля	Стоимость адаптированного к биодизелю автомобиля	Стоимость адаптированного к КПП автомобиля	Стоимость электромобиля
A-C	13 000	14 300	14 100	23 500
D-E	22 500	24 750	23 800	32 500
F, S, M	40 000	45 000	41 500	79 500

² Использована оценка для автомобилей с наиболее высокой топливной эффективностью и классом экологичности.

³ Оценка рассчитана на основе данных [13].

⁴ Оценка рассчитана на основе данных [14].

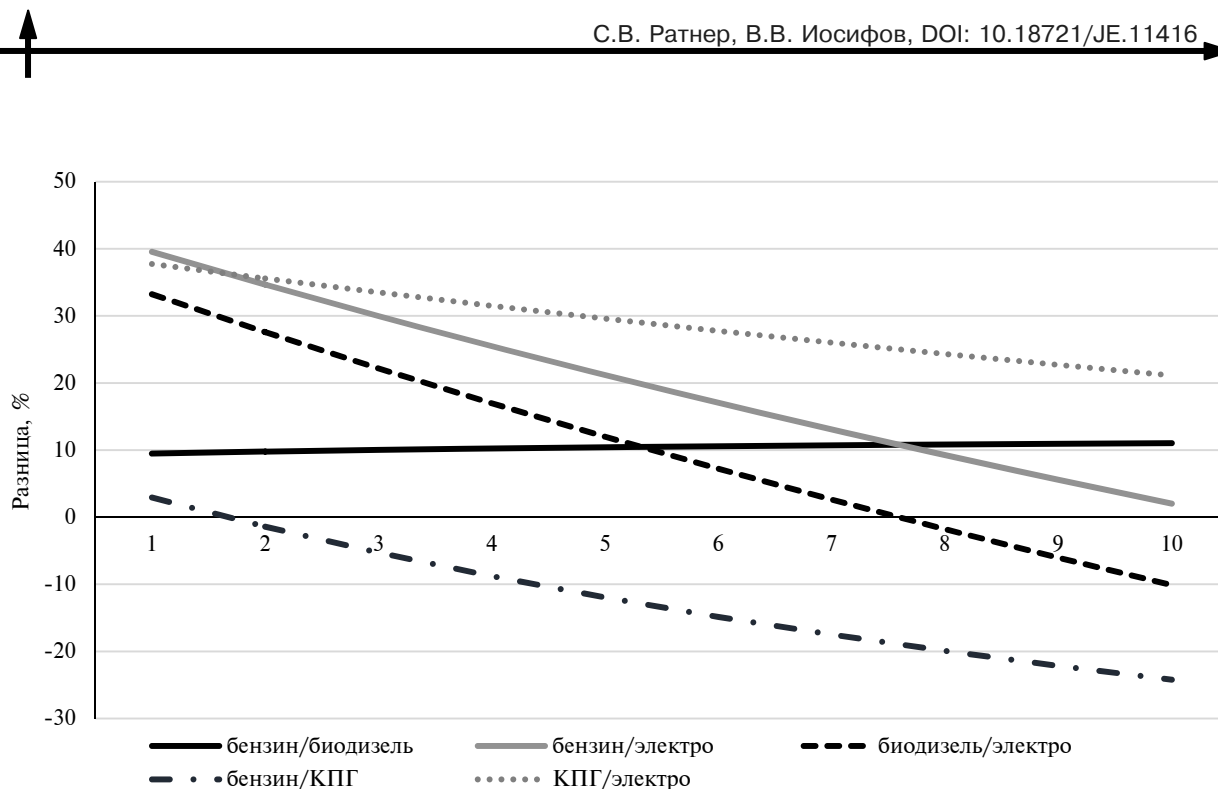


Рис. 3. Разница кумулятивной стоимости владения и эксплуатации различных типов автомобилей в динамике на временном горизонте 10 лет

Источник. Расчеты авторов.

Fig. 3. The difference in the cumulative cost of ownership and operation of different types of vehicles in the dynamics with a time horizon of 10 years

Анализируя полученные результаты расчетов, нетрудно заметить, что дизельный автомобиль, модернизированный для использования чистого биодизеля (B100) в качестве топлива, сравнивается по кумулятивной стоимости владения и эксплуатации с бензиновым примерно на восьмом году эксплуатации, а электромобиль вплотную приблизится к бензиновому по данному показателю к десятому году эксплуатации. При этом на первых годах эксплуатации транспортного средства разница между бензиновым автомобилем и электромобилем по кумулятивной стоимости является наиболее существенной (30–40 %) и снижается медленнее, чем разница между биодизельным и электромобилем. Разница в кумулятивной стоимости бензинового и биодизельного автомобилей является стабильной на протяжении всего временного горизонта расчетов и составляет примерно 10 %. Наиболее экономичной альтернативой бензиновому автомобилю является автомобиль на КПГ. Его кумулятивная стоимость является самой низкой на всем временном горизонте прогнозирования: уже на первом году эксплуатации разница между кумулятивной стоимостью бензинового автомобиля и автомобиля на КПГ составляет

около 8 %, к концу периода прогнозирования она составляет уже более 23 %.

Результаты сравнительного анализа экологических параметров конкурирующих типов автомобилей классов А – С показали, что разница между выбросами по всему жизненному циклу бензинового автомобиля и электромобиля составляет 125 % (в пользу электромобиля); разница между бензиновым и биодизельным автомобилями составляет почти 59 %; разница между бензиновым автомобилем и автомобилем на КПГ составляет чуть более 13,5 %; разница между биодизельным и автомобилем на КПГ составляет почти 40 % (в пользу первого); разница между электромобилем и автомобилем на КПГ составляет 98,3 %.

Далее рассмотрим следующий комплексный показатель, отражающий различия в экологических и стоимостных характеристиках конкурирующих автотранспортных альтернатив одновременно и представляющий собой простейшую аддитивную свертку:

$$Dif_{ij} = \frac{Dif_{Ecol_{ij}} + Dif_{Econ_{ij}}}{2},$$

где $Dif_{Ecol_{ij}}$ – рассчитанные ранее различия (в процентах) между выбросами по всему жиз-

ненному циклу i -й и j -й транспортной альтернатив; Dif_Econ_{ij} – представленные на рис. 3 разницы (в процентах) между кумулятивной стоимостью i -й и j -й транспортной альтернатив.

Динамика показателей Dif_{ij} для каждой пары конкурирующих технологий в зависимости от срока эксплуатации автомобиля представлена на рис. 4. Как и на предыдущем рисунке, если кривая комплексной эколого-экономической эффективности находится в положительной полуплоскости, это означает, что первая из сравниваемых альтернатив является более предпочтительной. И наоборот, расположение кривой в нижней полуплоскости означает, что вторая из сравниваемых альтернатив является более предпочтительной по комплексному показателю эколого-экономической эффективности.

Как видим из результатов, представленных на рис. 4, наиболее предпочтительной альтернативой традиционному бензиновому автомобилю по комплексному показателю эколого-экономической эффективности, рассчитанному на основе методологии анализа жизненного цикла без учета этапа утилизации автомобиля, является электромобиль. Разница в показателях комплексной эколого-экономической эффективности этих двух альтернатив с первого года эксплуатации составляет более 40 % в пользу электромобиля, а к концу десятилетне-

го период эксплуатации составляет уже более 60 %. Второй по предпочтительности альтернативой бензиновому автомобилю является автомобиль, работающий на чистом биодизеле: с самого начала эксплуатации и до конца изучаемого временного горизонта разница между ними составляет 23–25 % в пользу биодизельного автомобиля. Что касается автомобиля на природном газе как альтернативы традиционному бензиновому варианту, то он становится более предпочтительным примерно с четвертого года эксплуатации, а к концу прогнозного периода эта разница составит почти 20 %. То есть в краткосрочном периоде (если ставится цель резко снизить негативное воздействие автотранспорта на окружающую среду без существенного роста кумулятивной стоимости владения и эксплуатации транспортного средства) биодизельные автомобили являются более предпочтительной альтернативой бензиновым, нежели автомобили на КПГ. Однако в долгосрочном периоде (более четырех лет) автомобили на КПГ становятся предпочтительнее по комплексному показателю эколого-экономической эффективности. Этот вывод хорошо иллюстрирует кривая, отмеченная на рис. 4 черной сплошной линией и представляющая собой изменение разницы в комплексной эколого-экономической эффективности между автомобилями на КПГ и биодизельными автомобилями.

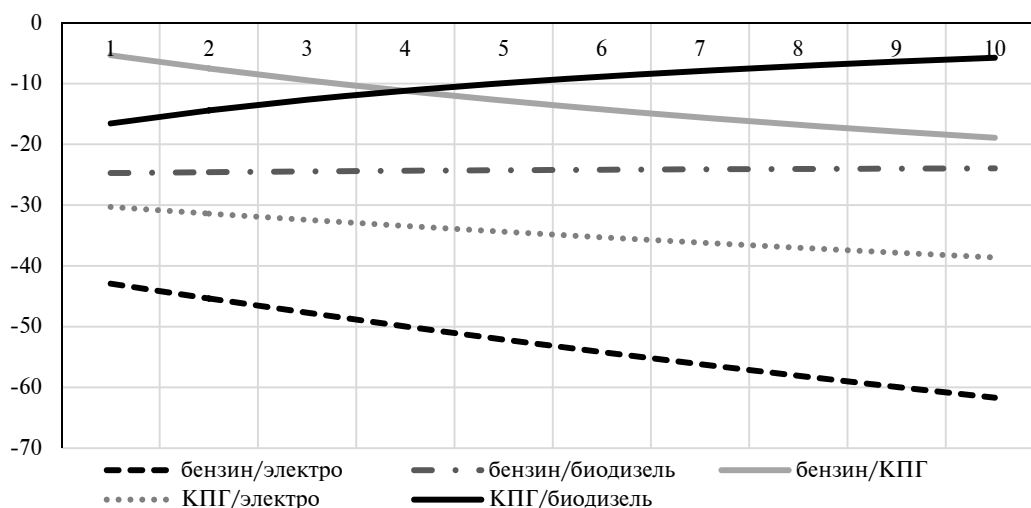


Рис. 4. Динамика комплексных показателей эколого-экономической эффективности конкурирующих автотранспортных технологий на временном горизонте 10 лет

Источник. Расчеты авторов.

Fig. 4. Dynamics of complex indicators of environmental and economic efficiency of competing motor transport technologies with a time horizon of 10 years

Аналогичные по рейтингу предпочтительности и по динамике комплексной эколого-экономической эффективности результаты получены при расчетах для более высоких классов автомобилей. Так, для автомобилей классов D–E разница в комплексной эколого-экономической эффективности между бензиновым автомобилем и электромобилем в первый год эксплуатации составила почти 49 % (в пользу второго), а к концу прогнозного периода – уже почти 62 %. Разница между бензиновым и биодизельным автомобилями на всем периоде моделирования оставалась примерно на уровне 24 % (в пользу второго), а разница между бензиновым автомобилем и автомобилем на КПП выросла от 5 до 15 % в пользу второго. Для автомобилей классов F, S, M разница в комплексной эколого-экономической эффективности между бензиновым автомобилем и электромобилем в первый год эксплуатации составила 39 % (в пользу второго), а к концу прогнозного периода – 45 %. Разница между бензиновым и биодизельным автомобилями оставалась примерно на уровне 23 % (в пользу второго) в течение всех 10 лет эксплуатации, а разница между бензиновым автомобилем и автомобилем на КПП выросла от 6 % на первом году эксплуатации до 11 % к концу десятилетнего периода в пользу второго.

Выводы. Предложенный подход и полученные результаты имеют ряд несколько достаточно очевидных практических приложений.

Во-первых, они могут быть использованы в процессе разработки различных государственных программ стимулирования развития того или иного вида транспортных средств, в том числе, расчета налоговых льгот или налоговых дестимуляторов [15, 16]. Для этого величина налоговых стимуляторов должна компенсировать (полностью или частично) разницу в кумулятивной стоимости владения и эксплуатации альтернативного транспортного средства.

Во-вторых, полученные результаты позволяют спрогнозировать общий ожидаемый экологический эффект от вводимых (или находящихся в процессе разработки) стимулирующих мер. Важно отметить, что в отличие от большинства исследований, в которых рассматривается возможность снижения выбросов на этапе эксплуатации транспортного

средства, наше исследование учитывает выбросы загрязняющих веществ на всех стадиях жизненного цикла «от колыбели до колеса», т. е. все выбросы в атмосферу, которые были произведены непосредственно до эксплуатационного периода. Такой учет негативных экологических эффектов особенно важен в том случае, когда автомобильное топливо производится на той же территории (в пределах той же страны или региона), где и потребляется.

Ограничения полученных результатов и направления дальнейших исследований. Разработанный показатель комплексной эколого-экономической эффективности хорошо иллюстрирует основные аспекты, определяющие жизнеспособность той или иной транспортной альтернативы – стоимость владения, стоимость эксплуатации (без учета ремонтных и профилактических работ) и выбросы парниковых газов в пересчете на CO₂-эквивалент. В то же время никак не отражается такой важный аспект, как доступность и стоимость заправочной инфраструктуры, который также оказывает существенное влияние на скорость распространения новых транспортных технологий [17]. Кроме того, негативное воздействие транспорта на окружающую среду по всему жизненному циклу не ограничивается только выбросом парниковых газов, но проявляется в выбросах и других загрязняющих веществ, токсичных для человека, животных и среды обитания в целом [18].

Учет данных параметров в показателях комплексной эколого-экономической эффективности является направлением дальнейших исследований. Также необходимо отметить, что использованные оценки выбросов различных транспортных альтернатив, полученные при помощи метаанализа данных, не могут быть использованы на достаточно длительных горизонтах прогнозирования, так как нуждаются в периодическом обновлении. Причиной этому является совершенствование производственных технологий, развитие новых технологий генерации электроэнергии и тех, которые приводят к изменению экологических параметров жизненного цикла рассмотренных транспортных альтернатив [19].

Что касается привязки проведенных расчетов к стоимостным параметрам рынка США, мы не считаем данный момент существенным ограничением предложенной методики, так как общий алгоритм моделирования и оценки предпочтительности транспортных альтернатив не нуждается в изменениях при

переходе к другой стоимостной ситуации, а полученные результаты легко могут быть обновлены с помощью простого пересчета.

Проект РФФИ № 17-06-00390 «Разработка моделей сонаправленного развития инновационных автотранспортных технологий и технологий электрогенерации».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Шехтман А.Ю. Тенденции развития конкурентных направлений автомобильной промышленности в мировом аспекте // Современные проблемы науки и образования: электронный научный журнал, 2015. №1. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=17880> (дата обращения: 13.06.2018).
- [2] IEA. Energy Technology Perspectives. International Energy Agency, Paris, France, 2016. P. 82.
- [3] Global EV Outlook 2016. Beyond one million electric cars. IEA. Paris, France. 2016. P. 61.
- [4] Nurhadi L., Borén S., Ny H., Larsson T. Competitiveness and sustainability effects of cars and their business models in Swedish small town regions // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 140. P. 333–348.
- [5] Александров И.К., Раков В.А. Ситуационный анализ освоения электрифицированного автомобильного транспорта // Экономический анализ: теория и практика. 2011. № 37. С. 2–6.
- [6] Иосифов В.В., Ратнер С.В. Анализ барьеров и перспектив развития инновационных технологий автомобильного транспорта // Инновации. 2016. № 4. С. 12–20.
- [7] Landbroek J.H.M., Franklin J.P., Susilo Y.O. The effect of policy incentives on electric vehicle adoption // Energy Policy. 2016. No. 94. P. 94–103.
- [8] Li B., Gao X., Li J., Yuan C. Life cycle environmental impact of high-capacity lithium ion battery with silicon nanowires anode for electric vehicles // Environmental Science Technology. 2014. No. 48(5). P. 3047–3055.
- [9] Shen W., Zhang B., Zhang Y., Wang X., Lu Q., Wang C. Research on life cycle energy consumption and environmental emissions of light-duty battery electric vehicles // Materials Science Forum, 2015. No. 814. P. 447–57.
- [10] Hawkins T., Gausen O., Stromman A. Environmental impacts of hybrid and electric vehicles—a review // The International Journal of Life Cycle Assessment. 2012. No. 17. P. 997–1014.
- [11] Ратнер С.В., Иосифов В.В. 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.
- [12] Голубева А.С., Магарил Е.Р. Экономическое стимулирование сокращения эмиссии CO2 автотранспортом // Вестник УрФУ. Серия «Экономика и управление». 2016. Т. 15, № 3. С. 359–381.
- [13] Веселов В.Н., Веселова Ю.А., Вишнякова М.Ю. Использование природного газа как способ экологизации автомобильного транспорта // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2010. № 1. С. 33–36.
- [14] Tokunaga K., Konan D.E. Home grown or imported? Biofuels life cycle GHG emissions in electricity generation and transportation // Applied Energy. 2014. Vol. 125. P. 123–131
- [15] Ратнер С.В., Маслова С.С. Государственное стимулирование развития рынка электрических транспортных средств: мировой опыт // Финансы и кредит. 2017. Т. 23. Вып. 22. С. 1281–1299.
- [16] Макарова И.А. Оценка эффективности экологических налогов с позиции «загрязнитель платит» в скандинавских странах: методика и результаты исследования // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2017. № 40. С. 124–140.
- [17] Li Y. Infrastructure to Facilitate Usage of Electric Vehicles and its Impact // Transportation Research Procedia. 2016. Vol. 14. P. 2537–2543.
- [18] Amponsah N.Y., Troldborg M., Kington B., Aalders I., Hough R.L. Greenhouse gas emissions from renewable energy sources: A review of lifecycle considerations // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014. No. 39. P. 461–475.
- [19] Klein S.J.W., Rubin E.S. Life cycle assessment of greenhouse gas emissions, water and land use for concentrated solar power plants with different energy backup systems // Energy Policy. 2013. No. 63. P. 935–950.

РАТНЕР Светлана Валерьевна. E-mail: lanarat@mail.ru
 ИОСИФОВ Валерий Викторович. E-mail: iosifov_v@mail.ru

Статья поступила в редакцию 18.05.2018

REFERENCES

- [1] **A.Yu. Shekhtman**, Tendentsii razvitiya konkurentnykh napravleniy avtomobilnoy promyshlennosti v mirovom aspekte, *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya: elektronnyy nauchnyy zhurnal*, 1 (2015). URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=17880> (accessed June 13, 2018).
- [2] IEA. *Energy Technology Perspectives*. International Energy Agency, Paris, France, 2016. P. 82.
- [3] *Global EV Outlook 2016. Beyond one million electric cars*. IEA. Paris, France. 2016. P. 61.
- [4] **L. Nurhadi, S. Borén, H. Ny, T. Larsson**, Competitiveness and sustainability effects of cars and their business models in Swedish small town regions, *Journal of Cleaner Production*, 140 (2017) 333–348.
- [5] **I.K. Aleksandrov, V.A. Rakov**, Situatsionnyy analiz osvoyeniya elektrifitsirovannogo avtomobilnogo transporta, *Ekonomicheskiy analiz: teoriya i praktika*, 37 (2011) 2–6.
- [6] **V.V. Iosifov, S.V. Ratner**, Analiz baryerov i perspektiv razvitiya innovatsionnykh tekhnologiy avtomobilnogo transporta, *Innovatsii*, 4 (2016) 12–20.
- [7] **J.H.M. Landbroek, J.P. Franklin, Y.O. Susilo**, The effect of policy incentives on electric vehicle adoption, *Energy Policy*, 94 (2016) 94–103.
- [8] **B. Li, X. Gao, J. Li, C. Yuan**, Life cycle environmental impact of high-capacity lithium ion battery with silicon nanowires anode for electric vehicles, *Environmental Science Technology*, 48 (5) (2014) 3047–3055.
- [9] **W. Shen, B. Zhang, Y. Zhang, X. Wang, Q. Lu, C. Wang**, Research on life cycle energy consumption and environmental emissions of light-duty battery electric vehicles, *Materials Science Forum*, 814 (2015) 447–457.
- [10] **T. Hawkins, O. Gausen, A. Stromman**, Environmental impacts of hybrid and electric vehicles—a review, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 17 (2012) 997–1014.
- [11] **S.V. Ratner, V.V. Iosifov**, Prognozirovaniye ekologicheskikh effektov diffuzii novykh avtotransportnykh tekhnologiy na osnove metodologii krivyykh obucheniya, *Ekonomicheskiy analiz: teoriya i praktika*, 16 (4) (2017) 782–796.
- [12] **A.S. Golubeva, Ye.R. Magaril**, Ekonomicheskoye stimulirovaniye sokrashcheniya emissii CO₂ avtotransportom, *Vestnik UrFU. Seriya: Ekonomika i upravleniye*, 15 (3) 2016 359–381.
- [13] **V.N. Veselov, Yu.A. Veselova, M.Yu. Vishnyakova**, Ispolzovaniye prirodnogo gaza kak sposob ekologizatsii avtomobilnogo transporta, *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 1 (2010) 33–36.
- [14] **K. Tokunaga, D.E. Konan**, Home grown or imported? Biofuels life cycle GHG emissions in electricity generation and transportation, *Applied Energy*, 125 (2014) 123–131.
- [15] **S.V. Ratner, S.S. Maslova**, Gosudarstvennoye stimulirovaniye razvitiya rynka elektricheskikh transportnykh sredstv: mirovoy opyt, *Finansy i kredit*, 23 (22) (2017) 1281–1299.
- [16] **I.A. Makarova**, Otsenka effektivnosti ekologicheskikh nalogov s pozitsii «zagryaznitel platit» v skandinavskikh stranakh: metodika i rezultaty issledovaniya, *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika*, 40 (2017) 124–140.
- [17] **Y. Li**, Infrastructure to Facilitate Usage of Electric Vehicles and its Impact, *Transportation Research Procedia*, 14 (2016) 2537–2543.
- [18] **N.Y. Amponsah, M. Troldborg, B. Kington, I. Aalders, R.L. Hough**, Greenhouse gas emissions from renewable energy sources: A review of lifecycle considerations, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39 (2014) 461–475.
- [19] **S.J.W. Klein, E.S. Rubin**, Life cycle assessment of greenhouse gas emissions, water and land use for concentrated solar power plants with different energy backup systems, *Energy Policy*, 63 (2013) 935–950.

RATNER Svetlana V. E-mail: lanarat@mail.ru
IOSIFOV Valeriy V. E-mail: iosifov_v@mail.ru