

О ВЛИЯНИИ ФИНАНСИРОВАНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК НА ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НАЦИОНАЛЬНЫХ ЭКОНОМИК

В мире активно ведется поиск решений, обеспечивающих повышение энергетической эффективности национальных хозяйств. Но прямое достижение успеха невозможно без знаний закономерностей и тенденций потребления первичных энергетических ресурсов (ПЭР).

Несмотря на пристальное внимание, уделяемое проблемам энергопотребления в экономически развитых странах, прежде всего достижению экономического роста без дополнительного привлечения топливно-энергетических ресурсов¹, 74-процентный прирост мирового ВВП, достигнутый в последнее десятилетие, потребовал 22-процентного увеличения энергозатрат.

Попытки понять закономерности формирования спроса на энергоресурсы вынуждают исследователей к учету большого количества факторов. Удель-

ное (на душу населения) энергопотребление изучается в контексте уровня развития технологий, отраслевой структуры хозяйства, структуры энергобаланса, темпов экономического роста, прироста населения, вплоть до удельной численности автомобилей и влияния климатических условий [1-5]. И хотя решающая роль науки в повышении энергоэффективности не ставится под сомнение [6], этот фактор является скорее декларативным.

Автономный (отраслевой) научно-технический прогресс, по мнению украинских ученых [7, с. 46], оказывает влияние на энергопотребление по стране в соответствии с функцией Кобба-Дугласа

$$E_t = E_{t-1} \left(\frac{Y_t}{Y_{t-1}} \right)^\alpha \left(\frac{P_t}{P_{t-1}} \right)^\beta (1-a)_t, \quad (1)$$

где t – время (год);

E_t и E_{t-1} – энергопотребление соответственно в год t и $t-1$;

Y_t и Y_{t-1} – ВВП соответственно в год t и $t-1$;

P_t и P_{t-1} – цены на энергию соответственно в год t и $t-1$;

a – автономный прогресс в энергетических технологиях;

$a = 0,01$; α – эластичность потребления по доходам;

β – ценовая эластичность энергопотребления.

Но это – гипотеза, предположение. Реальные количественные подтвержде-

¹ В принятой в 2010 г. новой стратегии развития ЕС «Европа-2020» Еврокомиссия предложила государствам-членам ЕС трансформировать цели союза в свои национальные стратегии. Для этого были определены флагманские инициативы (направления деятельности), среди которых «Целесообразное использование ресурсов в Европе», чтобы сделать экономический рост не зависящим от ресурсов, способствовать переходу на экономику с низким содержанием углерода, увеличить использование источников возобновляемой энергии, провести модернизацию транспортного сектора и обеспечить разумное использование источников энергии.

ния действенного воплощения результатов исследований и разработок в сфере энергопотребления на макроэкономическом уровне отсутствуют.

Если нет внятных результатов, свидетельствующих об ожидаемых изменениях выходного звена триады энергоэффективность – НТП – финансирование исследований и разработок, то естественным представляется вопрос о достаточности и целесообразности исходного звена – самой инвестиционной деятельности на уровне науки.

В последнем докладе ЮНЕСКО о развитии мировой науки (UNESCO Science Report: towards 2030) отмечено, что за период с 2007 по 2013 г. затраты на науку и объем выполненных работ стабильно растут и опередили рост ВВП (31% против 20%). Показательной является все большая вовлеченность в поддержку научно-технического прогресса развивающихся стран. Если раньше развитые экономики несли около 70% мировых расходов на НИОКР, то теперь, несмотря на абсолютное увеличение расходов, их доля постепенно сокращается. А доля вложений государств Юго-Восточной Азии, напротив, растет и с 29 поднялась до 37% [8].

Естественно, что научные исследования и разработки ведутся не только за счет бюджетных источников, но и национальными, а еще больше – транснациональными корпорациями. Этот бизнес породил инновационные структуры, нацеленные на разрешение глобальных энергетических вызовов [9], создание новых энергетических технологий [10]. Но государственные отчисления на науку являются наиболее весомым и надежным источником ее развития, а сведения о бюджетных отчислениях на эти цели, публикуемые Мировым банком, – единственным достоверным информационным источником о развитии процессов.

Расхождение между желаемым и реальным в энергетике может означать либо недостаточность вкладываемых в данную отрасль науки финансовых ресурсов, либо ошибочный путь ее (науки) развития. «Многочисленные дилеммы, стоящие сегодня перед многими странами, похоже, приобретают все более общий характер. К их числу относится стремление найти равновесие между местным и международным участием в научных исследованиях, между фундаментальными и прикладными исследованиями, между генерацией новых знаний и производством знаний, пользующихся спросом на рынке, между наукой в интересах общественного блага и наукой как движущей силой коммерческой деятельности» (Люк Соэт, Сузан Шнеганс, Дениз Эрекал, Баскаран Ангатевар и Раджа Расия [8]).

Мы далеки от мысли об ошибочности научных поисков в сфере экономии энергоресурсов и повышения эффективности их использования, скорее, присутствует ошибочность в распределении ограниченных инвестиционных ресурсов, а также институциональные моменты, прежде всего предвзятое отношение к нововведениям со стороны подавляющей части персонала, главным образом нижнего и среднего звена [11].

Изложенное побудило авторов поставить в качестве цели исследований проверку гипотезы о существовании статистически значимого влияния бюджетного финансирования исследований и разработок на потребление национальными экономиками энергетических ресурсов.

Исходя из цели исследований в качестве мерила эффективности указанных процессов логично взять динамику удельного энергопотребления, обусловленную изменением величины, именуемой в среде международных экспертов *R&D* (от *Research and development expen-*

diture), представляющей собой измеренные в процентах к ВВП расходы на исследования и разработки.

Важным моментом статистических исследований является правильный выбор зависимой и независимой переменных, поскольку нередко отсутствие положительного эффекта в проводимом математическом анализе (неподтвержденность статистически значимых связей) обусловлено некорректной постановкой задачи.

Для оценки динамики потребления энергетических ресурсов в качестве зависимой переменной нами предложено использовать свойственное каждой национальной экономике ускорение (вторую производную) от кумулятивного потребления первичных энергетических ресурсов как функции времени.

$$w_m = \frac{d^2 \text{Cum}_m(E_{mt})}{dt^2}, \quad (2)$$

где w_m – вторая производная функции $\text{Cum}_m(E_{mt})$, ускорение изменения функции в m -й макроэкономике;

$\text{Cum}_m(E_{mt})$ – кумулятивное за ряд лет потребление ПЭР m -й макроэкономикой;

E_{mt} – потребление ПЭР m -й макроэкономикой в год t ;

t – текущее значение года.

$$\text{Cum}_m(E_{mt}) = at^2 + bt + c = S(S_1, S_2, \dots, S_k, \dots, S_T, t), \quad (3)$$

где a, b, c – коэффициенты полинома второй степени, аппроксимирующего значения ряда $S(E_m, t)$:

$$S_1 = E_{m1};$$

$$S_2 = S_1 + E_{m2};$$

$$S_k = S_{k-1} + E_{mk} \text{ и т.д.}$$

Если значение второй производной положительно, то макроэкономика с той или иной степенью интенсивности продолжает из года в год увеличивать потребление ПЭР, если ускорение отрицательно, то происходит замедление расхода энергоресурсов.

Целью анализа является установление статистической значимости связей между ускорением в некоей экономике кумулятивного потребления ПЭР и финансированием в ней научных разработок.

В результате рассуждений авторы пришли к мысли о том, что специфика инвестиций в научные исследования, дающая себя знать в виде временного лага между моментом вложения средств и получением результата, требует особого учета инвестиционных процессов. Имеет смысл использовать при проведении статистического анализа не текущие инвестиции в научно-техническую сферу, а накопленные (кумулятивные) в срезе отдельной макроэкономики вложения.

Годовая инвестиция в научную сферу составляет

$$F_{mt} = \text{GDP}_{mt} \text{RD}_{mt} / 100, \quad (4)$$

где F_{mt} – инвестиции в сферу науки по m -й национальной экономике в год t ;

GDP_{mt} – ВВП на душу населения по m -й национальной экономике в год t ;

RD_{mt} – процент бюджетных отчислений на исследования и разработки по m -й национальной экономике в год t .

Накопленные за период времени T бюджетные отчисления по рассматриваемому национальному хозяйству представляют собой составляющую независимой переменной, участвующей в статистическом анализе.

$$\text{Cum}F_m = \sum_1^T F_{mt}, \quad (5)$$

где F_m – кумулятивные за T лет отчисления на исследования и разработки по m -й национальной экономике.

Данное исследование построено на анализе статистических данных, характеризующих страны мира как экономики и энергетики. Объектом, подлежащим изучению в ходе проводимых статистических исследований, является пара переменных, а именно w_m (ряд ускорений,

характеризующих динамику энергопотребления странами) и $\sum F_m$ (ряд кумулятивных инвестиций в науку, также составленный из показателей отдельных макроэкономик), показатели которых определены на основании обработки данных многолетних наблюдений по каждой из включенных в анализ национальных экономик.

Описание исходных данных и их первичный анализ

Принимая во внимание существенные межстрановые различия экономического и энергетического свойства, в базу данных было решено включить показатели широкого круга государств, находящихся на разных континентах и в отличающихся климатических поясах. Наиболее полно представлены страны ЕС и государства постсоветского пространства. Выбор объектов, принятых к исследованию, с одной стороны, достаточен, чтобы характеризовать основные регионы мира, отобразить существующее разнообразие уровня благосостояния, обеспеченности энергетическими ресурсами, отраслевой структуры и стадии развития экономики.

С другой стороны, анализируемая выборка стран ограничена имеющимся набором достоверных данных и возможностями исследователей. Поэтому в выборку не были включены такие страны, как Канада, Израиль, имеющие неполные наборы статистических характеристик, и были исключены Исландия, Тринидад и Тобаго с энергетическими показателями столь отличными от других, что свойственные им наблюдения, пользуясь языком теории вероятностей, выглядят грубыми промахами. Из всех стран мира, среди которых самые богатые и самые обеспеченные энергоресурсами, именно эти две экономики потребляют больше всего энергии на душу населения. Исландия – богатая страна, широко использующая гидро- и геотермальные виды энергии. Тринидад и Тобаго – одна из

самых богатых стран Карибского региона, которая, кроме прочего, является мощным добытчиком нефти и газа. На территории страны находится одна из крупнейших установок подготовки газа, что делает Тринидад и Тобаго крупнейшим экспортером сжиженного природного газа в Западном полушарии.

Исследования проведены на основании данных Мирового банка о 44 странах мира [12-17].

Набор показателей составлен таким образом, чтобы они в достаточной степени характеризовали и экономический, и энергетический уровень развития страны. Некоторые из нижеописанных переменных уже встречались в формулах, но здесь дано их более детальное определение.

E_m – потребление энергетических ресурсов в кг нефтяного эквивалента (н.э.) на душу населения – *Energyuse (kg of oil equivalent per capita)*;

RD_m – расходы на исследования и разработки в процентах к ВВП – *Research and development expenditure (% of GDP)*;

Ind_m – объем промышленного производства на душу населения, рассчитанный как отношение объема промышленного производства в стране – *Industry, valueadded (constant 2005 US\$)* на душу населения в стране (*Population, total*);

GDP_m – ВВП страны на душу населения по паритету покупательной способности в международных долларах – *GDP percapita, PPP (current international \$)*;

T – средняя температура января в градусах Цельсия (*Average January temperature*).

Энергопотребление по представленной совокупности стран, как показал статистический анализ, выполненный с использованием модуля Multiply Regression пакета Statistica for Windows® [18], дает основание считать, что из четырех переменных, изначально принятых к рассмотрению (ВВП на душу населения,

выпуск промышленной продукции на душу населения, затраты на исследования и разработки, средняя температура января по данным многолетних наблюдений) статистически незначимым по отношению к удельному энергопотреблению является только удельный объем выпуска промышленной продукции. Уравнение регрессии имеет вид

$$E_{ms} = 0.558GDP_{ms} + 0.371RD_{ms} - 0.400T_{ms}, \quad (6)$$

где E_{ms} – стандартизованный расход ПЭР в течение года в m -й стране

GDP_{ms} – стандартизованное значение валового внутреннего продукта, исчисленного на душу населения по m -й стране;

RD_{ms} – стандартизованное значение затрат на финансирование исследований и разработок в m -й стране;

T_{ms} – стандартизованное значение температурного показателя.

Характеристики модели: коэффициент множественной корреляции $R=0.879$; $R^2=0.773$; скорректированный $R^2=0.757$; критерий Фишера $F(3,42)=47,753$; $p<0.0000$; стандартная ошибка аппроксимации (Standard Error of estimate): 0,510.

Принцип стандартизации переменных – приведение их к значениям от минус 1 до плюс 1 (вне зависимости от природы величины) применительно к характеристикам выборки.

$$X_{si} = \frac{X_i - M_i}{D_i}, \quad (7)$$

где X_{si} – стандартизованное значение i -го показателя по m -й стране;

X_i – натуральное значение i -го показателя по m -й стране;

M_i – математическое ожидание i -го показателя по m -й стране;

D_i – стандартное отклонение показателя по выборке.

Представление переменных в стандартизованном виде дает принципиальную возможность по значению коэффициента регрессии оценить степень влия-

ния каждой из них на функцию отклика. Так, по силе влияния на энергопотребление по стране переменные распределяются следующим образом: объем ВВП, температурный режим и финансирование научно-технических разработок. Отрицательное значение коэффициента регрессии при климатическом факторе означает, что потребление энергоресурсов больше в странах с холодным климатом.

Следующее уравнение позволяет оценить удельное потребление по стране и в натуральном выражении

$$E_m = 2982 + 850GDP_{ms} + 553RD_{ms} - 597T_{ms}. \quad (8)$$

Несмотря на то что, судя по уравнениям регрессии, существует статистически значимая связь между энергопотреблением в стране и финансированием науки, она трудно поддается интерпретации: затраты на стимулирование научно-технического прогресса, как правило, ассоциируются с ожиданиями достижений в сфере энерго- и ресурсосбережения. Здесь же – положительный знак перед соответствующим коэффициентом – все наоборот, чем больше делается вложений в научные исследования, тем больше расход ПЭР по макроэкономике.

Парадокс, свойственный регрессионной модели (8), косвенно подтверждает правильность предложенного подхода, позволяющего раскрыть более тонкие эффекты в связях переменных.

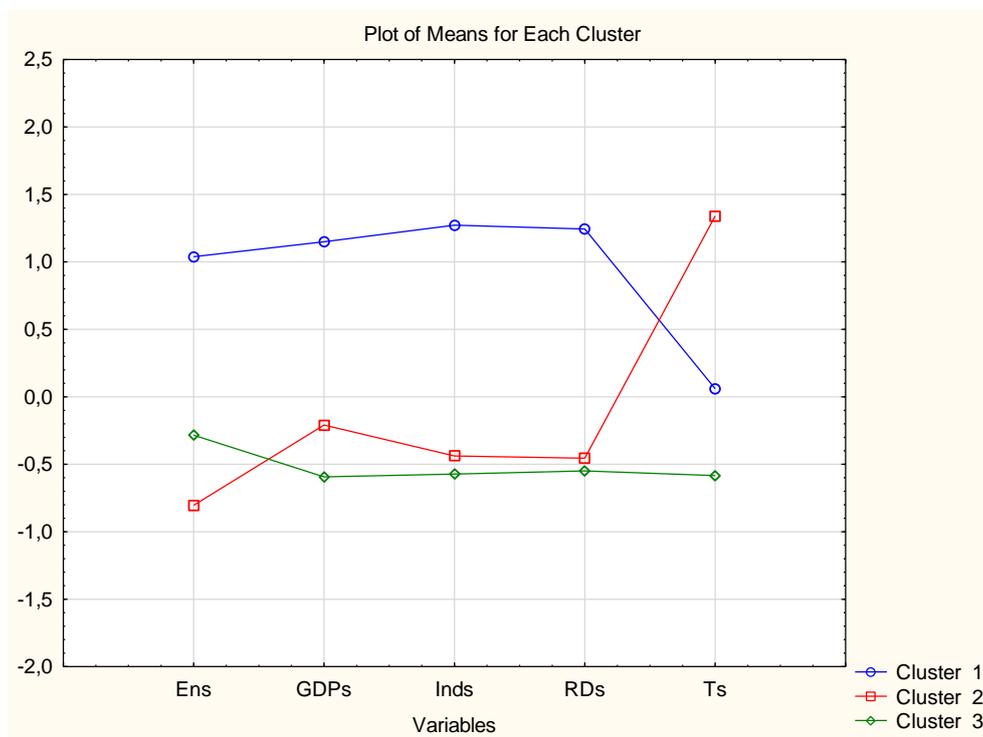
Принятию к детальному изучению ограниченного числа объектов из достаточно обширной выборки предшествовала группировка национальных экономик с использованием методов кластерного анализа.

Группировка регионов

Пять факторов в стандартизованном исчислении (четыре упомянутых и годовой расход ПЭР) были использованы для формирования кластеров из числа рассматриваемых стран. Серия статистических исследований методом сочетания

кластерного и дисперсионного анализа привела к выводу о том, что три кластера есть то сочетание стран, которое обеспечивает их статистическое различие по

энергопотреблению (рис. 1). Статистические характеристики показателей выборки представлены в табл. 1.



Источник данных: [12-17], расчеты авторов.

Рис. 1. Соотношение данных по кластерам

Таблица 1

Статистические характеристики показателей выборки

Значение по показателям	E_m	GDP_m	Ind_m	RD_m	T_m
Максимальное значение	6815	76988	21126	3,9	26,3
Минимальное значение	637	2921	96	0,2	-26,4
Математическое ожидание	2982	27501	4692	1,3	0,3

Источник данных:[12-17], расчеты авторов.

Предложенная на основе проведенного анализа классификация групп представлена в табл. 2, а в табл. 3 дана описательная статистика по кластерам.

Группировка стран, выполненная в автоматическом режиме, привела к тому, что в *первой группе* оказались страны-локомотивы мировой экономики, имеющие самые высокие показатели ВВП на душу населения (наибольший показатель

у Сингапура – 76988 дол., наименьший – у Кореи – 32022 дол.). Расходы на науку в среднем по этой группе стран – в сопоставлении с второй и третьей группами – являются отличительно высокими (2,5% ВВП).

Регрессионный анализ, проведенный по данным каждого кластера, позволил установить, что в первом кластере на энергопотребление значимо влияют

Таблица 2

Основные показатели групп стран в соответствии с предложенной классификацией (по данным 2012 г.)

Тип	Страны	E_m , кг н.э./чел.	GDP_m дол./чел.	Ind_m дол./чел.	RD_m проц.	T_m град. С
Первая группа ($n=13$)	Австрия, Бельгия, Германия, Финляндия, Великобритания, Ирландия, Япония, Корея, США, Нидерланды, Норвегия, Сингапур	4584	46028	10230	2,5	0,9
Вторая группа ($n=9$)	Аргентина, Куба, Испания, Гонконг, Индия, Италия, Мексика, Панама, Португалия	1741	24130	2785	0,9	15,0
Третья группа ($n=22$)	Армения, Азербайджан, Болгария, Беларусь, Китай, Чешская Республика, Эстония, Венгрия, Казахстан, Киргизская Республика, Литва, Латвия, Македония, Монголия, Польша, Румыния, Россия, Сербия, Словения, Словацкая Республика, Турция, Украина	2543	17932	2200	0,8	-6,2

Источник данных: [12-17], расчеты авторов.

Таблица 3

Статистические данные по кластерам (стандартизованное исчисление)

	E_{ms}	GDP_{ms}	Ind_{ms}	RD_{ms}	T_{ms}
Первая группа					
Математическое ожидание	1,038	1,149	1,272	1,243	0,060
Стандартное отклонение	0,783	0,785	0,839	0,762	0,815
Дисперсия	0,614	0,616	0,704	0,581	0,665
Вторая группа					
Математическое ожидание	-0,805	-0,209	-0,438	-0,455	1,340
Стандартное отклонение	0,467	0,875	0,472	0,485	0,647
Дисперсия	0,218	0,765	0,222	0,286	0,419
Третья группа					
Математическое ожидание	-0,284	-0,593	-0,573	-0,549	-0,584
Стандартное отклонение	0,764	0,446	0,363	0,514	0,617
Дисперсия	0,584	0,199	0,131	0,263	0,380

Источник данных: [12-17], расчеты авторов.

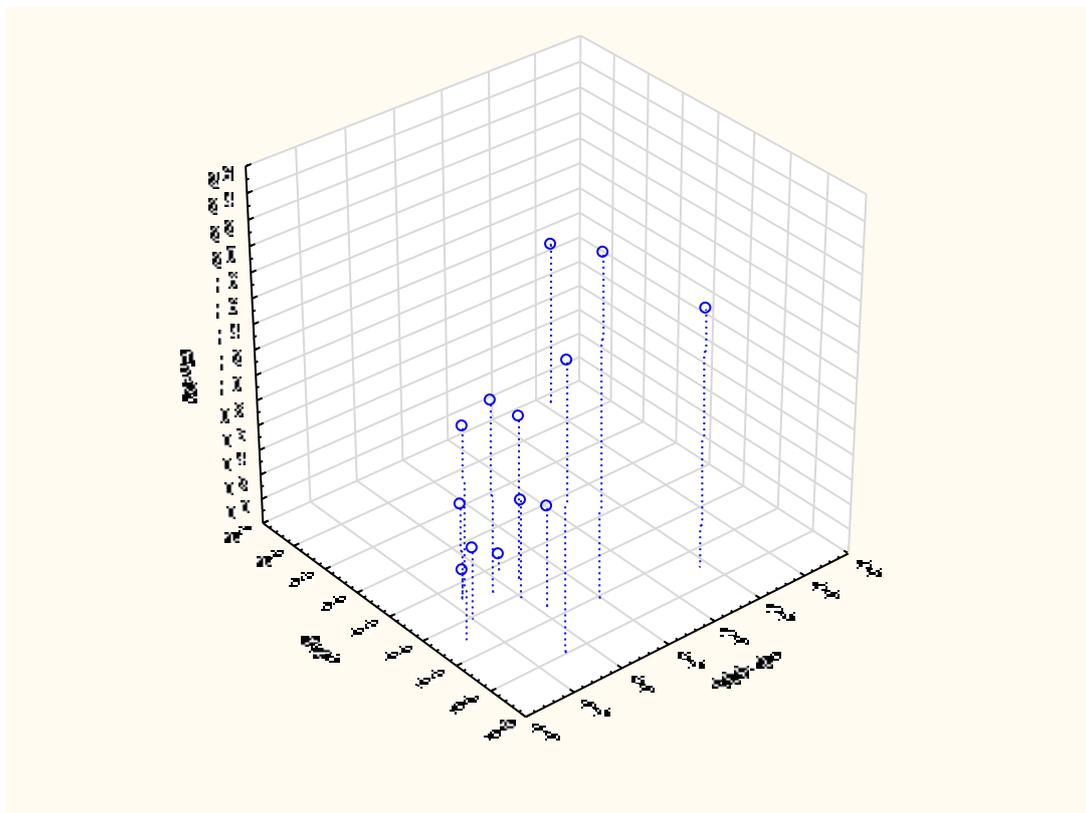
переменные GDP_{ms} и T_{ms} . Уравнение регрессии имеет вид

$$E_{ms} = 0.623GDP_{ms} - 0.655T_{ms}. \quad (9)$$

Характеристики модели: коэффициент множественной корреляции $R=0.671$; $R^2=0.451$; скорректированный $R^2=0.341$;

критерий Фишера $F(2,10)=4,106$; $p<0.0499$; стандартная ошибка аппроксимации: 0,636.

На рис. 2 представлена общая картина зависимости уровня энергопотребления от переменных GDP_{ms} и T_{ms} .



Источник данных: [12-17], расчеты авторов.

Рис. 2. Зависимость энергопотребления от переменных в первом кластере

Среди стран в этой группе наибольшее потребление ПЭР имеет США. Вместе с тем по удельному энергопотреблению эта страна, одна из самых богатых в мире, занимает 9 место после Исландии, Катара, Тринидада и Тобаго, Кувейта, Брунея, Люксембурга, ОАЭ и Канады (по указанным ранее причинам не вошедших в выборку). США принадлежит 4 место в мире по территории (9,5 млн км²). В работе [19] указаны разные причины, по которым крупные государства потребляют больше энергии. Размеры территории обуславливают повышенные расходы энергии на транспорт. В США на единицу валового продукта расход ПЭР на 20% превышает показатели европейских стран.

За США следует Финляндия, более трети территории которой находится за Полярным кругом, а средняя температура января составляет -10,5°C.

Развитость экономики и достигнутый высокий уровень жизни позволяют странам первого кластера вкладывать значительные средства в научные исследования и разработки. Так, по данным 2012 г. в Финляндии расходы на научные разработки составляют 3,5% ВВП, в Германии – 2,9, в США – 2,8%. Значительное увеличение расходов по этой статье произошло в Республике Корея, где показатель увеличился с 2,5% в 1997 г. до 4,0% в 2011 г.

В последние годы страны ЕС, США, Япония, Республика Корея ужесточили национальное законодательство в плане сокращения выбросов углерода, что стимулировало освоение альтернативных источников энергии и работы по повышению энергоэффективности. В США с 2007 г. функционирует агентство прорывных исследовательских проектов в области энергетики – ARPA-E. Объем

финансирования организации в 2009-2011 гг. составил 700 млн дол. Западная Европа дотирует как исследования, так и производство оборудования в области возобновляемых источников энергии в сфере новых энергетических технологий [20].

Правительство Южной Кореи разработало и приняло перспективную программу развития науки – так называемую «Программу 577», которая предусматривает ежегодное выделение 5% ВВП на научно-технические разработки по семи технологическим направлениям и достижение мирового уровня в семи научно-технических отраслях. Основные государственные ресурсы, а также частные инвестиции направляются на: энергосберегающие и экологически чистые технологии; аэрокосмические технологии; атомную энергетику; военную промышленность; фундаментальные науки; подготовку высококвалифицированных научных кадров. В стране уже действует ряд современных, основанных на высоких технологиях, энергосберегающих объектов. К 2030 г. запланировано довес-

ти долю возобновляемых источников в общей структуре потребления электроэнергии до 13%. На разработку альтернативных источников энергии в последние годы выделено более 2 млрд дол. [6; 21].

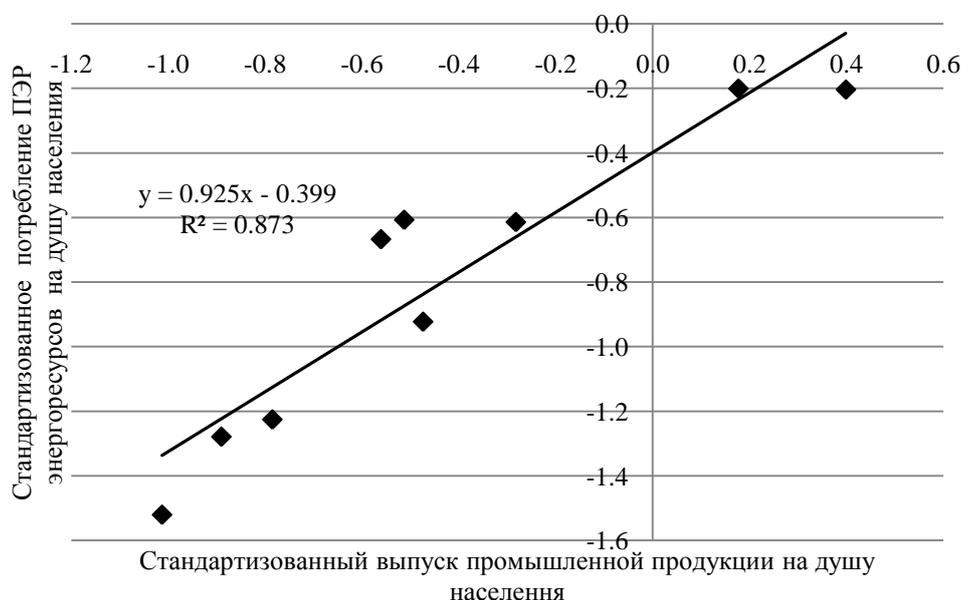
Во *вторую группу* вошли государства с наименьшим потреблением энергии (в среднем 1741 кг н.э. на душу населения), со средним по сравнению с первой и третьей группой стран уровнем ВВП на душу населения (24130 дол.) и расходами на R&D в размере 0,9% ВВП. В этих странах энергопотребление, как показал статистический анализ, зависит от одного фактора – исчисленного на душу населения объема промышленного производства.

Уравнение регрессии

$$E_{ms} = -0,399 + 0,925Ind_{ms}. \quad (10)$$

Характеристики модели: коэффициент множественной корреляции $R=0.934$; $R^2=0.873$; скорректированный $R^2=0.854$; критерий Фишера $F(1,7)=48,156$; $p<0.00022$; стандартная ошибка аппроксимации: 0,178.

Характер влияния переменной на энергопотребление представлен на рис. 3.



Источник данных: [12-17], расчеты авторов.

Рис. 3. Зависимость энергопотребления во втором кластере

Главной чертой стран второго кластера является теплый климат. Низкий уровень энергопотребления в этих странах во многом объясняется отсутствием расхода энергии на отопление. Существует мнение, что при высоких температурах следует ожидать возрастания энергопотребления в связи с увеличившимися расходами энергии на кондиционирование воздуха. Однако, как отмечено в работе [19]: «в действительности ничего подобного не происходит или во всяком случае пока не было зафиксировано».

Страны второго кластера резко отличаются между собой по объемам выпуска промышленной продукции на душу населения: наибольший – в Италии (6426 дол.), наименьший – в Индии (284). В Италии, Португалии, Испании этот показатель снижается в последние годы, что связано со структурными преобразованиями в промышленности. Индия, Куба, Панама – государства, которые наращивают темпы промышленного производства, вместе с этим стремительно растут и ВВП на душу населения. В Индии и Панаме этот показатель вырос почти в 3 раза, на Кубе – в 2,6 раза. Можно сказать, что в этих странах состояние насыщения энергией еще не наступило.

Существенные отличия среди экономик второго кластера и в объемах финансирования науки. В Италии, Испании и Португалии этот показатель находится на уровне 1,3-1,5% ВВП. Что касается остальных стран, то, несмотря на постоянное усиление финансирования науки и исследований, расходы на *R&D* остаются низкими: в Аргентине 0,6% ВВП, в Панаме – 0,2, на Кубе – 0,4%. Амбициозными являются планы Индии, где уже сейчас расходы на науку составляют 0,8% ВВП – к этому году планировали довести до 2% от ВВП, но были вынуждены отложить достижение поставленного целевого показателя до 2018 г. [8].

В *третью группу* вошли индустриальные страны. В большинстве своем это представители бывших европейских и азиатских социалистических стран и республик СССР. Исключение составляет лишь Турция. Несмотря на относительно суровый климат, энергопотребление в этих странах в 2 раза ниже, чем в развитых государствах, однако гораздо выше, чем в странах второй группы. Особенностью членов этого кластера служит то, что большая часть их основного капитала сформирована при исключительно низких ценах на энергию. Это, а также отсутствие свободных инвестиционных ресурсов не располагает к борьбе за энергоэффективность.

Странам, которые входят в третий кластер, присуща зависимость энергопотребления от объема ВВП на душу населения

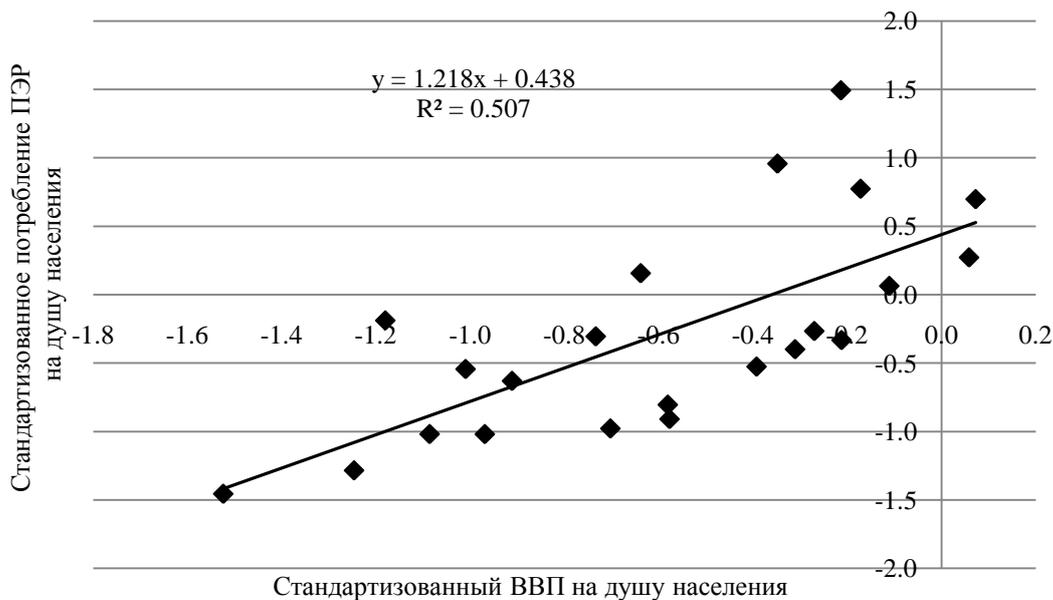
$$E_{ms} = 0,439 + 1,219GDP_{ms}. \quad (11)$$

Характеристика модели: коэффициент множественной корреляции $R=0,712$; $R^2=0.509$; скорректированный $R^2=0.482$; критерий Фишера $F(1,20)=20,574$; $p<0.00020$; стандартная ошибка аппроксимации: 0,550.

Диаграмма, характеризующая зависимость энергопотребления от указанного фактора, представлена на рис. 4.

В Азербайджане ВВП за период 1997-2014 гг. вырос почти в 7 раз, в Китае – в 6, в России – в 4,5, в Беларуси – в 4, в Казахстане – в 3,7, в Румынии – в 3,5, в Турции – в 3 раза. Если в странах первого кластера уже произошло некоторое «насыщение» энергией, то в развивающихся странах идет интенсивный подъем спроса на энергию – по старому «западному» образцу.

Размеры финансирования науки в странах третьего кластера разнятся: наибольший показатель в Словении – 2,5%, что соответствует уровню развитых стран, а наименьший – в Казахстане и



Источник данных: [12-17], расчеты авторов.

Рис. 4. Зависимость энергопотребления в третьем кластере

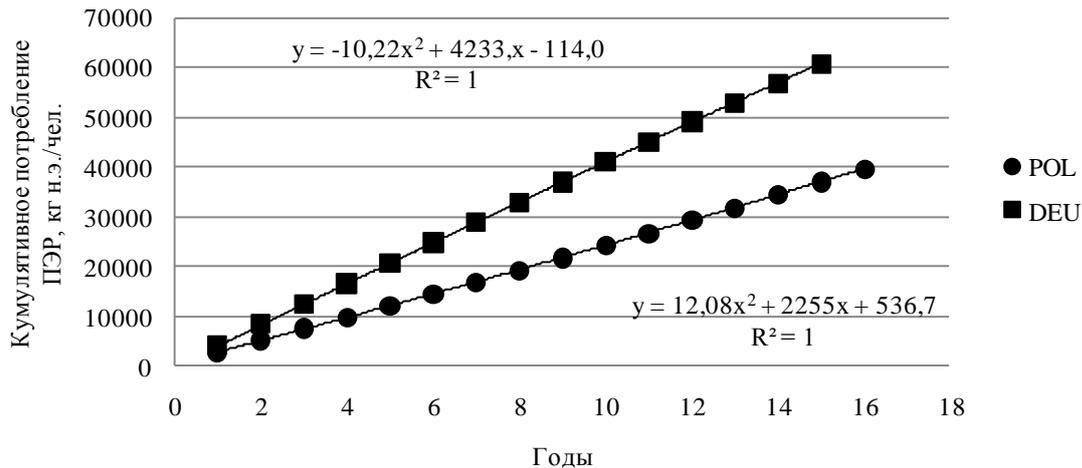
Киргизии. Низкий уровень валовых расходов на научные исследования и разработки (ВРНИОКР) не способствует снижению энергоемкости экономики.

В третий кластер входит и Украина. Для неё характерна крайне низкая эффективность использования энергетических ресурсов. Одна из причин – структура промышленного производства с преобладанием энергоемких отраслей – черной металлургии и химической промышленности, а также сохранившейся производственно-технической базы, ориентированной на некогда низкие внутренние цены на газ. По данным Международного энергетического агентства энергоемкость ВВП составляет 0,34 кг нефтяного эквивалента на 1 дол. США. Этот показатель, если не делать поправки на развитость в отечественной экономике теневого сектора, значительно превышает уровень энергоемкости развитых стран мира (0,1-0,2 кг н.э. на 1 дол. США) [22]. В 2013 г. Украина обновила Энергетическую стратегию на период до 2030 года. В страте-

гических документах¹ признается важность роста производительности труда на инновационной основе, но в свете последних событий намеченные в ней планы, скорее, благие пожелания. Доля ВРНИОКР в ВВП значительно снизилась за последние годы – с 1,2% в 1997 г. до 0,7% в 2014 г.

Для решения поставленной аналитической задачи из состава кластеров было выбрано по несколько представителей, для которых были построены кумулятивные кривые потребления ПЭР. На рис. 4 как примеры приведены графики, отражающие динамику энергетических процессов в Германии и Польше.

¹ Указ Президента України «Про Стратегію сталого розвитку «Україна-2020» від 12.01.2015 [Електронний ресурс] // Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/5/2015/paran10#n10>; Постанова КМУ «Про затвердження Державної стратегії регіонального розвитку на період до 2020 року» від 06.08.2014 № 385 [Електронний ресурс] // Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/385-2014-п/paran11#n11>.



Источник данных: [13], расчеты авторов.

Рис. 5. Графики, отражающие динамику энергетических процессов в Германии и Польше

Германия является страной из первого кластера, Польша – из третьего. Кумулятивную кривую германского накопленного потребления ПЭР отражает зависимость

$$CumE_{DEU} = -10t^2 + 4233t - 114. \quad (12)$$

Для Польши характерна регрессионная модель

$$CumE_{POL} = 12t^2 + 2255t + 537. \quad (13)$$

Вторая производная указанных функций для немецкого национального хозяйства равна «минус» 20 кг н.э. на 1 чел./год² (замедление кумулятивного потребления), для польского – «плюс» 24 кг н.э. на 1 чел./год² (ускорение).

В табл. 4 приведены параметры динамики энергопотребления и финансирования науки для макроэкономик из различных кластеров.

Таблица 4

Расчетные данные о развитии энергетики и финансировании науки

Страна	Номер кластера	Кумулятивные бюджетные вложения в исследования и разработки, тыс. дол./чел.	Ускорение (замедление) кумулятивного расхода ПЭР, кг н.э. на 1 чел./год ²
Польша	3	1,6	+24,0
Нидерланды	1	11,4	+15,6
Словения	3	6,3	+35,0
Корея	1	10,4	+101,4
Сингапур	1	18,1	-49,6
Италия	2	2,3	-15,6
Испания	2	5,0	-21,0
Турция	3	1,1	+17,7
Япония	1	14,1	-26,4
Германия	1	13,6	-20,0
Мексика	2	0,7	+14,5

Источник данных: [12, 13], расчеты авторов.

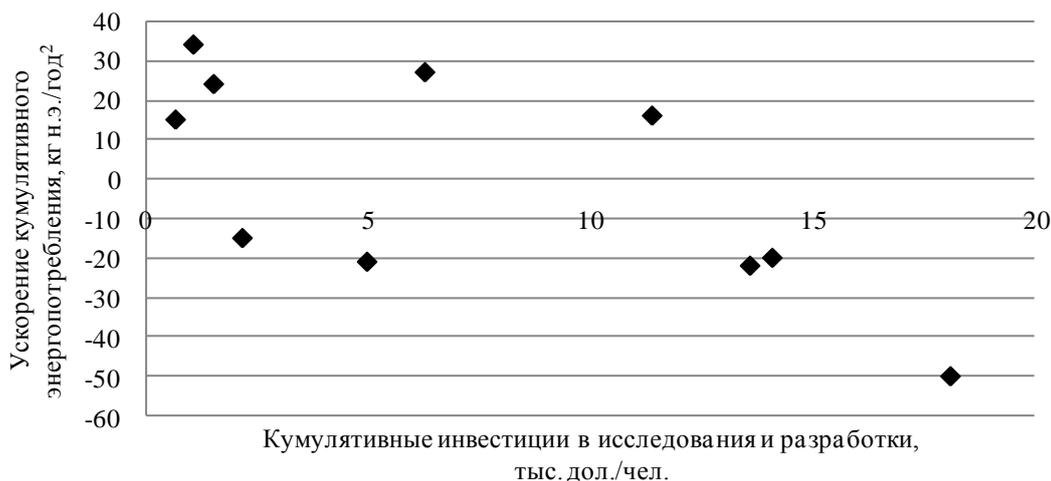
Свойственное Корее ускорение энергопотребления явно отличается от показателей по выборке, поэтому результаты не были использованы в дальнейшем анализе. Но они заставляют задуматься о нюансах процессов.

В целом зависимость ускорения кумулятивного энергопотребления по странам имеет вид

$$w_m = 18,3 - 2,9CumF_m. \quad (14)$$

Характеристика модели: $R=0.686$; $R^2=0.471$; скорректированный $R^2=0,405$; $F(1,8)=7.123$; $p<0.0284$; стандартная ошибка аппроксимации: 21,480.

На рис. 6 показано соотношение энергетических и инвестиционных показателей по рассмотренным странам.



Источник данных: [12; 13], расчеты авторов.

Рис. 6. Соотношение динамических показателей энергопотребления и объемов инвестирования в исследования и разработки по странам

В принципе, если бы не «черные, – по классификации Нассима Николаса Талеба [23], – лебеди», каковыми выступают Корея, Нидерланды, Словения и некоторые др. страны, наличие тенденции можно было бы считать полностью доказанным – развитие инвестирования научных исследований и разработок приводит к снижению энергетических затрат по национальным экономикам, а специфика ситуации, связанная с развивающимися странами, достаточно логично поддается объяснению с помощью эффекта рикошета (*rebound effect*).

Феномен повышения энергозатрат на фоне достижений энергоэффективности в современных исследованиях трактуется как преднамеренный побочный эффект от внедрения политики или

технологических мероприятий, обусловленный поведенческими и / или другими системными реакциями на вмешательства, приносящие сокращение расходов [24-26]. Другими словами, реальная экономическая выгода от снижения энергопотребления приводит к увеличению потребления благ промышленными предприятиями и частными лицами, а также к вложению сэкономленных средств в энергоемкие товары и услуги. Происходит рост всей экономики в целом (а не только энергетического сегмента) [25]. Последний доклад Генеральной дирекции по вопросам экологии Еврокомиссии (European Commission DGENV) [27], собственно и посвящен «эффекту рикошета».

Ситуация с динамикой в энергетике может быть истолкована следующим об-

разом: кумулятивные финансовые вложения в исследования и разработки действительно дают экономию энергоресурсов. Но в странах с низким уровнем доходов это ведет, как и положено в состоянии эффекта рикошета, к увеличению энергопотребления. И нужны совсем другие вложения, чем в Польше с ее 1,6 тыс. дол. на человека за 16 лет, или в Мексике, где инвестиционный показатель и того хуже. Явно выраженный эффект дает кумулятивное финансирование порядка 13-18 тыс. дол., как в Германии, Японии, Сингапуре. Но и этот уровень, как оказалось, не всегда является достаточным.

Обнаружение «черных лебедей» – многофинансирующих науку стран с обратным эффектом в сфере потребления ПЭР – побудило авторов к расширению объектов исследования. Результаты следующие: США – кумулятивные вложения в науку 18 тыс. дол. на человека – замедление энергопотребления 67 кг н.э. на 1 чел./год²; Франция – 11 тыс. дол./замедление 24 кг н.э. на 1 чел./год²; Великобритания – 9 тыс. дол./ замедление 64 кг н.э. на 1 чел./год². Это то, что свидетельствует об эффективности финансирования науки на nive энергосбережения. Но случился и казус из разряда «черных лебедей»: Израиль при уровне финансировании R&D (почти 17 тыс. дол. на душу населения), воспринимаемом как вполне достаточный для реального энергосбережения, показал расширение ресурсного потребления с ускорением приблизительно 13 кг н.э. на 1 чел./год².

Указанный энергетико-экономический парадокс, наличие стран-«черных лебедей», заслуживает отдельного изучения.

Выводы

Сокращение энергопотребления на макроэкономическом уровне традиционно воспринимается как результат научно-технического прогресса, а тот, в свою

очередь, – как проявление бюджетного финансирования исследований и разработок в стране.

Вместе с тем умозаключение о закономерности сокращения потребления ПЭР под воздействием национальных достижений науки и техники не является однозначным и не имеет четкого практического подтверждения, что ставит под сомнение целесообразность самого бюджетного инвестирования исследований и разработок: либо ошибочно выбраны объект и субъект финансирования, либо ошибочна практика распределения ограниченных бюджетных вложений между отдельными научными дисциплинами.

Отмеченное обусловило цель исследования, сформулированную как проверку гипотезы о том, что существует значимая статистическая связь между объемом финансирования науки на уровне национальных экономик и сокращением энергопотребления по странам.

В качестве зависимой переменной было предложено использовать ускорение (замедление) – вторую производную временной функции накопления объема потребленных национальной экономикой ПЭР, а в качестве независимой переменной – данные о свойственных национальной экономике кумулятивных бюджетных вложениях.

При проведении исследований использованы данные многолетних наблюдений за развитием 44 стран с различными экономическими, климатическими и структурно-хозяйственными характеристиками.

Регрессионная модель, построенная в ходе предварительного изучения вопроса на основании данных обо всех странах выборки, дает основание судить о том, что чем выше (в процентах от ВВП) годовые государственные инвестиции в науку и технику, тем выше уровень энергопотребления в стране.

Для детального анализа энергетических и экономических связей все страны

выборки в автоматическом режиме (с применением методов кластерного анализа) были разделены на три группы по пяти признакам – подушный ВВП, годовые бюджетные отчисления на науку, выпуск продукции промышленного производства на душу населения, климатический фактор, подушное потребление ПЭР. В первый кластер вошли самые богатые страны мира с наибольшими расходами на исследования и разработки, во втором кластере оказались страны с наиболее теплым климатом, а в третьем – развивающиеся экономики, исторически сложившиеся как промышленные.

Выборочно проведенный по странам-представительницам каждого кластера анализ показал, что между динамическими параметрами национального потребления ПЭР и кумулятивным бюджетным финансированием исследований и разработок существует статистически значимая связь: чем больше финансирование научных исследований, тем более эффективной в плане потребления ПЭР становится экономика.

На основании полученных результатов был сделан вывод о том, что ускорение (а не замедление темпов энергопотребления, как в высокоразвитых экономиках) в странах с малыми объемами бюджетного финансирования исследований и разработок логично объяснить эффектом рикошета. Как правило, проявление влияния инвестиций в науку становится явным при их накоплении за 16 лет порядка 13-18 тыс. дол. на человека.

Вместе с тем обнаружены экономики с парадоксальным поведением энергопотребления на фоне высокого уровня инвестирования науки – своеобразные «черные лебеди». Объяснение этого явления может составить предмет дальнейших исследований.

Литература

1. Воронина Н. Мировые рынки энергоресурсов – проблемы и перспекти-

вы [Электронный ресурс] / Н. Воронина // Режим доступа: <http://www.cfin.ru/press/practical/2004-02/03.shtml>.

2. Григорьев Л.М. Экономический рост и спрос на энергию / Л.М. Григорьев, А.А. Курдин // Экономический журнал ВШЭ. – 2013. – № 3. – С. 390-406.

3. Алибегов М.М. Энергопотребление и тарифы на электроэнергию / М.М. Алибегов, М.М. Григорьев // Экономика и математические методы. – 2003. – Т.39. – №4. – С. 59-71.

4. Маляренко О.Є. Урахування цінового фактора при прогнозуванні споживання вуглеводнів на короткострокову перспективу у умовах глобалізації / О.Є. Маляренко, Т.О. Євтухова // Проблеми загальної енергетики – 2012. – Вип. 2 (29). – С.12-18.

5. Клименко В.В. Влияние климатических и географических условий на уровень потребления энергии / В.В. Клименко // Доклады Академии наук. – 1994. – Т. 339. – № 3.

6. Hong J.S. Evaluation of new & renewable energy technology R&D investment strategy in Korea / J.S. Hong, Y.S. Ryu, B.J. Kil // PICMET'09-2009 Portland International Conference on Management of Engineering&Technology. – 2009. – P. 1495-1507.

7. Лир В.Е. Економічний механізм реалізації політики енергоефективності в Україні / В.Е. Лир, У.Є. Письменна; НАН України; Ін-т екон. і прогноз. – К., 2010. – 208 с.

8. Доклад ЮНЕСКО по науке: на пути к 2030 году / Режим доступа: <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002354/235407r.pdf>.

9. Sacks L. Energizing Innovation: The Role Of Global Innovation Alliances in Addressing Key Energy Challenges [Электронный ресурс] / L. Sacks, E. Van Voorthuysen // Режим доступа: <http://www.ijtra.com/special-issue-view/energising-innovation-the-role-of-global-innovation-alliances-in-addressing-key-energy-challenges.pdf>.

10. Sagar A. D. Technological innovation in the energy sector: R&D, deployment, and learning-by-doing / A.D. Sagar, B. Vander Zwaan // *Energy Policy*. – 2006. – Т. 34. – №. 17. – Р. 2601-2608.

11. Тимофеев И.Д. Инновации и культурный барьер в электроэнергетике [Электронный ресурс] / Д.И. Тимофеев // *Форсайт*. – 2010. – Т. 4. – № 4. – С. 4-15. – Режим доступа: <http://ecsocman.hse.ru/data/2011/11/28/1270192369/4-14.pdf>.

12. Research and development expenditure (% of GDP) [Электронный ресурс] // *Databank.worldbank.org*. – 2015. – Режим доступа: <http://data.worldbank.org/indicator/GB.XPD.RSDV.GD.ZS>.

13. Energy use (kg of oil equivalent per capita) [Электронный ресурс] // *Databank.worldbank.org*. – 2015. – Режим доступа: <http://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.PCAP.KG.OE>.

14. GDP per capita, PPP (current international \$) [Электронный ресурс] // *Databank.worldbank.org*. – 2015. – Режим доступа: <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.PP.CD>.

15. Industry, value added (constant 2005 US\$) [Электронный ресурс] // *Databank.worldbank.org*. – 2015. – Режим доступа: <http://data.worldbank.org/indicator/NV.IND.TOTL.KD>.

16. Population, total [Электронный ресурс] // *Databank.worldbank.org*. – 2015. – Режим доступа: <http://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>.

17. Average January temperature [Электронный ресурс] // *Databank.worldbank.org*. – 2015. – Режим доступа: data.worldbank.org/country.

18. Боровиков В.П. *Statistica – Статистический анализ и обработка данных в среде Windows* / В.П. Боровиков, И.П. Боровиков. – М.: Филинь, 1997. – 608 с.

19. Клименко В. Энергия, климат и энергетическая перспектива России [Электронный ресурс] / В. Клименко // Режим доступа: <http://www.allbeton.ru/upload/iblock/0dc/energiya-klimat-i-istoricheskaya-perspektiva-rossii-rklimenko.pdf>.

20. Наумов Э. Американцы тратят на чипсы больше, чем на R&D в энергетике [Электронный ресурс] / Э. Наумов // *Инновационные тренды*. – 2011. – № 5. – Режим доступа: <http://ecsocman.hse.ru/data/2011/06/30/1267413298/1.pdf>.

21. Денисов В.И. Южнокорейская политика в области науки и техники. Некоторые аспекты научно-технического сотрудничества России и Республики Корея / В.И. Денисов // *Вестник МГИМО-Университета*. – 2010. – №4. – С. 24-27.

22. International Energy Agency // <http://energyatlas.iea.org/?subject=-297203538>.

23. Талёб Н.Н. *Черный лебедь* / Н.Н. Талёб. – М.: КоЛибри, *Азбука-Аттикус*, 2015. – 736 с.

24. Gottron, Frank (2001-07-30). "Energy Efficiency and the Rebound Effect: Does Increasing Efficiency Decrease Demand?". National Council for Science and the Environment. Retrieved 2012-02-24.

25. Binswanger M. Technological progress and sustainable development: what about the rebound effect? // *Ecological economics*. – 2001. – Т. 36. – №. 1. – С. 119-132.

26. Frondel M. Heterogeneity in the rebound effect: Further evidence for Germany / M. Frondel, N. Ritter, C. Vance // *Energy Economics*. – 2012. – Vol. 34. – №. 2. – Р. 461-467.

27. Addressing The Rebound Effect (Final Report, 26 April 2011 [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/rebound_effect_report.pdf.

Представлена в редакцию 12.10.2015 г.