



DOI: 10.22363/2313-2329-2017-25-4-583-
УДК 620.92

ВЛИЯНИЕ SMART GRID И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ: ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

В.М. Матюшок¹, Серджио Бруно²,
С.А. Балашова¹, К.Г. Гомонов¹

¹ Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

² Гарвардский университет
Кембридж, Массачусетс, США, 02138

В статье анализируется зарубежный опыт повышения энергоэффективности за счет таких факторов, как повышение уровня производства энергии из возобновляемых источников и внедрение умных технологий в энергосетях. Выдвинут ряд гипотез о влиянии «умной энергетики» на энергоэффективность, эмпирическая проверка которых проведена для США, Китая, Индии, Германии с использованием эконометрического инструментария, проведено сравнение с Россией. Обоснована необходимость перехода к новому энергетическому укладу на основе активного внедрения энергоэффективного оборудования, передовых энергетических и информационно-коммуникационных технологий, возобновляемых источников энергии, комплексных систем и сервисов интеллектуальной энергетики, построенных на открытой сетевой архитектуре.

Ключевые слова: умные сети, Smart Grid¹, интеллектуальные энергосети, экономическая эффективность электроэнергетики, энергоэффективность

Введение

С ростом численности населения Земли до 10 млрд к 2050 году и дальнейшей урбанизацией, обостряются проблемы обеспечения населения не только продовольствием и водой, но и электроэнергией. В настоящее время города потребляют около 75% всех энергоресурсов при удельном весе городского населения около 53%. Согласно прогнозам Schneider Electric, доля городского населения к 2050 году увеличится до 86%, что приведет к повышению энергопотребления на 56–58%. Кроме того, дополнительный рост спроса на электроэнергию предъявят почти 1,3 млрд человек, которые раньше доступа к электроэнергии не имели. В тоже время современные экономики и традиционная энергетика сталкиваются

¹ Умные сети энергоснабжения.

ся с проблемой низкой энергоэффективности¹, которая имеет в своей основе разную природу: износ оборудования и инфраструктуры, высокие потери в сетях, загрязнение окружающей среды.

Ключевую роль в повышении энергоэффективности играют современные концепции развития электроэнергетических отраслей, которые предполагают большую автоматизацию, развитие умных сетей и внедрение возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Появление новых векторов развития энергетики продиктовано неразрывной связью отрасли с возможностями экономического роста. На сегодняшний день традиционный путь развития энергетической отрасли путем наращивания мощностей, расширения количественного состава энергетического оборудования и увеличение добычи ресурсов уступает интенсивному, инновационному и прорывному пути развития посредством активного внедрения энергоэффективного оборудования, передовых энергетических и информационно-коммуникационных технологий, возобновляемых источников энергии, комплексных систем и сервисов интеллектуальной энергетики, построенных на открытой сетевой архитектуре и означает начало перехода к следующему энергетическому укладу.

Новые технологии уже дают ощутимые результаты. Так, например, ВВП Германии за 1990—2016 годы вырос в постоянных ценах 2011 года на 48,4%, а годовое потребление электроэнергии — только на 10,3%. Удельный вес производства электроэнергии из первичных энергоресурсов (углеводородов) сократился с 68,6% до 53,9%, при этом энергоемкость ВВП сократилась в 1,6 раза (Всемирный банк, 2017). Показатели для других стран не столь наглядны, однако тенденция к повышению энергоэффективности на основе внедрения новых технологий и возобновляемой энергетики складывается в последние десятилетие. В России Президентский совет по модернизации и инновационному развитию экономики в начале 2017 года утвердил дорожную карту EnergyNet, предусматривающую определенные мероприятия по развитию рынка «умной энергетики» до 2035 года.

В научной литературе и бизнес-аналитике формированию этих новых тенденций уделяется большое внимание. Издаются профильные журналы (например, Energy Efficiency², научный журнал издательства Springer, Smart Grid and Renewable Energy — специализированный журнал, посвященный последним достижениям в развитии интеллектуальных энергосетей), регулярно выпускаются аналитические отчеты Международного энергетического агентства³ (которое действует в

¹ Под энергоэффективностью понимается рациональное использование энергетических ресурсов (в том числе за счет внедрения энергосберегающих технологий), которое приводит к снижению энергозатрат на единицу выпускаемой продукции, снижению вредных выбросов в атмосферу, сбережению природных ресурсов, сокращению потерь в энергосетях. Для измерения энергоэффективности используют такие показатели как величина ВВП (в стоимостном выражении), приходящаяся на единицу затраченной энергии (в нефтяном эквиваленте) (можно сказать, что этот показатель измеряет энергоэффективность в узком смысле этого слова), выбросы CO₂ на единицу ВВП, выбросы CO₂ на единицу использованной энергии, доля потерь при передаче и распределении энергии.

² Energy Efficiency. URL: <https://link.springer.com/journal/12053> (дата обращения: 19.09.2017).

³ Международное энергетическое агентство. URL: <https://www.iea.org> (дата обращения: 19.09.2017).

рамках ОЭСР), Всемирного энергетического совета¹, аккредитованного при ООН, энергетической комиссии ЕС и других международных организаций.

Цель анализа, результаты которого изложены в данной статье, заключается в поиске эмпирического подтверждения вклада «умной» энергетики в повышение энергоэффективности ряда стран с использованием эконометрического инструментария. Ответ на этот вопрос не очевиден, так как растет энергоэффективность неравномерно и кроме технических нововведений и инвестиций требуется программа действий на государственном уровне (Allcott H., Greenstone M., 2013). Для анализа выбраны следующие страны: Германия как экономический лидер ЕС и один из лидеров в освоении возобновляемой энергетики, США и Китай как локомотивы мировой экономики и крупнейшие инвесторы в технологии Smart Grid, Индия как одна из быстрорастущих развивающихся стран, которая является одним из мировых лидеров ветроэнергетики (Dent C., 2013), и активно наращивает инвестиции в ветро- и солнечную генерацию. Аналогичные оценки проведены и для России, чтобы сравнить достижения и потенциал, имеющийся в нашей стране, с достижениями сегодняшних лидеров.

Методология и исходные данные

Для оценки влияния отдельных элементов, а именно ВИЭ, в комплексной технологии умной энергетики на энергоэффективность в широком смысле слова, авторы выдвинули следующие гипотезы².

Гипотеза 1. Производство энергии из возобновляемых источников без учета гидроэнергии в последние 25 лет растет высокими темпами, особенно начиная с 2000 годов, однако темпы роста различны в различных странах в зависимости от того, является страна импортером или экспортером энергоресурсов, и уровня поддержки «зеленой энергетики» на государственном уровне.

Для получения эмпирического подтверждения гипотезы 1 оценивается трендовая модель

$$RNWX_PROD_{it} = A_i e^{\gamma_i t} v_{it}, \quad (1)$$

здесь $RNWX_PROD_{it}$ — производство электроэнергии из возобновляемых источников (кроме гидроэнергии) в стране i в период времени t ; A_i и γ_i — параметры модели, специфические для каждой из рассматриваемых стран; v_{it} — случайная составляющая модели, подверженная процессу авторегрессии; $e^{\gamma_i t}$ — интерпретируется как темп роста рассматриваемого показателя, а сам параметр γ_i (при малых значениях) — как темп прироста. Для получения оценок параметров уравнение (1) приведено к линейному виду, оценка проводится методом максимального правдоподобия при учете автокорреляции случайного члена (Айвазян С.А., 2014) для каждой страны для периода наблюдений 1990—2014/2015³ годы и для периода 2000—2014/2015 годы.

¹ The World Energy Council. URL: <https://www.worldenergy.org> (дата обращения: 19.09.2017).

² Гипотезы основаны на анализе аналитического и эмпирического материала, для получения их эмпирического подтверждения используются статистические данные Всемирного банка, ОЭСР, Евростата по США, Китаю, Индии, России и Германии.

³ Последние доступные данные о выработке электроэнергии ВИЭ — 2014 г., для Германии — 2015 г.

Гипотеза 2. Рост потребления энергии, вызванный ростом экономики и возрастающими потребностями населения, сдерживается за счет внедрения Smart Grid и увеличения доли ВИЭ.

Для проверки этой гипотезы оценивается модель зависимости объема потребляемой энергии от численности населения, объема ВВП и доли электроэнергии, полученной из ВИ

$$ENG_USE_{it} = \alpha_{1i}RNWX_{it} + \alpha_{2i}GDP_{it} + \alpha_{3i}POP_{it} + \alpha_4 + \varepsilon_{it}, \quad (2)$$

здесь ENG_USE — натуральный логарифм использованной энергии из всех источников, млн т нефтяного эквивалента (т.н.э.); α_{1i} — параметр — показывает темп прироста потребления энергии при росте $RNWX$ на 1 п.п. при контроле других переменных (Айвазян С.А., 2014); $RNWX$ — доля энергии из возобновляемых источников в суммарном потреблении энергии из всех источников; α_{2i} и α_{3i} — параметр — имеют смысл эластичностей потребления энергии по ВВП и численности населения в стране i соответственно; GDP — натуральный логарифм ВВП (в постоянных ценах 2011 года на основе ППС (паритета покупательной способности, долл. США)); ε — случайная составляющая.

Для обеспечения большей сопоставимости результатов для разных стран оценивается также аналогичная модель для удельных величин, т.е.

$$ENG_USE_CAP_{it} = \alpha'_{1i}RNWX_{it} + \alpha'_{2i}GDP_CAP_{it} + \alpha'_{3i} + \varepsilon'_{it}, \quad (3)$$

здесь ENG_USE_CAP — натуральный логарифм использованной энергии из всех источников, кг нефтяного эквивалента в расчете на 1-го жителя; GDP_CAP — натуральный логарифм ВВП на душу населения (в постоянных ценах 2010 года, долл. США).

Гипотеза 3. С увеличением доли электроэнергии из возобновляемых источников в общем потреблении энергии растет энергоэффективность, т.е. выпуск продукции на единицу использованной энергии при контроле других переменных.

Для проверки этой гипотезы оценивается модель авторегрессии и распределенного лага ADL (1,0), в которой текущие значения результирующей переменной зависят как от прошлых значений этой переменной, так и от текущих значений других временных рядов (Носко В.П., 2002).

В качестве результирующей переменной авторы использовали ряд значений величины ВВП на единицу затраченной энергии (показатель ВВП в постоянных ценах по паритету покупательной способности на 1 кг нефтяного эквивалента для проведения межстрановых сравнений в динамике — GDP per unit of energy use (constant 2011 PPP \$ per kg of oil equivalent)). Учет лагового значения этой переменной позволяет контролировать структуру ВВП, которая различается в странах, что в свою очередь ведет к различиям в затратах энергии на производство единицы продукции. Оценка проводится для каждой страны в отдельности методом наименьших квадратов с корректировкой стандартных ошибок по методу Нью-Веста из-за автокорреляции в остатках. Таким образом, для проверки гипотезы 3 оценивается модель

$$GDP_ENG_{it} = \beta_{i1} + \beta_{i2}GDP_ENG_{it-1} + \beta_3RNWX_{it} + \varepsilon_{it}, \quad (4)$$

здесь GDP_ENG_t — натуральный логарифм ВВП на единицу затраченной энергии в текущем периоде t ; $RNWX_t$ — доля энергии из ВИ в суммарном потреблении энергии из всех

источников; ε — случайная составляющая; β_3 — коэффициент — может интерпретироваться как оценка краткосрочного воздействия увеличения доли ВИЭ; а величина $\lambda = \beta_3 / (1 - \beta_2)$ как оценка долгосрочного воздействия.

Гипотеза 4. Производство энергии из возобновляемых источников снижает зависимость от импорта для энергозависимых стран. Для проверки гипотезы составлена модель

$$ENG_IMP_{it} = \delta_{1i} RNWX_{it} + \delta_{2i} GDP_CAP_{it} + \delta_{3i} + \varepsilon_{it}, \quad (5)$$

здесь ENG_IMP доля импортируемой энергии; GDP_CAP — натуральный логарифм ВВП на душу населения (в постоянных ценах 2010 года, долл. США); $RNWX_i$ — доля энергии из ВИ в суммарном потреблении энергии из всех источников.

Результаты эмпирического анализа

Производство электроэнергии из возобновляемых источников. К возобновляемым источникам энергии относят следующие виды: солнечная энергия, геотермальная энергия, энергия ветра, гидроэнергетика, энергия океана (тепловой градиент, мощность волн и приливная мощность), биомасса, мощность тяглового животного, дрова, торф, сланцы и битуминозные пески¹. Наиболее широко для технологических целей используется гидроэнергия. Доля возобновляемых источников энергии в общем конечном потреблении в мире составляет по данным Renewables 2017 Global Status Report на 2016 год более 19,3% и по самым оптимистичным прогнозам к 2050 году может достичь 35%. Возобновляемая энергетика играет ключевую роль в концепции 17 целей устойчивого развития на предстоящие 15 лет, которые вступили в силу 1 января 2016 года. Одна из этих целей — «Устойчивая энергетика для всех», предполагающая повышение эффективности и расширение использования возобновляемых источников энергии.

В числе рассматриваемых стран (рис. 1) наибольший объем электроэнергии из возобновляемых источников (без учета гидроэнергетики) приходится на США. Германия лидирует в ЕС по доле электроэнергии, произведенной из ВИЭ. Китай и Индия начиная с 2000 года наращивают объемы и увеличивают долю ВИЭ в производстве электроэнергии. В России объемы и доля ВИЭ очень малы, хотя, начиная с 2000-х годов также имеют тенденцию к росту.

Приведенные в таблице 1 оценки подтверждают гипотезу о резком изменении темпов роста производства электроэнергии из ВИ начиная с 2000 годов. В США самые низкие темпы роста, что связано с достаточно большой долей ВИЭ, достигнутой уже в 1990-е годы.

Согласно данным Международного энергетического агентства, все рассмотренные страны являются чистыми импортерами энергоресурсов (за исключением России) и имеют государственные программы по поддержке «зеленой» энергетики (Международное энергетическое агентство, 2017).

Следует отметить, что по прогнозам New Energy Outlook 2017, более 70% инвестиций в энергетику будет приходиться на генерацию из возобновляемых источников энергии, инвестиции в ВИЭ в 2040 году увеличатся до 400 млрд долл.

¹ Словарь терминов. URL: United Nations Statistics Division (дата обращения: 19.09.2017).

США/г. Среди лидеров в этом сегменте отрасли окажутся Германия, США, Китай и Индия (New Energy Outlook, 2017).

$$\ln(RNWX_PROD)_t = \alpha_1 + \alpha_2 \ln(RNWX_PROD)_{t-1} + \alpha_3 \ln(RD_EG)_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (5)$$

здесь RD_EG — расходы на НИОКР в сфере энергетики (источник — база данных ОЭСР¹). Оценка проведена методом наименьших квадратов с коррекцией автокорреляции в остатках по методу Ньюи-Веста (Айвазян С.А., 2014) за период с 1995 по 2014.

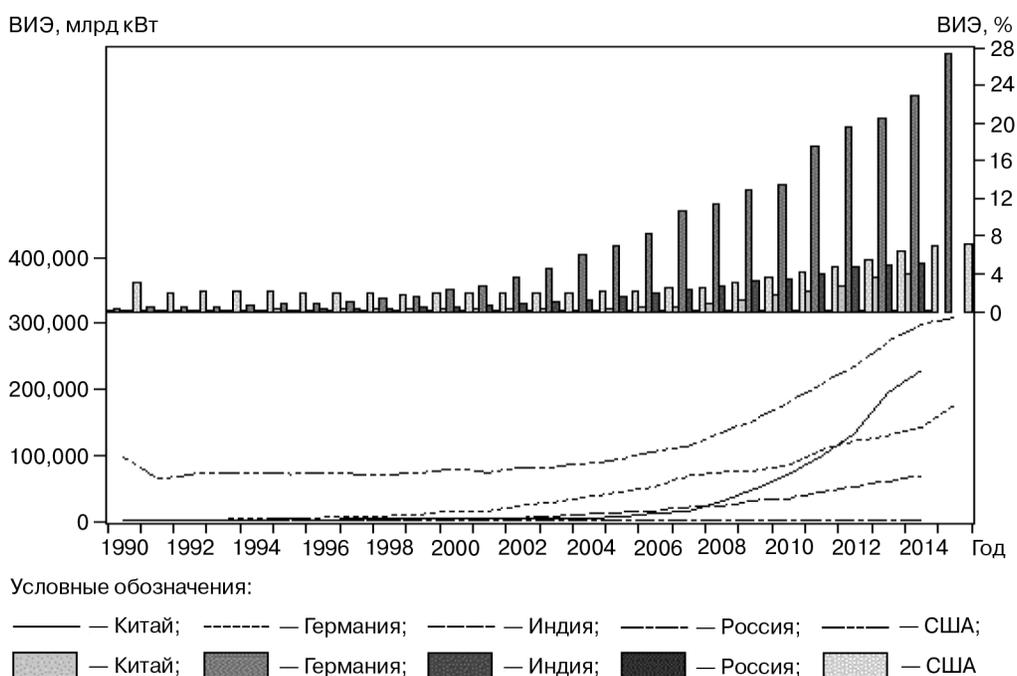


Рис. 1. Производство электроэнергии из возобновляемых источников (без учета гидроэнергетики) (левая ось, млрд кВт), доля ВИЭ от производства электроэнергии всего (правая ось)

[Fig. 1. Production of electricity from renewable sources (excluding hydropower) (left axis, billion kW), share of RES from generation of total electricity (right axis, %)]

Источник: составлено авторами на основе статистических данных Всемирного банка.

Таблица 1

Оценка динамики производства электроэнергии из ВИЭ на основании уравнения (1)
[Estimation of the dynamics of electricity production from RES based on equation (1)]

Коэффициент/ оценка коэффициента	Германия	США	Китай	Индия	Россия
γ	0,09***/0,17***	0,02***/0,10***	0,10***/0,32***	0,04***/0,22***	0,002/0,14**
Коэффициент детерминации	0,99/0,99	0,69/0,99	0,99/0,99	0,94/0,99	0,16/0,87
Период оценки	1990—2015/ 2000—2015	1990—2014/ 2000—2014	1990—2014/ 2000—2014	1990—2014/ 2000—2014	1990—2014/ 2000—2014

***, ** Оценка коэффициента значима на 1%-м, 5%-м уровне соответственно.

Источник: составлено авторами на основе полученных оценок.

¹ Dataset: Gross domestic expenditure on R-D by sector of performance and socio-economic objective in NABS2007. URL: <https://data.oecd.org/> (дата обращения: 19.09.2017).

Оценка параметра $\alpha_3 = 0,7$ (значимая на всех уровнях) говорит о том, что в краткосрочном периоде увеличение расходов на НИОКР в сфере энергетики на 1% соответствует росту производства электроэнергии из возобновляемых источников в следующем периоде на 0,7%. В долгосрочном периоде отдача от роста расходов на НИОКР на 1% возрастает до 2,5% (оценка параметра $\alpha_2 = 0,715$ значима на всех уровнях). Следует признать, что в России расходы на НИОКР в сфере энергетики малы, по сравнению с другими рассматриваемыми странами. Так, в 2012 году по оценкам ОЭСР в России на НИОКР в сфере энергетики израсходовано 1551 млн долл. США (в ценах 2010 года по ППС) из всех источников финансирования (360 млн долл. США профинансировало государство), а в Германии только из государственных источников потрачено 1184 млн долл. США (в ценах 2010 г. по ППС)¹. Тем не менее, выделение в России расходов на НИОКР в этой области говорит о внимании к проблемам энергетики, как со стороны бизнеса, так и со стороны государства.

Потребление энергии. В мире потребление энергии растет с увеличением мирового ВВП и ростом численности населения планеты. По данным Мирового энергетического агентства спрос на электроэнергию до 2050 года вырастет на 56—58%, или средний прирост составит 2%/г.

В рассматриваемых странах динамика потребления энергии разнонаправлена (рис. 2). Рост потребления как валовый, так и в расчете на душу населения наблюдается в Китае, хотя темп роста потребления на душу населения снижается. Аналогичная картина для Индии, хотя темпы роста ниже, чем в Китае. Количество потребляемой энергии на душу населения в Индии в 4 раза меньше, чем в Китае, и в 10 раз меньше, чем в США. В Германии и США наметилась тенденция к снижению потребления энергии.

В таблице 2 приведены оценки параметров уравнений (2) и (3), в которых моделируется общее и удельное потребление энергии в зависимости от доли ВИЭ при контроле ВВП и численности населения. Оценка проведена по 15 наблюдениям в период с 2000 по 2015 годы, так как из результатов оценки уравнения (1), именно в этот период ВИЭ начинают играть заметную роль в обеспечении экономики рассматриваемых стран энергией. Кроме того, в развитых странах в этот период активно разворачивается компания по внедрению энергосберегающих технологий (Голиков И.В., 2017).

Выдвинутая гипотеза 2 находит подтверждение для Германии, Китая, Индии и России. Рост доли электроэнергии из возобновляемых источников энергии на 1 пп. при контроле ВВП и численности населения приводит к снижению потребления энергии в этих странах в среднем на 1% (на 2% в Китае). В расчете на душу населения результаты аналогичны. Для США модель оценена по всему периоду наблюдений, так как доля ВИЭ в 1990-е годы уже была достаточно большой в этой стране. Тем не менее, оценки, полученные для США, противоречивы. По всей видимости, это связано с тем, что в США очень высокий уровень потребле-

¹ Dataset: Gross domestic expenditure on R-D by sector of performance and socio-economic objective in NABS2007. URL: <https://data.oecd.org/> (дата обращения: 19.09.2017).

ния энергии на душу населения в сравнении с другими рассматриваемыми в работе странами (см. рис. 2) и самая большая доля потребления энергии приходится на транспорт.

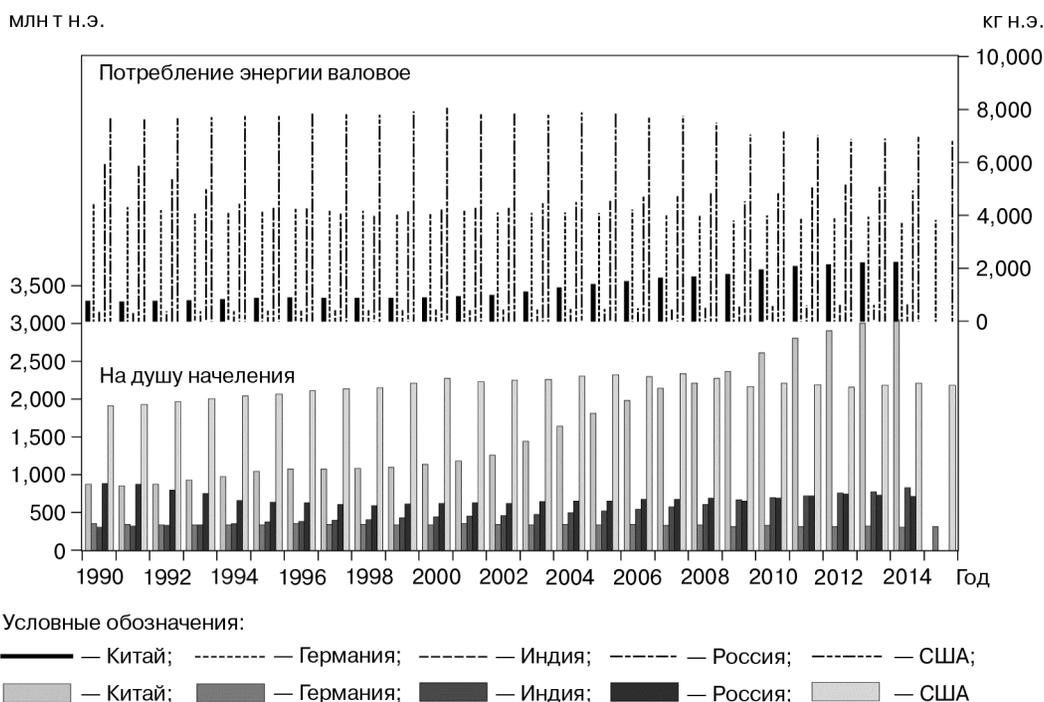


Рис. 2. Потребление энергии валовое, млн т.н.э. (левая ось) и в расчете на душу населения, кг нефтяного эквивалента (правая ось)
[Fig. 2. Energy consumption is gross (million tons of oil equivalent) and per capita (kg of oil equivalent, right axis)]

Источник: составлено авторами на основе статистических данных Всемирного банка.

Таблица 2

Оценка влияния доли ВИЭ на потребление энергии на основании уравнений (2) и (3)
[Estimation of the influence of the share of renewable energy sources on energy consumption on the basis of equations (2) and (3)]

Коэффициент/ оценка коэффициента	Германия	США	Китай	Индия	Россия
α_1	-0,009***	-0,009*	-0,02***	-0,01***	-0,01*
α_2	0,74	-1,35**	6,38	-1,48**	3,25**
α_3	0,57**	0,77***	0,48*	1,00***	0,33***
Коэффициент детерминации	0,85	0,90	0,99	0,99	0,91
α'_1	-0,009***	-0,02***	-0,02***	-0,009***	-0,01**
α'_2	0,55**	-0,21	0,83***	0,55**	0,23***
Коэффициент детерминации	0,77	0,74	0,99	0,77	0,90
Период оценки	2000—2014	1990—2014	2000—2014	2000—2014	2000—2014

***, **, * Оценка коэффициента значима на 1%-м, 5%-м и 10%-м уровне соответственно.
 Источник: составлено авторами на основе полученных оценок.

В рейтинге Американского совета за энергоэффективную экономику по показателю рационального использования энергии США отводится тринадцатое место в мире¹. По уровню потребления энергии в расчете на душу населения США (как Австралия и Канада) относится к числу самых расточительных в мире — 6,8 т.н.э. против 3,3 т.н.э. для ЕС. На проведение энергосберегающих мероприятий федеральные власти США выделяют меньше средств в сопоставимом выражении, чем ЕС². Тем не менее, в США большой потенциал роста энергоэффективности. Согласно исследованию McKinsey, установленная мощность энергоэффективных технологий США смогут сократить потребление энергии к 2020 году на 23%, по расчетам Rhodium Group, повсеместное внедрение энергосберегающих технологий и оборудования способно сократить энергопотребление в США на 42—59%. Заметим, что с 2009 года осуществляется масштабная программа создания «интеллектуальных энергосетей XXI века», предусматривающая проведение серии мероприятий по модернизации магистральных ЛЭП и распределительных энергосетей с применением прогрессивной электронной контрольно-измерительной аппаратуры, средств связи и компьютерных технологий. По расчетам Национальной лаборатории энергетических технологий, внедрение и реализация программы предполагает привлечение инвестиций в размере 17—24 млрд долл. США ежегодно в течение 20 лет (Дмитриев С.С., 2014).

Энергоэффективность. Одним из наиболее употребительных показателей, характеризующих энергоэффективность, является величина ВВП в расчете на единицу использованной энергии. В таблице 3 приведены оценки коэффициентов уравнения (4) для рассматриваемых в работе стран для двух периодов наблюдений: полный период, охватывающий все доступные данные (1990—2014/2015 годы) и период с 2004 по 2014/2015 годы. Выделение последнего десятилетия связано в резким ростом производства электроэнергии из ВИЭ (без учета гидроэнергетики) (см. рис. 1) и концентрации усилий многих стран мира (в особенности стран ЕС и стран-членов ОЭСР) на обеспечении устойчивого развития, одним из основ которого служит экологически устойчивый способ производства и использования энергии (Балашова С.А., Шполянская А.А., 2015).

Таблица 3

Оценка влияния доли ВИЭ на энергоэффективность на основании уравнения (4)
[Estimation of the influence of the share of renewable energy on energy efficiency based on equation (4)]

Коэффициент/ оценка коэффициента	Германия	США	Китай	Индия	Россия ³
β_2	0,28***/0,05	0,52***/0,15***	0,74***/0,66***	0,66***/0,51***	0,51***/0,38***

¹ Американский совет по энергоэффективной экономике. URL: <https://aceee.org/publications> (дата обращения: 19.09.2017).

² США: курс на энергосбережение и энергоэффективность. URL: <http://www.webeconomy.ru/index.php?page=cat&newsid=2872&type=news> (дата обращения: 19.09.2017).

³ Для России в уравнение (4) введена фиктивная переменная, учитывающая влияние глобального кризиса 2008 года на ВВП России.

Окончание табл. 3

Коэффициент/ оценка коэффициента	Германия	США	Китай	Индия	Россия
β_3	0,01**/0,027***	-0,004/0,036***	0,009***/-0,001	0,005**/0,001	-0,02/0,024
$\lambda = \beta_3/(1 - \beta_2)$	0,015/—	—/0,04	0,036/—	0,015/—	—/—
Коэффициент детерминации	0,97/0,94	0,99/0,99	0,99/0,98	0,99/0,92	0,97/0,97
Период оценки	1990—2015/ 2004—2015	1990—2014/ 2004—2014	1990—2014/ 2004—2014	1990—2014/ 2004—2014	1990—2014/ 2004—2014

***, ** Оценка коэффициента значима на 1%-м, 5%-м уровне соответственно. В случае незначимости оценок коэффициентов β_2 и/или β_3 долгосрочное воздействие не рассчитывается.

Источник: составлено авторами на основе оценок модели (4).

Полученные оценки достаточно точно улавливают тенденцию изменения показателя энергоэффективности за последние 25 лет. На рисунке 3 приведены фактические и расчетные значения этого показателя.

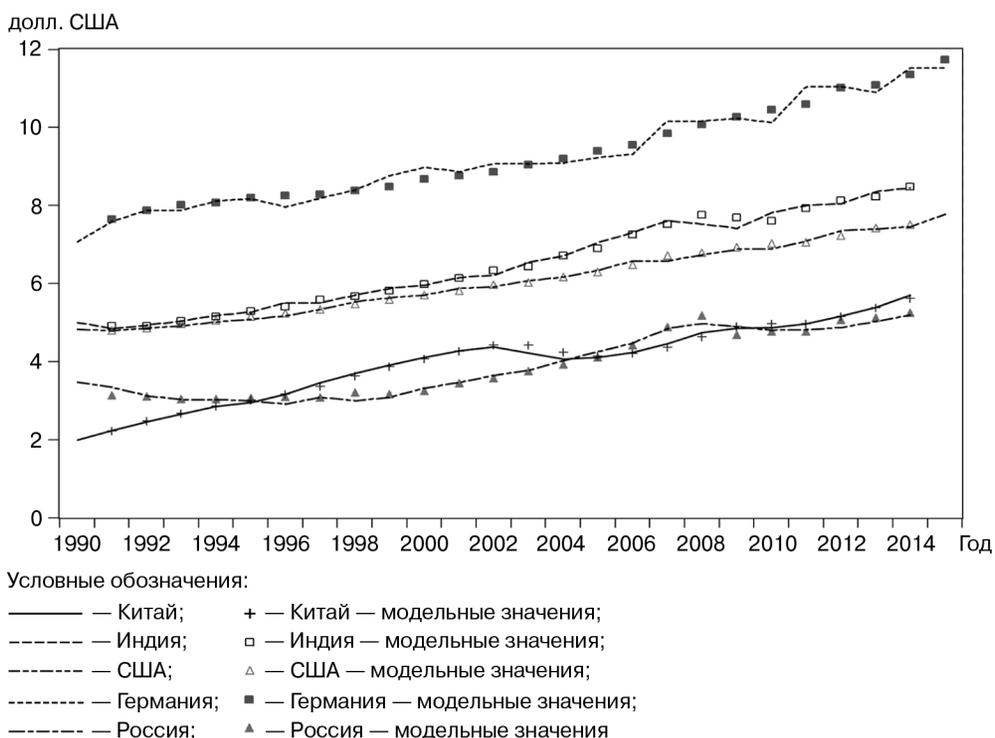


Рис. 3. ВВП на единицу затраченной энергии (в ценах 2011 года по ППС): наблюдаемые и расчетные значения по уравнению (4)

[**Fig. 3.** GDP per unit of energy expended (in 2011 prices for PPP): observed and calculated values according to equation (4)]

Источник: составлено авторами на основе статистических данных Всемирного банка и полученных оценок.

Как видно из рисунка 3, Германия имеет самый высокий показатель энергоэффективности среди рассматриваемых стран. Германия активно увеличивает долю энергии, получаемую из ВИЭ, в конечном потреблении. В 1990 году эта величина составляла всего 2%, и выросла более чем в 7 раз до 14,6% в 2015 году (по данным Евростат). Заметим, что согласно Стратегии 2020 целевым показателем в среднем для стран Евросоюза является величина 20%. В рамках этой стратегии каждая страна имеет свой целевой показатель в зависимости от начальных значений, потенциала использования возобновляемых источников энергии и уровня экономического развития, для Германии целевой показатель доли энергии, получаемой из ВИЭ, в конечном потреблении планируется 18% к 2020 году.

Результаты оценки, приведенные в таблице 3, показывают, что для Германии и США за последние 10 лет произошли существенные изменения в энергоэффективности и влиянии ВИЭ на этот показатель. Для Германии коэффициент, определяющий влияние значения прошлого периода на текущую энергоэффективность, достаточно мал при оценке по всему периоду наблюдений (0.28) и является незначимым при оценке по периоду с 2004 по 2015 годы при контроле доли ВИЭ в общей потребленной энергии. Это можно связать как с изменением структуры экономики Германии в пользу увеличения доли услуг в стоимостном объеме ВВП, так и с активным внедрением в Германии, особенно в последнее десятилетие, энергосберегающих технологий и элементов Smart Grid (Loschi, H. J., León, J., Iano, Y., Filho, E.R. [et. al], 2015).

С другой стороны, краткосрочное воздействие увеличения доли ВИЭ достаточно велико и существенно выросло за последнее десятилетие. Оценка коэффициента $\beta_3 = 0,027$, показывает, что в краткосрочном периоде рост доли энергии, полученной из ВИЭ, на 1 п.п. ведет к росту энергоэффективности на 2,7% при прочих равных условиях. С учетом ожидаемого роста доли ВИЭ с нынешних 15% до 18% к 2020 году можно прогнозировать минимальный рост энергоэффективности в Германии на 8% к 2020 году.

В США не такая высокая энергоэффективность, как в Германии, и в сопоставимых ценах несколько ниже, чем в Индии. Рост энергоэффективности в США только в последнее десятилетие можно связать с ростом доли ВИЭ, которая достигла почти 8% в производстве (без учета гидроэнергетики, см. рис. 1) и почти 9% в общем потреблении энергии. Согласно оценкам (см. табл. 3), увеличение доли ВИЭ в потреблении энергии на 1 п.п. в последние десятилетие приводит к увеличению энергоэффективности в США на 3,6% в краткосрочном и на 4% в долгосрочном периоде (воздействие в краткосрочном и долгосрочном периодах незначительно отличаются из-за малого коэффициента при лаговом значении изучаемой переменной при оценке по периоду с 2004 по 2014 годы).

В Индии и Китае энергоэффективность имеет тенденцию к росту в рассматриваемый период, что в первую очередь можно связать с высокими темпами роста экономик этих стран. Однако вклад ВИЭ в рост энергоэффективности не зафиксирован, несмотря на возросшую долю этих источников в производстве электроэнергии (см. рис. 1). В конечном потреблении энергии в Китае и Индии сильно возросла доля потребления энергии ископаемого топлива (88% в 2014 году

против 76% в 1990 году в Китае, в Индии рост до 73% в 2014 году от 54% в 1990 году), соответственно доля ВИЭ снизилась.

Для России показатель энергоэффективности имеет динамику, сходную с динамикой ВВП. Доля энергии из ВИЭ в суммарном потреблении очень мала (около 4%), практически не варьируется и не оказывает влияния на динамику исследуемого показателя.

Энергозависимость. Зависимость от импорта энергетических ресурсов — серьезная проблема для Германии (рис. 4). На ее решение направлены и программы повышения энергоэффективности, внедрение энергосберегающих технологий, «умных сетей», развитие возобновляемой энергетики. Несмотря на успехи, достигнутые на этом пути, Германия импортирует более 60% энергоресурсов¹. Зависимость от импорта энергоресурсов выросла за последние 10 лет в Индии и Китае, в США наблюдается снижение закупок энергосырья, в том числе за счет роста добычи сланцевой нефти газа.

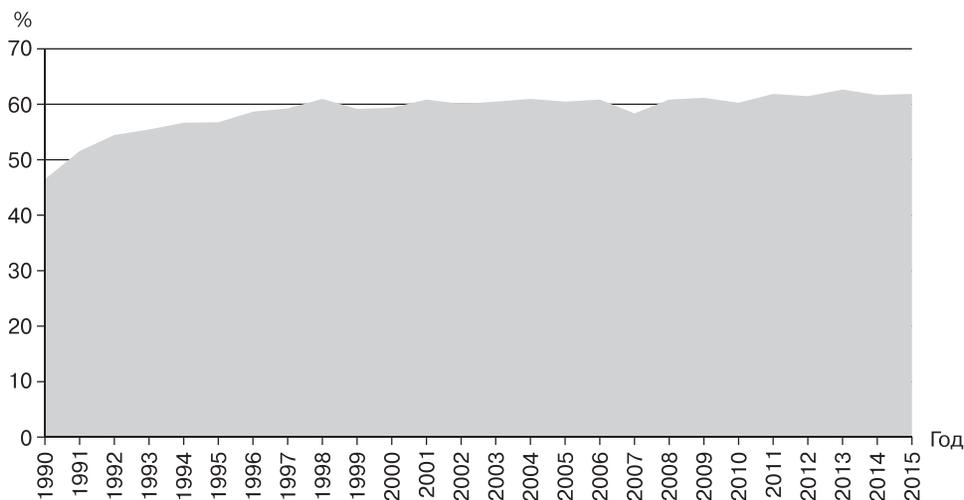


Рис. 4. Зависимость экономики Германии от импорта энергоресурсов, %
Fig. 4. Dependence of the German economy on the import of energy resources, %]

Источник: составлено авторами по данным Eurostat².

В таблице 4 приведены оценки параметров уравнения (5) для Германии, Индии и Китая. В Германии наиболее выражен эффект снижения зависимости от импорта энергоресурсов при росте доли ВИЭ в конечном потреблении. При нулевом росте ВВП на душу населения и увеличении доли ВИЭ на 1 п.п. энергозависимость снижается в среднем на 1,27 п.п. Рост ВВП на душу населения на 1% приводит к росту энергозависимости на 0,76 п.п. согласно полученным оценкам. Таким образом, если Германия увеличит долю ВИЭ в конечном потреблении до 18% к 2020 году, то это позволит ей не увеличивать долю импорта энергоресурсов даже при 6%-м росте ВВП на душу населения по сравнению с 2015 годом (т.е. при

¹ Показатель рассчитывается как отношение чистого импорта к сумме валового использования энергии плюс запасы.

² Eurostat. URL: <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database> (дата обращения: 19.09.2017).

среднегодовых темпах роста ВВП на душу населения 1,2%) при прочих равных условиях.

Таблица 4

Оценка влияния доли ВИЭ на снижение энергозависимости на основании уравнения (5)
[Estimation of the influence of the share of RES on the reduction of energy dependence based on equation (5)]

Коэффициент/оценка коэффициента	Германия	Китай	Индия
δ_1	-1,27***	-0,43**	-0,01
δ_2	75,5***	4,92***	20,2***
Коэффициент детерминации	0,77	0,94	0,97
Период оценки	1990—2015	1990—2014	1990—2014

***, ** Оценка коэффициента значима на 1%-м, 5%-м уровне соответственно.

Источник: составлено авторами на основе полученных оценок.

В Китае зависимость от импорта энергоресурсов значительно ниже, чем в Германии, и составляет по данным Мирового банка 15% по состоянию на 2014 год. Согласно полученным оценкам при контроле ВВП на душу населения рост доли ВИЭ на 1 пп. ведет в среднем к сокращению энергозависимости на 0,43 п.п. Таким образом, если ожидать рост ВВП на душу населения в Китае в среднем на 6% в год, то при росте доли ВИЭ к 2020 году до 20%, энергозависимость Китая снизится с нынешних 15% до 13% к 2020 году.

В Индии резко возросла зависимость от импорта энергоресурсов с 8% в 1990 году до 34% в 2014 году. Статистически значимой оценки влияния доли ВИЭ на снижение этой зависимости не получено.

Заключение

Выполненный эконометрический анализ на основе имеющихся статистических данных позволяет сделать выводы, что производство энергии из возобновляемых источников в рассматриваемых странах растет различными темпами и зависит от того, является рассматриваемая страна импортером или экспортером энергоресурсов и от уровня государственной поддержки развития ВИЭ; рост потребления энергии, вызванный ростом экономики и возрастающими потребностями населения, снижается за счет внедрения Smart Grid и увеличения доли ВИЭ; с увеличением доли электроэнергии из возобновляемых источников в общем потреблении энергии растет энергоэффективность; производство энергии из возобновляемых источников снижает зависимость от импорта для энергозависимых стран. Таким образом, выдвинутые гипотезы подтвердили влияние внедрения умных энергосетей и возобновляемых источников энергии на повышение энергоэффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Статистические данные Всемирного банка. URL: <https://data.worldbank.org/country> (дата обращения: 13.08.2017).

Allcott, H., Greenstone, M. Is There an Energy Efficiency Gap? In *Energy Efficiency. Towards the End of Demand Growth*. 2013. P. 133—161.

Dent C. Wind energy development in East Asia and Europe. *Asia Europe Journal.* 2013. Vol. 11. Issue 3. P. 211—230.

Айвазян С.А. Методы эконометрики. М.: Инфра-М, 2014.

Носко В.П. Введение в анализ временных рядов. М., 2002.

Программы развития возобновляемой энергетики, согласно данным Международного энергетического агентства. URL: <https://www.iea.org/policiesandmeasures/renewableenergy/> (дата обращения: 20.07.2017).

New Energy Outlook 2017 (NEO 2017). URL: https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2017/06/BNEF_NEO2017_ExecutiveSummary.pdf?elqTrackId=431b316cc3734996abdb55ddbca0249&elq=eff26d245c8345158dc1cc5d51cd2172&elqaid=7785&elqat=1&elqCampaignId (accessed: 19.09.2017).

Голиков И.В. Новые энергосберегающие технологии // Научно-образовательный потенциал молодежи в решении актуальных проблем XXI века. 2017. № 7. С. 211—214.

США: курс на энергосбережение и энергоэффективность. URL: <http://www.webeconomy.ru/index.php?page=cat&newsid=2872&type=news> (дата обращения: 10.09.2017).

Дмитриев С.С. Энергетическая стратегия Б. Обамы: опора на инновации и технологическое лидерство. М.: ИМЭМО РАН, 2014. 162 с.

Балашова С.А., Шполянская А.А. Административные и экономические механизмы обеспечения инновационного развития (опыт Германии и скандинавских стран) // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2015. № 47. С. 53—66.

Loschi, H.J., León, J., Iano, Y., Filho, E.R., Conte, F.D., Lustosa, T.C., & Freitas, P.O. Energy Efficiency in Smart Grid: A Prospective Study on Energy Management Systems. *Smart Grid and Renewable Energy.* 2015. No. 06(08). P. 250—259.

© Матюшок В.М., Бруно Серджио, Балашова С.А., Гомонов К.Г., 2017

Благодарности и финансировании:

Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 17-06-00581).

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 24 октября 2017

Дата принятия к печати: 29 декабря 2017

Для цитирования:

Матюшок В.М., Бруно Серджио, Балашова С.А., Гомонов К.Г. Влияние Smart Grid и возобновляемых источников энергии на энергоэффективность: зарубежный опыт // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экономика.* 2017. Т. 25. № 4. С. 583—598. DOI: 10.22363/2313-2329-2017-25-4-583-598

Сведения об авторах:

Матюшок Владимир Михайлович, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономико-математического моделирования экономического факультета, директор Международного центра исследований развивающихся рынков Российского университета дружбы народов. Контактная информация: e-mail: vmatyushok@mail.ru

Бруно Серджио, профессор, исследователь при Дэвис центре российских и евразийских исследований Гарвардского университета, Кеймбридж, США. Контактная информация: e-mail: bsergi@fas.harvard.edu

Балашова Светлана Алексеевна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры экономико-математического моделирования экономического факультета, заместитель директора Международного центра исследований развивающихся рынков Российского университета дружбы народов. *Контактная информация*: e-mail: balashova_sa@rudn.university

Гомонов Константин Геннадьевич, кандидат экономических наук, старший преподаватель кафедры экономико-математического моделирования Российского университета дружбы народов. *Контактная информация*: e-mail: gomonov_kg@rudn.university

INFLUENCE OF SMART GRID AND RENEWABLE ENERGY SOURCES ON ENERGY EFFICIENCY: FOREIGN EXPERIENCE

V.M. Matyushok, Bruno Sergio, S.A. Balashova, K.G. Gomonov

¹ Peoples Friendship University of Russia
6, Miklukho-Maklaya str., Moscow, Russia, 117198

² Harvard University
Massachusetts Hall, Cambridge, MA 02138

Abstract. The article analyzes foreign influences on energy efficiency of such factors as raising the level of energy production from renewable sources and introducing smart technologies in power networks. Econometric analysis of experience in increasing energy efficiency of the United States, China, India, and Germany in comparison with Russia has been performed using a number of hypotheses to construct models. The necessity of transition to a new energy structure based on active introduction of energy efficient equipment, advanced energy and information and communication technologies, renewable energy sources, complex systems and services of intellectual energy built on an open network architecture is substantiated.

Key words: smart grids, economic efficiency of energy industry, energy efficiency

REFERENCES

- Statisticheskie dannye Vsemirnogo banka. URL: <https://data.worldbank.org/country> (accessed: 13.08.2017) (In Russ).
- Allcott, H., & Greenstone, M. (2013) Is There an Energy Efficiency Gap? *In Energy Efficiency. Towards the End of Demand Growth*. P. 133—161.
- Dent C. (2013) Wind energy development in East Asia and Europe. *Asia Europe Journal*. Vol. 11. Issue 3. P. 211—230.
- Aivazyan S.A. (2014) *Metody ekonometriki*. M.: Infra-M. (In Russ).
- Nosko V.P. (2002) *Vvedenie v analiz vremennykh ryadov*. Moskva. (In Russ).
- Programmy razvitiya vozobnovlyaevoi energetiki, soglasno dannym Mezhdunarodnogo energeticheskogo agentstva. URL: <https://www.iea.org/policiesandmeasures/renewableenergy/> (accessed: 20.07.2017) (In Russ).
- New Energy Outlook 2017 (NEO 2017). URL: https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2017/06/BNEF_NEO2017_ExecutiveSummery.pdf?elqTrackId=431b316cc3734996abdb55ddbca0249&

elq=eff26d245c8345158dc1cc5d51cd2172&elqaid=7785&elqat=1&elqCampaignId (accessed: 19.09.2017).

Golikov I.V. (2017) *Novye energosberegayushchie tekhnologii. Nauchno-obrazovatel'nyi potentsial molodezhi v reshenii aktual'nykh problem XXI veka.* No. 7. S. 211—214.

SShA kurs na ehnergosberezhenie i ehnergoehffektivnost. URL: <http://www.webeconomy.ru/index.php?page=cat&newsid=2872&type=news> (accessed: 10.09.2017).

Dmitriev S.S. (2014) *Energeticheskaya strategiya B. Obamy: opora na innovatsii i tekhnologicheskoe liderstvo.* M.: IMEMO RAN. 162 s. (In Russ).

Balashova S.A., Shpolyanskaya A.A. (2015) *Administrativnye i ekonomicheskie mekhanizmy obespecheniya innovatsionnogo razvitiya (opyt Germanii i skandinavskikh stran). Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost'.* No. 47. S. 53—66. (In Russ).

Loschi, H.J., León, J., Iano, Y., Filho, E.R., Conte, F.D., Lustosa, T.C., & Freitas, P.O. (2015) *Energy Efficiency in Smart Grid: A Prospective Study on Energy Management Systems. Smart Grid and Renewable Energy.* No. 06(08). P. 250—259.

Acknowledgements:

The article was prepared with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research (grant No. 17-06-00581).

Article history:

Received: 24 October 2017

Revised: 02 December 2017

Accepted: 29 December 2017

For citation:

Matyushok V.M., Bruno Sergio, Balashova S.A., Gomonov K.G. Influence of smart grid and renewable energy sources on energy efficiency: foreign experience. *RUDN Journal of Economics*, 25 (4), 583—598. DOI: 10.22363/2313-2329-2017-25-4-583-598

Bio Note:

Matyushok V.M., Dr. Econ. Sci., Full Professor, Director of the International Center for Emerging Market Research, Head of the Department of Economic and Mathematical Modeling of the Faculty of Economics, of the Peoples Friendship University of Russia. *Contact information:* e-mail: vmatyushok@mail.ru

Bruno Sergio, Professor, researcher at the Davis Center for Russian and Eurasian Studies Harvard University, Cambridge, USA. *Contact information:* e-mail: bsergi@fas.harvard.edu

Balashova S.A., Cand. Physico-math. Sci., Associate Professor of the Department of Economic and Mathematical Modeling, Deputy Director of the International Center for Emerging Market Research, of the Peoples Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation. *Contact information:* e-mail: balashova_sa@rudn.university

Gomonov K.G., Cand. Econ. Sci., Senior Lecturer of the Department of Economic and Mathematical Modeling of the of the Peoples Friendship University of Russia, Department of Economics, Moscow, Russian Federation. *Contact information:* e-mail: gomonov_kg@rudn.university