

Л.В. Эдер, И.В. Проворная, И.А. Проворный

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ И УРОВНЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ЭКОНОМИКИ ПО СТРАНАМ И РЕГИОНАМ

Энергетика является одной из ключевых составляющих экономики. Экономическое развитие оказывает существенное воздействие на энергетику, и напротив, энергетические кризисы могут существенным образом влиять на экономическое состояние страны. В связи с этим анализ устойчивых российских и международных тенденций в сфере потребления энергетических ресурсов на единицу выпускаемой продукции необходим для формирования эффективной системы государственного регулирования топливно-энергетического комплекса.

Одним из базовых показателей, определяющих уровень эффективности потребления энергетических ресурсов, является энергоёмкость экономики. Кроме того, энергоёмкость экономики является одним из базовых показателей прогнозирования развития мировой энергетики в целом. Кроме того, определенный интерес представляет рассмотрение другого удельного показателя энергопотребления – душевого потребления энергии.

Энергоёмкость экономики – соотношение между валовым внутренним производством (ВВП) и соответствующим количеством энергии для его выработки. В работе под энергоёмкостью экономики будет пониматься соотношение между валовым внутренним продуктом и энергопотреблением в экономике в целом, принимая во внимание, что часть энергии идёт на потребление в сферы, не связанные с производством ВВП. Это объясняется тем, что систематическая статистика по потреблению единицы энергии на производство ВВП отсутствует, в связи с чем рассматривается валовой показатель.

Выборка стран для анализа была ограничена имеющимися базами данных. Так, рассматривались страны, имеющие регулярные данные по уровню ВВП, энергопотреблению и количеству населения в период 1980–2012 гг. Из них были исключены страны с незначительным (по состоянию на 2012 г.) энергопотреблением – менее 0,5 млн т н.э. на человека в год. Как правило, такие страны имеют низкий уровень экономического развития, а уровень душевого ВВП находится на уровне 500–3000 долл./чел., и не

оказывают существенного влияния на мировое энергопотребление. В результате выборка представлена 86 странами, где проживает более 90% всего населения Земли и потребляется более 95% всей энергии.

1. Динамика энергоёмкости групп стран с дифференциацией по степени их экономического развития и региональной структуре за период 1980–2012 гг.

В работе анализ динамики энергоёмкости экономики проводился как в постоянных ценах, так и в текущих. Выводы, полученные при анализе расчётов как в сопоставимых, так и в текущих ценах идентичны.

Во-первых, устойчивой тенденцией мировой экономики является сокращение энергоёмкости экономики, которая происходит на фоне существенного снижения темпов прироста энергопотребления. Рассматриваемая тенденция характерна для всех без исключения регионов мира. По состоянию на начало 2010-х годов среди рассматриваемых стран всего несколько сохранили динамику наращивания энергоёмкости экономики – Азиатско-Тихоокеанский регион (Бангладеш и Вьетнам), Ближний Восток (Иран, Оман и Саудовская Аравия).

Во-вторых, на основе ретроспективного анализа установлено, что динамика снижения энергоёмкости экономики как по миру в целом, так и по отдельным странам – как в текущих ценах, так и в ценах 2012 г. – описывается экспоненциальной зависимостью. На первом этапе при проведении соответствующих программ по энергосбережению и постепенном изменении структуры экономики (рост доли сферы услуг) происходит наиболее интенсивное снижение энергоёмкости экономики. Однако по мере внедрения энергосберегающих технологий происходит значительное сокращение общего потенциала экономии топливно-энергетических ресурсов при существующих технологиях. Дальнейшее снижение энергоёмкости экономики при существующих тенденциях развития энергосберегающих технологий осуществляется относительно небольшими темпами.

При анализе экспоненциальной функции снижения энергоёмкости экономики с дифференциацией по регионам и странам с

различной степенью экономического развития рассматривались соответствующие коэффициенты, слагающие эту зависимость:

$$Ef = \alpha + (\beta - \alpha) * e^{-\gamma t}, \quad (1,1)$$

где α – коэффициент, соответствующий нижней границе функции энергоёмкости экономики;

β – коэффициент, определяющий уровень энергоёмкости экономики начального года;

γ – коэффициент интенсивности снижения энергоёмкости экономики (КИСЭ);

t – текущий год.

2. Динамика энергоемкости групп стран с дифференциацией по степени экономического развития за период 1980–2012 гг.

В качестве объекта рассмотрения были взяты индустриально развитые страны, входящие в Организацию стран экономического развития и сотрудничества (ОЭСР), и остальные, индустриально развивающиеся страны.

По динамике энергоёмкости экономики развитые и развивающиеся страны имеют свою специфику, которая связана с несколькими ключевыми особенностями (рис. 1).

Развитые страны, включились в политику снижения энергоёмкости экономики раньше, чем развивающиеся страны, поэтому процесс снижения энергоемкости здесь протекал относительно планомерно (рис. 2–3).

За последние 30 лет интенсивность снижения энергоемкости ВВП у развивающихся стран значительно выше, чем у развитых, поскольку за более короткие сроки и на существующих технологиях энергосбережения развивающиеся страны в существенной степени прошли путь развитых стран.

Сравнительный анализ коэффициента интенсивности снижения энергоёмкости (КИСЭ) экономики показал, что процесс повышения энергоэффективности в индустриально развитых странах был более растянут во времени, чем в развивающихся стра-

нах, поэтому они имеют более низкое значение рассматриваемого показателя.

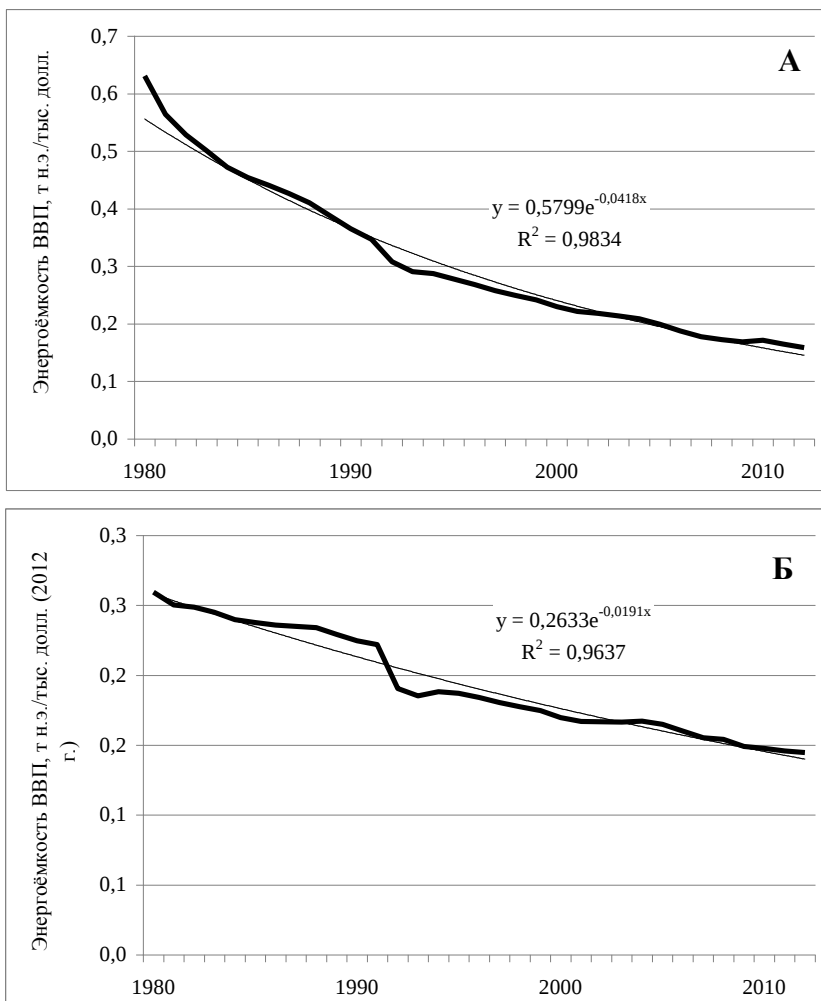


Рис. 1. Энергоёмкость ВВП (по ППС) по миру в 1980–2012 гг.
в текущих (А) и постоянных ценах (Б)

Источники: International Energy Annual 2013 // Energy Information Administration. Office of Energy Markets and End Use. Washington. – 2013; World Energy Outlook 2012 // International Energy Agency. – 2011; Statistical Review of World Energy // BP. – 2012; CEI based on national sources and IMF (WEO), International Monetary Fund, World Economic Outlook Database, April 2013.

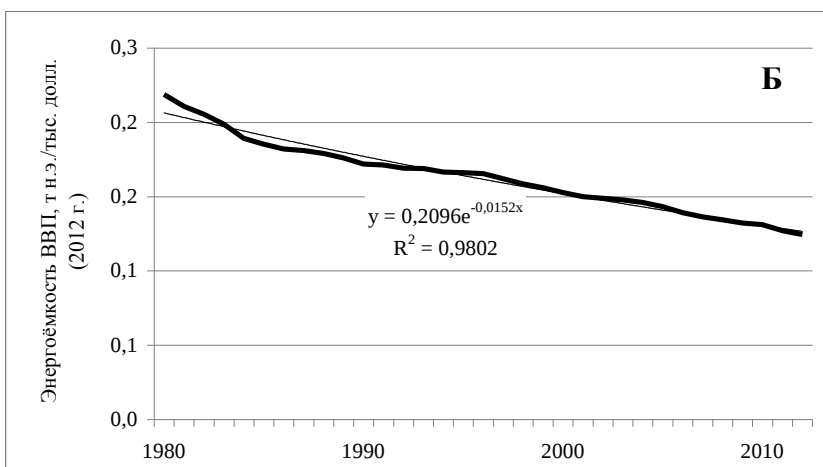
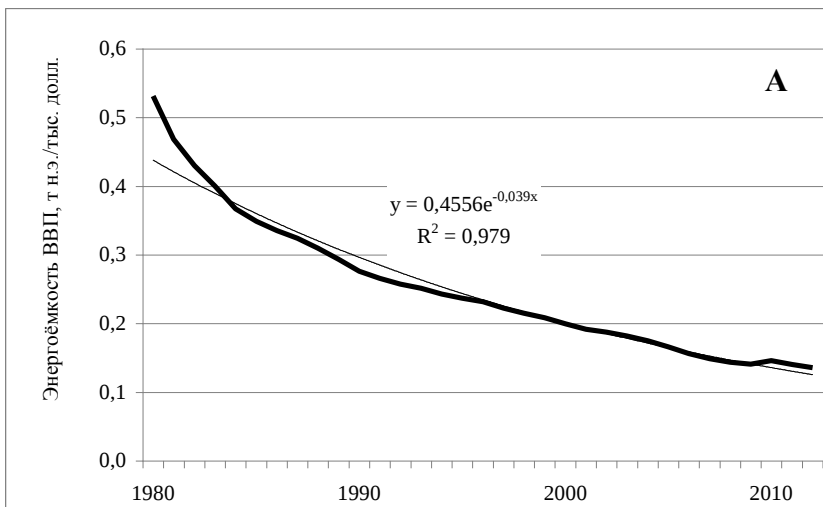


Рис. 2. Энергоёмкость ВВП (по ППС) в индустриально развитых странах в 1980–2012 гг. в текущих (А) и постоянных ценах (Б)

Источники: International Energy Annual 2013 // Energy Information Administration. Office of Energy Markets and End Use. Washington. – 2013; World Energy Outlook 2012 // International Energy Agency. – 2011; Statistical Review of World Energy // BP. – 2012, CEI based on national sources and IMF (WEO), International Monetary Fund, World Economic Outlook Database, April 2013.

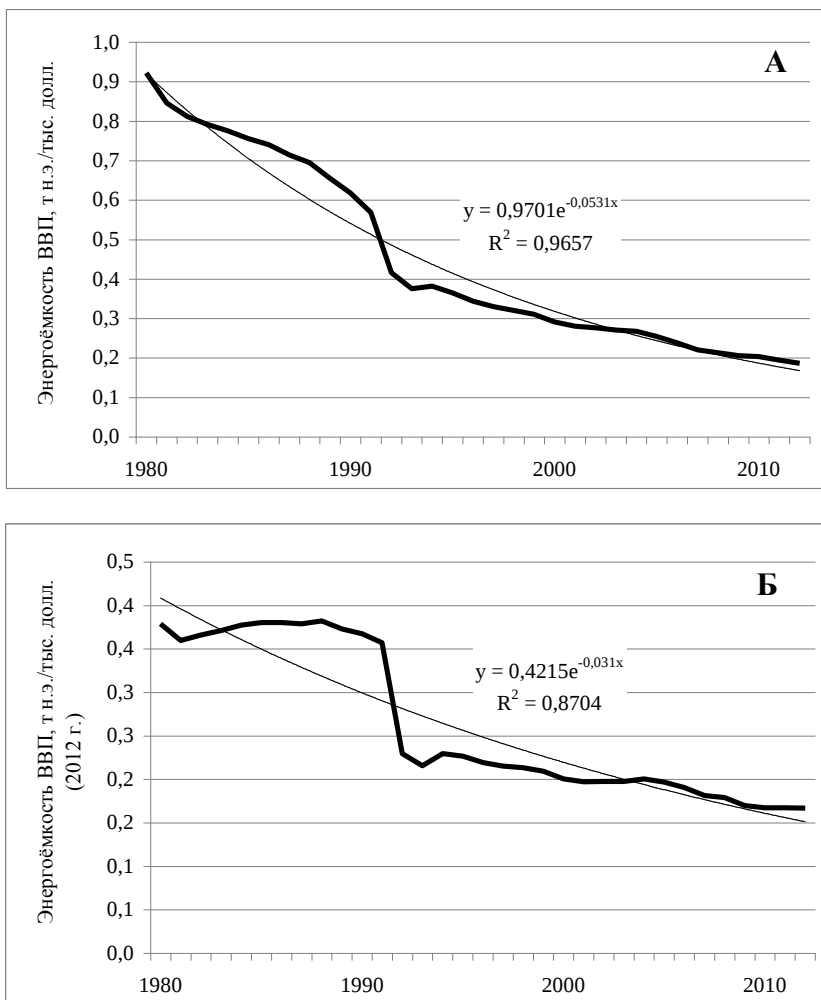


Рис. 3. Энергоёмкость ВВП (по ППС) в индустриально развивающихся странах в 1980–2012 гг. в текущих (А) и постоянных ценах (Б)

Источники: International Energy Annual 2013 // Energy Information Administration. Office of Energy Markets and End Use. Washington. – 2013; World Energy Outlook 2012 // International Energy Agency. – 2011; Statistical Review of World Energy // BP. – 2012, CEI based on national sources and IMF (WEO), International Monetary Fund, World Economic Outlook Database, April 2013.

Накопленный опыт и развитие технологий, направленных на снижение потребления энергии, позволили индустриально развивающимся странам в более сжатые сроки осуществлять процесс повышения энергоэффективности экономики, что повлияло на высокое значение КИСЭ.

3. Динамика энергоёмкости групп стран с дифференциацией по регионам за период 1980–2012 гг.

В работе динамика энергоёмкости рассматривалась по 7 макрорегионам – Северная Америка, Европа, АТР, страны бывшего СССР, Латинская Америка, Африка, Ближний Восток (рис. 4–10).

Динамика энергоёмкости экономики каждого из представленных регионов имеет собственную специфику, связанную с уровнем экономического развития, структурой экономики, природно-климатическими факторами, обеспеченностью ископаемыми энергоносителями и рядом других факторов, отличающих страны, входящие в соответствующий регион.

1. Характер динамики энергоёмкости экономики. В текущих ценах практически все регионы, за исключением Ближнего Востока, последние 30 лет снижают энергоёмкость. Однако в постоянных ценах на протяжении рассматриваемого времени соответствующая траектория этого показателя характерна для регионов, значительный вклад в экономику которых вкладывают индустриально развитые страны – Северная Америка, Европа, в значительной степени Азиатско-Тихоокеанский регион.

Энергоёмкость экономики Латинской Америки, Африки, стран бывшего СССР перешла на траекторию устойчивого снижения этого показателя после 1990–2000 гг. Это же касается большинства стран Персидского залива.

2. Устойчивость снижения энергоёмкости экономики. Под устойчивостью снижения энергоёмкости понимается устойчивое отклонение от текущей траектории, сформировавшейся на протяжении последних десятилетий. Северная Америка и Европа имеют достаточно устойчивые тренды снижения энергопотребления с небольшой волатильностью этого показателя, которая объясняется либо резкими изменениями текущей динамики ВВП, либо потребления энергии. На уровень и динамику потребления энергии оказывают влияние такие факторы, как стоимость энергоносителей, изменение среднегодовой температуры.

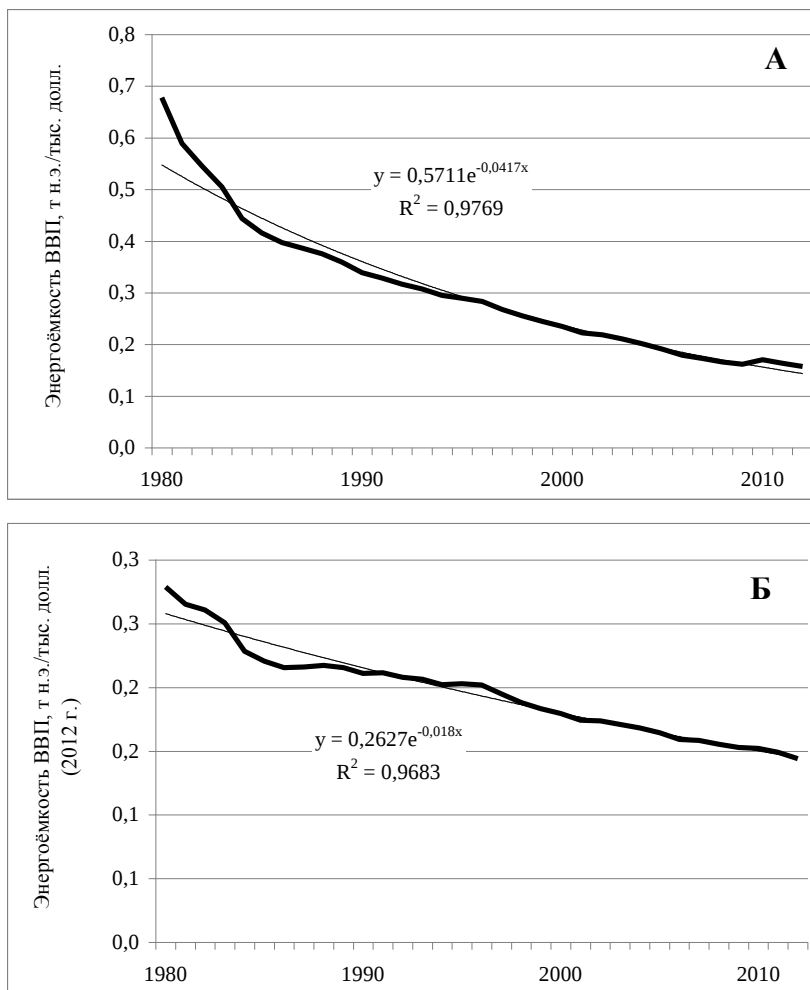


Рис. 4. Энергоёмкость ВВП (по ППС) в странах Северной Америки в 1980–2012 гг. в текущих (А) и постоянных ценах (Б)

Источники: International Energy Annual 2013 // Energy Information Administration. Office of Energy Markets and End Use. Washington. – 2013; World Energy Outlook 2012 // International Energy Agency. – 2011; Statistical Review of World Energy // BP. – 2012, CEI based on national sources and IMF (WEO), International Monetary Fund, World Economic Outlook Database, April 2013.

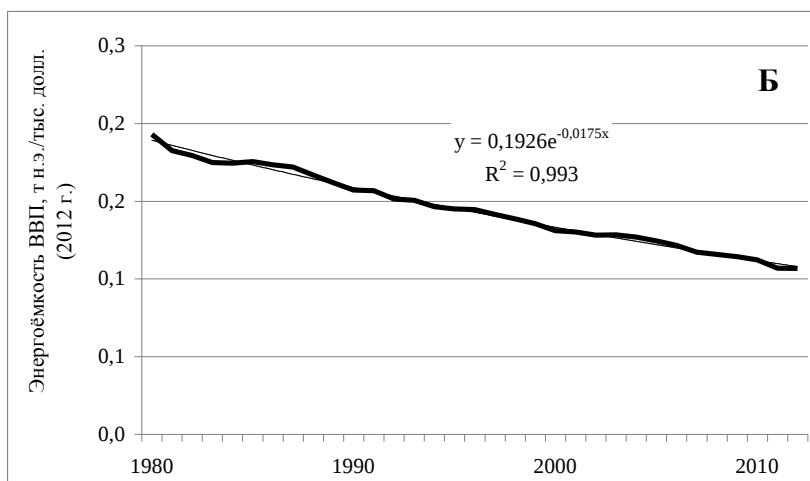
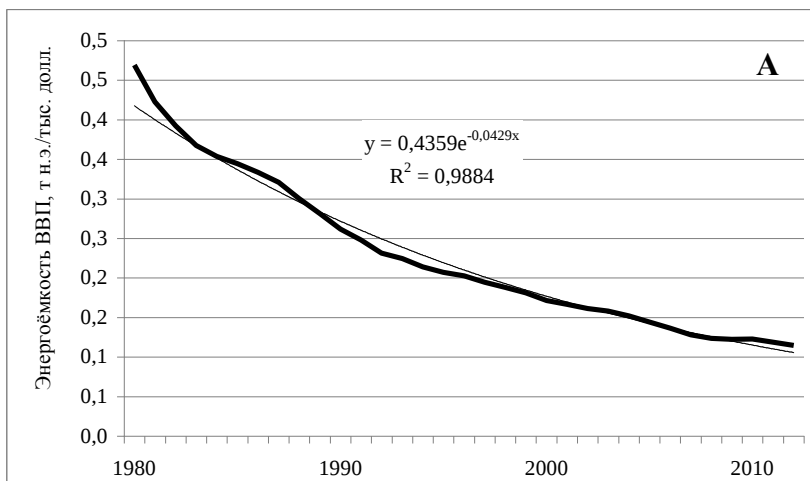
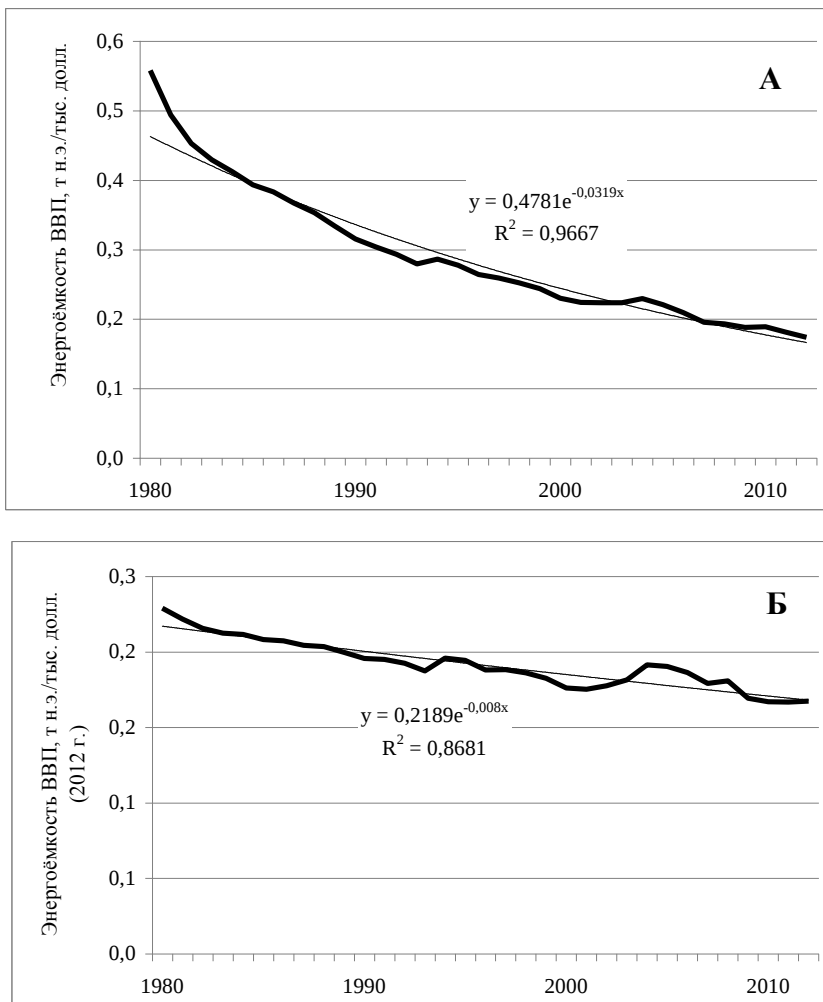


Рис. 5. Энергоёмкость ВВП (по ППС) в странах Европы
в 1980–2012 гг. в текущих (А) и постоянных ценах (Б)

Источники: International Energy Annual 2013 // Energy Information Administration. Office of Energy Markets and End Use. Washington. – 2013; World Energy Outlook 2012 // International Energy Agency. – 2011; Statistical Review of World Energy // BP. – 2012, CEI based on national sources and IMF (WEO), International Monetary Fund, World Economic Outlook Database, April 2013.



*Рис. 6. Энергоёмкость ВВП (по ППС) в странах
 Азиатско-Тихоокеанского региона в 1980–2012 гг.
 в текущих (А) и постоянных ценах (Б)*

Источники: International Energy Annual 2013 // Energy Information Administration. Office of Energy Markets and End Use. Washington. – 2013; World Energy Outlook 2012 // International Energy Agency. – 2011; Statistical Review of World Energy // BP. – 2012, CEI based on national sources and IMF (WEO), International Monetary Fund, World Economic Outlook Database, April 2013.

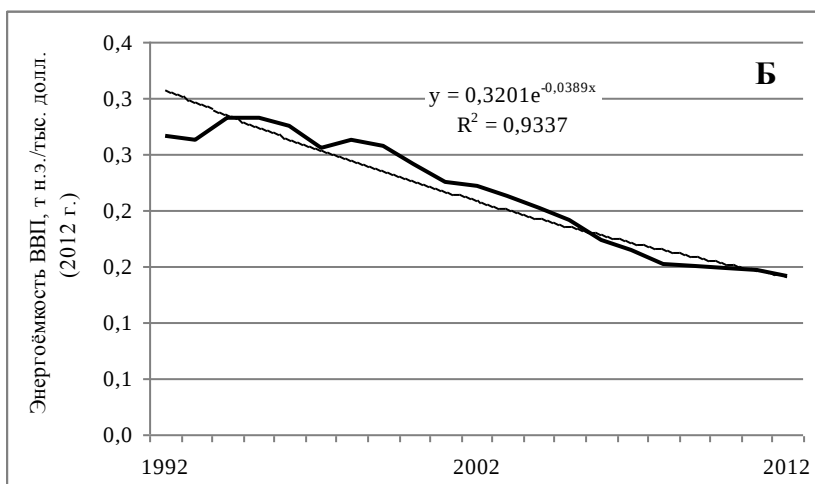
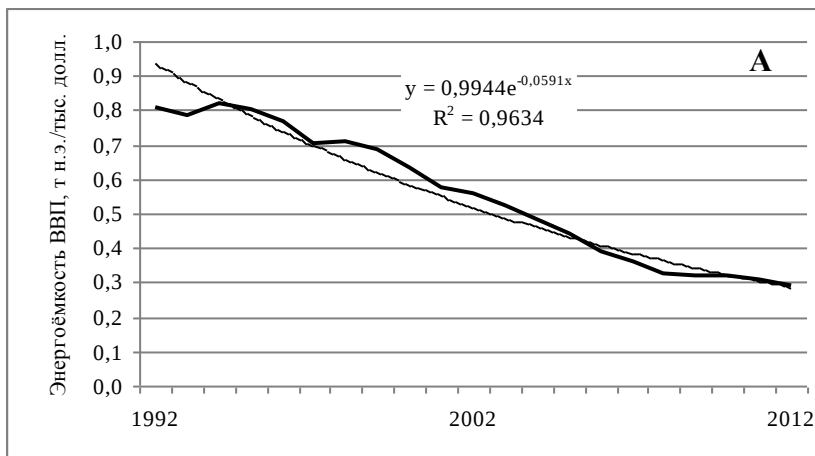


Рис. 7. Энергоёмкость ВВП (по ППС) в странах бывшего СССР
в 1980–2012 гг. в текущих (А) и постоянных ценах (Б)

Источники: International Energy Annual 2013 // Energy Information Administration. Office of Energy Markets and End Use. Washington. – 2013; World Energy Outlook 2012 // International Energy Agency. – 2011; Statistical Review of World Energy // BP. – 2012, CEI based on national sources and IMF (WEO), International Monetary Fund, World Economic Outlook Database, April 2013.

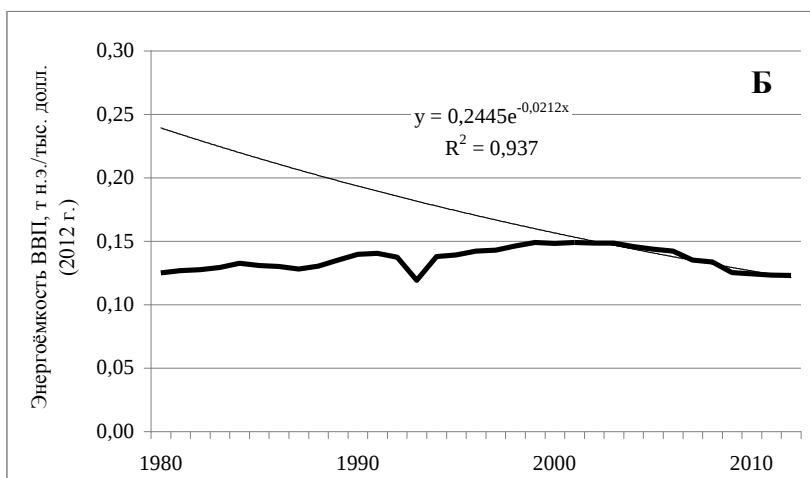
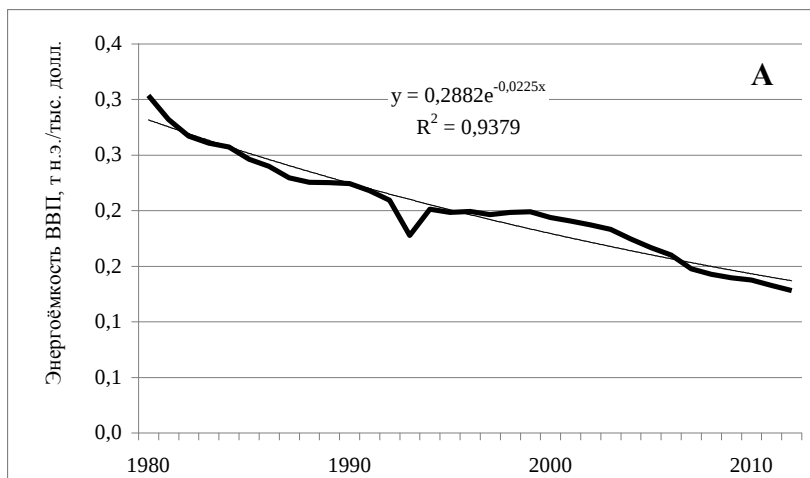


Рис. 8. Энергоёмкость ВВП (по ППС) в странах бывших Центральной и Южной Америки в 1980–2012 гг. в текущих (А) и постоянных ценах (Б)

Источники: International Energy Annual 2013 // Energy Information Administration. Office of Energy Markets and End Use. Washington. – 2013; World Energy Outlook 2012 // International Energy Agency. – 2011; Statistical Review of World Energy // BP. – 2012, CEI based on national sources and IMF (WEO), International Monetary Fund, World Economic Outlook Database, April 2013.

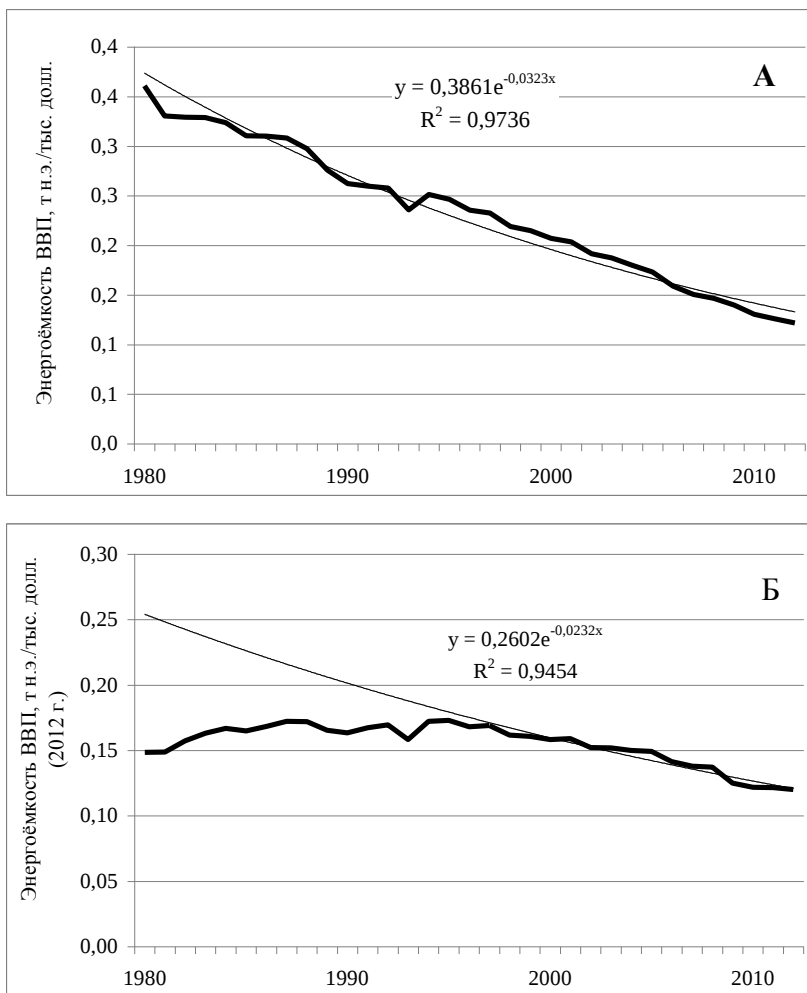


Рис. 9. Энергоёмкость ВВП (по ППС) в странах Африки в 1980–2012 гг.
в текущих (А) и постоянных ценах (Б)

Источники: International Energy Annual 2013 // Energy Information Administration. Office of Energy Markets and End Use. Washington. – 2013; World Energy Outlook 2012 // International Energy Agency. – 2011; Statistical Review of World Energy // BP. – 2012, CEI based on national sources and IMF (WEO), International Monetary Fund, World Economic Outlook Database, April 2013.

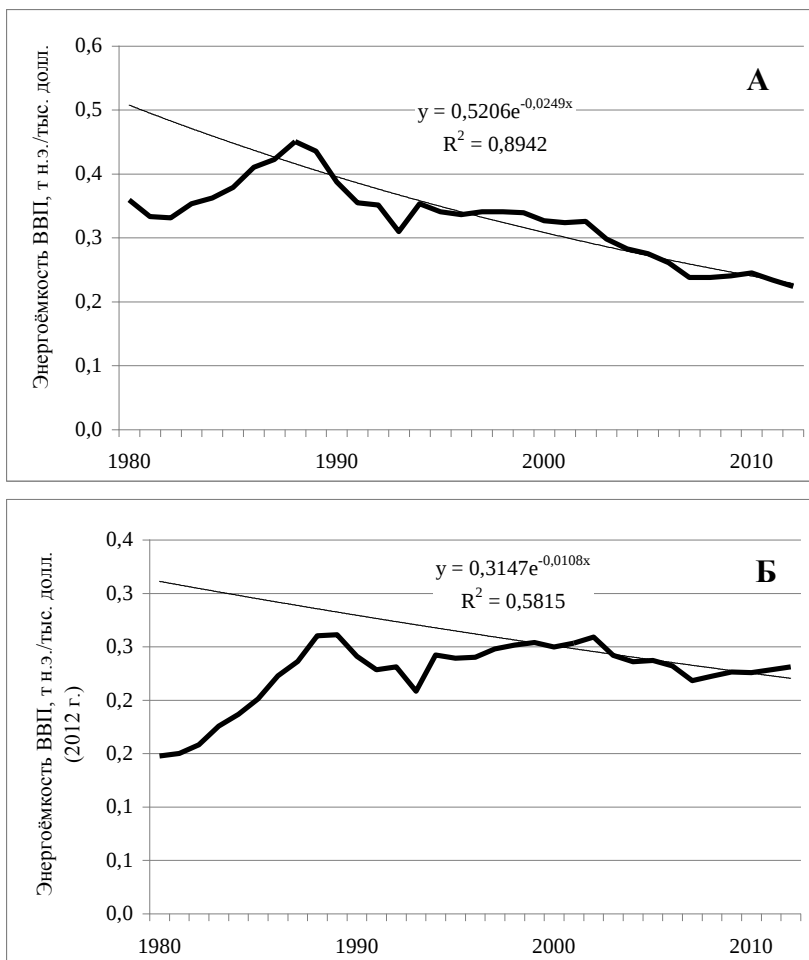


Рис. 10. Энергоёмкость ВВП (по ППС) в странах Ближнего Востока в 1980–2012 гг. в текущих (А) и постоянных ценах (Б)

Источники: International Energy Annual 2013 // Energy Information Administration. Office of Energy Markets and End Use. Washington. – 2013; World Energy Outlook 2012 // International Energy Agency. – 2011; Statistical Review of World Energy // BP. – 2012, CEI based on national sources and IMF (WEO), International Monetary Fund, World Economic Outlook Database, April 2013.

Траектория энергоёмкости экономики Азиатско-Тихоокеанского региона, напротив, имеет несколько существенных всплесков увеличения энергоёмкости. Это связано с тем, что представленные регионы имеют достаточно различную степень гетерогенности стран по уровню экономического развития и моделям энергопотребления.

3. Дифференциация стран по уровню энергоёмкости ВВП. За последние 30 лет разброс значений энергоёмкости экономики по рассматриваемым регионам сократился более чем в 1,5 раза, за исключением Ближнего Востока. Происходит сближение стран и регионов по уровню их энергоёмкости.

4. Интенсивность снижения энергопотребления. Развитые страны в значительной степени уже исчерпали потенциал значительного снижения энергоёмкости экономики, поэтому здесь этот показатель сокращается относительно небольшими темпами.

Развивающиеся страны, напротив, находятся в стадии быстрого сокращения энергоёмкости, что сближает их со значениями развитых стран. Коэффициент интенсивности снижения энергоёмкости для Северной Америки и Европы составляет около 0,018, стран бывшего СССР – 0,039, Латинской Америки – 0,021, Африки – 0,023.

4. Анализ факторов, влияющих на уровень энергоёмкости экономики по странам

Среди значительного количества факторов был выделен ряд базовых, влияние которых на рассматриваемый показатель должен быть значительным.

Среди них:

1. Природно-климатические – среднегодовая температура (С°).

2. Структурные – доля добывающей и обрабатывающей промышленности в структуре ВВП (%).

3. Уровень развития энергосберегающих технологий – глобальный инновационный индекс, основанный, прежде всего, на уровне развития технологий в целом.

4. Уровень развития государственных институтов – индекс коррупции.

5. Обеспеченность добычи текущим уровнем запасов (т н. э./чел.).

6. Экологические ограничения – объем выбросов CO₂ (т/чел.).

7. Ценовые – стоимость электроэнергии (долл./кВт•ч).

В разделе проверялось отдельное влияние каждого из рассматриваемых факторов на энергоэффективность, одновременно проводилась краткая их характеристика.

Каждый из представленных факторов отдельно взятый демонстрирует определённую тенденцию к изменению энергоёмкости экономики по странам, однако ни один из них не даёт высокой объясняющей способности распределения стран.

Уровень и динамика энергоёмкости экономики в различных странах и регионах может существенно варьировать, что связано с наличием значительной специфики рассматриваемых стран, а также множеством факторов одновременно влияющих на показатель энергоёмкости.

Индустриально развитые страны ОЭСР, располагающиеся в северном полушарии, имеют относительно не высокий уровень энергоёмкости экономики, который близок по своему значению к неразвитым странам Африки и АТР, характеризующиеся благоприятными природно-климатическими условиями, низкой долей энергоёмких отраслей промышленности. По моделям энергопотребления существенно отличается значительная часть стран Персидского залива и СНГ, имеющие определяющую роль энергоёмкого добывающего сектора.

Структура экономики. В качестве количественного ориентира связи энергоёмкости и структуры экономики была выбрана доля добывающей и обрабатывающей промышленности в структуре ВВП. Проведённый анализ по странам показал наличие явной прямой зависимости между долей добывающей и обрабатывающей промышленности в экономике и уровнем энергоёмкости. Так, страны Ближнего Востока, специализирующиеся на добыче энергоносителей, имеют одни из самых высоких показателей энергоёмкости экономики. В то же время страны Европы, имеющие постиндустриальную экономику и относительно невысокую долю промышленности в структуре ВВП, характеризуются низкими соответствующими показателями.

Природно-климатические условия. Одним из важнейших факторов, влияющих на энергоёмкость экономики, являются природно-климатические условия, выражающиеся, прежде всего,

в среднегодовой температуре. При сопоставимом уровне развития и прочих равных условиях энергопотребление на единицу ВВП выше в более суровых природно-климатических условиях с относительно низкими среднегодовыми температурами.

Технологии. Развитие энергосберегающих технологий – один из ключевых факторов, влияющих на уровень и динамику энергоёмкости экономики. В качестве показателя, характеризующего развитие и внедрение новых технологий в экономике, в том числе в сфере энергосбережения, можно считать Глобальный индекс инноваций (The Global Innovation Index – GII). В ходе проведённого анализа показано наличие определённой обратной зависимости между энергоёмкостью и уровнем развития технологий. Так, страны с высоким глобальным индексом инноваций, как правило, имеют меньшую энергоёмкость экономики.

Обеспеченность ресурсной базой ископаемых энергоносителей. Существенное воздействие на уровень энергоёмкости экономики оказывает обеспеченность добычи энергетических ресурсов существующей ресурсной базой.

Развитые страны, как правило, характеризуются существенно меньшим уровнем обеспеченности ископаемых энергоносителей по сравнению с отдельными группами развивающихся стран (Персидский залив, Северная и Западная Африка, ряд стран Латинской Америки и др.). Страны, обладающие значительным уровнем ископаемых энергоресурсов, с одной стороны, в меньшей мере проводят политику энергосбережения, с другой – развивают энергозатратные производства (добыча, переработка, транспорт ископаемых энергоносителей).

Экологические ограничения. На уровень энергоёмкости экономики воздействуют экологические ограничения, которые представлены в виде выбросов углекислого газа. Политика и обязательства стран по ограничению объемов выбросов CO₂ влияет на уровень энергоёмкости экономики. Снижению ограничений способствуют переходу от угольной и мазутной генерации электричества к газовой, альтернативной и возобновляемой энергетике. Это, в свою очередь, связано с применением передовых технологий, которые, в свою очередь, также влияют на общий объём энергоёмкости экономики. Экологические ограничения не в полной мере описывают сложившийся уровень энергоёмкости экономик по странам, что говорит об активном влиянии других факторов.

Институциональные факторы. На уровень и динамику энергоёмкости экономики влияют институциональные факторы. В настоящее время среди институциональных факторов рассматривают уровень транспарентности, либерализации, демократии, эффективность правительства, бремя регулирования, правило закона, коррупция и др. Утверждается, что качество институционального окружения непосредственно воздействует на уровень энергосбережения. Качественное институциональное окружение делает агентов более чувствительными к сигналам рынка. Коррупция среди ряда других факторов выделяется в качестве одного из основных.

Ценовые факторы. Цены на энергоносители, с одной стороны, являются значимым фактором, влияющим на энергопотребление в целом, а также на использование отдельных энергоносителей. С другой стороны, существует и обратная ситуация, когда спрос и предложение энергии оказывают давление на ценовую составляющую мирового энергообеспечения. Это связано с тем, что наряду с ценами существует значительное количество факторов, оказывающих влияние на энергопотребление (динамика экономического развития, природно-климатические условия, технологии, структура экономики и др.), а это, в свою очередь, влияет на цены. То есть происходит взаимное влияние различных факторов.

5. Многофакторный анализ влияния рассматриваемых факторов на уровень удельного энергопотребления по странам

Для анализа связи удельного энергопотребления и множества рассматриваемых факторов была проведена множественная регрессия, позволяющая оценить влияние каждого из факторов в отдельности, а также совокупное их воздействие на моделируемый показатель.

В качестве удельного показателя взята ранее рассматривавшаяся энергоёмкость экономики. Однако учитывая сложность этого параметра в анализе многофакторной регрессии, также анализировался другой удельный показатель – душевое потребление энергетических ресурсов.

Множественная регрессия осуществлялась как по миру, так и отдельно по индустриально развитым странам (ОЭСР). В целом по миру при построении регрессии рассматривалось 86 стран, по которым была доступна статистическая информация. Регрессия по странам ОЭСР проводилась на основе статистической информации по 32 странам (в расчёте не участвовал Люксембург).

Оценка уравнения регрессии по методу наименьших квадратов

Представление многофакторной модели:

$$Y = f(\beta, X) + \varepsilon, \quad (2)$$

где Y – удельное энергопотребление (прогнозируемый показатель);
 $X = X(X_1, \dots, X_m)$ – вектор независимых (объясняющих) переменных, оказывающих влияние на удельное энергопотребление;

β – вектор параметров;

ε – случайная ошибка;

m – количество факторов.

Теоретическое линейное уравнение множественной регрессии имеет вид:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_m X_m + \varepsilon. \quad (3)$$

Эмпирическое уравнение множественной регрессии имеет вид:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + \dots + b_m X_m + e, \quad (4)$$

здесь $b_0, b_1, \dots, b_m$ – оценки теоретических значений $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$ коэффициентов регрессии (эмпирические коэффициенты регрессии); e – оценка отклонения ε .

Для оценки параметров уравнения множественной регрессии применяем метод наименьших квадратов (МНК):

$$s = (X^T X)^{-1} X^T Y. \quad (5)$$

1. Проверка статистической значимости коэффициентов регрессионного уравнения. Проверка проводится с помощью t -критерия Стьюдента.

Проверим значимость полученных парных коэффициентов корреляции с помощью t -критерия Стьюдента. Коэффициенты, для которых значения t -статистики по модулю больше найденного критического значения, считаются значимыми.

Рассчитаем наблюдаемые значения t -статистики по формуле:

$$t_{\text{набл}} = r_{yx_i} \frac{\sqrt{n - m - 1}}{\sqrt{1 - r_{yx_i}^2}}, \quad (6)$$

где m – количество факторов в уравнении регрессии;

r_{yx_i} – коэффициент парной корреляции;

n – количество стран.

Находим по таблице Стьюдента соответствующее табличное критическое значение – $t_{\text{крит}}(n - m - 1; \alpha/2)$.

В случае если $|t_{\text{набл}}| > t_{\text{крит}}$, то отклоняем гипотезу о равенстве нулю коэффициента корреляции. Другими словами, коэффициент корреляции статистически значим.

2. Проверка качества уравнения регрессии в целом. Использование F -критерия Фишера. Проведение дисперсионного анализа.

Оценка значимости уравнения множественной регрессии осуществляется путём проверки гипотезы о равенстве нулю коэффициента детерминации, рассчитанного по данным генеральной совокупности: R^2 или $b_1 = b_2 = \dots = b_m = 0$ (гипотеза о не значимости уравнения регрессии, рассчитанного по данным генеральной совокупности).

Для её проверки используют F -критерий Фишера. При этом вычисляют фактическое (наблюдаемое) значение F -критерия, че-

рез коэффициент детерминации R^2 , рассчитанный по данным конкретного наблюдения.

По таблицам распределения Фишера находится критическое значение F-критерия ($F_{кр}$). Для этого задаются уровнем значимости α (обычно его берут равным 0,05) и двумя числами степеней свободы $k_1 = m$ и $k_2 = n - m - 1$.

Вычислим коэффициент детерминации по формуле:

$$R^2 = 1 - \frac{s_e^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}, \quad (7)$$

где S_e – оценка дисперсии; $\bar{y}$ – выборочное среднее.

Чем ближе этот коэффициент к единице, тем больше уравнение регрессии объясняет поведение Y .

Проверим гипотезу об общей значимости – гипотезу об одновременном равенстве нулю всех коэффициентов регрессии при объясняющих переменных: $H_0: \beta_1 = \dots = \beta_m = 0$.

Проверка этой гипотезы осуществляется с помощью F-статистики распределения Фишера.

Если $F < F_{кр} = F(\alpha; n - m - 1)$, то нет оснований для отклонения гипотезы H_0 .

$$F = \frac{R^2(n - m - 1)}{(1 - R^2)m}. \quad (8)$$

3. Проверка свойства данных – проверка предпосылок МНК.

3.1. Средняя величина случайного отклонения ε_i (остатков) для всех наблюдений равна нулю: $M(\varepsilon_i) = 0$. Данное условие означает, что случайное отклонение в среднем не оказывает влияния на зависимую переменную. В каждом конкретном наблюдении случайный член может быть либо положительным, либо отрицательным, но он не должен иметь систематического смещения.

3.2. Гомоскедастичность. Дисперсия случайных отклонений ε_i постоянна для любых наблюдений i, j : $D(\varepsilon_i) = D(\varepsilon_j) = \sigma^2$. Данное условие подразумевает, что не-

смотря на то что при каждом конкретном наблюдении случайное отклонение может быть либо большим, либо меньшим, а следовательно, не должно быть причины, вызывающей большое отклонение (ошибку). Выполнимость данной предпосылки называется гомоскедастичностью. Невыполнимость данной предпосылки называется гетероскедастичностью.

Для проверки наличия гомоскедастичности применяют метод графического анализа остатков или тест ранговой корреляции Спирмена.

3.3. Отсутствие автокорреляции, т.е. значения остатков $\varepsilon_i, \varepsilon_j$ должны быть распределены независимо друг от друга для $i \neq j$. Выполнимость данной предпосылки предполагает, что отсутствует систематическая связь между любыми случайными отклонениями.

Для обнаружения автокорреляции применяют критерий Дарбина–Уотсона, графический метод и вычисляют коэффициент автокорреляции.

3.4. Случайное отклонение должно быть независимо от объясняющих переменных: $\sigma_{\varepsilon_i x_i} = 0$. Обычно это условие выполняется автоматически, если объясняющие переменные не являются случайными в модели.

3.5. Модель является линейной относительно параметров.

Для случая множественной регрессии существенным является выполнение еще двух предпосылок:

3.6. Остатки подчиняются нормальному распределению. Выполнимость данной предпосылки важна для проверки статистических гипотез и построения доверительных интервалов.

3.7. Отсутствие мультиколлинеарности. Между объясняющими переменными отсутствует строгая (сильная) линейная зависимость. Для определения отсутствия мультиколлинеарности строят матрицу парных коэффициентов корреляции.

6. Зависимость удельного энергопотребления от выбранных факторов

Первоначально в статистическом анализе построения множественной регрессии для энергоемкости экономики по 86 странам

были взяты семь факторов. Однако результаты проверки показали, что показатель уровень развития инноваций и коррупции имеют высокую связь ($R = 0,85$), т.е. присутствует зависимость факторов между собой, следовательно, в уравнении присутствует мультиколлинеарность. В этом случае не удовлетворяются предпосылки МНК. Фактор коррупции был исключен из рассмотрения.

Далее множественная регрессия проверялась на шести факторах. Анализ качества уравнения по F-критерию Фишера показал, что в целом уравнение надежно. Коэффициент корреляции ($R = 0,6$) попадает в диапазон $0.3 \leq |R| \leq 0.7$, что говорит о том, что связь средняя. Множественная регрессия от группы рассматриваемых факторов в целом в более сильной мере объясняет значение энергоёмкости экономики, чем каждый фактор в отдельности, где в ряде случаев фиксировалась только определённая тенденция, в то время как формальные показатели (R) имели чрезвычайно низкое значение (табл. 1).

Таблица 1

**Результаты статистического анализа
построения множественной регрессии энергоёмкости экономики
и рассматриваемых факторов по 86 странам**

Статистический показатель	Выборка	
	7 факторов	6 факторов
Значимость коэффициентов (t-критерия Стьюдента)		
Критическое значение	1,984	1,984
Значимые факторы	Обеспеченность (4,2), выбросы (3,95), коррупция (2,63), цены на электрич. (2,5), доля промыш. (2,88), инновации (2,43)	Обеспеченность (5,24), доля промыш. (3,62), инновации (3,28), выбросы (2,28), цены на электрич. (2,44)
Незначимые факторы	Температура (0,4)	Температура (1,08)
Качество уравнения (F-критерий Фишера)		
Коэффициент корреляции	0,6	0,6
Статистическая надёжность уравнения	Надёжно	Надёжно
Средняя ошибка аппроксимации, %	55	54
Проверка предпосылок МНК		

Гомоскедастичность	Присутствует	Присутствует
Мультиколлинеарность	Исключение коррупции или инноваций	Отсутствует
Автокорреляция	Присутствует	Отсутствует

Результаты проверки выявили, что все выбранные факторы являются значимыми за исключением температуры. Тем не менее, по мнению автора, природно-климатический фактор должен оказывать существенное воздействие на уровень энергоёмкости экономики по странам. Существует несколько различных показателей, характеризующих природно-климатические условия каждой страны. Кроме среднегодовой температуры также есть средняя температура января, разница между средней температурой января и июля, а также ряд других показателей, которые еще предстоит проверить на наличие значимости удельного энергопотребления на единицу ВВП, включая домохозяйства.

Среди значимых факторов, влияющих на энергоёмкость экономики, является обеспеченность запасами ископаемых энергоносителей. Как правило, страны, обладающие значительными запасами энергетических ресурсов, менее склонны к энергосбережению по сравнению со странами, которые вынуждены в значительной мере осуществлять их импорт по высоким мировым ценам. Кроме того, существенное воздействие оказывают: (1) структура экономики – высокая доля промышленности обуславливает значительное потребление энергии при единичном выпуске продукта, (2) уровень инновационности экономики и (3) политика по ограничению выбросов углекислого газа. По результатам построения уравнения регрессии *t*-критерий Стьюдента для цен на электроэнергию чуть более превышает критическое значение.

Проверка предпосылок МНК показало, что все критерии, необходимые для построения уравнения, присутствуют (гомоскедастичность, мультиколлинеарность, автокорреляция).

Поскольку энергоёмкость экономики оказалась достаточно сложным показателем, имеющим определенную специфику, разнонаправленные тенденции и разброс значений по странам, было проведено исследование влияния рассматриваемых факторов на другой удельный показатель – душевое потребление энергии.

Связь между этими же факторами и потреблением энергии на душу населения в конкретной стране показал гораздо более сильную зависимость.

Таблица 2

Результаты статистического анализа построения множественной регрессии душевого энергопотребления и рассматриваемых факторов по 86 странам и индустриально развитым странам (ОЭСР)

Статистический показатель	6 факторов, 86 стран	6 факторов, страны ОЭСР
Значимость коэффициентов (t-критерия Стьюдента)		
Критическое значение	1,984	2,042
Значимые факторы	Выбросы (9,17), обеспеченность (3,73), инновации (6,15)	Обеспеченность (5,91), выбросы (5,17), температура (3,85), инновации (3,47)
Незначимые факторы	Температура (1,65), доля промыш. (1,48), цены на электрич. (0,69)	Цены на электрич. (1,37), доля промыш. (0,79)
Качество уравнения (F-критерий Фишера)		
Коэффициент корреляции	0,79	0,85
Статистическая надёжность уравнения	Надёжно	Надёжно
Средняя ошибка аппроксимации, %	209	45
Проверка предпосылок МНК		
Гомоскедастичность	Присутствует	Присутствует
Мультиколлинеарность	Отсутствует	Отсутствует
Автокорреляция	Отсутствует	Отсутствует

Коэффициент корреляции множественной регрессии между душевым потреблением энергии и 6 рассматриваемыми факторами по 86 странам мира составил 0,79, это говорит о том, что связь сильная, поскольку попадает в диапазон $0.7 \leq |R| \leq 0.9$. И эта связь гораздо более сильная по сравнению с энергоёмкостью экономики. Однако в этом случае кроме температуры стали незначимыми еще доля промышленности и цены на электроэнергию. Это связа-

но с тем, что экономический показатель, такой как ВВП, здесь уже не рассматривается. Поэтому такие экономические факторы, как структура экономики и цены на электроэнергию, становятся незначимыми факторами. Значимыми факторами остались объем выброса углекислого газа, обеспеченность ископаемыми энергоносителями и уровень развития энергосберегающих технологий (табл. 2).

В том случае, если выборку стран ограничить только индустриально развитыми странами ОЭСР (32 страны, без Люксембурга), то связь получается ещё выше, чем в случае 86 стран. Коэффициент корреляции достиг значения 0,85, что почти тяготеет к $|R| > 0.9$ – связь весьма сильная.

Здесь включается в рассмотрение дополнительно фактор температуры, притом температура получает достаточно высокий вес в уравнении. Это связано с тем, что из выборки отсеиваются развивающиеся страны Персидского залива, отчасти Африки и Латинской Америки с высокими температурами и высоким уровнем душевого потребления энергии. В ОЭСР же напротив, состоят страны с относительно высоким уровнем душевого энергопотребления и высокими температурами (Норвегия, Канада, США) и страны с относительно высокими температурами и низким удельным энергопотреблением, преимущественно Европы.

Проверка предпосылок МНК для душевого энергопотребления и шести рассматриваемых факторов показала, что все критерии, необходимые для построения уравнения, удовлетворяются (гомоскедастичность, мультиколлениарность, автокорреляция).