

А. Е. Шеремет^{1✉}, В. Ю. Немов²

Выявление факторов, влияющих на душевое энергопотребление

¹Новосибирский государственный университет,
г. Новосибирск, Российская Федерация

²Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: a.sheremet1@g.nsu.ru

Аннотация. Все страны мира стремятся к увеличению благосостояния и экономическому росту. Между энергопотреблением и экономическим развитием страны существует сильная корреляция. Однако, важно подчеркнуть, что неравномерное распределение энергопотребления между макрорегионами мира создает дисбалансы, которые ведут к мировой экономической и политической нестабильности. Изучение факторов, определяющих уровень душевого энергопотребления, позволяет понять закономерности развития энергетических систем. В данной статье исследуются основные факторы, влияющие на душевое энергопотребление макрорегионов с помощью многофакторной линейной модели. Применяя методы регрессионного анализа, исследование выявляет значимость экономических, социальных и технологических факторов на душевое энергетическое потребление с учетом различий макрорегионов. Полученные результаты демонстрируют закономерности, которые наблюдаются в различных макрорегионах и странах мира, что позволяет разработать стратегии для повышения энергоэффективности.

Ключевые слова: экономический рост, энергопотребление, энергоэффективность, регрессионный анализ

A. E. Sheremet^{1✉}, V. Yu. Nemov²

Identification of factors affecting per capita energy consumption

¹Novosibirsk State Research University, Novosibirsk, Russian Federation

²Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS,
Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: sheremet1@g.nsu.ru

Abstract. All countries of the world strive to increase prosperity and economic growth. There is a strong correlation between energy consumption and the economic development of the country. However, it is important to emphasize that the uneven distribution of energy consumption between the macro-regions of the world creates imbalances that lead to global economic and political instability. The study of the factors determining the level of per capita energy consumption makes it possible to understand the patterns of development of energy systems. This article examines the main factors influencing the per capita energy consumption of global macroregions using a multifactorial linear model. Using regression analysis methods, the study reveals the importance of economic, social, and technological variables on per capita energy consumption, taking into account differences in macroregions. The results obtained demonstrate patterns that are observed in various macroregions and countries around the world, which allows us to develop strategies to improve energy efficiency.

Keywords: economic growth, energy consumption, energy efficiency, regression analysis

Введение

Все страны мира стремятся к повышению своего благосостояния и экономическому росту. По данным Всемирного банка совокупный объём мирового ВВП увеличивается с каждым годом и за последние 10 лет прирост составил около 35%. Развитие национальной экономики зависит от множества различных факторов и одним из наиболее значимых является объём потребления энергоресурсов. Энергопотребление и экономическое развитие страны тесно коррелируют. Положительная связь между энергией и экономическим ростом очевидна: доход и потребление энергии связаны на каждом континенте и в каждом временном периоде, по которому существуют данные. Нигде в мире нет богатой страны, которая потребляет мало энергии, или бедной страны, которая потребляет много. Однако неравномерное распределение энергопотребления между макрорегионами мира создает дисбалансы, которые влияют на глобальную экономическую и политическую стабильность. Изучение факторов, определяющих уровень душевого энергопотребления, позволяет понять закономерности развития энергетических систем. Актуальность темы обусловлена несколькими основными аспектами:

Прежде всего, детальный анализ структуры и динамики энергопотребления на душу населения поможет спрогнозировать будущие потребности в энергоресурсах и разработать стратегии повышения энергоэффективности.

Кроме того, всестороннее изучение факторов позволит выявить уже существующие несоответствия в структуре энергопотребления и разработать меры их регулирования.

Практическая значимость исследования заключается в комплексном анализе факторов, влияющих на энергопотребление, с учетом различных особенностей макрорегионов.

Целью данного исследования является выявление основных факторов, оказывающих влияние на уровень душевого энергопотребления первичных энергоресурсов.

Исходя из поставленной цели, в задачи исследования будут входить следующие пункты:

1. Анализ литературы для систематизации методов и результатов работы других авторов по тематике исследования факторов, влияющих на уровень душевого энергопотребления первичных энергоресурсов.

2. Выбор и обоснование экономико-математического инструментария для решения поставленной исследовательской задачи.

3. Отбор и обоснование переменных для исследования уровня душевого энергопотребления первичных энергоресурсов с учетом доступности данных и их влияния на результирующий показатель.

Предмет исследования: факторы, определяющие уровень душевого энергопотребления первичных энергоресурсов в макрорегионах мира.

Объект исследования: макрорегионы мира.

Методы и материалы

Для достижения цели выбор был сделан в пользу многофакторной линейной модели.

$$\hat{y}_t = a_0 + a_1 x_{1t} + a_2 x_{2t} + \dots + a_{it} x_{it} + \epsilon_t, \quad (1)$$

где \hat{y}_t - прогнозируемый показатель;
 x_{it} - прогнозируемые значения факторных признаков;
 a_{it} - прогнозируемые оценки параметров моделей регрессии;
 t - период прогнозирования.

Многофакторная линейная модель – это регрессионная модель, цель которой состоит в том, чтоб оценить коэффициенты a , на основе имеющихся данных. Использование данного экономико-математического инструментария целесообразно по следующим причинам:

1. Учет множества факторов: многофакторные модели представляют собой инструмент для одновременного анализа воздействия нескольких независимых переменных на зависимую переменную.

2. Линейная регрессия позволяет четко количественно оценить вклад каждого фактора через значения коэффициентов.

Для оценки адекватности модели были проведены следующие тесты:

Стационарность. Данный тест проводился с помощью ADF-теста, чтобы убедиться, что временные ряды не содержат единичного корня.

По результатам проведённого этапа тестирования была выявлена нестационарность рядов, т.е. $p\text{-value} > 0,05$. Для избавления от нестационарности, данные были приведены к первым разностям:

$$\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1}, \quad (2)$$

где ΔY_t — первая разность для наблюдения на момент времени t ,
 Y_{t-1} — значение переменной на предшествующий момент времени,
 Y_t — значение переменной на момент времени t .

Далее тест на **линейность**. Линейная регрессия предполагает, что связь между переменными линейная, иначе это может исказить данные и модель будет плохо их объяснять. Графический анализ остатков показал их случайное распределение, без выраженной структуры, что свидетельствует о соблюдении линейности.

Корреляция помогла оценить силу и направление связи между переменными и избежать дублирующих факторов с помощью матрицы автокорреляции.

Также была проведена проверка на нормальность **остатков**, с помощью теста Шапиро-Уилка. Определяет насколько сильно остатки отклоняются от нормального распределения (Если $p\text{-value} > 0.05$, то остатки — нормальны. Если $p\text{-value} \leq 0.05$, то нормальность отвергается)

И, наконец, проверка **качества модели** через такие метрики как R^2 и среднеквадратическая ошибка (MSE).

После построения первой модели, показатели оказались слабыми, поэтому была проведена дополнительная очистка данных (убраны отрицательные значения и пропуски) и построена **вторая модель**. В ней качество улучшилось: вырос R^2 и снизилась ошибка, модель стала статистически значимой.

Изучение влияния различных факторов на потребление энергии, получило достаточно широкое представление в литературе. Особенно развито направление, определяющее взаимосвязь между потреблением энергии и экономическим ростом. Многие исследования, в том числе А. А. Карташевич, А. В. Комарова, И. В. Филимонова, D. Stern, Qiang Wang, Min Su, Rongrong Li, Pablo Ponce, Zaharia A. [2,8,9,10,11], как правило, подтверждают положительную взаимосвязь между потреблением энергии и экономическим ростом. Некоторые из исследований показывают, что потребление энергии в долгосрочной перспективе положительно зависит от урбанизации [1,10,], прямых иностранных инвестиций [1,6], ожидаемой продолжительности жизни при рождении и валового национального дохода (ВНД) на душу населения [6]. Множество исследований описывают, что на потребление энергии влияет рост численности населения [1,8,11]. Также в своей научной статье Дегтярёв К.С. упоминает о технологических изменениях и энергоэффективности, как факторах, влияющих на потребление энергии [1].

Детально изучив научную литературу по это теме, удалось выделить ряд факторов, оказывающих влияние на душевое потребление первичных энергоресурсов. Получилось 3 группы факторов:

1. Экономические: ВВП, ВНД, прямые иностранные инвестиции.
2. Социальные: рост численности населения, ожидаемая продолжительность жизни, урбанизация.
3. Технологические: технологические изменения, энергоэффективность

Результаты

Для построения модели было выбрано 7 макрорегионов – Северная Америка, Центральная и Южная Америка, Европа, СНГ, Ближний Восток, Африка, АТР; 4 страны с наибольшим потреблением первичной энергии – Китай, Индия, Россия и США, а также отдельно рассмотрены страны ОЭСР и не ОЭСР.

За период исследования с 1965 по 2023 гг. собраны данные по переменным. Данные были взяты из World Bank.

После проведения расчетов составлена сводная табл.1. показывающая, какие факторы статистически значимо влияют на душевое потребление первичных энергоресурсов в разных странах и регионах.

Таблица 1

Факторы, влияющие на душевое потребление первичных энергоресурсов

Регион	Урбанизация	ВВП	Технологические изменения	Инвестиции	ВНД	Энергоэффективность	Рост численности населения	Ожидаемая продолжительность жизни
Северная Америка	+	0	+	0	0	0	0	0
Центр.и Южная Америка	+	0	+	+	0	+	+	0

Европа	+	0	+	0	0	-	-	0
СНГ	+	0	+	0	0	0	0	0
Ближний Восток	+	0	+	0	0	0	+	0
Африка	+	0	+	0	0	0	+	0
АТР	+	0	+	0	+	0	+	0
Китай	+	+	+	0	0	0	0	0
Индия	+	+	+	+	+	0	+	0
Россия	+	0	+	0	0	+	0	0
США	+	0	+	0	0	0	0	0
ОЭСР	+	0	+	0	0	-	-	0
Не ОЭСР	+	0	+	0	+	0	+	0

Источник: Составлено автором на основе расчетов.

Знак «+» означает положительное влияние фактора на энергопотребление, «-» — отрицательное, а «0» — влияние статистически незначимо.

Обсуждение

Душевое потребление первичных энергоресурсов значительно различается между макрорегионами и странами мира, что обусловлено комплексом экономических, социальных, институциональных, климатических и ресурсных факторов (рис. 1).

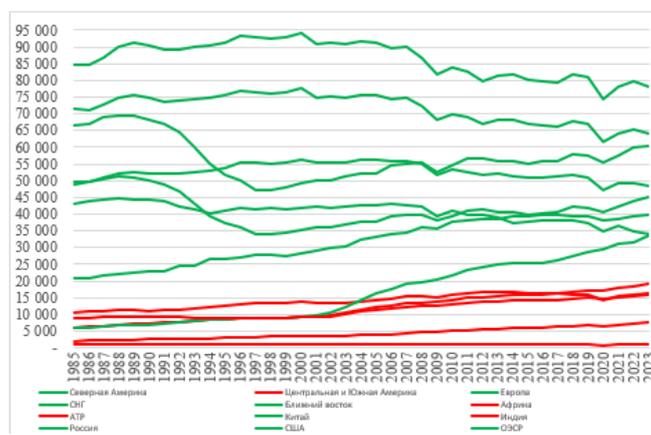


Рис. 1 Душевое потребление первичных энергоресурсов по макрорегионам и странам мира с 1985 по 2023 г., кВт. ч./чел.

Эмпирические результаты позволяют сделать детальную сегментацию и выделить три группы: развитые макрорегионы и страны, развивающиеся макрорегионы и страны с высоким уровнем душевого потребления и развивающиеся макрорегионы, и страны с низким уровнем потребления.

**Классификация макрорегионов и стран по уровню душевого потребления
первичных энергоресурсов**

Характеристика региона	Макрорегионы и страны
Развитые макрорегионы и страны с высоким уровнем душевого энергопотребления	Северная Америка, США, Европа, ОЭСР
Развивающиеся макрорегионы и страны с высоким уровнем душевого энергопотребления	СНГ, Россия, Китай, Ближний Восток
Развивающиеся макрорегионы и страны с низким уровнем душевого энергопотребления	АТР, не ОЭСР, Центральная и Южная Америка, Африка, Индия

Источник: Составлено автором на основе данных World Bank

В развитых странах высокие показатели душевого энергопотребления обусловлены энергоёмкой экономикой, однако заметна стагнация потребления, чему способствует активное использование энергоэффективных технологий и расширение использования возобновляемых источников энергии в рамках политики энергетического перехода, проводимой в ЕС и «всеобъемлющей» энергетической стратегии США [14,15].

У некоторых развивающихся стран, таких как Иран, Ирак ОАЭ, Катар и Саудовская Аравия, наблюдается высокий уровень душевого потребления первичных энергоресурсов. Это связано с низкой стоимостью первичных энергоресурсов на внутреннем рынке стран, что является следствием наличия собственной сырьевой базы. Потребление первичных энергоресурсов в этой группе стран составляет больше 50% от общего потребления макрорегиона Ближний Восток. Таким образом, несмотря на наличие только развивающихся государств, совокупный показатель душевого потребления энергоресурсов остаётся высоким. Похожая ситуация наблюдается и у России, где высокое душевое потребление связано с суровым климатом, энергоёмкой промышленностью и относительно низким уровнем цен первичной энергии на внутреннем рынке [17].

В то же время в других развивающихся странах, таких как Индия и Нигерия уровень душевого потребления первичных энергоресурсов остаётся низким. При сопоставимых демографических показателях, уровень потребления значительно различается: так, в Китае и Индии численность населения составляет около 1,41 и 1,44 млрд чел. соответственно, однако уровень удельного энергопотребления в Китае (33 619 кВт. ч./чел) значительно выше Индии (7 536 кВт.ч./чел.). Это обусловлено более высоким уровнем урбанизации в Китае - 64,57% городского населения против 36,36% в Индии, а также более развитой энергетической структурой и структурой промышленности [2,16]. Мировые инициативы, в частности цель № 7 в области устойчивого развития ООН, направлены на преодоление барьеров, ограничивающих доступ населения к современным источникам энергии [18].

Заключение

Из проведённого выше анализа видно, что урбанизация и технологические изменения положительно влияют на уровень душевого потребления первичных

энергоресурсов во всех рассматриваемых регионах и странах. Такая тенденция может быть связана с тем, что процесс урбанизации сопровождается развитием инфраструктуры, расширением транспортных систем и, как следствием увеличением транспорта, а также увеличением потреблением бытовой энергии [19-21]. Технологические изменения особенно в таких секторах, как цифровизация, транспорт и производство, часто изначально приводит к увеличению потребностей в энергии из-за широкого внедрения энергоемких инноваций.

Как видно из табл.1, ожидаемая продолжительность жизни наоборот не является статистически значимым фактором, так как само по себе увеличение средней продолжительности жизни не приводит к заметному повышению или снижению уровня энергопотребления. В первую очередь это связано с тем, что продолжительность жизни, хотя и отражает улучшения в области здравоохранения, условий жизни и социальной стабильности, напрямую не влияет на повседневное потребление энергии отдельными людьми. Пожилые люди часто демонстрируют более низкий уровень потребления энергии на производстве и транспорте по сравнению с более молодыми экономически активными группами населения. Более того, увеличение ожидаемой продолжительности жизни, как правило, происходит параллельно с более широкими социально-экономическими преобразованиями, такими как повышение энергоэффективности и переход к менее энергоемкому образу жизни, что может уравновесить или даже уменьшить дополнительные потребности в энергии, связанные со старением общества.

Северная Америка и США: заметна положительная зависимость от урбанизации и технологических изменений. Экономические же факторы не являются статистически значимыми в данном регионе и стране, т.к. не оказывают существенного влияния на уровень потребления энергии на душу населения. Во многом это связано с тем, что регион уже достиг высокой степени экономической зрелости, когда последующее увеличение ВВП не обязательно приводит к росту потребления энергии.

Центральная и Южная Америка: в данном регионе потребление первичных энергоресурсов увеличивается не только под действием урбанизации, и технологических изменений, но и от прямых иностранных инвестиций, однако это в большей степени относится к отдельным странам, например, Бразилия, Чили, а не для всех стран региона. Также, на душевое потребление первичной энергии в данном регионе влияет ещё и рост численности населения. В странах с быстро растущим населением рост потребления энергии, как правило, более выражен, чем повышение технологической энергоэффективности для снижения энергопотребления.

Европа: в отличие от многих других регионов мира, в Европе наблюдаются четко выраженные тенденции к уравниванию. Активное продвижение энергоэффективности путем внедрения строгих норм и правил, стандартов энергоэффективности бытовой техники и широкой политики декарбонизации демонстрирует отрицательную зависимость на душевое потребление энергии. Кроме того, демографический фактор, в частности снижение темпов роста населения или

даже его уменьшение в странах, оказывает дополнительное уменьшение давления на уровень потребления энергии.

СНГ: за исключением урбанизации и технологических изменений, прочие факторы оказывают незначимое влияние на душевое потребление энергии, это связано с ограниченностью инвестиционного притока и демографической стабильностью.

Ближний Восток и Африка: в данных регионах воздействие на потребление энергии оказывают одинаковые факторы, помимо урбанизации и технологических изменений ещё влияет рост численности населения. Вместе эти факторы повышают спрос на потребление первичной энергии за счёт увеличения концентрации населения и преобразования городской среды. При этом экономические факторы нейтральны из-за зависимости от нефтяных доходов в некоторых странах регионов.

АТР и не ОЭСР: Азиатско-Тихоокеанский регион и страны, не входящие в ОЭСР характеризуются схожими факторами, влияющими на душевое потребление первичной энергии, что связано с тем, что данные страны с развивающейся экономикой и увеличивающимися темпами роста промышленности.

Китай: страна ещё не достигла высокой степени экономической зрелости, поэтому последующее увеличение ВВП приводит к росту потребления энергии.

Индия: ситуация схожа с Китаем, но помимо этого в стране на потребление первичной энергии ещё влияют прямые иностранные инвестиции и ВНД, т.к. приток прямых инвестиций и устойчивый ВНД повышают способность страны финансировать масштабные проекты в области развития и модернизации инфраструктуры, что повышает спрос на энергоносители, поддерживая крупномасштабные промышленные предприятия, развитие городов и усовершенствованные системы предоставления услуг.

Россия: в России на данный момент энергоэффективность только начинает развиваться, что временно сопровождается ростом энергопотребления.

ОЭСР: в страны ОЭСР как правило входят страны, которые уже достигли зрелой стадии экономического развития, они достигли высокого уровня потребления энергии, и теперь энергоэффективность активно влияет на снижение энергопотребления. В данных странах отмечается снижение темпов роста населения, что ограничивает расширение спроса.

Благодарности

Исследование выполнено за счет проекта ИНГГ СО РАН № FWZZ-2022-0013 по программе ФНИ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дегтярёв К. С. Динамика мирового энергопотребления в XX-XI вв. и прогноз до 2100 года // Окружающая среда и энергоснабжение. – 2020. – №2. – С. 35-48.
2. Карташевич А. А. Дифференциация факторов, влияющих на уровень энергопотребления // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2022. – №4. – С. 185-191.
3. Петрова Н. А., Проворная И. В. Эффективность использования энергетических ресурсов развитых и развивающихся стран // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2022. – №4. – С. 85-89.

4. Прохорова Н.В. Географические методы исследования в анализе и прогнозировании энергопотребления // Известия российской академии наук. Серия географическая. – 2009. – №3. – С. 48-54.
5. Смелов П.А, Карманов М.В. Бухгалтерский учёт, статистика // Экономические науки. – 2009. – Ч.2(51). – С.258-261.
6. Azam M. and others Factors determining energy consumption: Evidence from Indonesia, Malaysia and Thailand // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2015. – Vol 42. – P. 1123-1131.
7. Demirel Y. Energy Production, Conversion, Storage, Conservation, and Coupling // Green Energy and Technology. – 2012.
8. Komarova A. V. and others Energy consumption of the countries in the context of economic development and energy transition // Energy Reports. – 2022. – №8. – P.683-690
9. Stern D. I. Economic growth and environmental degradation: The environmental Kuznets curve and sustainable development // World Development. – 1996. – Vol. 24. – №7. – P. 1151-1160.
10. Wang Q. и др. The effects of energy prices, urbanization and economic growth on energy consumption per capita in 186 countries // Journal of Cleaner Production. – 2019. – Vol. 225. – P.1017-1032.
11. Zaharia A. и др. Factors Influencing Energy Consumption in the Context of Sustainable Development // Sustainability. – 2019. – Vol. 11. – №15. – P. 2-28.
12. Диссертация «Модель прогнозирования временных рядов по выборке максимального подобия». Глава 1. Постановка задачи и обзор моделей прогнозирования временных рядов. URL: https://www.mbureau.ru/articles/dissertaciya-model-prognozirovaniya-vremennyh-ryadov-glava-1#p_1.3.2 (дата обращения: 17.04.2025).
13. Основные виды математических моделей. URL: Основные виды математических моделей (дата обращения: 17.04.2025).
14. Eurostat, 2023: record-breaking increase in renewable electricity. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20250221-3#:~:text=In%202023%2C%20renewable%20energy%20sources,time%20series%20began%20in%202004> (дата обращения: 25.04.2025).
15. U. S. Energy Information Administration, Annual Energy Outlook 2025. URL: <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/> (дата обращения: 25.04.2025).
16. World Bank, Urban population (% of total population). URL: https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS?name_desc=false&type=shaded&view=map (дата обращения: 25.04.2025)
17. Министерство энергетики РФ, Обзор энергетики России. URL: <https://minenergo.gov.ru/industries> (дата обращения: 26.04.2025).
18. Цели в области устойчивого развития, Цель 7: Обеспечение всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/energy/> (дата обращения: 26.04.2025).
19. Филимонова И.В., Эдер Л.В., Немов В.Ю., Комарова А.В. Структурные изменения в нефтедобыче России // Экологический вестник России. – 2018. – № 1. – С. 1-8.
20. Eder L.V., Filimonova I.V., Provornaya I.V., Nemov V.Yu. The current state of the petroleum industry and the problems of the development of the Russian economy // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Scientific and Research Conference on Knowledge-Based Technologies in Development and Utilization of Mineral Resources, KTDMMUR 2017. – 2017. – С. 012012.
21. Коржубаев А.Г., Филимонова И.В., Эдер Л.В. Иностранные инвестиции: состояние и перспективы // Нефтегазовая вертикаль. – 2007. – № 3. – С. 77-85.

© А. Е. Шерemet, В. Ю. Немов, 2025