

**Л. В. Эдер, В. Ю. Немов, И. В. Филимонова**

*Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет  
ул. Пирогова, 2, Новосибирск, 630090, Россия*

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики  
им. А. А. Трофимука СО РАН  
пр. Коптюга, 3, Новосибирск, 630090, Россия*

*EderLV@yandex.ru, NemovVU@ipgg.sbras.ru, FilimonovaIV@list.ru*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ: МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ**

Направление и эффективность использования минеральных ресурсов, а также тенденции развития рынков полезных ископаемых, прежде всего энергетических, являются одной из центральных тем развития соответствующих отраслей народного хозяйства. В статье рассматривается потребление минеральных энергетических ресурсов на транспорте с дифференциацией по странам мира. Предлагается усовершенствовать методику прогнозирования потребления энергии транспортным сектором на среднесрочную и долгосрочную перспективу.

Актуальность работы связана с ведущей ролью транспортного сектора в формировании спроса на нефть в мире. В свою очередь, в структуре транспортного сектора на автомобильный транспорт приходится основная часть потребления энергоносителей. Для европейских стран этот показатель находится на уровне 80 %. Поэтому при прогнозировании энергопотребления на транспорте ключевым моментом является определение перспектив развития именно автомобильного транспорта.

В большинстве развитых и развивающихся стран на транспорт приходится 60–70 % всего внутреннего потребления нефти. В связи с этим для обеспечения энергетической безопасности стран особое значение имеет прогнозирование спроса на энергию со стороны транспортного сектора в среднесрочной и долгосрочной перспективе. Прогнозирование потребления энергии дорожным транспортом включает два основных направления: прогноз удельного потребления энергии транспортным средством и прогноз количества автомобилей.

Рассматриваются ретроспективные данные удельного энергопотребления автотранспортным средством с дифференциацией по странам Европы, а также в России. Проведенный анализ выявил устойчивую тенденцию снижения удельного энергопотребления для большинства развитых стран. Однако этот процесс различается как по интенсивности снижения удельного энергопотребления, так и по времени возникновения тенденции.

Анализ удельного потребления энергии в странах за последние 25 лет показал, что динамика показателя наиболее точно описывается экспоненциальной функцией: на начальном этапе снижение энергопотребления протекает более интенсивно, чем в последующие периоды. В результате была выведена общая закономерность сходимости стран по энергопотреблению и определены параметры зависимости скорости снижения удельного энергопотребления от его начального значения.

На основе трендовых моделей, а также выявленной зависимости скорости снижения энергопотребления от его начального уровня возможно осуществить прогноз удельного энергопотребления как для развитых, так и для развивающихся стран, для которых существует ограниченный ряд ретроспективных данных.

С целью улучшить качество прогнозирования удельного количества автотранспортных средств предлагается ввести в модель дополнительные параметры, которые бы учитывали различия стран по природно-климатическим, социально-экономическим, институциональным условиям. В результате на основе эконометрического анализа были выделены 5 наиболее значимых факторов, влияющих на уровень автомобилизации населения.

Предложенный методический подход к определению удельного энергопотребления на транспорте и совершенствование методики прогнозирования количества транспортных средств позволят прогнозировать спрос на энергоносители со стороны транспортного сектора экономики на долгосрочную перспективу.

*Ключевые слова:* прогнозирование, потребление энергии, количество автомобилей, энергоемкость, транспорт.

*Эдер Л. В., Немов В. Ю., Филимонова И. В. Перспективы энергопотребления на транспорте: методические подходы и результаты прогнозирования // Мир экономики и управления. 2016. Т. 16, № 1. С. 25–38.*

## Введение

Около 30 % всего потребления минеральных энергетических ресурсов в мире формируется в транспортном секторе. При этом транспорт является основным потребителем продуктов переработки нефти (около 60 % в структуре энергопотребления от общемирового показателя). Кроме того, в транспортном секторе происходит быстрое наращивание потребления газомоторного топлива, хотя в абсолютном выражении уровень использования этого энергоносителя еще относительно невелик (5 % в ТЭБ на транспорте).

Россия – одна из крупнейших производителей и поставщиков энергетических ресурсов в мире, прежде всего нефти и газа. Крупнейшим традиционным энергетическим рынком для России является европейский. Для стран Европы Россия выступает одним из главнейших источников поставок энергоносителей. В связи с этим для России одной из наиболее актуальных задач является всестороннее изучение рыночной конъюнктуры и определение спроса на энергетические ресурсы на традиционных и перспективных рынках.

Последнее десятилетие развитые европейские страны перешли от относительного (как душевого, так и на единицу автотранспортного средства) к абсолютному сокращению потребления энергии, в том числе за счет снижения ее использования на транспорте. Это объясняется общим повышением эффективности потребления энергетических ресурсов на транспорте. Эффект сокращения потребления энергии на транспорте происходит за счет облегчения конструкции автомобилей путем использования современных материалов; внедрения гибридных систем, в которых комбинируются обычный двигатель внутреннего сгорания и электромотор; снижения энергопотребления бортового оборудования, а также ряда других факторов. В официальных документах, определяющих перспективы развития европейской энергетики на долгосрочную перспективу, ожидается сохранение тенденции к снижению энергопотребления на транспорте.

В сложившихся условиях чрезвычайно актуализируется необходимость совершенствования методических подходов к прогнозированию энергопотребления на транспорте. Это позволит оценить спрос на энергетические ресурсы на средне- и долгосрочную перспективу на основных рынках для российских производителей нефти.

Цель исследования – совершенствование методических подходов прогнозирования потребления энергии на транспорте.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи: провести анализ теоретических закономерностей потребления энергии на транспорте; дать сравнительную характеристику существующих методических подходов к прогнозированию энергопотребления на транспорте; разработать предложения по развитию методических подходов к прогнозированию энергопотребления на транспорте; осуществить прогноз энергопотребления на транспорте в России и странах Европы, как основном традиционном рынке для поставок российских энергоносителей.

Объект исследования – автотранспортный сектор России и стран Европы.

Предмет исследования – методические подходы к прогнозированию энергопотребления на транспорте.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

- на основе выделенных и систематизированных показателей построена многофакторная модель, позволяющая определять прогнозное удельное количество автотранспортных средств на душу населения в средне- и долгосрочной перспективе в зависимости от экономических, природно-климатических, институциональных особенностей стран;
- формализована динамическая (трендовая) модель прогнозирования эффективности потребления энергии на единицу автотранспортного средства на средне- и долгосрочную перспективу, особенностью которой является нелинейность снижения потребления энергии на транспорте, а также зависимость скорости снижения энергопотребления от его начального уровня;
- предложено совершенствование методического подхода к прогнозированию энергопотребления на транспорте, учитывающее индивидуальные особенности прогнозируемых стран и устойчивые тенденции в снижении потребления энергии в транспортном секторе.

## Обзор литературы

Вопросами развития и прогнозирования систем транспорта и энергопотребления на транспорте занимались многие исследователи как в России (М. К. Бандман, Л. А. Безруков, Г. В. Белоненко, В. Н. Бугроменко, Л. И. Василевский, Г. А. Гольц, А. Э. Горев, Я. Ф. Гулев, Л. Л. Зотов, Н. П. Каючкин, В. А. Ламин, В. Ю. Пленкин, А. А. Смехов, Б. И. Шафиркин), так и за рубежом (С. Габриель, Р. Лоуло, А. Манне, С. Месснер, Н. Страчен, Л. Фишбон, Ж. Хоркад, М. Ховелс, Т. Шермарк) [1–8].

Одним из подходов к прогнозированию энергопотребления на транспорте является расчет соответствующего показателя через количество автотранспортных средств и удельного энергопотребления на единицу автотранспортного средства.

Одна из наиболее цитируемых статей в мировой экономической литературе в области энергопотребления на транспорте – статья «Vehicle Ownership and Income Growth, Worldwide: 1960–2030» J. Dargay, D. Gately и M. Sommer) [9]. В частности, в ней показано, что график изменения удельного количества автотранспортных средств в зависимости от удельного значения ВВП имеет S-образную форму. Иначе говоря, при низком уровне дохода количество автомобилей растет низкими темпами, но с ростом дохода темпы прироста автомобилей на душу населения значительно увеличиваются. При последующем росте дохода вступает в силу закон убывающей предельной полезности, происходит «насыщение» количеством автомобилей, в результате чего устанавливается равновесный желаемый уровень автомобилизации населения. В результате темпы прироста на данном этапе существенно сокращаются.

В ходе своих исследований Joyce Dargay, Dermot Gately и Martin Sommer пришли к выводу, что наиболее подходящей функциональной зависимостью, позволяющей учесть индивидуальные особенности стран при моделировании динамики количества транспортных средств, является функция Гомпертца. Однако, несмотря на выявленную общую зависимость, существуют значительные отличия по странам мира по уровню насыщения дорожными транспортными средствами, скорости достижения желаемого уровня, степени влияния ВВП.

По мнению авторов настоящей статьи, в современной литературе недостаточное внимание уделяется вопросам, связанным с определением индивидуальных особенностей стран при моделировании энергопотребления на транспорте и динамики количества транспортных средств.

## Описание данных

База данных для анализа качественных характеристик и структуры транспортного сектора сформирована на основе обобщения статистических данных Eurostat, представленных по 32 европейским странам за период 1990–2013 гг. В качестве ключевых показателей взяты:

- количество грузовых автомобилей;
- количество легковых автомобилей;
- количество автобусов;
- количество мототранспорта;
- количество тракторов и специального транспорта;
- количество автомобилей по объему двигателя;
- потребление энергии на дорожном транспорте всего;
- потребление бензина;
- потребление дизельного топлива;
- потребление сжиженного нефтяного газа (СНГ);
- потребление биотоплива;
- потребление электроэнергии;
- потребление природного газа <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> European Commission: Eurostat. Transport statistic. URL: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/transport/data/database> (дата обращения 15.08.2015).

Для анализа изменения энергоэффективности на транспорте сформирована база данных по 32 европейским странам по таким показателям, как:

- потребление всех видов энергии в дорожном секторе;
- общее количество дорожных транспортных средств, включая пассажирские легковые автомобили, автобусы, троллейбусы, мотоциклы, грузовые автомобили и тракторы.

Построение многофакторной регрессии и определение ключевых факторов, влияющих на удельное количество транспортных средств, выполнено на основе базы данных, сформированной по статистическим данным Всемирного банка. В базу данных вошли 18 показателей для 63 стран мира. Выбранные показатели условно разделены на 6 групп факторов, характеризующих сравнительное положение стран:

- экологические и природно-климатические;
- стоимостные;
- инфраструктурные;
- институциональные;
- технологические;
- социально-экономические.

При вычислении прогнозных значений количества транспортных средств на период 2015–2040 гг. были использованы сценарные прогнозы населения по странам мира (Департамент по экономическим и социальным вопросам ООН) и прогноз ВВП по ППС (Всемирный банк).

#### **Методические особенности прогнозирования энергопотребления на транспорте**

При определении уровня энергопотребления на транспорте на долгосрочную перспективу необходимо дать оценку изменения двух основных параметров – количества автотранспортных средств в экономике и удельного потребления энергии на единицу автотранспортного средства.

Далее от совокупного энергопотребления в экономике можно перейти к оценке спроса на отдельные виды энергии, в том числе традиционные (нефтепродукты) и альтернативные (сжиженный нефтяной газ, природный газ, биотопливо и электроэнергия). Соответствующий переход можно осуществлять, анализируя, с одной стороны, крупные структурные сдвиги в области энергопотребления на транспорте (макроподход), с другой стороны, динамику изменения отдельных энергоносителей (микроподход).

Прогнозное значение потребления энергии в дорожном транспорте  $E_{it}$  определяется произведением количества транспортных средств на 1 000 человек, уровня потребления энергии единицей транспортного средства и населения страны  $i$  в момент времени  $t$ :

$$E_{it} = V_{it} \cdot Y_{it} \cdot P_{it},$$

где  $V_{it}$  – количество дорожных транспортных средств на 1 000 человек в момент времени  $t$  в стране  $i$  (рассчитано автором);  $Y_{it}$  – потребление энергии одним дорожным транспортным средством в момент времени  $t$  в стране  $i$ , т. н. э. (рассчитано автором);  $P_{it}$  – прогноз количества населения в стране  $i$  в момент времени  $t$  (прогноз Департамента по экономическим и социальным вопросам ООН)<sup>2</sup>.

*Прогноз количества автотранспортных средств.* Как было отмечено, Joyсе Dargay эмпирически доказал, что динамика определяется S-образной кривой Гомперца. Для учета структурных изменений и различных социальных процессов, которые имеют не мгновенное влияние на удельное количество транспортных средств, но оказывают воздействие в течение некоторого периода времени, авторы отразили влияние предыдущих периодов на текущее значение показателя. Для этого был введен коэффициент «скорости регулирования»  $\theta$ :

$$V_t = V_{t-1} + \theta_t (V_t^* - V_{t-1}).$$

<sup>2</sup> Департамент по экономическим и социальным вопросам Организации Объединенных Наций. URL: <http://esa.un.org/unpd/wpp/Excel-Data/Interpolated.htm> (дата обращения 10.09.2015).

При этом долгосрочное равновесное удельного количества дорожных транспортных средств при заданных параметрах определяется функцией Гомперца:

$$V_t^* = V_{\max} e^{-\alpha e^{-\beta GDP_t}},$$

где  $V_t$  – количество дорожных транспортных средств на 1 000 человек в момент времени  $t$ ;  $V_{\max}$  – желаемое количество дорожных транспортных средств на 1 000 человек, «уровень насыщения»;  $GDP_t$  – ВВП по ППС на душу населения в момент времени  $t$ ;  $\alpha, \beta > 0$  – параметры.

С целью улучшить качество прогнозирования удельного количества транспортных средств, при расчете уровня  $V_{\max}$  авторы настоящей статьи предлагают учитывать не только степень урбанизации и плотность дорог, но и другие индивидуальные особенности стран.

Для определения конкретных факторов, оказывающих влияние на «уровень насыщения»  $V_{\max}$ , построена многофакторная регрессия. База данных сформирована по 18 факторам, для 63 стран мира. В результате эконометрического анализа выделены следующие 5 факторов, оказывающих наибольшее влияние на удельное количество транспортных средств: выбросы  $CO_2$  на душу населения ( $E$ ); доля городского населения, % ( $U$ ); стоимость дизельного топлива, долл./литр ( $P$ ); часов в год, затраченное на выплату основных видов налогов ( $H$ ); плотность дорог, км на 1 000 км<sup>2</sup> ( $R$ ).

Включение в модель данных факторов позволяет рассчитывать прогнозный уровень удельного количества транспортных средств с учетом специфики стран: с различным уровнем экономического развития, структуры экономики, природно-климатическими условиями, уровню развития институтов, инфраструктуры.

$$V_{\max it} = F(E_{it}, U_{it}, P_{it}, H_{it}, R_{it}).$$

*Прогноз потребления энергии на единицу транспортного средства.* Прогнозирование потребления энергии единицей транспортного сектора проводилось на основе анализа временных рядов с последующим построением трендовых динамических моделей.

Анализ показал, что трендовые модели позволяют с высокой степенью достоверности описывать закономерности изменения удельного потребления энергии в развитых странах, имеющих продолжительную динамику снижения этого показателя (17–25 лет). Однако в странах, в которых тенденция к снижению энергоемкости транспорта отсутствует либо наметилась относительно недавно, применение трендовых моделей не может дать приемлемый результат.

Анализ динамики удельного потребления энергии на одно дорожное транспортное средство проводился по 12 странам Европы, имеющим наиболее продолжительный период его снижения. В каждом случае построены и проведены статистические расчеты для следующих моделей динамики удельного энергопотребления:

- логарифмической;
- экспоненциальной;
- линейной;
- степенной.

Статистический анализ показал, что наиболее достоверно и с наименьшей ошибкой аппроксимации изменения рядов описывает экспоненциальная функция. Однако по некоторым странам близкие результаты аппроксимации показывают также линейная и логарифмическая функции (рис. 1). Для выбора наиболее подходящей модели использовались результаты исследований энергоемкости экономик стран мира.

Как было показано, изменение энергоемкости во времени по экономике в целом наиболее точно описывается экспоненциальной зависимостью [10]. Динамику изменения энергоемкости возможно условно разделить на 3 этапа. На первом этапе происходит интенсивное сокращение энергоемкости, что связано с изначально высоким уровнем энергоемкости экономики, а также ее структурными изменениями. Все больший объем внедрения энергосберегающих технологий постепенно снижает потенциал к росту энергоэффективности экономики. В связи с этим на втором этапе наблюдаются умеренные темпы к снижению

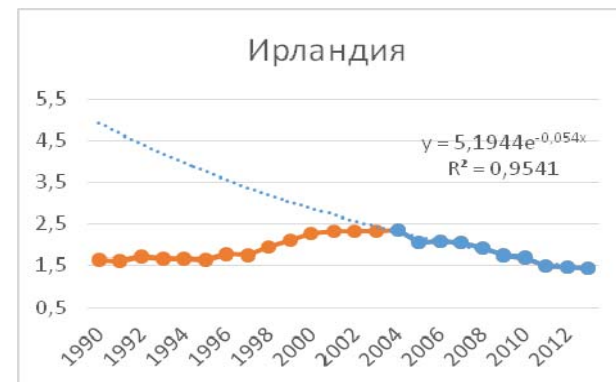
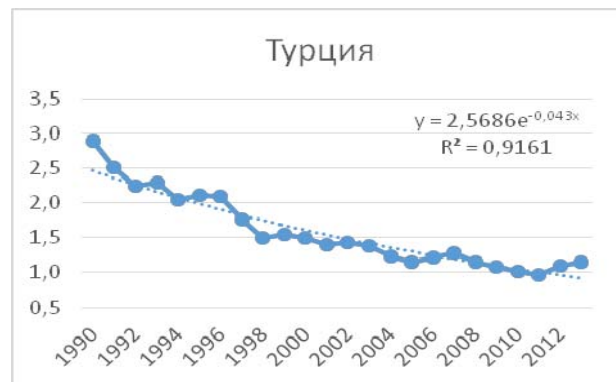
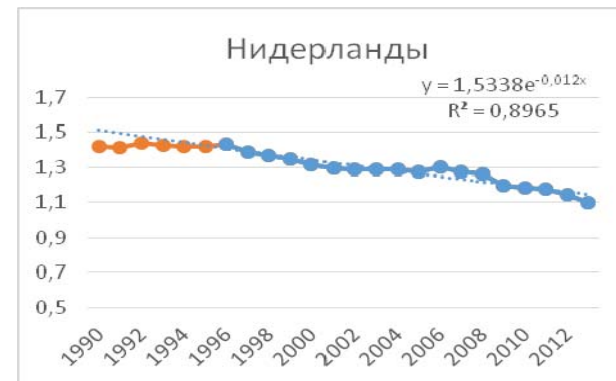
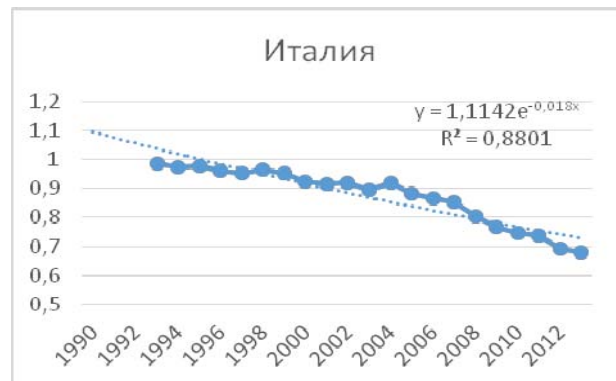
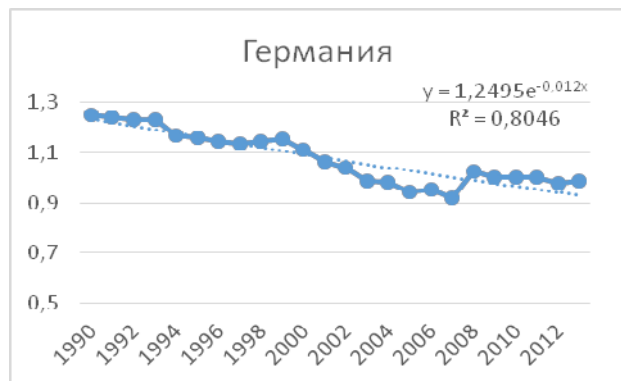


Рис. 1. Динамика удельного энергопотребления в дорожном транспорте отдельных стран Европы, тонн н. э. на одно транспортное средство в год

энергоёмкости. При эффективном использовании энергоресурсов, применении современных энергосберегающих технологий, темпы снижения энергоёмкости находятся на низком уровне. Данная закономерность была выведена при анализе показателей энергоёмкости стран мира за период 1980–2012 гг.

При прогнозировании удельного потребления на транспорте принято допущение, что динамика удельного потребления энергии в транспортном секторе описывается подобной зависимостью, что и изменение энергоёмкости экономики в целом. Таким образом, при построении прогнозов удельного энергопотребления на транспорте предпочтительно использование экспоненциальной функции. При этом следует отметить, что снижение удельного энергопотребления на транспортном секторе, в отличие от экономики в целом, происходит на более коротком промежутке времени (10–20 лет в развитых странах), этим объясняются хорошие результаты аппроксимации линейной или логарифмической функции для описания показателя в некоторых странах. Однако с течением времени и с увеличением количества наблюдений экспоненциальная зависимость прослеживается наиболее отчетливо.

Модель экспоненциального тренда имеет следующий вид:

$$Y_t = \beta \cdot e^{-\gamma t},$$

где  $Y_t$  – потребление энергии одним дорожным транспортным средством в год  $t$ , т. н. э.;

$\beta$  – потребление энергии одним дорожным транспортным средством в начальный период появления тенденции к снижению показателя (период  $t = 0$ );

$\gamma$  – коэффициент интенсивности снижения.

Коэффициент  $\gamma$  влияет на интенсивность изменения функции на начальном этапе. Иначе говоря, коэффициент  $\gamma$  можно определить как параметр, характеризующий интенсивность снижения удельного потребления энергии в дорожном транспорте.

Впервые идею относительно возможности охарактеризовать интенсивность энергопотребления через показатель  $\gamma$  была предложена Л. В. Эдером, который выявил наличие конвергенции между странами как соотношение между начальным уровнем энергоёмкости экономики и интенсивностью ее снижения. Этот показатель получил название IEIR (The Index of Energy Intensity Reduction).

Поскольку для ряда стран с ограниченным периодом наблюдения трендовые модели не дают хорошего результата, необходимо дополнительное комплексирование методов прогнозирования.

Анализ удельного потребления энергии транспортными средствами в различных странах показал наличие бета-конвергенции. Это позволяет оценить зависимость темпов снижения удельного потребления энергии в стране  $i$  ( $\gamma_i$ ) от его начального значения ( $\beta_i$ ):

$$\gamma_i = a \cdot \beta_i + c.$$

Для определения наличия зависимости и ее характера между интенсивностью снижения удельного энергопотребления на транспорте ( $\gamma$ ) и начальным уровнем удельного энергопотребления на транспорте ( $\beta$ ) проведен корреляционный анализ параметров полученных выше экспоненциальных моделей трендов.

В результате определена прямая линейная связь между начальным уровнем удельного энергопотребления на транспорте и коэффициентом  $\gamma$ , при этом коэффициент детерминации  $R^2 = 0,7$ . Полученная закономерность позволяет с высокой степенью достоверности прогнозировать интенсивность снижения удельного энергопотребления на транспорте в зависимости от его начального уровня (рис. 2):

$$\gamma_i = 0,219 \cdot \beta_i - 0,126.$$

Это означает, что наиболее экономически эффективные энергосберегающие технологии с течением времени удешевляются и становятся доступными для стран с различным уровнем развития экономики. В условиях современной модели глобальной экономики использование прорывных технологических решений невозможно ограничить рамками отдельной отрасли или отдельной экономики. Таким образом, наличие бета-конвергенции влечет за собой сближение величины удельного потребления энергии в различных странах в перспективе.

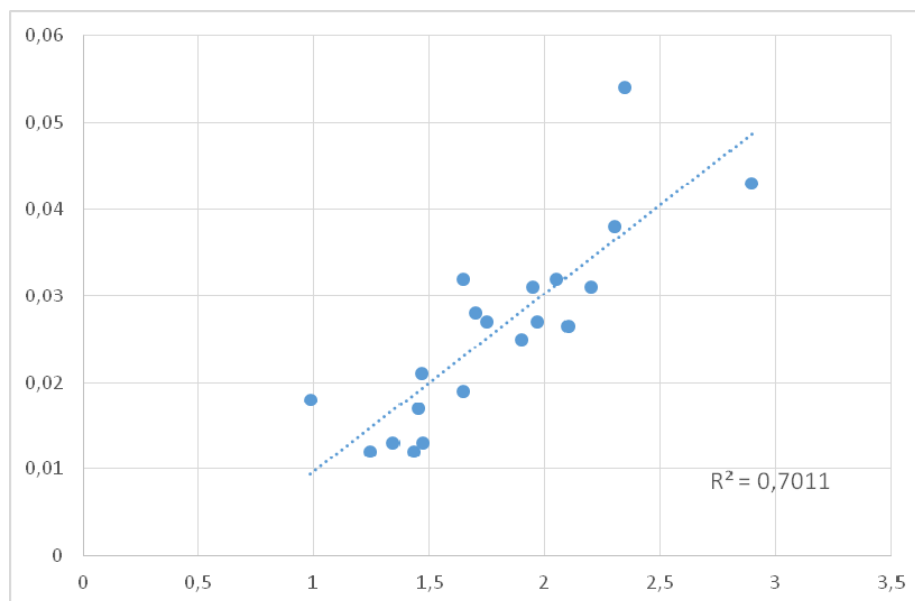


Рис. 2. Зависимость начального уровня удельного энергопотребления и интенсивности снижения энергопотребления (Источник: рассчитано авторами)

### Прогноз энергопотребления в дорожном транспорте в Европе

Согласно прогнозу количества дорожных транспортных средств, рассчитанному по представленной модели, к 2040 г. на территории Европы ожидается рост количества автомобилей на 16 %. Наибольший прирост автомобилей прогнозируется в Турции (на 135 %), Греции (33 %), Дании (30 %). В Германии к 2020 г. положительная динамика количества дорожных транспортных средств сменится на плавное снижение, что связано с прогнозируемым сокращением населения в Германии. В результате к 2040 г. количество транспортных средств снизится на 4 % относительно уровня 2010 г. Россия обладает значительным потенциалом к увеличению абсолютного количества дорожных транспортных средств. Это связано главным образом с низким текущим уровнем «автомобилизации» населения. В результате к 2040 г. прогнозируется увеличение количества дорожных транспортных средств в России на 59 % (табл. 1).

*Прогноз удельного энергопотребления энергии транспортными средствами.* Прогноз потребления энергии единицей транспортного средства выполнен в соответствии с изложенной методикой. Расчет прогнозных значений удельного энергопотребления сделан в соответствии с выведенной закономерностью:

$$Y_{it} = F(\beta_i, \gamma_i, t),$$

где  $Y_{it}$  – потребление энергии одним дорожным транспортным средством в  $i$ -й стране в год  $t$ , т. н. э.;  $\beta_i$  – потребление энергии одним дорожным транспортным средством в  $i$ -й стране в начальный период появления тенденции к снижению показателя (период  $t = 0$ );  $\gamma_i$  – коэффициент интенсивности роста снижения удельного потребления энергии.

Выявленная сходимость рядов потребления энергии на одно транспортное средство, рассчитанных для различных стран, позволяет сделать вывод о зависимости темпов снижения удельного потребления энергии в стране  $i$  ( $\gamma_i$ ) от его начального значения ( $\beta_i$ ). На основе трендовых динамических моделей для развитых стран была оценена зависимость этих параметров. В результате были рассчитаны значения коэффициентов  $\gamma$  как для развивающихся стран, так и для развитых, имеющих недостаточное количество наблюдений (табл. 2).

Таблица 1

Прогноз количества транспортных средств в странах Европы и России, тыс. шт. \*

| Страна         | 2010    | 2015    | 2020    | 2025   | 2030   | 2035    | 2040    | 2040/<br>2010, % |
|----------------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|------------------|
| Австрия        | 4 376   | 4 507   | 4 653   | 4 772  | 4 873  | 4 951   | 5013    | 115              |
| Бельгия        | 5 200   | 5 326   | 5 456   | 5 572  | 5 666  | 5 741   | 5 802   | 112              |
| Великобритания | 28 306  | 29 323  | 30 438  | 31 393 | 32 178 | 32 826  | 33 399  | 118              |
| Венгрия        | 3 037   | 3 097   | 3 222   | 3 350  | 3 478  | 3 593   | 3 691   | 122              |
| Германия       | 46 027  | 46 500  | 46 482  | 46 238 | 45 759 | 45 119  | 44 352  | 96               |
| Греция         | 4 431   | 3 649   | 4 559   | 5 117  | 5 506  | 5 761   | 5 894   | 133              |
| Дания          | 2 351   | 2 434   | 2 573   | 2 714  | 2 849  | 2 965   | 3 058   | 130              |
| Испания        | 21 922  | 22 317  | 22 847  | 23 122 | 23 297 | 23 416  | 23 501  | 107              |
| Италия         | 35 924  | 35 957  | 36 628  | 37 022 | 37 205 | 37 224  | 37 147  | 103              |
| Нидерланды     | 7 592   | 7 680   | 7 928   | 8 081  | 8 168  | 8 200   | 8 182   | 108              |
| Норвегия       | 2 312   | 2 441   | 2 590   | 2 707  | 2 816  | 2 914   | 3 004   | 130              |
| Польша         | 16 574  | 17 640  | 18 360  | 18 701 | 18 758 | 18 577  | 18 247  | 110              |
| Турция         | 7 060   | 8 570   | 10 765  | 12 543 | 14 170 | 15 540  | 16 608  | 235              |
| Финляндия      | 2 603   | 2 714   | 2 777   | 2 961  | 3 115  | 3 220   | 3 298   | 127              |
| Франция        | 31 245  | 32 291  | 33 745  | 34 843 | 35 736 | 36 460  | 37 051  | 119              |
| Швеция         | 4 400   | 4 579   | 4 778   | 4 966  | 5 131  | 5 277   | 5 422   | 123              |
| Прочие         | 51 445  | 52 164  | 57 704  | 61 201 | 63 366 | 64 348  | 64 318  | 125              |
| Европа, всего  | 274 805 | 281 189 | 29 5504 | 305304 | 312069 | 316 133 | 317 988 | 116              |
| Россия         | 33 700  | 39 044  | 46 155  | 50250  | 52448  | 53 350  | 53 725  | 159              |

Источник: табл. 1–4 рассчитаны автором.

Таблица 2

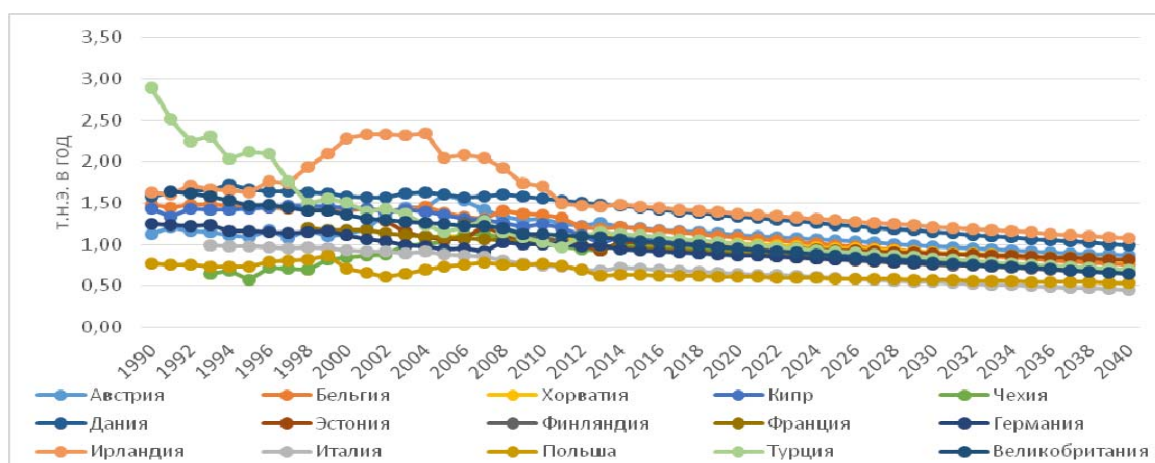
Расчетные значения  
параметров уравнения удельного энергопотребления  
на транспорте

| Страна         | $\beta$ | $\gamma$ |
|----------------|---------|----------|
| Австрия        | 1,599   | 0,021    |
| Бельгия        | 1,453   | 0,018    |
| Великобритания | 1,679   | 0,023    |
| Венгрия        | 1,191   | 0,013    |
| Германия       | 1,247   | 0,014    |
| Греция         | 1,429   | 0,018    |
| Дания          | 1,725   | 0,024    |
| Испания        | 1,165   | 0,013    |
| Италия         | 0,985   | 0,009    |
| Нидерланды     | 1,431   | 0,018    |
| Норвегия       | 1,457   | 0,018    |
| Польша         | 0,861   | 0,007    |
| Турция         | 2,509   | 0,039    |
| Финляндия      | 1,265   | 0,015    |
| Франция        | 1,193   | 0,013    |
| Швеция         | 1,642   | 0,022    |
| Россия         | 1,551   | 0,017    |

Таблица 3

Прогноз удельного потребления энергии, т н. э./транспортное средство

| Страна         | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2040 |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Австрия        | 1,60 | 1,31 | 1,19 | 1,12 | 1,05 | 0,98 | 0,86 |
| Бельгия        | 1,38 | 1,36 | 1,19 | 1,08 | 0,99 | 0,90 | 0,75 |
| Кипр           | 1,36 | 1,24 | 1,07 | 0,97 | 0,89 | 0,81 | 0,67 |
| Чехия          | 1,03 | 1,00 | 0,99 | 0,91 | 0,85 | 0,79 | 0,68 |
| Дания          | 1,60 | 1,55 | 1,44 | 1,34 | 1,24 | 1,15 | 0,99 |
| Эстония        | 1,06 | 1,04 | 1,02 | 0,98 | 0,93 | 0,89 | 0,81 |
| Финляндия      |      | 1,08 | 0,95 | 0,88 | 0,82 | 0,76 | 0,66 |
| Франция        | 1,09 | 1,02 | 0,95 | 0,89 | 0,84 | 0,78 | 0,69 |
| Германия       | 0,94 | 1,00 | 0,93 | 0,87 | 0,82 | 0,77 | 0,69 |
| Греция         | 1,15 | 0,81 | 0,73 | 0,69 | 0,65 | 0,62 | 0,55 |
| Венгрия        | 1,12 | 1,10 | 1,10 | 1,03 | 0,97 | 0,90 | 0,79 |
| Ирландия       | 2,05 | 1,70 | 1,46 | 1,37 | 1,29 | 1,22 | 1,08 |
| Италия         | 0,88 | 0,75 | 0,71 | 0,65 | 0,59 | 0,54 | 0,45 |
| Латвия         | 1,02 | 1,37 | 1,07 | 1,05 | 1,02 | 1,00 | 0,95 |
| Литва          | 0,79 | 0,74 | 0,72 | 0,69 | 0,66 | 0,63 | 0,58 |
| Нидерланды     | 1,27 | 1,18 | 1,14 | 1,07 | 1,01 | 0,95 | 0,84 |
| Норвегия       | 1,43 | 1,41 | 1,26 | 1,16 | 1,08 | 0,99 | 0,85 |
| Польша         | 0,74 | 0,77 | 0,63 | 0,61 | 0,59 | 0,57 | 0,53 |
| Румыния        | 0,95 | 0,88 | 0,85 | 0,82 | 0,78 | 0,74 | 0,68 |
| Словакия       | 1,08 | 1,06 | 0,97 | 0,92 | 0,87 | 0,82 | 0,74 |
| Словения       | 1,37 | 1,45 | 1,44 | 1,38 | 1,32 | 1,26 | 1,15 |
| Испания        | 1,17 | 0,97 | 0,87 | 0,82 | 0,77 | 0,72 | 0,64 |
| Швеция         | 1,52 | 1,41 | 1,36 | 1,30 | 1,24 | 1,19 | 1,08 |
| Турция         | 1,15 | 1,02 | 1,11 | 1,01 | 0,91 | 0,83 | 0,69 |
| Великобритания | 1,24 | 1,13 | 1,04 | 0,95 | 0,86 | 0,79 | 0,65 |
| Россия         |      | 1,19 | 1,09 | 0,99 | 0,90 | 0,81 | 0,67 |

Рис. 3. Прогноз удельного потребления энергии на транспорте  
(Источник: рассчитано автором)

Проведенные расчеты показывают, что к 2040 г. уровень удельного потребления энергии на транспорте в Европе сократится в 1,5–2 раза (табл. 3). При этом наблюдается существенное снижение дифференциации этого показателя по странам. В результате в 2040 г. потребление энергии одним дорожным транспортным средством в среднем по Европе составит 0,75 т н. э. (рис. 3).

В России в период 2010–2040 гг. прогнозируется снижение удельного потребления энергии на 43 %: с 1,19 до 0,67 т н. э. Наиболее низкий уровень потребления прогнозируется в Италии, Турции и Греции, что связано с благоприятными природно-климатическими условиями, а также с высокой долей автомобилей с малым объемом двигателя.

*Прогноз потребления энергии на транспорте.* Выполненные прогнозы количества дорожных транспортных средств и удельного потребления энергии дорожными транспортными средствами позволяют рассчитать прогнозный уровень потребления энергии в дорожном транспортном секторе.

Расчеты показывают, что, несмотря на рост количества транспортных средств в большинстве стран, потребление энергии на транспорте в прогнозируемом периоде будет снижаться в большинстве стран Европы. Это произойдет благодаря существенному росту эффективности использования энергии на транспорте, а также переходу на альтернативные источники энергии, такие как природный газ или электричество.

Таким образом, если в 2010 г. потребление энергии в дорожном транспорте Европы, включая Россию, составляло 317 млн т н. э., то к 2020 г. потребление снизится до 303,6, к 2040 г. – до 256,8 млн т н. э. В России прогнозируется рост потребления энергии дорожным транспортом до 2030 г. до 49,8 млн т н. э. В период 2030–2040 гг. ожидается планомерное снижение потребления энергии на транспорте до уровня 43,6 млн т к концу периода. Это связано главным образом с постепенным достижением уровня «насыщения» и замедлением роста количества автомобилей, а также со снижением удельного потребления энергии (табл. 4).

Таблица 4

Прогноз потребления энергии дорожным транспортом, тыс. т н. э.

| Страна         | 2010    | 2015    | 2020    | 2025    | 2030    | 2035    | 2040    |
|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Австрия        | 5 723   | 5 373   | 5 198   | 4 996   | 4 780   | 4 551   | 4 318   |
| Бельгия        | 7 090   | 6 328   | 5 915   | 5 513   | 5 115   | 4 730   | 4 362   |
| Великобритания | 31 903  | 30 618  | 28 902  | 27 107  | 25 266  | 23 439  | 21 687  |
| Венгрия        | 3 333   | 3 409   | 3 323   | 3 235   | 3 146   | 3 044   | 2 928   |
| Германия       | 46 155  | 43 043  | 40 520  | 37 960  | 35 379  | 32 853  | 30 414  |
| Греция         | 3 568   | 2 665   | 3 152   | 3 348   | 3 409   | 3 377   | 3 270   |
| Дания          | 3 652   | 3 508   | 3 440   | 3 366   | 3 279   | 3 165   | 3 029   |
| Испания        | 21 295  | 19 459  | 18 706  | 17 777  | 16 819  | 15 874  | 14 960  |
| Италия         | 26 813  | 25 546  | 23 783  | 21 970  | 20 178  | 18 450  | 16 828  |
| Нидерланды     | 8 979   | 8 718   | 8 475   | 8 136   | 7 745   | 7 322   | 6 880   |
| Норвегия       | 3 257   | 3 080   | 3 017   | 2 911   | 2 795   | 2 670   | 2 541   |
| Польша         | 12 782  | 11 086  | 11 165  | 11 006  | 10 682  | 10 237  | 9 730   |
| Турция         | 7 213   | 9 482   | 10 830  | 11 476  | 11 789  | 11 757  | 11 426  |
| Финляндия      | 2 805   | 2 565   | 2 440   | 2 419   | 2 366   | 2 274   | 2 165   |
| Франция        | 31 839  | 30 811  | 30 148  | 29 148  | 27 993  | 26 743  | 25 447  |
| Швеция         | 6 204   | 6 217   | 6 202   | 6 163   | 6 087   | 5 985   | 5 879   |
| Прочие         | 54 493  | 50 470  | 52 873  | 53 108  | 52 075  | 50 082  | 47 407  |
| Всего, Европа  | 277 102 | 262 376 | 258 089 | 249 637 | 238 903 | 226 553 | 213 273 |
| Россия         | 39 928  | 42 401  | 45 525  | 48 742  | 49 826  | 47 418  | 43 556  |

## Заключение

Предложенное авторами совершенствование методики прогнозирования количества транспортных средств и удельного энергопотребления позволяет осуществить прогноз энергопотребления на транспорте в странах с учетом социально-экономических, природно-климатических, институциональных условий.

Выполненный прогноз количества транспортных средств на душу населения позволяет сделать вывод о снижении степени дифференциации развитых и большинства развивающихся стран по количеству автотранспортных средств. Так, в Германии в период 2014–2040 гг. удельное количество транспортных средств вырастет на 3,5 %: с 561 до 581. Это связано с фактически достижением Германией «уровня насыщения» удельного количества транспортных средств, в результате чего предельная полезность каждого последующего автомобиля снижается. В России за прогнозируемый период количество транспортных средств на душу населения вырастет на 45 %: с 266 до 385.

Предложенная авторами методика прогнозирования удельного потребления энергии транспортным средством позволяет осуществлять прогноз показателя на долгосрочную перспективу как в развитых, так и в развивающихся странах, где отсутствует ярко выраженный тренд снижения удельного энергопотребления.

Выполненный прогноз удельного потребления энергии на транспорте показал значительное снижение дифференциации этого показателя по странам к 2040 г. Так, если в 1990 г. уровень потребления на одно транспортное средство варьировался от 0,77 до 2,89 т, то в 2040 г. прогнозируется потребление в пределах 0,5–1,1 т.

В соответствии с предложениями по развитию методического подхода к прогнозу энергопотребления на транспорте выполнена оценка спроса на энергию дорожным транспортом на период до 2040 г.

## Список литературы

1. Бандман М. К., Малов В. Ю. Транспортный комплекс Азиатской России: укрепление экономической безопасности // Марк Константинович Бандман. Избранные труды и продолжение начатого / Отв. ред. В. Ю. Малов; ИЭОПП СО РАН. Новосибирск, 2014. С. 359–377.
2. Василевский Л. И. Прогнозы развития транспорта капиталистических стран // Тр. Ин-та комплексных транспортных проблем. 1973. Вып. 38.
3. Горев А. Э. Основы теории транспортных систем. СПб.: СПбГАСУ, 2010. 214 с.
4. Гулев Я. Ф., Лебединский П. К. Основные показатели и измерители работы транспорта. М.: Транспорт, 1980. 216 с.
5. Шафиркин Б. И. Единая транспортная система СССР и взаимодействие различных видов транспорта. М.: Высш. шк., 1983. 191 с.
6. Gabriel S. A., Kydes A. S., Whitman P. The national energy modeling system: a large-scale energy-economic equilibrium model // Oper Res. 2001. № 49. P. 14–25.
7. Howells M., Rogner H., Strachan N., Heaps C., Huntington H., Kypreos S. et al. OSeMOSYS: the open source energy modeling system: an introduction to its ethos, structure and development // Energy Policy. 2011. № 39. P. 5850–5870.
8. Steybe F., Effenberger F., Beckmann S., Kramer P., Glania C., Wortmann R., Wohlge-muth N. World transport energy demand modelling – Methodology and elasticities // Energy Policy. 1997. Vol. 25. P. 1109–1119.
9. Joyce D., Dermot G., Sommer M. Vehicle Ownership and Income Growth, Worldwide: 1960–2030 // Energy Journal. 2007. Vol. 28. No. 4.
10. Эдер Л. В. Прогноз мирового энергопотребления: методические подходы, сравнительные оценки // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2013. № 6. С. 15–26.

**L.V. Eder, V. Yu. Nemov, I. V. Filimonova**

*Novosibirsk State University  
2 Pirogov Str., Novosibirsk, 630090, Russian Federation*

*Institute of Petroleum Geology and Geophysics of SB RAS  
3 Acad. Koptug Ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation*

*EderLV@yandex.ru, NemovVU@ipgg.sbras.ru, FilimonovaIV@list.ru*

### **PROSPECTS FOR TRANSPORT ENERGY CONSUMPTION: METHODOLOGICAL APPROACHES AND RESULTS OF FORECASTING**

The direction and effectiveness of the using mineral resources, as well as the development trend of the mineral markets, especially energy markets – is one of the central topics of the development of relevant industries. The article discusses the consumption of mineral energy resources in transport with the differentiation by the countries of the world. It proposed to improve the methods of forecasting of energy consumption in the transport sector in the medium and long term.

Relevance of the work associated with the leading role of the transport sector in the formation of oil demand in the world. In most developed and developing countries vehicle transport accounts for 60-70% of the total domestic oil consumption. Forecasting of energy demand is particular important to ensure energy security of the countries in the transport sector in the medium and long term.

Predicting energy consumption by road vehicles includes two main areas: the forecast of specific energy consumption vehicle and the forecast of the number of cars.

The authors examined historical data of specific energy consumption of road vehicle with the differentiation by the countries of Europe and Russia. The analysis revealed a steady decline in energy intensity in most advanced countries. However, this process is different in intensity decrease specific energy consumption and the time of occurrence of the trend.

An analysis of the specific energy consumption in the past 25 years has shown that the dynamics of the index most accurately described by an exponential function: the initial stage of reduction of energy consumption is more intensive than in subsequent periods. As a result, the general pattern was derived convergence of energy consumption and the parameters depending on the speed of lowering the energy intensity of its initial value.

On basis of trend models and identified reducing energy consumption depending on the speed of its entry-level may carry out the forecast of specific energy consumption for both developed and developing countries for which there is a limited number of historical data.

In order to improve the quality of forecasting specific number of vehicles, the authors of this article proposed to introduce additional parameters into the model, which would take into account differences in the countries of climatic, socio-economic, institutional conditions. As a result, it was identified five of the most significant factors affecting theratio of vehicles to population on basis of econometric analysis.

The proposed methodological approach to determining the specific energy consumption of vehicle road transport and proposals for improving the methods of forecasting the number of vehicles it possible to predict energy demand of the transport sector in the long term.

*Keywords:* forecasting, energy consumption, number of vehicles, transport.

### **References**

1. Bandman M. K., Malov V. Y. The transport system of Asian Russia: strengthening of economic security. M. K. Bandman. *Selected works and the continuation of initiated*. V. Y. Malov (Ed.); IEIE SB RAS. Novosibirsk, 2014, ch. 12, p. 359–377.
2. Wasilewski L. I. Forecasts of transport development in the capitalist countries. *Proceedings of the Institute of Complex Transport Problems*, 1973, vol. 38.

3. Gorev A. E. Foundations of the transport systems theory. St. Petersburg, Civil Engineering, 2010, 214 p.
4. Gulev Y. F., Lebedinsky P. K. Main aspect and measures of transport business. Moscow, Transport, 1980, 216 p.
5. Shafirkin B. I. Integrated transport system of the USSR and the interaction of different types of transport. Moscow, Higher School, 1983, 191 p.
6. Gabriel S. A., Kydes A. S., Whitman P. The national energy modeling system: a large-scale energy-economic equilibrium model. *Oper Res*, 2001, № 49, p. 14–25.
7. Howells M., Rogner H., Strachan N., Heaps C., Huntington H., Kypreos S. et al. OSeMOSYS: the open source energy modeling system: an introduction to its ethos, structure and development. *Energy Policy*, 2011, №39, p. 5850–5870.
8. Steybe F., Effenberger F., Beckmann S., Kramer P., Glania C., Wortmann R., Wohlgenuth N. World transport energy demand modelling – Methodology and elasticities. *Energy Policy*. Vol. 25, p. 1109–1119.
9. Dargay J., Gately D., Sommer M. Vehicle Ownership and Income Growth, Worldwide: 1960–2030. *Energy Journal*, 2007, vol. 28, no. 4.
10. Eder L. V. The forecast of world energy consumption: methodological approaches, comparative assessment. *Mineral resources of Russia. Economics and Management*, 2013, № 6, p. 15–26.