

## **Динамики углеродоёмкости экономики по макрорегионам с использованием индекса интенсивности снижения энергоёмкости**

*И. В. Проворная*<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск,  
Российская Федерация

\* e-mail: provornayaiv@gmail.com

**Аннотация.** В работе исследована динамика энергоёмкости экономики стран мира. Показано, что к 1980 г. процесс снижения энергоёмкости экономики начался только в развитых странах Северной Америки, Европы, АТР, а также в Китае. Рассчитан индекс интенсивности снижения энергоёмкости, который позволил выявить особенности динамики энергоёмкости ВВП по развитым и развивающимся странам. Определено наличие конвергенции в динамических рядах энергоёмкости и углеродоёмкости экономики всех макрорегионов, за исключением Ближнего Востока, где наблюдается дивергенция.

**Ключевые слова:** энергоёмкость, углеродоёмкость, индекс интенсивности снижения, конвергенция, дивергенция, страны мира

## **Dynamics of the carbon intensity of the economy by macro-regions using the intensity index of energy intensity reduction**

*I. V. Provornaya*<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

\* e-mail: provornayaiv@gmail.com

**Abstract.** The paper studies the dynamics of the energy intensity of the economies of the countries of the world. It is shown that by 1980 the process of reducing the energy intensity of the economy began only in the developed countries of North America, Europe, the Asia-Pacific region, as well as in China. The intensity index of energy intensity reduction was calculated, which made it possible to identify the features of the dynamics of GDP energy intensity in developed and developing countries. The presence of convergence in the time series of energy intensity and carbon intensity of the economy of all macroregions, with the exception of the Middle East, where divergence is observed, is determined.

**Keywords:** energy intensity, carbon intensity, decrease intensity index, convergence, divergence, countries of the world

### ***Введение***

Энергетические показатели являются важным инструментом анализа проблем, связанных с обеспечением энергетической безопасности, социально-экономическими последствиями высоких цен на энергоносители, обострением экологической обстановки на фоне роста выбросов диоксида углерода (углекислого газа) и т. д. Энергетическая эффективность становится все более важным приоритетом в экономике многих стран мира, поскольку она позволяет решать многие актуальные проблемы, стоящие перед человечеством.

Одним из важнейших показателей энергетической эффективности национальной экономики, который характеризует насколько эффективно в данной стране, регионе используются энергетические ресурсы является энергоёмкость экономики.

Начиная с последнего десятилетия XX века, снижение энергоёмкости экономики всё чаще связывается с эффективным использованием углеводородного топлива, оказывающего существенное негативное воздействие на состояние окружающей среды, в виде выбросов в атмосферу диоксида углерода (углекислого газа), являющегося составной частью парниковых газов. На фоне усиления внимания к экологическим проблемам и возрастания интереса к эффективному использованию углеводородного топлива особого внимания заслуживают исследования динамики объёма выбросов углекислого газа и углеродоемкости экономики по странам мира.

Цель исследования – исследование динамики энергоемкости и углеродоемкости экономики и выявление общих тенденций их изменения по странам на основе использования методических подходов теории конвергенции.

В статье были поставлены и решены следующие задачи:

- анализ динамики энергоемкости экономики, и углеродоемкости;
- исследование динамических рядов углеродоемкости на предмет наличия конвергенции/дивергенции;
- оценка взаимосвязи энергетических показателей (энергоемкость и выбросы углекислого газа) на основе теории конвергенции;

### *Методы и материалы*

Понятие конвергенции используется в разных естественных и гуманитарных науках и характеризует процесс сближения, схождения (в разном смысле). В экономике понятие конвергенции изначально применялось при изучении вопросов, связанных с теорией экономического роста и сокращения неравенства по уровню доходов населения между странами и регионами. В соответствии с неоклассической теорией экономического роста (модель Солоу, 1956) была выдвинута гипотеза о том, что бедные страны (с низкими доходами на душу населения) будут иметь более высокие темпы экономического роста по сравнению с богатыми странами, что в итоге приведёт к сближению уровня среднедушевых доходов между странами.

В настоящее время термин «конвергенция» используется для описания процессов сближения уровней экономического развития между странами, в основе которых лежат общие тенденции социально-экономического развития и научно-технического прогресса.

Значительный вклад в изучение конвергенции в региональном разрезе был внесён исследованиями Х. Сала-и-Мартина [1]. В России конвергенция экономических показателей рассматривалась в работах Е. А. Коломак, Н. И. Сулова и др [2,3].

В экономической литературе для определения степени конвергенции, как правило, используется две концепции:

сигма ( $\sigma$ ) – конвергенция ( $\sigma$  – сходимость) – уменьшение во времени вариации уровня экономических показателей между странами;

бета ( $\beta$ ) – конвергенция ( $\beta$  – сходимость) – отражает процесс сокращения (навёрстывания) в уровне экономического развития, при котором бедные страны или регионы имеют более высокие темпы экономического роста по сравнению с более развитыми странами, что приводит к сближению уровня их экономического развития.

Наряду с конвергенцией может развиваться и противоположная тенденция к дивергенции. Дивергенция – процесс расхождения, разрыва между уровнями развития отдельных стран, регионов.

В последнее время появились работы, посвященные исследованию конвергенции в энергетике, в частности, в них рассматривается конвергенция энергоёмкости различных отраслей промышленности различных регионов мира [4], в странах бывшего СССР с развитыми странами Евросоюза [5] в экономиках множества стран [6], изучаются факторы, влияющие на энергоёмкость экономики стран [3].

Энергоёмкость ВВП — это удельный показатель потребления энергоресурсов по отношению к ВВП, измеряется в тоннах условного топлива или тоннах нефтяного эквивалента (т у. т. или в т н. э.) на единицу стоимости ВВП.

Расчёт энергоёмкости осуществляется по формуле:

$$E_f = \frac{E}{\text{ВВП}}, \quad (1)$$

где  $E$  — энергопотребление, ВВП — валовой внутренний продукт.

Сигма – конвергенция определяется как уменьшение во времени вариации уровней энергоёмкости экономики макрорегионов. Для проверки гипотезы о наличии  $\sigma$  – конвергенции наиболее часто используются показатели вариации: дисперсия, среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации.

Под  $\beta$  – конвергенцией понимается зависимость темпов роста (снижения) показателя во времени в зависимости от его первоначального уровня. Это означает, что со временем происходит сближение значений рядов рассматриваемых показателей.

Для оценки скорости абсолютной  $\beta$  – конвергенции используется следующее уравнение [2]:

$$\frac{\ln y_{i,T} - \ln y_{i,0}}{T} = \delta + b * \ln y_{i,0} + \varepsilon_i, \quad (2)$$

где  $y_{i,T}$  и  $y_{i,0}$  – значения переменной  $y$  в конечный и первоначальный момент времени;  $\delta$  – константа;  $\varepsilon$  – случайное отклонение;  $b$  – коэффициент, характеризующий процесс  $\beta$  – конвергенции;  $i$  – макрорегион мира;  $T$  – длина исследуемого временного интервала. Если  $b < 0$ , то наблюдается конвергенция, если  $b > 0$  – дивергенция.

С использованием данной модели могут быть определены характеристики  $\beta$  - конвергенции: ежегодная скорость ( $\beta$ ) и время ( $v$ ) необходимое для преодоления половины расстояния для сокращения неравенства между макрорегионами по рассматриваемому показателю.

$$\beta = -\frac{\ln(1+T*b)}{T} \quad (3)$$

$$v = \frac{\ln(2)}{\beta} \quad (4)$$

### Результаты и обсуждение

Динамика энергоёмкости ВВП в нашем исследовании рассматривается на временном интервале в 40 лет (1980 – 2019 гг.). К 1980 году процесс снижения энергоёмкости экономики начался только в развитых странах Северной Америки, Европы, АТР, а также в Китае (табл. 1). В 1990-х гг. снижение энергоёмкости началось в развивающихся странах Европы, Латинской Америки и Карибского бассейна, странах СНГ и в Африке. Последними в стадию снижения энергоёмкости (в 2000-х гг.) вступили страны Ближнего Востока и развивающиеся страны АТР (без Китая).

Таблица 1

Параметры снижения энергоёмкости ВВП по макрорегиона в 1980 – 2019 гг.

Макрорегионы	$t_{i0}$	$t_i$	$y_{i,t_{i0}}$	$y_{i,2019}$	$\Delta y$	$v$	$T_{\Delta y}$	$T_v$
Северная Америка	до 1980	40	0,245	0,124	0,121	0,0030	49,4	1,2
Развитые страны Европы	до 1980	40	0,177	0,085	0,092	0,0023	52,0	1,3
Развитые страны АТР	до 1980	40	0,168	0,070	0,098	0,0025	58,3	1,5
Китай	до 1980	40	0,724	0,150	0,574	0,0143	79,3	2,0
Развивающиеся страны Европы	1990	30	0,792	0,260	0,532	0,0177	67,2	2,2
Латинская Америка и страны Карибского бассейна	1990	30	0,073	0,066	0,007	0,0002	9,6	0,3
Страны СНГ	1995	25	0,347	0,182	0,165	0,0066	47,6	1,9
Африка	1996	24	0,104	0,075	0,029	0,0012	27,9	1,2
Ближний Восток	2002	18	0,257	0,169	0,088	0,0049	34,2	1,9
Развивающиеся страны АТР без Китая	2005	15	0,321	0,213	0,108	0,0072	33,6	2,2

Источник: рассчитано автором на основе данных МЭА и ВБ.

Особенности динамики энергоёмкости ВВП по развитым и развивающимся странам наглядно характеризуются данными об индексе интенсивности снижения энергоёмкости ( $J_v$ ) (табл. 2).

Таблица 2

Индекс интенсивности снижения энергоёмкости по макрорегионам в 1980–2019 гг.

Макрорегионы	$t_{i0}$	$J_v$	$J_{v_1}$	$J_{v_2}$	$J_{v_1}/J_v, \%$	$J_{v_2}/J_v, \%$
Северная Америка	до 1980	0,012	0,016	0,016	133	133
Развитые страны Европы	до 1980	0,013	0,014	0,018	118	138
Развитые страны АТР	до 1980	0,015	0,024	0,042	168	280
Китай	до 1980	0,020	0,079	0,029	395	145
Развивающиеся страны Европы	1990	0,018	0,044	0,021	244	117
Латинская Америка и страны Карибского бассейна	1990	0,003	0,000	0,005	0	167
Страны СНГ	1995	0,019	0,034	0,007	179	37
Африка	1996	0,012	0,017	0,009	142	75
Ближний Восток	2002	0,019	0,034	0,001	179	5
Развивающиеся страны АТР (без Китая)	2005	0,022	0,023	0,018	105	82

Развитые страны включились в политику снижения энергоёмкости экономики раньше, чем развивающиеся (за исключением Китая), в связи с этим процесс снижения в них протекал относительно планомерно и был растянут во времени. Кроме того, снижение сопровождалось соответствующим постепенным развитием энергосберегающих технологий. Индекс интенсивности снижения энергоёмкости экономики в целом за период снижения ( $J_v$ ) имеет для них достаточно низкие значения (для Северной Америки – 0,012, развитых стран Европы – 0,013, развитых стран АТР – 0,015), при этом динамика внутри периода имеет определённые особенности. В 1980-х гг. наблюдалось интенсивное снижение энергоёмкости экономики на фоне внедрения соответствующих программ по энергосбережению и постепенного изменения структуры экономики, в сторону увеличения доли сферы услуг. В последующие годы темпы сокращения энергоёмкости постепенно становятся более умеренными (1990 – 2000-е гг.). Всплеск интереса к энергосбережению возник в 2010-х гг., когда на повестку дня всё более активно стал выдвигаться вопрос о необходимости решения проблем, связанных с глобальным потеплением на фоне роста выбросов парниковых газов (в том числе диоксида углерода) [7–9].

Для развивающихся стран (за исключением Латинской Америки и стран Карибского бассейна, а также Африки) характерны более высокие значения индекса интенсивности снижения энергоёмкости за весь период (от 0,018 в европейских странах до 0,022 в странах АТР), для них также характерно более интенсивное её снижение на начальном этапе, что обусловлено использованием уже существующих технологий энергосбережения, как правило, опробованных развитыми странами. В последнем же десятилетии рассматриваемого периода (2010-е гг.) рост интенсивности снижения энергоёмкости наблюдался только в странах Латинской Америки и Карибского бассейна, это свидетельствует о

том, что развивающиеся страны ещё не в полной мере подключились к решению экологических проблем, связанных с глобальным потеплением.

Анализ динамики энергоёмкости экономики по макрорегионам показал, что развивающиеся страны за более короткий срок на уже имеющихся технологиях в существенной степени проходят путь развитых стран, этот процесс в литературе получил название «догоняющего развития». Кроме того, проведённый анализ динамических рядов энергоёмкости экономики по макрорегионам показал, что скорость её снижения в значительной степени связана с начальным уровнем энергоёмкости, что позволяет для описания этой закономерности использовать понятия «конвергенция», или «сходимость» и применять соответствующие методы исследования.

Оценка характера взаимосвязи энергоёмкости и углеродоемкости экономики была выполнена на основе использования моделей конвергенции (табл. 3).

Таблица 3

Бета-конвергенция энергоёмкости и углеродоемкости ВВП  
по макрорегионам в 1990 – 2018 гг.

Регионы	Энергоёмкость	Углеродоемкость
Северная Америка	-0,017	-0,022
Развитые страны Европы	-0,018	-0,025
Развитые страны АТР	-0,022	-0,009
Развивающиеся страны Европы	-0,022	-0,033
Развивающиеся страны АТР (без Китая)	-0,029	-0,009
Китай	-0,033	-0,037
Страны СНГ	-0,026	-0,020
Ближний Восток	0,002	0,007
Африка	-0,013	-0,007
Латинская Америка и страны Карибского бассейна	-0,003	-0,005
Скорость конвергенции, %	1,9	5,1
Время, необходимое для сокра- щения межрегионального нера- венства, год	35,9	13,5

Наблюдается наличие конвергенции в динамических рядах энергоёмкости и углеродоемкости экономики всех макрорегионов, за исключением Ближнего Востока, где наблюдается дивергенция и для энергоёмкости, и для углеродоемкости. Кроме того, приведённые данные показывают более высокий уровень конвергенции динамических рядов углеродоемкости экономики по сравнению с рядами энергоёмкости практически для всех макрорегионов, что свидетельствует об активных мерах, принимаемых на государственном уровне, с целью декарбо-

низации экономики за счёт сокращения выбросов углекислого газа. Исключение из этой тенденции составляют страны АТР (развитые и развивающиеся (без Китая)) и страны СНГ.

### *Заключение*

Проведённый в нашем исследовании анализ динамики энергоёмкости ВВП на временном интервале в 40 лет (1980–2019 гг.) по 10-ти макрорегионам, свидетельствует о том, что к 1980 году процесс снижения энергоёмкости экономики начался только в развитых странах Северной Америки, Европы, АТР, а также в Китае. В 1990-х гг. к ним присоединились развивающиеся страны Европы, Латинской Америки и Карибского бассейна, страны СНГ и Африки. Последними в стадию снижения энергоёмкости (в 2000-х гг.) вступили страны Ближнего Востока и развивающиеся страны АТР (без Китая).

Использование индекса интенсивности снижения энергоёмкости позволило выявить особенности динамики энергоёмкости ВВП по развитым и развивающимся странам:

- интенсивность снижения энергоёмкости экономики в развитых странах значительно уступает интенсивности в развивающихся странах, что связано с растянутостью процесса снижения во времени на фоне постепенного развития энергосберегающих технологий;

- для обеих групп макрорегионов характерно интенсивное снижение энергоёмкости экономики в первом десятилетии периода снижения, что для первой группы связано с внедрением программ по повышению энергоэффективности экономики и постепенным изменением структуры экономики, в сторону увеличения доли сферы услуг, для второй группы – с использованием уже существующих технологий энергосбережения, как правило, опробованных развитыми странами;

- последнее десятилетие периода снижения для развитых стран характеризуется ростом интенсивности снижения энергоёмкости на фоне возрастания интереса к решению экологических проблем, связанных с глобальным потеплением, для развивающихся стран (за исключением Латинской Америки и стран Карибского бассейна) характерно замедление интенсивности снижения энергоёмкости в этот период, что свидетельствуют о том, что развивающиеся страны ещё не в полной мере подключились к решению проблем, связанных с глобальным потеплением.

Углеродоемкость экономики является одним из основных индикаторов перехода к низкоуглеродному развитию. За период с 1990 по 2018 гг. углеродоемкость мировой экономики сократилась почти на 63%, сокращение в той или иной степени наблюдалось во всех макрорегионах (за исключением Ближнего Востока, где углеродоемкость выросла в 1,2 раза). Анализ динамических рядов углеродоемкости по макрорегионам показал наличие их сходимости для девяти макрорегионов из 10 (за исключением Ближнего Востока). Рассчитанные характеристики  $\beta$  – конвергенции для динамических рядов углеродоемкости оказались выше, чем для рядов энергоёмкости (скорость конвергенции составила 5,1%

в год, а время, необходимое для сокращения межрегионального неравенства по углеродоемкости экономики в два раза – 13,5 года). Более высокий уровень конвергенции динамических рядов углеродоемкости практически для всех макрорегионов свидетельствует об активных мерах, принимаемых на государственном уровне, с целью декарбонизации экономики за счёт сокращения выбросов углекислого газа.

### *Благодарности*

Настоящее исследование выполнено при финансовой поддержке стипендии Президента РФ № СП-3030.2022.1 и базового проекта НИР лаборатории 349 ИНГГ СО РАН FWZZ-2022-0013

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сала-и-Мартин Х.Х. Классический подход к анализу конвергенции // Экономический журнал. – 1996. – № 106. – С. 1019–1036.
2. Коломак Е. А. Модели региональной политики: конвергенция и дивергенция // Вестник НГУ. – 2009. – Т. 9. – № 1. – С. 113-120.
3. Суслов Н. И. Энергетика России в ближайшие 20 лет: взгляд экономиста // Всероссийский экономический журнал ЭКО. – 2013. – №. 8 (470). – С.79-96.
4. Маркандя А., Педросо-Галинато С., Стреймикене Д. Энергоемкость в странах с переходной экономикой: происходит ли сближение со средними показателями по ЕС? // Энергетика эконом. – 2006. – № 28. – С. 121–145.
5. Подкорытова О. А., Раскина Ю. В. Постсоветское пространство и европейский союз: преодоление разрыва в энергоэффективности // Вестник Санкт-Петербургского университета. – 2014. – №2. – С. 106-121.
6. Eder L., Provornaya I. Analysis of energy intensity trend as a tool for long-term forecasting of energy consumption //Energy Efficiency. – 2018. – Vol. 11. – №. 8. – P. 1971-1997.
7. 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.
8. Эдер Л.В., Филимонова И.В., Проворная И.В., Мамахатов Т.М. Особенности развития нефтяной промышленности России на современном этапе // Бурение и нефть. – 2016. – № 12. – С. 3-14.
9. Эдер Л.В., Филимонова И.В., Немов В.Ю., Проворная И.В. Состояние и перспективы развития нефтегазового комплекса // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2017. – № 3. – С. 41-49.

© И. В. Проворная, 2022