

Оценка вклада технологического фактора в повышение энергоэффективности и динамику выбросов парниковых газов в секторе «энергетика» России

И.А. Башмаков^{1)}, А.Д. Мышак¹⁾, В.А. Башмаков¹⁾, В.И. Башмаков¹⁾,
К.Б. Борисов¹⁾, М.Г. Дзедзичек¹⁾, А.А. Лунин¹⁾, О.В. Лебедев¹⁾, Т.Б. Шишкина^{1,2)}*

¹⁾Центр энергоэффективности – XXI век,
РФ, 117418, г. Москва, ул. Новочеремушкинская, 61

²⁾ИОН РАНХиГС,
119571, Москва, пр. Вернадского, 82, стр. 1

*Адрес для переписки: *bashmako@co.ru*

Реферат. В данной статье представлены краткое описание и результаты использования российской системы учета повышения энергоэффективности и выбросов парниковых газов в секторе «энергетика» (МТФК-16-80-ПГ) за 2015-2022 гг. Эта разработанная и эксплуатируемая авторами на протяжении нескольких лет система предназначена для мониторинга прогресса в области энергоэффективности в 16 секторах и 80 видах экономической деятельности с оценкой вклада 7 факторов. Она также используется для мониторинга прогресса в сфере контроля за выбросами парниковых газов в секторе «энергетика» с оценкой вклада 9 факторов. Показано, что в 2022 г. технологический фактор не тормозил, а увеличивал объемы потребления энергии, а в 2015-2022 гг. его тормозящий эффект был ограниченным. Отсутствие прогресса в снижении энергоемкости ВВП наряду с ростом углеродоемкости используемой энергии привело к тому, что в России на смену «суперкаплингу» 2020-2021 гг. (практически полному совпадению динамики выбросов парниковых газов и ВВП) в 2022 г. пришел «обратный декарбонизация» (рост выбросов парниковых газов при снижении ВВП).

Ключевые слова. Энергетический баланс, система учета энергоэффективности, показатели энергоэффективности, выбросы парниковых газов, факторный анализ, среднелогарифмический индекс Дивизиа.

Assessing the contribution from technological factor to energy efficiency improvement and to the evolution of energy related emissions of greenhouse gases in Russia

I.A. Bashmakov^{1)}, A.D. Myshak¹⁾, V.A. Bashmakov¹⁾, V.I. Bashmakov¹⁾,
K.B. Borisov¹⁾, M.G. Dzedzichuk¹⁾, A.A. Lunin¹⁾, O.V. Lebedev¹⁾, Shishkina T.B.^{1,2)}*

¹⁾Center for Energy Efficiency – XXI,
61, Novocheremushkinskaya st., Moscow, 117418, Russian Federation

Abstract. This article presents a brief description and the results of using the Russian energy efficiency improvement and energy related greenhouse gas emissions accounting system (MTFC-16-80-GHG) for 2015-2022. This system, as developed and operated by the authors for several years, is designed to monitor the energy efficiency progress in 16 sectors and 80 economic activities and to estimate the contributions from 7 factors. It is also used to monitor the progress to increase, rather than slowdown, energy consumption, and in 2015-2022 its inhibitory effect was limited. Lack of progress in bringing down GDP energy intensity, coupled with increased carbon intensity of energy, resulted in the fact that the supercoupling observed in Russia in 2020-2021 (i. e. nearly complete coincidence of the evolutions of greenhouse gas emissions and GDP) was replaced with the “reverse decoupling” in 2022 (i. e. greenhouse gas emission growth along with GDP reduction).

Keywords. Energy balance; energy efficiency accounting system; energy efficiency indicators; greenhouse gas emissions; factor analysis; log-mean Divisia index.

Введение

Для решения управленческих задач в сфере повышения энергоэффективности и декарбонизации важно не только знать, как изменилась энергоёмкость ВВП или выбросы парниковых газов (ПГ), но и выявить причины этих изменений. Такой подход позволяет оценивать эффекты от принятых мер госполитики на фоне многих прочих факторов, которые влияют на эти процессы, и правильно оценить успехи в низкоуглеродной технологической гонке (Башмаков и др., 2023а). Поэтому в последние годы во многих странах и международных организациях создано большое число таких систем мониторинга с выделением влияния экономической активности, структурных сдвигов в экономике, климата, изменения удельных расходов энергии, доли ископаемых топлив в потреблении энергии и удельных выбросов парниковых газов (ПГ) на единицу используемого топлива. Степень детализации анализа и число выделяемых факторов заметно различается от системы к системе. В 2012 году в России была создана первая такая система для анализа факторов динамики энергоёмкости ВВП и выбросов ПГ (Башмаков, Мышак, 2012; Bashmakov, Myshak, 2012; Bashmakov, Myshak, 2014). Затем в 2019 году она была заметно развита и оформлена приказом Минэкономразвития России от 1 августа 2019 г. № 471 (МЭР РФ, 2019) сначала только для формирования единого топливно-энергетического баланса (ЕТЭБ) и выявления вклада технологического фактора в динамику энергоёмкости ВВП. В 2022 году функции этой системы, по требованию Минэкономразвития РФ, были расширены, чтобы оценивать влияние факторов и динамику выбросов ПГ в секторе «энергетика» (Bashmakov et al., 2023). Такая работа проводится ежегодно, а ее результаты

отражаются в Государственном докладе о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности (Госдоклад, 2021).

В первом разделе статьи дан краткий анализ литературы по применению факторного анализа динамики энергопотребления и выбросов ПГ. Во втором разделе кратко описана действующая версия модели МТФК-16-80-ПГ. В третьем разделе показаны результаты ее применения для анализа динамики потребления энергии и энергоемкости ВВП России в 2015-2022 гг. В четвертом разделе показаны результаты ее применения для анализа динамики выбросов парниковых газов в секторе «энергетика». В пятом разделе кратко обсуждается влияние последних трендов выбросов ПГ на решение задачи достижения углеродной нейтральности в России к 2060 г.

Опыт факторного анализа динамики энергоемкости и выбросов ПГ

В мире накоплен довольно обширный опыт факторного анализа динамики энергоемкости и выбросов ПГ. Традиционной схемой декомпозиции выбросов ПГ является тождество Кайи (Kaуa, 1990; Lamb et al., 2021; Dhakal et al., 2022), согласно которому выбросы ПГ равны произведению численности населения, ВВП на душу населения, энергоемкости ВВП и углеродоемкости энергии. МЭА создало базу данных, в которой по большинству стран мира отражена динамика всех составляющих этого тождества на горизонте 2000-2021 годов (IEA, 2023). Однако в этом тождестве фактор энергоэффективности отражает и структурные сдвиги, и изменение климата, а собственно технологический фактор в нем не выделяется. Более того, такой подход имеет ограниченную ценность при использовании для декомпозиции в отдельных секторах, где требуются более специализированные индикаторы. В них могут применяться модифицированные тождества, как, например, предложенное И. Башмаковым для промышленности (Bashmakov, 2021; Bashmakov et al., 2022a). Часто традиционный анализ на базе тождества Кайи показывает траектории движения основных драйверов без количественной оценки вклада каждого из них в динамику потребления энергии, энергоемкость или выбросы ПГ.

Для решения многих управленческих задач требуется переход от агрегированного анализа на уровне сектора в целом к анализу по отдельным входящим в него видам деятельности. Поэтому практически одновременно и параллельно стало развиваться второе направление детального анализа с использованием теории числовых индексов и особенно с применением метода LMDI – среднелогарифмического индекса Дивизиа (Ang, Choi, 1997; Ang, Choi, 2010; Ang, Choi, 2012; Bashmakov, Myshak, 2012; Bin, Ang, 2012; Cahill, Gallachóir, 2011; Koilakou et al., 2021; Lee, Kim, 2021). Обзор этих работ дан в Goh, Ang (2019). Более того, появились интерактивные инструменты для проведения такого анализа (Enerdata, 2022). При использовании такого подхода появляется новый драйвер – структурные сдвиги в экономике, которые очень заметно влияют как на динамику энергопотребления, так и на динамику выбросов ПГ. Инструменты управления структурными эффектами

другие – не столько технологическая, сколько структурная политика. Значительная часть изменения энергоемкости или выбросов ПГ порождается именно такими структурными сдвигами (Enerdata, 2022). Если эффект технологического фактора в основном является результатом повышения качества энергии, то есть роста доли более качественных и, следовательно, более дорогих энергоресурсов, то структурные сдвиги в большей степени порождаются ценовыми шоками, приводящими к избыточному удорожанию энергии (Bashmakov, 2023).

Применение подхода прямого агрегирования в LMDI ко всей экономике затруднительно, поскольку показатели активности во всех секторах имеют различную физическую природу, измеряются в разных единицах и поэтому не суммируются с общим индексом активности, для которого часто используется ВВП в качестве прокси. В российской системе показатели масштабов деятельности в различных секторах представлены в основном в физических единицах (m^2 , тонны, т-км, кВт-ч и т.д.), которые не могут быть агрегированы. Было продемонстрировано (Cahill, Gallachóir, 2011), что физические и денежные показатели выпуска могут использоваться совместно в декомпозиционном анализе, чтобы отразить взаимодействие показателей энергоэффективности, основанных как на физических единицах, так и на единицах добавленной стоимости. Lee, Kim (2021) применили декомпозиционный анализ к производственному сектору Южной Кореи и пришли к выводу, что вклад технологического фактора в эволюцию энергоэффективности «кажется переоцененным, если анализировать его без показателей физического объема производства». Они также пришли к выводу, что эффекты интенсивности намного ниже, когда используется первичное, а не конечное потребление энергии. Использование метода LMDI при подробной структуризации информации и выделении основных драйверов позволяет максимально приблизиться к оценке вклада именно технологического фактора в динамику энергопотребления и выбросов ПГ.

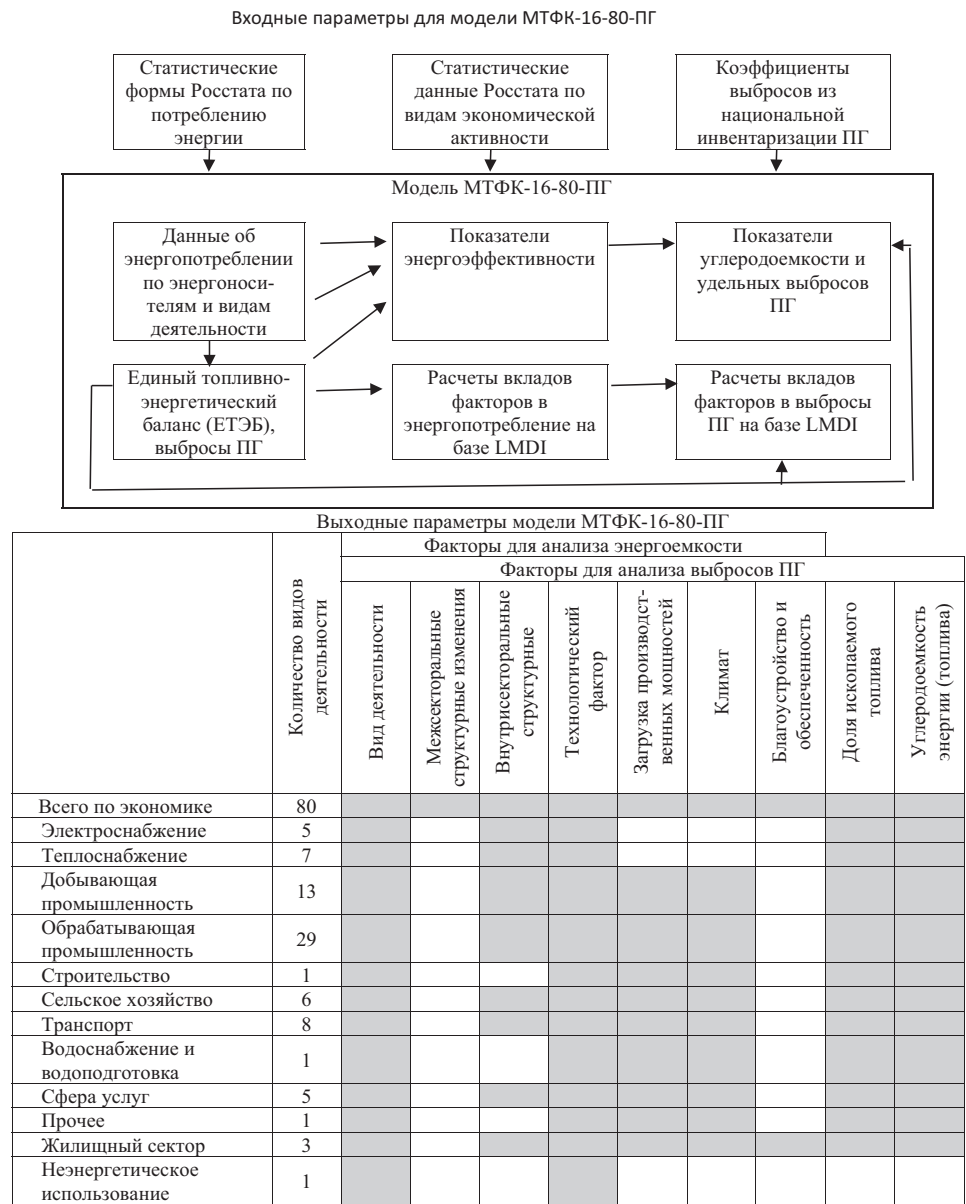
Системы факторного анализа динамики выбросов ПГ имеют один недостаток: они предполагают, что все используемые факторы независимы. Koilakou et al., (2021) подчеркнули, что дальнейшие исследования должны включать проверку причинно-следственных связей между факторами. Например, переход с угля на природный газ приводит к более низкому коэффициенту удельных выбросов ПГ и потенциально более высокой эффективности генерации, а проникновение солнечной и ветровой энергии снижает не только выбросы ПГ, но и термодинамические потери, поскольку они учитываются в первичной энергии как имеющие стопроцентную эффективность.

Модель МТФК-16-80-ПГ

Архитектура российской системы факторного анализа динамики энергоемкости и выбросов ПГ показана на рис. 1. Она формализована и запрограммирована как модель МТФК-16-80-ПГ, базирующаяся на LMDI.

Перечень видов экономической деятельности включает 16 секторов и 80 видов экономической деятельности (подсекторов). Некоторые отрасли, например, строительство, включают только один вид экономической деятельности. Только 12 видов деятельности (с выпуском большой номенклатуры продукции, например, производство электронного оборудования, производство продуктов питания, напитков и табака) представлены физическими индексами производства (2016 = 100). Остальные 68 видов деятельности представлены натуральными физическими показателями. В дополнение к секторам конечного использования энергии в МТФК-16-80-ПГ также рассматриваются все процессы преобразования энергии, включая производство электроэнергии и тепла, переработку топлива, собственное использование в энергетическом секторе, передачу и распределение топлива и энергии. Потребление энергии в этих секторах включает термодинамические потери, технологическое использование, физические потери при переработке топлива, потери при передаче и распределении электроэнергии и тепла. Когда все эти составляющие добавляются к конечному потреблению энергии, оценивается восходящее (*bottom-up*) использование первичной энергии. При использовании подхода сверху-вниз (*top-down*) суммарное потребление первичной энергии оценивается как сумма: потребления топлива (по видам), определяемого как разница объемов производства; нетто-экспорта топлива и изменения запасов топлива у производителей и потребителей; потребления первичной электрической и тепловой энергии от нетопливных источников (АЭС, ГЭС, ГеоТЭС и др. ВИЭ); сальдо баланса экспорта и импорта электроэнергии. При использовании подхода *bottom-up* суммарное потребление первичной энергии оценивается как сумма потребления по всем видам экономической деятельности. Разница в результатах использования этих двух подходов формирует статистическую невязку.

В МТФК-16-80-ПГ оценивается воздействие семи факторов на динамику суммарного энергопотребления и девяти факторов на динамику выбросов ПГ. Экономическая активность показывает, что изменение объемов производства промышленной продукции, услуг, числа автомобилей, площади зданий или других индикаторов экономической активности при прочих равных условиях приводит к изменению потребления энергии. Технологический фактор отражает изменение потребления энергии только за счет внедрения более энергоэффективного оборудования, технологических процессов или утепления зданий. Структурные сдвиги на уровне 16 секторов экономики показывают, что изменение доли сектора с более высокой энергоемкостью влечет за собой соответствующее изменение энергоемкости по экономике в целом. Структурные сдвиги на уровне подсекторов-видов экономической активности (например, различия в динамике выпуска отдельных видов промышленной продукции) дают аналогичный структурный эффект в рамках каждого из 16 секторов, в состав которых входят 80 анализируемых видов экономической деятельности.



* Еще 4 сектора включают собственные нужды на выработку электрической и тепловой энергии и потери в сетях электрической и тепловой энергии. Такое выделение необходимо для оценки косвенных выбросов ПГ

Рисунок 1. Архитектура российской системы МТФК-16-80-ПГ для оценки вклада отдельных факторов в динамику энергопотребления и энергоемкости ВВП
(Bashmakov et al., 2023a)

Figure 1. Architecture of the Russian MTFC-16-80-GHG system to assess the contributions from individual factors to the dynamics of energy consumption and GDP energy intensity
(Bashmakov et al., 2023a)

Климатический фактор отражен с помощью показателя ГСОП. Он влияет на потребность в тепловой энергии и топливе на цели отопления. 2022 год был более теплым, чем 2021 год, поэтому при прочих равных условиях снизился удельный расход тепловой энергии и топлива на цели отопления, а также суммарный показатель удельного расхода энергии. Но это не означает повышения эффективности ее использования. Для более полного отражения климатического фактора необходимо также оценивать градусо-сутки охлаждательного периода, однако российская статистика пока не позволяет выявить потребление энергии на цели кондиционирования. Загрузка производственных мощностей также влияет на изменение удельных расходов энергии. При снижении загрузки мощности предприятия условно-постоянные расходы энергии на нужды освещения и отопления цехов сохраняются на прежнем уровне. При определении удельного потребления энергии они будут соотнесены с меньшим объемом выпуска продукции, а значит, удельное потребление энергии вырастет при сохранении технологических параметров энергоэффективности всего используемого оборудования на прежнем уровне. Благоустройство и обеспеченность – этот фактор показывает, что рост потребления энергии за счет повышения благоустройства жилья (например, повышение обеспеченности централизованным теплоснабжением) или повышение обеспеченности населения бытовыми приборами не следует рассматривать как рост энергоемкости. Углеродоемкость энергии (углеродоемкость используемых топлив) – это отношение выбросов ПГ к объему потребления энергии (топлива). Оно меняется по мере изменения структуры потребляемых энергоносителей, которые имеют разную углеродоемкость. Доля ископаемого топлива в потреблении энергии меняется в зависимости от процессов электрификации и изменения доли тепловой энергии в сферах конечного потребления энергии.

Важным отличием *Методики* от расчета страновых показателей энергоемкости ВВП, используемой МЭА и другими аналитическими структурами, является выделение показателя использования топлива на неэнергетические нужды – сырье для производства химической и другой продукции (например, электроуглей). Такое использование топлива необходимо вычитать из его суммарного потребления, поскольку оно не сжигается и не используется на цели энергоснабжения. Энергоемкость ВВП определяется как традиционным методом (делением всего потребления первичной энергии на ВВП), так и как разность потребления первичной энергии и использования топлива на неэнергетические нужды, деленная на ВВП.

Математический аппарат расчетов по методу LMDI хорошо известен (см. (Ang, Choi, 1997; Ang, Choi, 2010; Ang, Choi, 2012; Bin, Ang, 2012; Cahill, Gallachóir, 2011; Koilakou et al., 2021; Lee, Kim, 2021), а особенности его применения в модели МТФК-16-80-ПГ описаны в (Башмаков, Мышак, 2012; Bashmakov, Myshak, 2012; Bashmakov, Myshak, 2014; МЭР РФ, 2019; Bashmakov et al., 2023a).

Информационной базой МТФК-16-80-ПГ являются данные форм статистической отчетности Росстата: «1-Натура»; «1-ТЕК»; «1-ТЕП»; «1-водопро-

вод»; «1-канализация»; «4-ТЭР»; «6-ТП» (с 2021 года аналог этой формы формируется не Росстатом, а Минэнерго); «22-ЖКХ»; «Электробаланс»; баланс продуктов переработки на обогатительных фабриках и установках Минэнерго; данные Росинформуголь о потерях угля и др. Данные по ГСОП за 2022 год получены из архивов сайта www.gr5.ru. Используются также данные Федеральной таможенной службы по экспорту и импорту отдельных видов топлива и энергии. Правда, по нефти и газу за 2022 год они не публикуются, поэтому данные получены из других источников, что снижает надежность оценки потребления первичной энергии. На основе всех этих данных формируется динамический единый топливно-энергетический баланс (ЕТЭБ) за 2015-2022 гг. с выделением 23 энергоносителей, агрегированных в семь групп: уголь, сырая нефть, продукты нефтепереработки, природный газ, другие виды твердого топлива, электроэнергия и тепло, которые затем суммируются для получения итогов. В ЕТЭБ добавляются еще два первичных энергоресурса – атомная энергия и возобновляемая (включая гидроэнергию) энергия. Вся эта информация структурируется по секторам и по 80 видам деятельности, что позволяет сформировать детальный ЕТЭБ. Информация в каждой ячейке ЕТЭБ на любом этапе обработки данных полностью прозрачна, и «родословная» каждой цифры может быть прослежена вплоть до исходных статистических данных, предоставленных Росстатом или другими источниками.

Важным преимуществом МТФК-16-80-ПП по сравнению с зарубежными аналогами являются: оперативность (появление результатов через 8-9 месяцев после окончания календарного года); высокий уровень детализации (рассмотрение 16 секторов, 80 видов экономической активности и 9 факторов); полное соответствие экономической активности и соответствующего ей уровня потребления энергии за счет формирования ЕТЭБ в рамках самой модели МТФК-16-80-ПП, возможность получать результаты по четырем метрикам энергоемкости ВВП и по шести метрикам оценки выбросов ПГ, включая утечки и расчеты как по прямым, так и по сумме прямых и косвенных выбросов ПГ.

Анализ динамики энергоемкости ВВП

Росстат сообщил о снижении российского ВВП на 2.07% в 2022 году. Это значительно меньше прогнозов, сделанных сразу после начала российской операции в Украине, которые варьировали в диапазоне от -5% до -15%. В 2022 году глубина и степень жесткости санкций была меньше ожидавшейся, а экономика России продемонстрировала больший, чем ожидалось, уровень устойчивости к санкциям за счет резкого наращивания государственных расходов. В итоге произошло менее резкое снижение экспорта, налаживание параллельного импорта при умеренном импортозамещении на фоне резкого наращивания спроса за счет милитаризации экономики при больших нефтегазовых доходах (Башмаков, 2023). Потребление первичной энергии в 2022 году составило 1027.9 млн т, что на 4% меньше, чем в 2021 году. Основной при-

чиной его снижения на 43.2 млн тут стало снижение потребления на неэнергетические нужды на 26.8 млн тут. Зарубежные статистические источники также показывают снижение потребления первичной энергии в России в 2022 году. Однако они существенно расходятся в оценке глубины этого снижения: от -0.4% до -8.2% (Enerdata, 2023; Energy Institute, 2023).

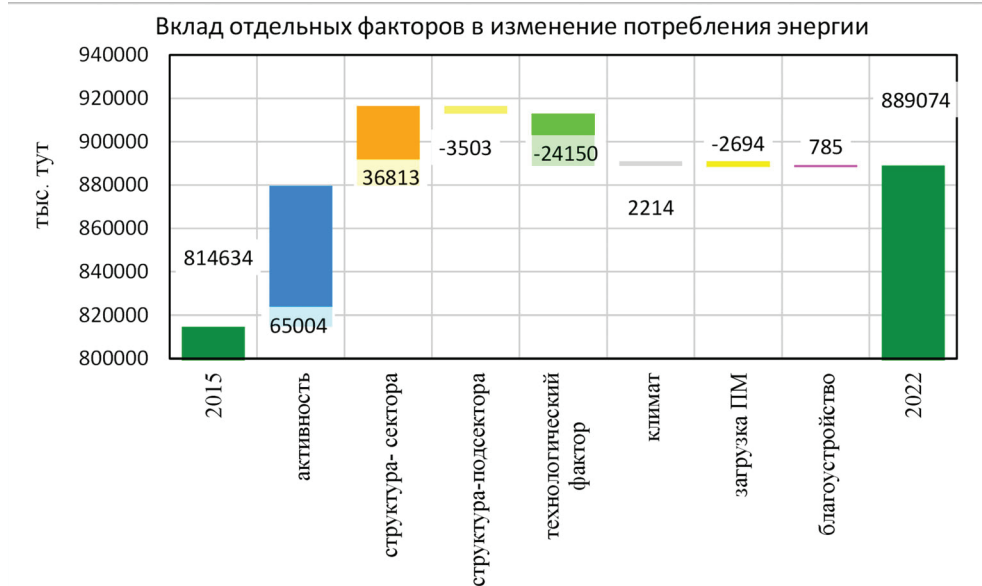
Вклад фактора экономической активности в динамику потребления энергии в 2022 году оказался отрицательным (-19 млн тут, рис. 2). В 2022 году в экономике произошли заметные структурные сдвиги. Экономическая активность менялась разнонаправленно. Сократились объемы промышленного производства, индекс производства продукции обрабатывающей промышленности, выпуск черных металлов, удобрений, каучука, аммиака, особенно резко упали производство транспортных средств, работа трубопроводного и воздушного транспорта. Сохранились практически на уровне 2021 года производство бумаги и картона, пластмасс, парк автомобилей и работа железнодорожного транспорта. Выросли производство цемента, производство в строительстве и сельском хозяйстве, увеличились площади жилых зданий и зданий сферы услуг. Равнодействующая структурных сдвигов между секторами стимулировала рост потребления энергии, а внутрисекторные сдвиги в 2022 году его тормозили (рис. 2).

В 2022 году за счет технологического фактора прирост потребления энергии составил почти 10 млн тут. Диапазон неопределенности оценки вклада технологического фактора составил от -7 млн тут до +10 млн тут. Он в основном определяется точностью оценок потребления жидкого топлива на автомобильном транспорте и потребления топлива в торговле. При альтернативной оценке потребления топлива на автомобильном транспорте на основе динамики парка автомобилей получается, что технологический фактор тормозил рост суммарного потребления энергии. Но даже при такой коррекции оценки вклада технологического фактора на резкие изменения в статистических данных его вклад в снижение потребления энергии не превышает 7 млн тут в 2022 году.

В 2015-2022 годах все модификации показателя энергоемкости ВВП России колебались вокруг относительно стабильных уровней, не показывая выраженной тенденции ни к росту, ни к снижению (рис. 3). Это результат резкого ослабления мер господдержки деятельности по повышению энергоэффективности после 2014 года. Вывод о сохранении энергоемкости ВВП примерно на одном уровне после 2015 года согласуется с оценками ее динамики в зарубежных источниках при некотором разбросе самих оценок (Enerdata, 2023; Energy Institute, 2023).

Энергоемкость ВВП за вычетом неэнергетических нужд является основным показателем энергоэффективности в системе учета повышения энергоэффективности России. В 2022 году она составила 9.66 тут/млн руб. в ценах 2016 года, что только на 0.06% выше уровня 2021 года, но на 13% ниже уровня традиционно вычисляемой энергоемкости ВВП. Небольшое снижение энергоемкости ВВП в 2022 году произошло за счет снижения потребления топлива на неэнергетические нужды в связи со сжатием внешних рынков

сбыта продукции нефте- и газохимии из-за введенных санкций. Среднегодовые темпы снижения энергоемкости ВВП (без неэнергетических нужд) в 2015-2022 годах составили 0.53% в год. В 2015-2022 годах за счет технологического фактора снижение энергоемкости ВВП составило только 2.3%. При альтернативном методе расчета потребления топлива на автомобильном транспорте эта оценка повышается до 2.7%.



Период	Всего	Экономическая активность	Структура на уровне секторов	Структура на уровне подсекторов	Технологический фактор	Климат (ГСОП)	Загрузка производственных мощностей	Благоустройство и обеспеченность
2016/2015	40 182	1 615	15 392	-1 199	16 944	7 813	-505	122
2017/2016	-8 880	15 384	6 260	1 678	-27 015	-3 483	-1 249	-454
2018/2017	13 814	23 606	-1 135	-3 485	-8 258	3 979	-764	-130
2019/2018	-10 659	18 574	-3 389	826	-13 684	-12 723	-482	217
2020/2019	-19 137	-22 567	1 427	8 594	-5 647	-1 623	521	157
2021/2020	61 919	46 999	-350	-1 909	4 024	14 742	-1 258	-329
2022/2021	-2 769	-18 608	18 609	-8 008	9 485	-6 493	1 043	1 203
2022/2015	74 469	65 004	36 813	-3 503	-24 150	2 214	-2 694	785

Рисунок 2. Вклад отдельных факторов в изменение потребления энергии в 2015-2022 годах (по сумме секторов без неэнергетических нужд) (расчеты авторов по модели МТФК-16-80-ПГ на базе данных Росстата)

Figure 2. Contributions from individual sectors to the evolution of energy consumption in 2015-2022 (sector totals, non-energy use excluded) (estimated by authors using the MTFK-16-80-GHG based on Rosstat’s data)

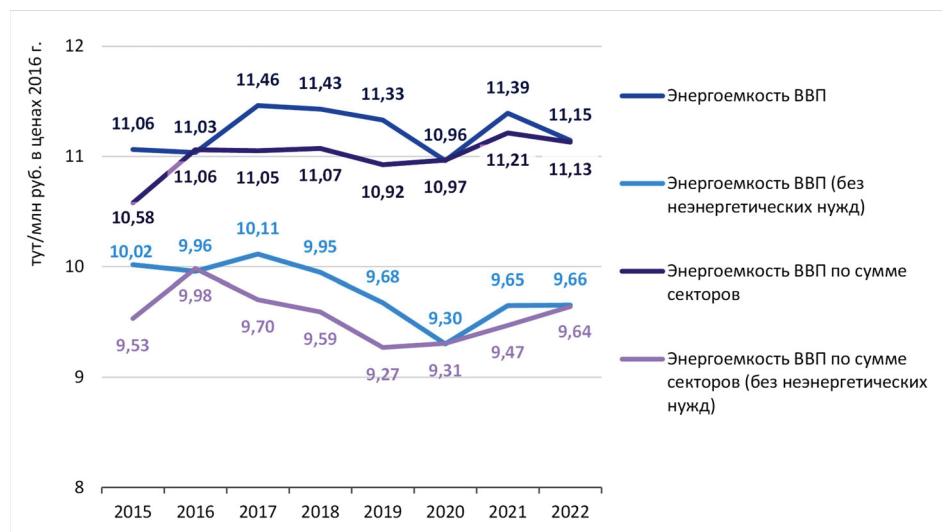


Рисунок 3. Динамика энергоемкости ВВП Российской Федерации в 2015-2022 годах (расчеты ЦЭНЭФ-XXI по Методике МЭР на базе данных Росстата)

Figure 3. Evolution of GDP energy intensity in the Russian Federation in 2015-2022 (estimated by CENEFC-XXI based on Rosstat's data using the MTFC-16-80-GHG)

В 2022 году электроёмкость ВВП повысилась на значимые 3.8%. Только один из трех индикаторов энергоэффективности в электроэнергетике (расходы на собственные нужды электростанций) улучшился в 2022 году. Удельные расходы топлива (УРУТ) на выработку электроэнергии выросли, а доля потерь в электрических сетях осталась неизменной. В 2022 году технологический фактор способствовал не снижению, а росту потребления энергии в электроэнергетике почти на 3 млн тут. Это тормозило снижение энергоемкости ВВП. Существуют большие риски роста УРУТ в России в ближайшие годы.

В основном за счет более теплой погоды в 2022 г. потребности в первичной энергии для производства тепловой энергии снизились на 6.5 млн тут. В 2022 году два из трех основных индикаторов энергоэффективности в теплоэнергетике (удельные расходы топлива на котельных и на ТЭС) улучшились, а доля потерь в тепловых сетях немного выросла. Технологический фактор в секторе теплоснабжения способствовал снижению потребления энергии в теплоэнергетике в 2022 году на скромные 0.2 млн тут.

В 2022 году удельные расходы энергии на производство основных видов добываемого и перерабатываемого сырья и топлива изменялись разнонаправленно. Проблемы с эксплуатацией импортного оборудования привели к росту удельных расходов энергии или к более медленному их снижению. Равнодействующая разнонаправленной динамики удельных расходов энергии в добывающей промышленности определила, что технологический фактор в 2022 году позволил снизить потребление энергии на 2.9 млн тут.

За счет падения экономической активности в обрабатывающей промышленности в 2022 году потребление энергии снизилось на 2.2 млн тут. Энерго-

емкость обрабатывающей промышленности в целом в 2022 году осталась неизменной, а при коррекции на климат и загрузку производственных мощностей – выросла на 0.3%. Второй раз с 2015 года баланс повышения и снижения удельных расходов энергии на производство отдельных видов продукции обрабатывающей промышленности привел к тому, что за счет технологического фактора потребление энергии в обрабатывающей промышленности выросло на 2.2 млн тут. В 2022 году удельные расходы энергии сократились в производстве чугуна, циклических углеводородов, древесноволокнистых плит, каучуков синтетических, но выросли при производстве стали, аммиака синтетического, удобрений азотных, целлюлозы, клинкеров цементных и кирпича строительного. Санкции тормозят процессы модернизации обрабатывающей промышленности, что препятствует снижению удельных расходов энергии. За счет роста экономической активности в сельском хозяйстве в 2022 году потребление энергии выросло на 1.3 млн тут. Технологический фактор в 2022 году способствовал перерасходу энергии в сельском хозяйстве на 0.2 млн тут.

В 2022 году объем транспортной работы упал на 1.2%, что вызвало снижение потребления энергии за счет фактора активности на 2.6 млн тут. Технологический фактор в 2022 году действовал в сторону повышения потребности в энергии на 13.7 млн тут. Удельные расходы энергии в 2022 году снижались на газопроводном, нефтепроводном и городском электрическом транспорте. Причина резкого роста вклада технологического фактора в 2022 году связана с отражением в статистике заметного роста потребления жидкого топлива на автомобильном транспорте. Без этого он был бы на 16.2 млн тут ниже, то есть отрицательным.

За счет изменения технологического фактора в сфере забора, очистки и распределения воды, сбора и обработки сточных вод, сбора, обработки и утилизации отходов (коммунально-бытовое хозяйство) объем потребления энергии в 2022 году вырос на 0.4 млн тут, а в строительстве зафиксировано сокращение на 0.2 млн тут. За счет технологического фактора в 2022 году потребление энергии в сфере услуг увеличилось на 5.9 млн тут. Бюджетофинансируемые организации показали разный результат: меры политики по повышению энергоэффективности бюджетных организаций в 2015-2022 годах не позволили получить экономию в сфере образования (перерасход на 3 млн тут), но дали небольшую экономию (0.38 млн тут) в сфере здравоохранения. Устойчиво увеличивались удельные расходы энергии в торговле и прочей сфере услуг, в которую входят доставка, услуги связи, интернета и др.

Основным фактором роста потребления энергии в жилищном секторе в 2022 году стал прирост площади жилого фонда (3.8 млн тут), а основным фактором, тормозящим рост потребления, – фактор климата (-4.6 млн тут). Строительство новых, более энергоэффективных зданий и повышение теплозащиты существующих, рост использования энергоэффективных систем горячего водоснабжения (ГВС) и бытовых приборов позволили снизить потребление энергии в жилищном секторе за счет технологического фактора в 2022 году на 1.3 млн тут. Прогресс в повышении обеспеченности населения приборами учета в 2022 году существенно замедлился, однако улучшается

ситуация с обеспеченностью «умными» приборами учета электроэнергии, хотя темпы отстают от заданных Правительством. В целом, процессы повышения энергоэффективности в жилищном секторе идут медленно и вклад технологического фактора после 2018 года ни разу не превышал 2 млн руб. Это при том, что потенциал экономии энергии при доведении по итогам энергоэффективного капитального ремонта удельного расхода энергии до базового уровня может составить 42-45%, а при доведении удельного расхода энергии до уровня здания класса A++ экономия может составить 77-78%. Потенциал экономии энергии на нужды ГВС равен 27%. Однако в России нет действующих документов федерального уровня, в которых были бы установлены цели по повышению энергоэффективности при капитальном ремонте многоквартирных домов (МКД) или целевые объемы охвата МКД энергоэффективным капитальным ремонтом. Действующие документы и проекты новых подвергаются жесткой критике (Башмаков, Борисов, 2023).

Анализ влияния динамики цен на энергию и на эффективность ее использования в России практически не проводится. Падение реальных (скорректированных на инфляцию) цен на энергию для разных видов выпускаемой промышленной продукции в 2014-2022 годах составило 12-70%, что заметно ограничивало вклад технологического фактора в повышение энергоэффективности в промышленности. При допущении, что коэффициент эластичности потребления энергии по цене равен только -0.1, получается, что за эти годы недополучено 3-10% от возможного повышения энергоэффективности в этих секторах. В отличие от промышленности, относительные цены на энергию на транспорте имели общую тенденцию к повышению, что стимулировало повышение вклада технологического фактора в этом секторе. Динамика цен на энергию, используемую на бытовые нужды населения, также стимулировала повышение энергоэффективности.

Вывод о том, что Россия является одной из самых энергоемких стран мира, остается верным (Башмаков, 2022). В 2021 году Россия по уровню производительности энергии (величина, обратная энергоемкости) заняла 186-е место из 193 стран. За Россией следуют только Северная Корея, Иран, Кувейт, Бутан, Бахрейн, Венесуэла и Туркменистан (EIA, 2023). В 2022 году энергоемкость ВВП России была самой высокой среди стран G20, Россия по уровню энергоэффективности находилась на 42-м месте из 43 крупнейших потребителей энергии в мире (рис. 4).

Месть проигнорированного приоритета энергетической политики России: в 2022 году даже при расчете по паритету покупательной способности (ППС) разрывы в уровне энергоемкости ВВП не просто остались значительными, но даже выросли: до 1.3 раза по сравнению с Канадой, 1.5 раза – с Китаем, почти до 2 раз по сравнению с миром в целом, 2.1 раза – с США, 2.9 раза – с Японией и до 3.2 раза – с ЕС. В 2022 году энергоемкость ВВП России выросла на фоне ее снижения в мире в целом на 2.2%, а в ЕС – на 7.8%. В 2015-2022 годах энергоемкость ВВП в России в среднем росла на 1.4%. В ЕС среднегодовые темпы снижения энергоемкости ВВП составили 2.7%, в США и Турции – 1.9%, в Китае – 2.1%, в Великобритании – 3.5%, в Нидерландах –

3.9% (Enerdata, 2023). В 2023 году 8-я ежегодная глобальная конференция по энергоэффективности призвала снижать энергоёмкость ВВП более чем на 4% в год до 2030 г. (IEA, 2023).

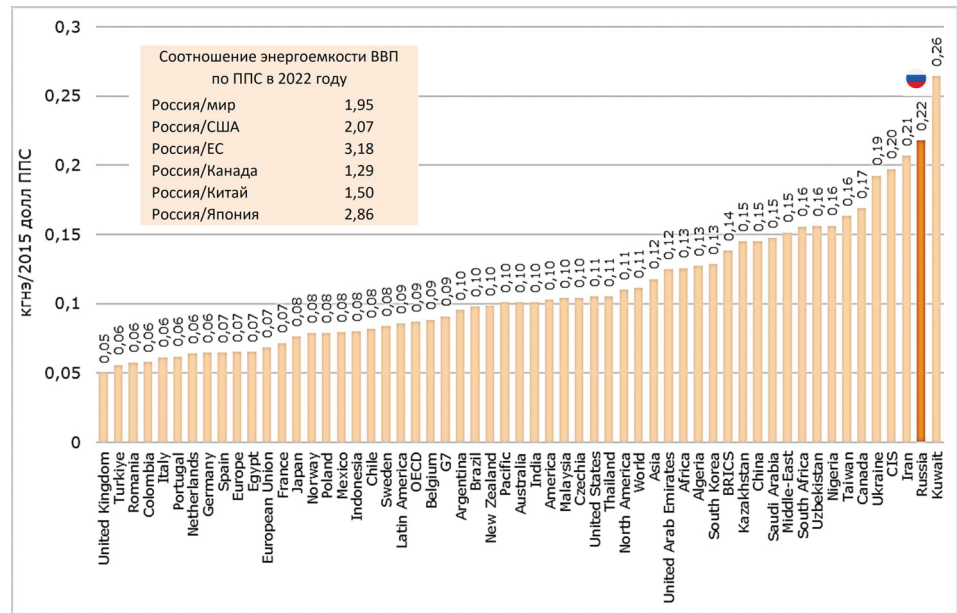


Рисунок 4. Сопоставление 43 стран-основных потребителей энергии по энергоёмкости ВВП по ППС в 2022 году
(построено авторами на основе данных: Enerdata, 2023
World Energy & Climate Statistics – Yearbook 2023)

Figure 4. Comparison of 43 major energy consuming countries by GDP energy intensity (at PPP in 2022 prices)
Developed by authors based on data from: Enerdata, 2023. World Energy & Climate Statistics – Yearbook 2023

Россия проиграла гонку за повышение энергоэффективности. После проведения рыночных реформ Россия улучшила свой рейтинг по энергоэффективности в 1995-2008 годах. Однако после 2008 года при возврате к доминированию госсектора в экономике и особенно после 2014 года, когда была свернута господдержка программ по повышению энергоэффективности, все эти достижения были утеряны. Последняя треть века, которую можно было бы использовать для сокращения разрыва в уровне энергоёмкости ВВП, просто потеряна. Никакого прогресса в рейтинге по энергоэффективности за 32 года Россия не достигла. Свертывание программ повышения энергоэффективности после 2014 года привело к быстрому восстановлению разрывов в уровне энергоёмкости ВВП с другими странами, которые превысили не только значения советской эпохи (1990 г.), но и значения, отмеченные для самых низких уровней экономической активности 1990-х.

Разрывы в уровне энергоёмкости в основном определяются более низким уровнем развития экономики России (по уровню ВВП на душу населения, структуры экономики и по уровню используемых технологий), а также низкими и падающими реальными (скорректированными на инфляцию) ценами на энергию в промышленности. Низкие цены на энергию также вли-

яют на структуру экономики, определяя роль России в международном разделении труда со специализацией на производстве энергоемких сырьевых товаров (металлов, химической продукции, строительных материалов). Они не стимулируют технологическую модернизацию. В итоге, страны с более низкими ценами на энергию не имеют конкурентных преимуществ, поскольку у них выше энергоемкость ВВП, а доля расходов на энергию в ВВП не ниже, а даже выше, чем в странах с более высокими ценами на энергию. Заметно меньшее влияние на разрыв в энергоемкости ВВП с другими странами – в пределах 10% – оказывают разница в климатических условиях, размер территории страны и наличие запасов энергетических ресурсов (Bashmakov et al., 2023b; Bashmakov, 2023). Высокая энергоемкость для России и отсутствие прогресса в ее снижении в сравнении с другими странами являются естественным итогом крайне низкого приоритета повышения энергоэффективности в энергетической и экономической политике России после 2014 года. В системе рейтинга ACEEE по активности в сфере энергоэффективности за 2022 год Россия заняла 22-е место из 25 стран, набрав в сумме только 28 баллов из 100 возможных против 74.5 баллов у Франции (1 место), или 57.5 баллов у Китая (9 место). За Россией оказались только Саудовская Аравия, ЮАР и ОАЭ (Subramanian et al., 2022).

Высокая энергоемкость тормозит экономический рост (Башмаков, 2019). Для ликвидации технологического разрыва в уровнях энергоемкости ВВП, повышения конкурентоспособности российского бизнеса, снижения нагрузки на окружающую среду и климат, обеспечения экономической доступности энергии для разных групп потребителей и решения задачи декарбонизации России необходимо предпринять усилия для снижения энергоемкости ВВП в два раза.

Анализ динамики выбросов ПГ в секторе «энергетика»

Модель МТФК-16-80-ПГ оценивает влияние факторов на динамику выбросов ПГ от сектора «энергетика» России в шести режимах: комбинации выбросов CO₂ или трех ПГ (CO₂, CH₄ и N₂O) с включением или исключением выбросов от утечек и при расчете по прямым выбросам или с разнесением косвенных выбросов ПГ по секторам, где потребляются электрическая и тепловая энергия – с максимальным числом факторов для экономики в целом, равным 9. Главная задача модели – оценить изменение выбросов ПГ за счет вклада технологического фактора, обусловившего экономию энергии. Сравнение оценки выбросов ПГ в секторе «энергетика» по модели МТФК-16-80-ПГ с данными Национальной инвентаризации (Национальный доклад..., 2023) за 2015-2021 годы дает близкие результаты: с учетом меньшего перечня ПГ в МТФК-16-80-ПГ (только CO₂, CH₄ и N₂O) расхождения итоговых значений не превышают 0.6%.

В России суперкаплинг – практически полное совпадение изменения выбросов ПГ с изменением ВВП в 2020-2021 годах – сменился «обратным декаплингом» в 2022 году – ростом выбросов ПГ при снижении ВВП (рис. 5).

По оценке, выбросы ПГ от сектора «энергетика» в 2022 году выросли на 1%, несмотря на снижение ВВП на 2.1%. В России впервые с 1990 года падение ВВП сопровождалось не падением, а ростом выбросов ПГ в секторе «энергетика». Сильный «каплинг» 90-х сменился очень слабым после 1998 г. А в 1997 г., 2000 г., 2002 г., 2007 г., 2013-2014 гг., 2016 г. и 2019 г. проявлялся декаплинг.

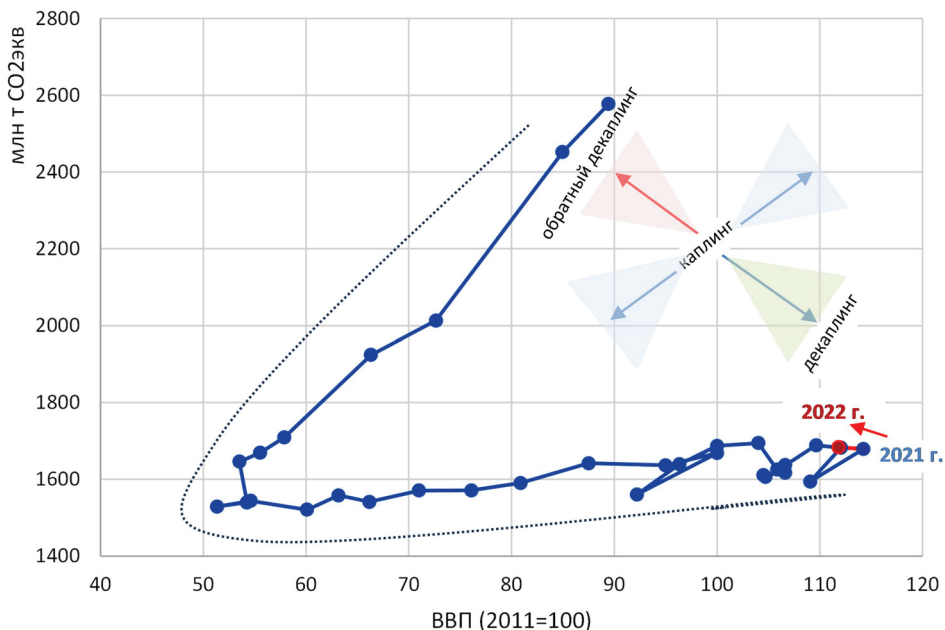


Рисунок 5. Динамика выбросов ПГ в секторе «энергетика» и ВВП в 1991-2022 гг.

(построено авторами по данным Росстата (ВВП),

Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990-2021 гг. и оценки авторов выбросов ПГ в 2022 г.)

Figure 5. Evolution of energy related GHG emission and GDP in 1991-2022

(developed by authors based on data from: Rosstat (GDP),

National Inventory Report of anthropogenic emissions from sources and removals by sinks of greenhouse gases not controlled by the Montreal Protocol for 1990-2021; and authors' estimates of GHG emission in 2022 based on the MTFC-16-80-GHG)

В 2022 году рост глобальных выбросов ПГ также не удалось остановить. По оценке IEA (2023), выбросы ПГ от сектора «энергетика» и от промышленных процессов выросли на 0.9% (на 321 млн т CO_2 экв.) и достигли рекордного за всю историю человечества уровня 36.8 млрд т CO_2 экв. В России сумма выбросов от этих источников в 2022 году составила 1839 млн т CO_2 экв. (5% глобальной эмиссии), но выросла немного медленнее – на 0.4%.

По отдельным видам экономической деятельности выбросы ПГ изменялись довольно неравномерно (с учетом утечек при оценке по прямым и косвенным выбросам) и в широких диапазонах: от падения на 26.3 млн т CO_2 экв. на газопроводном транспорте до роста на 37.7 млн т CO_2 экв. на автомобильном. Рост выбросов ПГ был зафиксирован по 43 видам экономической активности из 80.

Вклад технологического фактора более адекватно отражает расчет по прямым и косвенным выбросам ПГ. В этом случае выбросы ПГ от производства и распределения электрической и тепловой энергии разносятся по секторам, где эти энергоносители используются, что позволяет учесть эффекты повышения эффективности их использования в секторах конечного потребления энергии. При таком методе оценки получается, что за счет экономического кризиса выбросы ПГ в зависимости от охвата их источников снизились на 30-35 млн т CO₂экв. (табл. 1). Кризис 2022 года сопровождался заметными структурными сдвигами в пользу более углеродоемких секторов, что способствовало росту выбросов CO₂ на 31-32 млн т CO₂, а трех ПГ – на 32-35 млн т CO₂экв. Внутри секторов структура также менялась, но уже в пользу менее углеродоемких видов экономической деятельности. Это способствовало снижению выбросов CO₂ на 6-8 млн т, а ПГ – на 8-9 млн т CO₂экв. Технологический фактор в 2022 году не сдерживал рост выбросов ПГ. За счет него выбросы CO₂ выросли на 12-19 млн т CO₂, а по трем ПГ – на 13-18 млн т CO₂экв. Факторы загрузки производственных мощностей и роста благоустройства обеспечили прирост выбросов на уровне около 2 млн т CO₂экв. каждый. Фактор углеродоемкости при расчете по всем ПГ с учетом утечек дал рост выбросов ПГ на 16-20 млн т CO₂экв. в зависимости от охвата источников выбросов.

Таблица 1. Вклад факторов в изменение выбросов трех ПГ от сектора «энергетика» с учетом утечек и при разнесении косвенных выбросов по секторам конечного потребления энергии в 2015-2022 гг.

(Расчеты авторов на модели МТФК-16-80-ПГ)

Table 1. Contribution from individual factors to the evolution of three energy related GHGs emission with an account of fugitive and indirect emissions allocated to end-use sectors in 2015-2022 (Authors' estimates using MTFC-16-80-GHG model)

	всего изменение выбросов ПГ	углеродоемкость энергии*	структура на уровне секторов	структура на уровне подсекторов	экономическая активность	технологический фактор	климат	загрузка ПМ	благоустройство и обеспеченность
2016/2015	98 191	17 515	27 100	-10 378	3 030	46 943	14 622	-886	245
2017/2016	-16 661	-16 731	18 796	60	29 087	-38 253	-6 452	-2 550	-619
2018/2017	35 772	20 988	-601	-12 067	44 758	-22 950	7 316	-1 569	-103
2019/2018	-29 242	-8 079	-902	-5 562	35 222	-25 885	-23 385	-1 118	466
2020/2019	-67 966	-10 403	-1 435	2 438	-42 273	-15 266	-2 848	1 505	316
2021/2020	129 646	-9	616	-5 903	87 540	23 156	26 857	-2 280	-331
2022/2021	15 876	15 872	35 277	-9 323	-35 001	17 830	-12 098	1 509	1 809
2022/2015	165 616	19 154	78 851	-40 734	122 364	-14 425	4 013	-5 390	1 783

* при разнесении косвенных выбросов по секторам конечного потребления энергии этот фактор показывает углеродоемкость потребляемой энергии.

В 2020-2022 годах удельные выбросы CO_2 при выработке электроэнергии в России выросли на 6%. Снижение параметров энергоэффективности в электроэнергетике в 2022 году обеспечило вклад технологического фактора в прирост выбросов ПГ в размере 2.8 млн т CO_2 экв. (при оценке по прямым выбросам ПГ). В международном рейтинге по удельным выбросам CO_2 при выработке электроэнергии в 2022 году Россия находится не в лидерах, как некоторые полагают, а в середине списка – на 42-м месте из 82 стран, по которым есть данные (рис. 6).

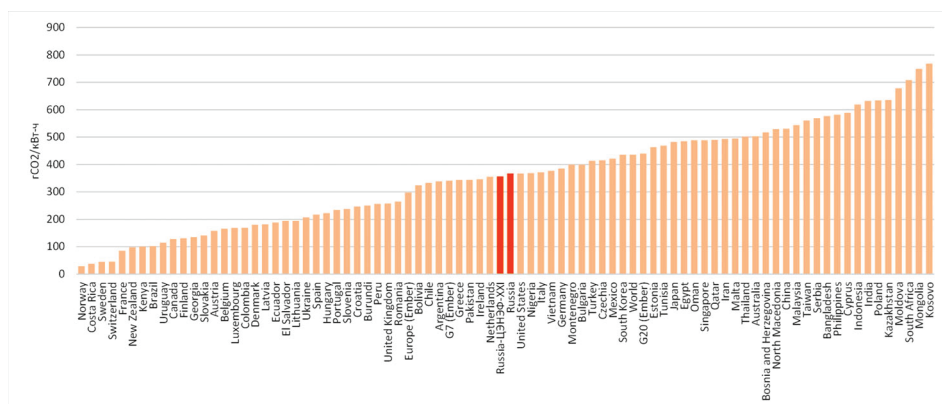


Рисунок 6. Рейтинг стран по удельным выбросам CO_2 при выработке электроэнергии (Our World in Data Carbon intensity of electricity, 2022 (our world in data.org) по данным Ember; Energy Institute Statistical Review of World Energy (2023) и расчеты авторов на модели МТФК-16-80-ПГ)

Figure 6. Rating of countries by specific CO_2 emissions from electricity generation (Our World in Data Carbon intensity of electricity, 2022 (our world in data.org) based on data from: Ember; Energy Institute Statistical Review of World Energy (2023); and the authors' estimates using the MTFC-16-80-GHG model)

В секторе теплоснабжения технологический фактор позволил снизить выбросы ПГ почти на 3 млн т CO_2 экв. (с учетом косвенных выбросов). В добывающей промышленности за счет технологического повышения энергоэффективности выбросы ПГ снизились в 2022 году на 5.4 млн т CO_2 экв. Баланс повышения и снижения удельных расходов энергии на производство отдельных видов продукции обрабатывающей промышленности в 2022 году привел к росту выбросов ПГ за счет технологического фактора на 2 млн т CO_2 экв. Технологический фактор в 2022 году способствовал дополнительному росту выбросов ПГ в сельском хозяйстве, но только на 70 тыс т CO_2 экв. В строительстве сумма прямых и косвенных выбросов ПГ в 2022 году снизилась на 1.3 млн т CO_2 экв. В водоснабжении и водоотведении доминирует электроэнергия, поэтому там в основном формируются косвенные выбросы ПГ. При росте энергоемкости технологический фактор не сдерживал рост выбросов и они выросли на 0.5 млн т CO_2 экв.

Оценка вклада технологического фактора на транспорте в 2022 году зависит от точности данных по потреблению жидкого топлива на автомобильном транспорте. При расчетах на основе данных Росстата получается, что за счет технологического фактора выбросы выросли на 25 млн т CO_2 экв., а при

расчете по парку автомобилей – снизились на 10 млн т CO_2 экв. Таким образом, диапазон неопределенности равен 35 млн т CO_2 экв.

В 2022 году вклад технологического фактора в сфере услуг обеспечил прирост выбросов ПГ почти на 11 млн т CO_2 экв., а в жилищном секторе – их снижение на 2 млн т CO_2 экв. В 2022 году выбросы от промышленных процессов упали на 7.3 млн т CO_2 экв. в основном за счет снижения производства таких продуктов, как аммиак, сталь, чугун, агломерат и окатыши.

Если расширить временной горизонт анализа, то в 2015-2022 годах технологический фактор стал весомым фактором сдерживания выбросов ПГ (табл. 1 и рис. 7). При учете косвенных выбросов ПГ его вклад в торможение роста выбросов ПГ (в зависимости от метрики оценки выбросов) составляет 14-52 млн т CO_2 экв. Но он не смог компенсировать в эти годы даже половину вклада, порожденного ростом экономической активности – 106-122 млн т CO_2 экв. Для всех метрик межсекторные сдвиги были в пользу более углеродоемких секторов, а внутрисекторные – в пользу менее углеродоемких видов активности, что привело к росту выбросов на 65-79 млн т CO_2 экв. за счет первых и к снижению на 22-41 млн т CO_2 экв. – за счет вторых. Климатический фактор (грудусо-сутки отопительного периода, ГСОП) обусловил снижение выбросов ПГ на 5 млн т CO_2 экв. В 2015-2022 годах этот фактор определил прирост выбросов ПГ только на 1 млн т CO_2 экв. Факторы загрузки производственных мощностей и благоустройства сравнительно мало повлияли на итоги 2022 г., а в 2015-2022 гг. первый фактор обеспечил вклад в торможение роста выбросов ПГ на уровне скромных 2 млн т CO_2 экв., а второй – только на 46-48 тыс. т CO_2 экв.

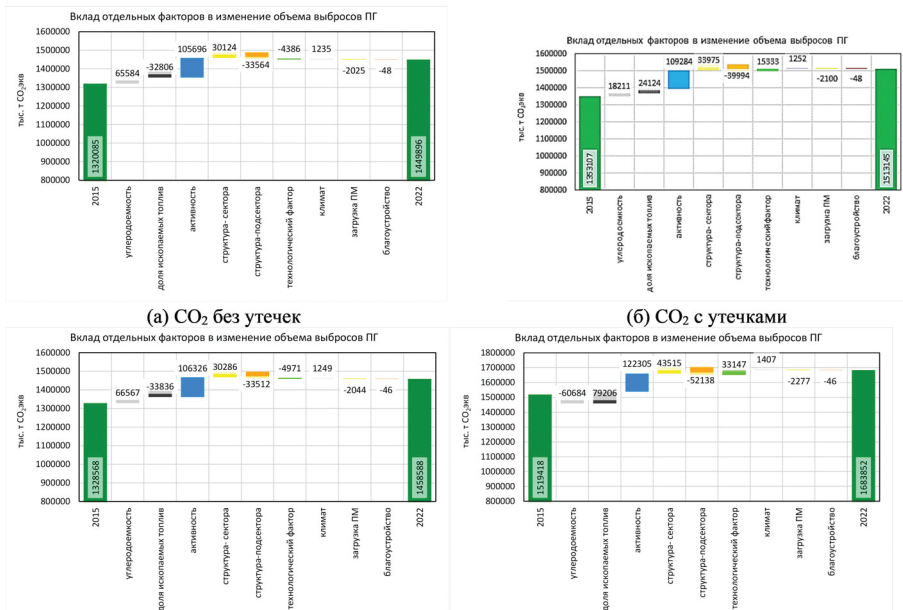


Рисунок 7. Оценка вкладов различных факторов в динамику выбросов ПГ от сектора «энергетика» в зависимости от охвата источников эмиссии в 2015-2022 годах (расчеты авторов на модели МТФК-16-80-ПГ)

Figure 7. Estimated contributions from individual factors to the evolution of energy related GHG emissions based on the scope of emissions sources in 2015-2022 (estimated by authors using the MTFK-16-80-GHG model)

На траектории декарбонизации Россия топчется на месте (Bashmakov et al., 2022; Башмаков и др., 2023). В 2015-2022 годах не было прогресса в снижении углеродоемкости ВВП России в части выбросов от сектора «энергетика» (рис. 8).

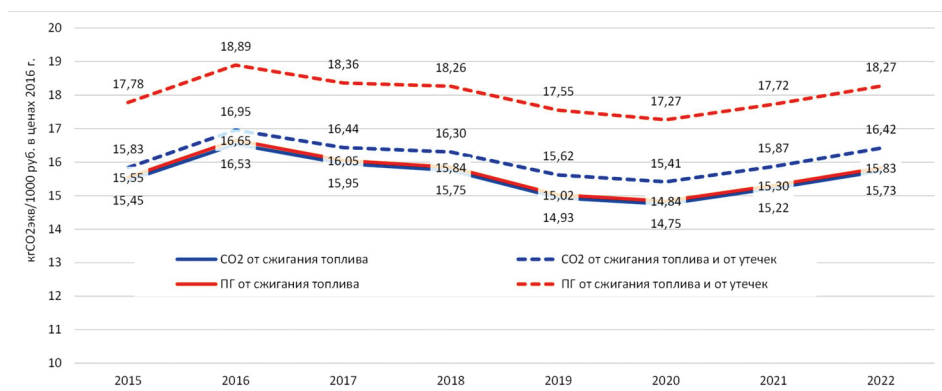


Рисунок 8. Динамика показателей углеродоемкости ВВП в 2015-2022 годах
 (расчеты авторов на модели МТФК-16-80-ПГ)

Figure 8. Evolution of GDP carbon intensity in 2015-2022
 (estimated by authors using the MTFK-16-80-GHG model)

В странах МЭА технологический фактор – повышение энергоэффективности за счет внедрения новых технологий – является важнейшим драйвером снижения выбросов во всех секторах. В ЕС основным фактором снижения выбросов ПГ на 4% в 2022 г. стало снижение энергоемкости ВВП на 7.8%. В 2015-2021 гг. во многих странах МЭА фактор повышения энергоэффективности стал дополняться снижением углеродоемкости энергии за счет роста доли нетопливных источников энергии (IEA, 2023). В отличие от модели МТФК-16-80-ПГ, в системе декомпозиционного анализа МЭА не выделяются факторы климата и загрузки производственных мощностей, поэтому генерируемые ею оценки вклада технологического фактора получаются несколько искаженными.

Проблема достижимости углеродной нейтральности к 2060 году

Оценка достижимости цели углеродной нейтральности, сделанная ЦЭНЭФ-XXI в 2022 году (Башмаков, 2022b; Башмаков, 2023b; Bashmakov et al., 2022b), остается пока единственным исследованием, в котором протестирована возможность достижения Россией заявленной цели углеродной нейтральности к 2060 году. Однако, изменение оценок развития экономики и динамики выбросов ПГ в 2022 году привело к тому, что форма траекторий движения к углеродной нейтральности до 2060 года несколько изменилась (рис. 9). В среднесрочной перспективе ограниченный доступ к низкоуглеродным технологиям будет тормозить их внедрение и тем самым поддерживать выбросы ПГ на более высоком уровне. Достижение углеродной нейтрально-

сти к 2060 году все еще возможно, однако ожидаемые выбросы от сектора «энергетика» в 2060 году превысят показатель сценария 4D (Bashmakov et al., 2022b) примерно на 80-100 млн тCO₂экв. Именно столько дополнительных стоков в секторе ЗИЗЛХ (по сравнению с уровнями, оцененными в 2022 г., Bashmakov et al., 2022b) будет необходимо добавить для достижения углеродной нейтральности к 2060 году (Bashmakov et al., 2023a). Однако нужно иметь в виду, что снижение стока в секторе ЗИЗЛХ – это устойчивая тенденция, которая в 2021 году еще ускорилась: снижение на 73 млн т CO₂экв. Кроме того, усилия по восстановлению лесов приносят меньший, чем ожидается, эффект (West et al., 2023), делая надежды на этот сектор, как на панацею, все более зыбкими.

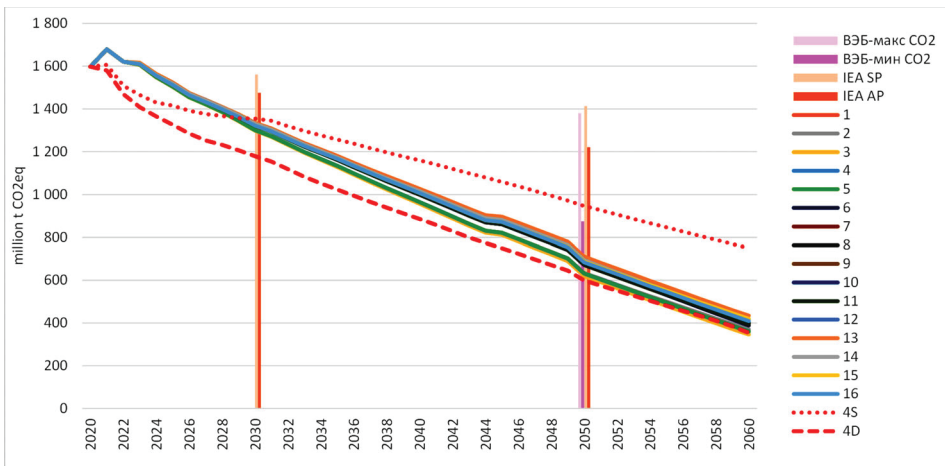


Рисунок 9. Динамика выбросов ПГ в секторе энергетики (Башмаков, 2023a)

Figure 9. Evolution of energy related GHG emissions (Bashmakov, 2023a)

Важнейшее условие быстрого сокращения выбросов ПГ – наличие низкоуглеродных технологий (отечественных или импортированных из стран, не наложивших или снявших санкции на поставки таких технологий в Россию). Важно понять, каково нынешнее положение вещей с доступом к низкоуглеродным технологиям в России и как оно может измениться в перспективе. Но это уже задача для другого исследования (Башмаков и др., 2023).

Заключение

В России на протяжении уже ряда лет (с 2019 года) успешно работает созданная по инициативе МЭР РФ новая версия системы учета повышения энергоэффективности и выбросов парниковых газов в секторе «энергетика» (МТФК-16-80-ПГ). Она позволяет проводить мониторинг успешности решения таких государственных управленческих задач, как повышение энергоэффективности и декарбонизация экономики. Использование в этой системе данных за 2015-2022 гг. показало, что вклад технологического фактора и в снижение энергоемкости ВВП, и в контроль за выбросами ПГ оставался

довольно скромным. Он не только не позволял нейтрализовать генерируемый экономической активностью прирост потребления энергии и выбросов ПГ, но перекрывался структурными сдвигами в экономике в пользу более энергоемких и углеродоемких видов деятельности. Таким образом, и технологическая политика, и структурная экономическая политика в сфере повышения энергоэффективности и декарбонизации в силу своей крайне низкой интенсивности не приносила желаемых результатов, и оба направления нуждаются в резкой интенсификации. Сохранение вялой, имитирующей деятельность активности в этих направлениях несет высокие риски отставания в технологической гонке (Башмаков и др., 2023), потери конкурентоспособности высокоэнергоемких и углеродоемких российских товаров и услуг как на мировых рынках, так и на внутреннем, а также риски невыполнения взятого обязательства по достижению углеродной нейтральности к 2060 году.

Список литературы

Башмаков, И.А. (2019) Повышение энергоэффективности и экономический рост, *Вопросы экономики*, № 10, с. 32-63, <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2019-10-32-63>.

Башмаков, И.А. (2022a) Энергоемкость ВВП России в 2015-2020 гг. Ч. 2. Международные сопоставления, *Энергосбережение*. № 3, с. 16-19.

Башмаков, И.А. (2022b) Россия на траекториях движения к углеродной нейтральности: три четверки и одна двойка, *Нефтегазовая вертикаль*, № 11.

Башмаков, И.А. (2023a) *Внешняя торговля, экономический рост и декарбонизация в России. Долгосрочные перспективы*, <https://cenef-xxi.ru/articles/vneshnyaya-torgovlya-ekonomicheskij-rost-i-dekarbonizaciya-v-rossii-dolgosrochnye-perspektivy>.

Башмаков, И.А. (2023b) Сценарии движения России к углеродной нейтральности, *Энергосбережение*, № 1.

Башмаков, И.А., Мышак, А.Д. (2012) Факторный анализ эволюции российской энергоэффективности, методология и результаты, *Вопросы экономики*, № 10, с. 117-131, <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2012-10-117-131>.

Башмаков, И.А., Борисов, К.Б. (2023) Об определении классов энергоэффективности многоквартирных жилых домов. Предложения по изменению действующей и новой методик расчета, *Энергосбережение*, № 2.

Башмаков, И., Башмаков, В., Борисов, К., Дзедзичек, М., Лебедев, О., Лунин, А., Мышак, А. (2023) *Низкоуглеродные технологии в России: нынешний статус и перспективы*, <https://cenef-xxi.ru/articles/nizkouglerodnye-tehnologii-v-rossii-nyneshnij-status-i-perspektivy>.

Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации за 2021 год, Министерство экономического развития Российской Федерации (economy.gov.ru).

МЭР РФ. (2019) Приказ Министерства экономического развития России от 1 августа 2019 г. № 471 «Об утверждении методики расчета энергоемкости валового внутреннего продукта Российской Федерации и оценки вклада отдельных факторов в динамику энергоемкости валового внутреннего продукта Российской Федерации».

Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990-2021 гг.

Ang, B.W., Choi, K.H. (1997) Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: a refined Divisia index method, *The Energy Journal*, vol. 18(3), pp. 59-73.

Ang, B.W., Choi, K.H. (2010) Accounting frameworks for tracking energy efficiency trends, *Energy Economics*, vol. 32, pp. 1209-1219.

Ang, B.W., Choi, K.H. (2012) Attribution of changes in Divisia real energy intensity index – An extension of index decomposition analysis, *Energy Economics*, vol. 34, pp. 171-176.

Bashmakov, I.A., Myshak, A.D. (2012) *Factors behind the evolution of greenhouse gas emissions in Russia's the energy sector. Analysis based on the national inventory data*, Moscow, ANO "Roshydromet meteorological agency", 131 p.

Bashmakov, I.A., Myshak, A.D. (2014) Russian energy efficiency accounting system, *Energy Efficiency*, no. 7, pp. 743-759. DOI 10.1007/s12053-014-9252-z.

Bashmakov, I.A. (2021) Greenhouse gas emissions from the global steel industry: the past, the present and the future. *Ferr. Metall, Bull. Sci., Tech. Econ. Inf.*, no. 77(8), pp. 882-901, doi:10.32339/0135-5910-2021-9-1071-1086.

Bashmakov, I. (2023) Three laws of energy transitions and economic growth, *National Accounting Review, Volume (Issue) x-x Page*. DOI: 10.3934/NAR.2022. In Print.

Bashmakov, I.A., Nilsson, L.J., Acquaye, A., Bataille, C.J., Cullen, M., de la Rue du Can, S., Fishedick, M., Geng, Y., Tanaka, K. (2022a) Industry. In IPCC, 2022a: *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.013.

Bashmakov, I., Bashmakov, V., Borisov, K., Dzedzichuk, M., Lunin, A., Govor, I. (2022b) *Russia's carbon neutrality: pathways to 2060*, CENEF-XXI, <https://cenef-xxi.ru/articles/russia's-carbon-neutrality:-pathways-to-2060>.

Bashmakov, I., Myshak, A., Bashmakov, V.A., Bashmakov, V.I., Borisov, K., Dzedzichuk, M.A., Lunin, A., Lebedev, O., Shishkina, T. (2023). Russian energy

balance, energy efficiency, and energy-related GHG emission accounting system, *Energy Efficiency*. <https://doi.org/10.1007/s12053-023-10132-6>.

Bashmakov, I., Grubb, M., Lowe, R., Drummond, P., Myshak, A., Hinder B. (2023b) “*Minus 1*” and energy costs constants: empirical evidence, theory and policy implications.

Bin, Su, Ang, B.W. (2012) Structural decomposition analysis applied to energy and emissions: Some methodological developments, *Energy Economics*, no. 34(1). DOI:10.1016/j.eneco.2011.10.009.

Cahill, C., Gallachóir, B.P. (2011) Combining physical and economic output data to analyse energy and CO2 emissions trends in industry, *Energy Policy*, no. 49, pp. 422-429.

Dhakal, S., J.C. Minx, F.L. Toth, A. Abdel-Aziz, M.J. Figueroa Meza, K. Hubacek, I.G.C. Jonckheere, Yong-Gun Kim, G.F. Nemet, S. Pachauri, X.C. Tan, T. Wiedmann (2022) *Emissions Trends and Drivers. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khouradajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.004.

EIA (2023) International – U.S. *Energy Information Administration* (EIA).

Enerdata (2022) ODYSSEE-MURE decomposition tool. *Energy efficiency factors tool that have consequences in the energy consumption ODYSSEE* (odyssee-mure.eu).

Enerdata (2023) *World Energy & Climate Statistics*, Yearbook 2022. World energy statistics Enerdata.

Energy Institute (2023) *Statistical Review of World Energy*, June 2023.

Goh, T., Ang, B.W. (2019) Tracking economy-wide energy efficiency using LMDI: approach and practices. 2019, *Energy Efficiency*, no. 12, pp. 829-847 <https://doi.org/10.1007/s12053-018-9683-z>.

IEA (2021) *Energy Efficiency* 2021.

IEA (2023) *Greenhouse Gas Emissions from Energy*, Highlights.

Kaya, Y. (1990) *Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios*, IPCC Response Strategies Working Group Memorandum 1989. IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, 1990.

Koilakou, E., Hatzigeorgiou, E., Bithas, K. (2021) *Carbon and Energy Intensity of the USA and Germany. A LMDI Decomposition Approach and Decoupling Analysis*. DOI: 10.21203/rs.3.rs-1119478/v1.

Lamb, W.F., Wiedmann, T., Pongratz, J., Andrew, R., Crippa, M., Olivier, J.G.J., Wiedenhofer, D., Mattioli, G., Khourdajie, A.A., House, J., Pachauri, S., Figueroa, M.J., Saheb, Y., Slade, R., Hubacek, K., Sun, L., Ribeiro, S.K., Khennas, S., de la Rue du Can, S., Chapungu, L., Davis, S.J., Bashmakov, I., Dai, H., Dhakal, S., Tan, X., Geng, Y., Gu, B., Minx, J.C. (2021) A Review of Trends and Drivers of Greenhouse Gas Emissions by Sector from 1990 to 2018, *Environmental Research Letters*, vol. 16(7), 073005, available at: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abee4e>.

Lee, J., Kim, J., (2021) A Decomposition Analysis of the Korean Manufacturing Sector, Monetary vs. Physical Outputs, *Sustainability*, 13, 6192. <https://doi.org/10.3390/su13116192>.

Subramanian, S., Bastian, H., Hoffmeister, A., Jennings, B., Tolentino, C., Vaidyanathan, S., Nadel, S. (2022) *2022 International Energy Efficiency Scorecard*, Washington, D.C.: American Council for an Energy-Efficient Economy, www.aceee.org/research-report/i2201.

West, T.A., Wunder, P.S., Sills, E.O., Börner, J., Rifai, S.W., Neidermeier, A.N., Frey, G.P., Kontoleon, A. (2023) Action needed to make carbon offsets from forest conservation work for climate change mitigation, *Science*, vol. 381, pp. 873-877.

References

Bashmakov, I.A. (2019) Povysheniye energoeffektivnosti i ekonomicheskiy rost [Energy efficiency and economic growth], *Issues of Economy*. no. 10, pp. 32-63. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2019-10-32-63>.

Bashmakov, I.A. (2022a) Energoyemkost' VVP Rossii v 2015-2020 gg. CH.2. [Energy intensity of the Russian 2015-2020 GDP. Part 2], *International comparisons, Energy Conservation*, no. 3, pp. 16-19.

Bashmakov, I.A. (2022b) Rossiya na puti k uglerodnoy neytral'nosti: tri «chetverki» i odna «dvoika» [Russia on the way to carbon neutrality: three 'fours' and one 'two'], *Neftegazovaya Vertikal*, no. 11.

Bashmakov, I.A. (2023a) *Vneshnyaya trgovlya Rossii, ekonomicheskiy rost i dekarbonizatsiya. Dolgosrochnoye videniye* [Russia's foreign trade, economic growth and decarbonization. Long-term vision], Moscow, Russia, <https://cenef-xxi.ru/articles/russia-s-foreign-trade-economic-growth-and-decarbonization-long-term-vision>.

Bashmakov, I.A. (2023b) Stsenarii dvizheniya Rossii k uglerodnoy neytral'nosti [Russia's carbon neutrality path ways], *Energy Conservation*, no. 1.

Bashmakov, I.A., Myshak, A.D. (2012) Faktornyy analiz evolyutsii energoeffektivnosti v Rossii: metodologiya i rezul'taty [Factor analysis of evolution of Russian energy efficiency: methodology and outcomes], *Issues of Economy*. no. 10, pp. 117-131, <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2012-10-117-131>.

Bashmakov, I.A., Borisov, K.B. (2023) Predlozheniya po opredeleniyu deystvuyushchey i novoy designating energy efficiency classes to apartment

buildings [Recommendations to revise the current and the new assessment methodologies], *Energy Conservation*, no. 2.

Bashmakov, I., Bashmakov, V., Borisov, K., Dziedzichuk, M., Lebedev, O., Lunin, A., Myshak, A., (2023) *Nizkouglerodnyye tekhnologii v Rossii: sovremennoye sostoyaniye i perspektivy* [Low carbon technologies in Russia: current status and perspectives], <https://cenef-xxi.ru/articles/low-carbon-technologies-in-russia:-current-status-and-perspectives>.

Gosudarstvennyy doklad o sostoyanii energosberezheniya i energoeffektivnosti v Rossiyskoy Federatsii (2021) [State Report on the status of energy conservation and energy efficiency in the Russian Federation]. (economy.gov.ru).

Prikaz Ministerstva ekonomicheskogo razvitiya RF ot 1 avgusta 2019 g. № 471 «Ob utverzhdenii metodiki rascheta energoyemkosti valovogo vnutrennego produkta Rossiyskoy Federatsii i otsenki vklada osnovnykh faktorov v dinamiku energoyemkosti valovogo vnutrennego produkta Rossiyskoy Federatsii» (2019) [Ministry of Economy of the Russian Federation (2019) Order of the Ministry of Economy of the Russian Federation of August 1, 2019, No. 471 “On the approval of the methodology for estimating the energy intensity of the gross domestic product of the Russian Federation and assessing the contribution of individual factors to the dynamics of the energy intensity of the gross domestic product of the Russian Federation.”].

Otchet o natsional'nom kadaстре antropogennykh vybrosov iz istochnikov i absorbtzii poglotitelyami parnikovyykh gazov, ne reguliruyemykh Monreal'skim protokolom, za 1990-2021 gody. [National Inventory Report of anthropogenic emissions from sources and removals by sinks of greenhouse gases not controlled by the Montreal Protocol for 1990-2021].

Ang, B.W., Choi, K.H. (1997) Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: a refined Divisia index method, *The Energy Journal*, vol. 18(3), pp. 59-73.

Ang, B.W., Choi, K.H. (2010) Accounting frameworks for tracking energy efficiency trends, *Energy Economics*, vol. 32, pp. 1209-1219.

Ang, B.W., Choi, K.H. (2012) Attribution of changes in Divisia real energy intensity index – An extension of index decomposition analysis, *Energy Economics*, vol. 34, pp. 171-176.

Bashmakov, I.A., Myshak, A.D. (2012) *Factors behind the evolution of greenhouse gas emissions in Russia's the energy sector. Analysis based on the national inventory data*, Moscow, ANO “Roshydromet meteorological agency”, 131 p.

Bashmakov, I.A., Myshak, A.D. (2014) Russian energy efficiency accounting system, *Energy Efficiency*, no. 7, pp. 743-759. DOI 10.1007/s12053-014-9252-z.

Bashmakov, I.A. (2021) Greenhouse gas emissions from the global steel industry: the past, the present and the future. Ferr. Metall, *Bull. Sci., Tech. Econ.*

Inf., no. 77(8), pp. 882-901, doi:10.32339/0135-5910-2021-9-1071-1086.

Bashmakov, I. (2023) Three laws of energy transitions and economic growth, *National Accounting Review*, Volume (Issue) x–x Page. DOI: 10.3934/NAR.2022. In Print.

Bashmakov, I.A., Nilsson, L.J., Acquaye, A., Bataille, C.J., Cullen, M., de la Rue du Can, S., Fischedick, M., Geng, Y., Tanaka, K. (2022a) Industry. In IPCC, 2022a: *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.013.

Bashmakov, I., Bashmakov, V., Borisov, K., Dzedzichuk, M., Lunin, A., Govor, I. (2022b) *Russia's carbon neutrality: pathways to 2060*, CENEF-XXI, <https://cenef-xxi.ru/articles/russia's-carbon-neutrality:-pathways-to-2060>.

Bashmakov, I., Myshak, A., Bashmakov, V.A., Bashmakov, V.I., Borisov, K., Dzedzichuk, M.A., Lunin, A., Lebedev, O., Shishkina, T., (2023). Russian energy balance, energy efficiency, and energy-related GHG emission accounting system, *Energy Efficiency*. 16:67, <https://doi.org/10.1007/s12053-023-10132-6>.

Bashmakov, I., Grubb, M., Lowe, R., Drummond, P., Myshak, A., Hinder B. (2023b) *“Minus 1” and energy costs constants: empirical evidence, theory and policy implications*.

Bin, Su., Ang, B.W. (2012) Structural decomposition analysis applied to energy and emissions: Some methodological developments, *Energy Economics*, no. 34(1). DOI:10.1016/j.eneco.2011.10.009.

Cahill, C., Gallachóir, B. P. (2011) Combining physical and economic output data to analyse energy and CO2 emissions trends in industry, *Energy Policy*, no. 49, pp. 422-429.

Dhakal, S., J.C. Minx, F.L. Toth, A. Abdel-Aziz, M.J. Figueroa Meza, K. Hubacek, I.G.C. Jonckheere, Yong-Gun Kim, G.F. Nemet, S. Pachauri, X.C. Tan, T. Wiedmann (2022) *Emissions Trends and Drivers*. In IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.004.

EIA (2023) International - U.S. *Energy Information Administration* (EIA).

Enerdata (2022) ODYSSEE-MURE decomposition tool. *Energy efficiency factors tool that have consequences in the energy consumption ODYSSEE* (odyssee-mure.eu).

Enerdata (2023) *World Energy & Climate Statistics*, Yearbook 2022. World energy statistics Enerdata.

Energy Institute (2023) *Statistical Review of World Energy*, June 2023.

Goh, T., Ang, B.W. (2019) Tracking economy-wide energy efficiency using LMDI: approach and practices. 2019, *Energy Efficiency*, no. 12, pp. 829-847 <https://doi.org/10.1007/s12053-018-9683-z>.

IEA (2021) *Energy Efficiency* 2021.

IEA (2023) *Greenhouse Gas Emissions from Energy*, Highlights.

Kaya, Y. (1990) *Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios*," IPCC Response Strategies Working Group Memorandum 1989. IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, 1990.

Koilakou, E., Hatzigeorgiou, E., Bithas, K. (2021) *Carbon and Energy Intensity of the USA and Germany*. A LMDI Decomposition Approach and Decoupling Analysis. DOI: 10.21203/rs.3.rs-1119478/v1.

Lamb, W.F., Wiedmann, T., Pongratz, J., Andrew, R., Crippa, M., Olivier, J.G.J., Wiedenhofer, D., Mattioli, G., Khouradajie, A.A., House, J., Pachauri, S., Figueroa, M.J., Saheb, Y., Slade, R., Hubacek, K., Sun, L., Ribeiro, S.K., Khennas, S., de la Rue du Can, S., Chapungu, L., Davis, S.J., Bashmakov, I., Dai, H., Dhakal, S., Tan, X., Geng, Y., Gu, B., Minx, J.C. (2021) A Review of Trends and Drivers of Greenhouse Gas Emissions by Sector from 1990 to 2018, *Environmental Research Letters*, vol. 16(7), 073005, available at: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abee4e>.

Lee, J., Kim, J., (2021) A Decomposition Analysis of the Korean Manufacturing Sector, Monetary vs. Physical Outputs, *Sustainability*, 13, 6192. <https://doi.org/10.3390/su13116192>.

Subramanian, S., Bastian, H., Hoffmeister, A., Jennings, B., Tolentino, C., Vaidyanathan, S., Nadel, S. (2022) *2022 International Energy Efficiency Scorecard*. Washington, D.C.: American Council for an Energy-Efficient Economy, www.aceee.org/research-report/i2201.

West, T.A., Wunder, P. S, Sills, E.O., Börner, J., Rifai, S.W., Neidermeier, A.N., Frey, G.P., Kontoleon, A. (2023) Action needed to make carbon offsets from forest conservation work for climate change mitigation, *Science*, vol. 381, 873-877.

Поступила в редакцию: 07.09.2023 г.

Доработана после рецензирования: 29.09.2023 г.

Принята к публикации: 06.11.2023 г.

Для цитирования / Forcitation

Башмаков, И.А., Мышак, А.Д., Башмаков, В.А., Башмаков, В.И., Борисов, К.Б., Дзедзичек, М.Г., Лунин, А.А., Лебедев, О.В., Шишкина, Т.Б. (2023) Оценка вклада технологического фактора в повышение энергоэффективности

и динамику выбросов парниковых газов в секторе «энергетика» России, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 9, № 4, с. 403-431, doi:10.21513/2410-8758-2023-4-403-431.

Bashmakov, I.A., Myshak, A.D., Bashmakov, V.A., Bashmakov, V.I., Borisov, K.B., Dzedzichek, M.G., Lunin, A.A., Lebedev, O.V., Shishkina, T.B. (2023) Assessment of the technological factor contribution to energy efficiency improvements and to the evolution of energy related greenhouse gases emissions in Russia, *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 9, no. 4, pp. 403-431, doi:10.21513/2410-8758-2023-4-403-431.