

ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ПОТОКАМИ

Шурунов К.М.,

Московский физико-технический институт, Москва, Россия

Shurunov@mdis.ru

Дранко О.И.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Россия

OlegDranko@gmail.com

Аннотация. Рассматривается модель глобальных энергопотоков, охватывающая полную цепь международных поставок энергии и товаров. Анализируется динамика изменения картины глобальных энергопотоков в XXI веке. Рассмотрены текущие попытки перераспределения глобальных энергопотоков. Используются данные OECD (TiVA) для анализа энергопотоков.

Ключевые слова: глобальные энергопотоки, моделирование, углеродный след, углеродная эмиссия.

Введение

Понимание текущего фактического состояния управляемой системы позволяет сформировать прогноз развития и управления [1].

Глобальное потепление – это долгосрочное повышение средней температуры климатической системы Земли, происходящее уже более века. Оно вызывает серьёзные последствия для окружающей среды, экономики и общества в целом.

Основной причиной глобального потепления считается увеличение концентрации парниковых газов в атмосфере Земли. Эти газы, такие как углекислый газ (CO_2), метан (CH_4) и оксид азота (N_2O), удерживают тепло от солнца, создавая эффект парника. Увеличение выбросов этих газов в результате деятельности человека, такой как сжигание ископаемого топлива, вырубка лесов и промышленное производство, приводит к повышению температуры планеты.

Углеродный след — это совокупность выбросов парниковых газов, произведённых прямо и косвенно отдельным человеком, организацией, мероприятием или продуктом.

В первую очередь под углеродным следом понимается объём выбросов углекислого газа (CO_2). Однако он также включает в себя все парниковые газы, такие как метан (CH_4), закись азота (N_2O) и другие, перечисленные в Киотском протоколе [2, 3].

В данной работе рассматривается связь энергопотоков с углеродным следом (выбросами CO_2).

1. Обзор

В 2011 году американские учёные Стивен Дэйвис, Глен Питерс и Кен Калдейра [4] обратили внимание, что выбросы CO_2 от сжигания ископаемого топлива обычно приписываются стране, где выбросы произведены (т.е. где топливо сожжено). Однако в реальной жизни топливо сжигается не просто так, а для производства товаров, которые кем-то потребляются. При этом товары и услуги, потреблённые в одной стране, обычно произведены в другой стране с использованием ископаемого топлива, добытого в третьей стране. В связи с этим Дэйвис, Питерс и Калдейра предложили модель глобального углеродного учёта, охватывающую полную цепь поставок выбросов CO_2 . В этой модели картина глобальных энергопотоков строится с учётом не только энергии, происходящей от сжигания ископаемого топлива, но и энергии, воплощённой в товарах.

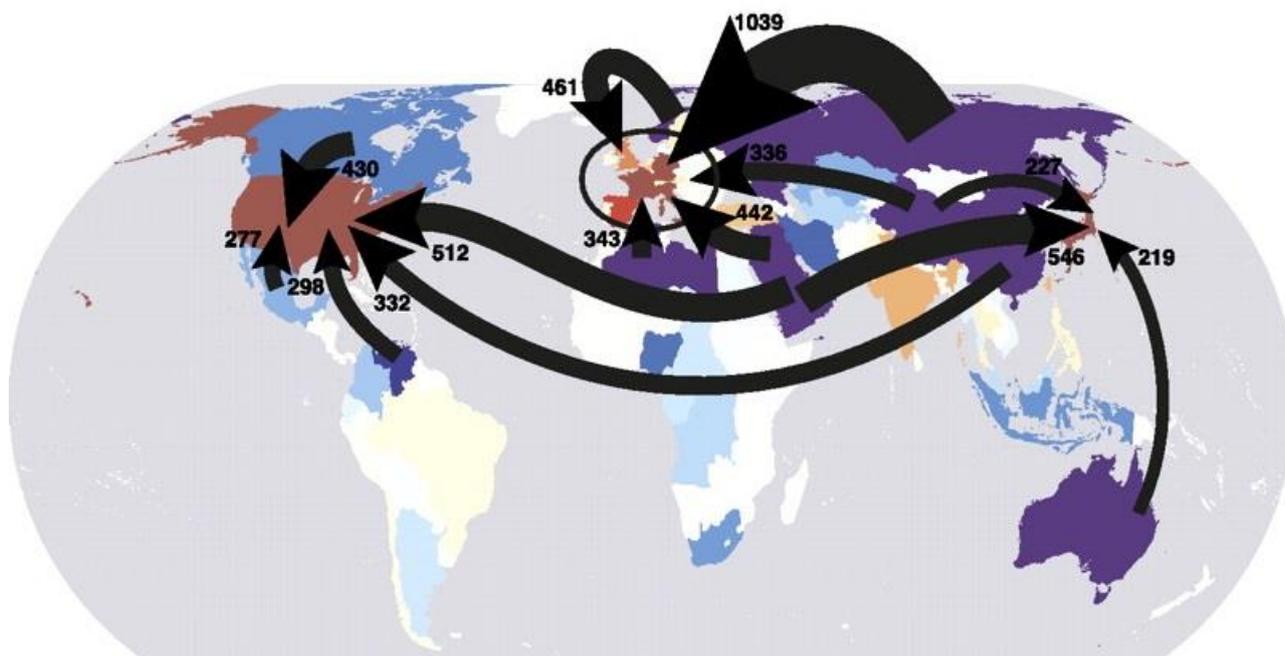


Рис. 1. Картина глобальных энергопотоков согласно [4], данные 2004 г.

Результирующая картина (Рис. 1) демонстрирует колониальную изнанку мира: попросту говоря, вся планета работает на жителей трёх регионов (США, Западной Европы и Японии). При этом оплата за эти ресурсы и товары идёт в виде «фантиков» – необеспеченного выпуска валюты этих стран (прежде всего доллара США).

Эта картина была построена американскими учёными на основании данных 2004 г. и ранее. Мы провели аналогичное исследование глобальных энергопотоков на основании данных 2000-2018 гг. с целью проверить общее соответствие данной картины энергопотоков современной реальности и определить динамику изменений глобальных энергопотоков в последние два десятилетия. Авторы статьи [4] не отображали на карте энергопотоки меньше 100 Мт/г (очевидно, с целью избежать загромождения карты мелкими стрелками). Отсечка воплощённых в товарах энергопотоков меньше 100 Мт/г приводит к несколько парадоксальной картине, в которой Япония не экспортирует ничего. Данные TiVA не отображают энергопотоки между конкретными странами, но при этом дают более точную суммарную картину энергопотоков для каждой страны.

В.Г. Варнавский рассматривает систему управления выбросами парниковых газов, включающую международный компонент и предполагающую взимание платы при импорте товаров с высоким уровнем выбросов углерода. В качестве примера рассматривается механизм трансграничного углеродного регулирования Европейского союза (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM), который охватывает большое количество стран и компаний. Проводится детальный анализ научных работ по математическим методам оценки влияния CBAM на социально-экономическое развитие. Отмечается, что регулирование выбросов парниковых газов на международном уровне предоставляет обширные возможности для использования математических методов анализа, расчётов и моделирования. Выделяются различные типы моделей для исследования CBAM, такие как DSGE-модели, межстрановые межотраслевые балансы, игровые модели и другие, которые могут быть использованы для проведения экономического анализа. Большое внимание уделено анализу моделей глобальных производственных цепочек. На основе нормативных документов ЕС создана блок-схема системы управления в CBAM, проведён анализ её основных компонентов, участников и взаимосвязей. Также представлена и проанализирована математическая модель, которую использует Евросоюз для расчёта выбросов ПГ. Сделан вывод о том, что с введением CBAM фундаментальная и прикладная экономическая наука получают новую обширную область экономико-математических исследований, включая управление трансграничными рынками ПГ [5].

В работах [6, 7] рассматриваются основные факторы взрывного роста современного Китая. Модель рыночной экономики в сочетании с трудолюбием народа в относительно короткий исторический срок дала значительные результаты. Глобализация и развитие компьютерных технологий ускорили этот процесс, сделав его крайне динамичным. Динамика роста экономики соответствует росту выбросов CO₂.

Norihiko Yamano, Joaquim Guilhoto описывают источники и методы, которые использовались для оценки выбросов углерода, включённых в конечный спрос и международную валовую торговлю для 65 стран за период с 2005 по 2015 год. Более ранние исследования ОЭСР углеродного следа с учётом глобальных производственных сетей помогли повысить осведомлённость о различиях между территориальным и резидентным принципами, а также между выбросами углерода на основе производства и потребления. Понимание различий между этими показателями важно для правительств, чтобы лучше понимать и реализовывать меры по снижению выбросов парниковых газов [8]. Поэтому была применена новая усовершенствованная методология распределения территориальных выбросов на выбросы на основе производства (отрасли и домохозяйства) с использованием таблиц межстранового ввода-вывода ОЭСР и статистики сжигания топлива Международного энергетического агентства (МЭА). В частности, эта методология включает: 1) чёткое разграничение между территориальным и резидентным принципами, выбросами, основанными на данных об экономической продукции и конечном спросе, а также выбросами, включёнными в валовой импорт и экспорт; 2) оценки по основным источникам сжигания топлива; 3) Учет закупок топлива нерезидентными предприятиями и домохозяйствами.

И.А. Степановская с коллегами [9, 10] анализирует прогресс в сокращении выбросов парниковых газов на национальном и международном уровне благодаря экономическим стратегиям декарбонизации. Проблема заключается в том, что измерения проводятся только в пределах границ стран, без учёта прямой связи этих выбросов со всеми материалами и процессами, в которых участвуют продукты и услуги, производимые или предоставляемые различными компаниями из разных стран на протяжении всего жизненного цикла. Поэтому статистические данные о международной торговле, закупках и поставках являются важным инструментом для оценки «воплощения» углерода в продуктах, размещаемых производителями из разных стран на мировом рынке. Это создаёт сложную инфраструктуру больших данных для аналитического исследования, которое должно проводиться на основе точной информации. Ставится задача изучения вопросов управления процессом уменьшения выбросов углекислого газа путём разработки новых технологий с низким уровнем выбросов углерода.

В качестве новых низкоуглеродных технологий все большую роль играют возобновляемые источники энергии. В работе О.И. Дранко и коллеги рассматривают возобновляемую энергетику в качестве движущей силы развития мирового энергетического рынка, в том числе и в России. В статье обсуждаются основные подходы к оценке перспектив роста сегмента возобновляемой энергетики в России. Были проанализированы данные финансовой отчётности российских генерирующих компаний за период с 2015 по 2020 год. Оцениваются перспективы в области возобновляемой энергии по сравнению с традиционными энергетическими компаниями на основе ретроспективного анализа финансовых отчётов независимых компаний в этом секторе. Сделаны выводы о завышенных прогнозных оценках инвестиционной привлекательности сегмента возобновляемой энергетики в России на 2020 год. Тем не менее, по данным независимых организаций в сфере возобновляемой энергетики России, рост выручки за период 2015–2020 годов составляет 44% (в текущих ценах), в то время как для традиционной генерации этот показатель равен лишь 6,3% [11, 12].

В.К. Акинфиев с коллегами рассматривает задачи, связанные с анализом и оценкой эффективности инвестиционных стратегий генерирующих компаний, учитывая стимулирование развития возобновляемой энергетики на основе механизма «зелёных сертификатов» и рыночных механизмов ценообразования. В статье предлагается математическая модель, которая позволяет при помощи численного моделирования изучить проблему анализа функционирования рынка «зелёных сертификатов» и его влияния на развитие возобновляемых источников энергии [13].

2. Модель

Модель перетоков CO₂ опирается на информацию по методологии TiVA (Trade in Value-Added) [14, 15]. «Торговля добавленной стоимостью (TiVA) — это статистический метод, который позволяет получить ценную информацию об источниках добавленной стоимости при производстве товаров и услуг как для экспорта, так и для импорта». TiVA позволяет увидеть, какой вклад в глобальные цепочки производства и поставок вносят разные страны и отрасли. Эта методология исключает двойной учёт, так как учитывает чистый торговый поток между странами. Например, при производстве компьютера в Китае для экспорта используются компоненты, произведённые за рубежом: микросхемы памяти, сенсорные экраны, камеры. Их изготавливают компании из Кореи, Тайваня и США, которые, в свою очередь, используют промежуточные ресурсы, импортированные из других стран. TiVA определяет добавленную стоимость каждой компании, участвующей в производстве экспортируемого компьютера.

Для расчета показателей углеродного следа страны используем вектор показателя

$$P_{ik} = \langle P1_{ik}, P2_{ik}, P3_{ik}, P4_{ik} \rangle \quad (1)$$

где $P1$ – производство, $P2$ – потребление, $P3$ – экспорт, $P4$ – импорт, i – индекс страны, k – индекс периода.

Компоненты вектора P_{ik} разбиваются на отраслевые составляющие

$$P1_{ik} = \sum_{j=1}^J P1_{ijk} \quad (2)$$

$$P2_{ik} = \sum_{j=1}^J P2_{ijk} \quad (3)$$

$$P3_{ik} = \sum_{j=1}^J P3_{ijk} \quad (4)$$

$$P4_{ik} = \sum_{j=1}^J P4_{ijk} \quad (5)$$

где j – индекс отрасли.

Балансовая модель соотношения производства и потребления дополняется балансом экспорта и импорта

$$BALCO2_FD = PROD_CO2 - FD_CO2, \quad (6)$$

$$BALCO2_GR = EXGR_TCO2 - IMGR_TCO2, \quad (7)$$

где $P1 \equiv FD_CO2$ – CO₂ emissions embodied in domestic final demand, $P2 \equiv PROD_CO2$ – CO₂ emissions based on production, $BALCO2_FD$ – balance of the CO₂ embodied in final demand, $P3 \equiv EXGR_TCO2$ – total CO₂ emissions embodied in gross exports, $P4 \equiv IMGR_TCO2$ – Total CO₂ emissions embodied in gross imports, $BALCO2_GR$: balance of the CO₂ embodied in gross exports.

Очевидно, что

$$BALCO2_FD = BALCO2_GR. \quad (8)$$

3. Исходные данные

Для анализа использовались данные по углеродному следу OECD. ICIO (Inter-Country Input-Output tables) – это международная статистическая система, которая показывает, как товары и услуги производятся, потребляются и инвестируются внутри стран, а также как они торгуются на международном уровне. В данных используются аналитические признаки стран, видов экономической деятельности и периодов.

В Табл. 1 показана информация о динамике баланса CO₂, основных стран и регионов, воплощенном в валовом экспорте. США доминируют, потребляя значительное количество импортируемой продукции, и связанного с ним углеродного следа. Для США можно отметить тренд роста потребления углеродного следа. Ведущие 15 стран Европейского Союза являются вторым макрорегионом потребления углеродного следа. Китай является крупнейшей экономикой мира (по показателю ВВП и ППС), со значительным экспортом и, согласно углеродному следу, в разы меньшим импортом.

В Табл. 2 приведена информация о производстве, конечном потреблении, импорте и экспорте углеродного следа по крупнейшим регионам мира. Здесь EU15 – это страны, входящие в состав Евросоюза с 1995 года, а именно: Австрия, Бельгия, Дания, Финляндия, Франция, Германия, Греция, Ирландия, Италия, Люксембург, Нидерланды, Португалия, Испания, Швеция и Великобритания (ныне не входящая в Евросоюз). EU13 – страны, присоединившиеся к Евросоюзу с 2004 года, а именно: Болгария, Хорватия, Кипр, Чехия, Эстония, Венгрия, Латвия, Литва, Мальта, Польша, Румыния, Словакия и Словения. Первым очевидным следствием из приведённых данных является то, что «молодые» члены Евросоюза не входят в число выгодополучателей современного миропорядка распределения энергопотоков.

Таблица 1. Баланс CO₂, воплощенный в валовом экспорте, млн тн

Регион / Страна	2000	2005	2010	2015	2018
USA: США	-611,9	-959,3	-625,8	-719,0	-752,1
JPN: Япония	-319,5	-305,5	-276,4	-125,8	-160,6
EU15: Европейский союз (ведущие 15 стран)	-560,8	-741,9	-677,6	-455,3	-535,2
EU13: Европейский союз исключая EU15	56,4	24,9	-2,7	23,8	8,9
CHN: Китай	398,4	1,242,5	1,280,4	923,2	895,5
RUS: Российская Федерация	689,4	454,2	337,3	383,8	343,5

Источник: <https://data-explorer.oecd.org/?pg=0&bp=true&snb=14&tm=TiVA>, дата обращения 20.8.2022.

Таблица 2. Выбросы углекислого газа, воплощенные в международной торговле, 2018 г., млн тн

Показатель	FD_CO2	PROD_CO2	BALCO2_FD	EXGR_TCO2	IMGR_TCO2	BALCO2_GR
WLD: Мир в целом	33 635,3	33 635,3
Страны OECD	13 753,9	12 305,6	-1 448,3	1 420,0	2 866,4	-1 448,3
Экономики и агрегаты стран, не входящих в ОЭСР	19 881,4	21 329,7	1 448,3	2 866,4	1 420,0	1 448,3
США	5 740,7	4 988,6	-752,1	607,5	1 361,9	-752,1
EU28: Европейский союз (28 стран)	3 979,3	3 452,9	-526,4	822,2	1 345,8	-526,4
Япония	1 312,0	1 151,4	-160,6	304,6	464,5	-160,6
Китай	9 020,3	9 915,8	895,5	1 948,0	1 040,2	895,5
Российская Федерация	1 282,7	1 626,2	343,5	506,8	162,3	343,5

Источник: http://stats.oecd.org/OECDStat_Metadata/ShowMetadata.ashx?Dataset=IO_GHG_2021, дата обращения 20.8.2022.

В России основной вклад в производство углеродного следа (1 626 млн тн) вносят производство электроэнергии (645,6 млн тн), промышленность (405 млн тн), домашние хозяйства (254 млн тн). В промышленном производстве основной вклад: Basic metals and fabricated metal products (228 млн тн), Chemicals and non-metallic mineral products (145 млн тн).

На Рис. 2, Табл. 3 показано распределение производства PROD_CO2 (Production), конечного потребления FD_CO2 (Demand) и их баланса BALCO2_FD для России за 2018 г. в разбивке по основным отраслям, производящим углеродный след.

Таблица 3. Выбросы углекислого газа России, воплощенные в международной торговле, 2018 г., млн тн

Отрасль	FD_CO2	PROD_CO2	BALCO2_FD	EXGR_TCO2	IMGR_TCO2	BALCO2_GR
Всего	1 282,7	1 626,2	343,5	506,8	162,3	343,5
Сельское хозяйство	21,0	23,4	2,4	10,8	3,2	7,6
Добыча полезных ископаемых	15,7	45,2	29,6	80,3	1,5	78,8
Обрабатывающие отрасли	249,6	405,1	155,5	310,9	105,6	205,3
Производство электроэнергии	543,9	645,6	101,7	7,9	2,8	5,1
Сектора сервиса, всего	158,0	212,5	54,5	95,9	47,8	48,1
Государственное управление, образование, здравоохранение	10,8	10,6	-0,2	0,6	1,2	-0,6

Отрасль	FD_CO2	PROD_CO2	BALCO2_FD	EXGR_TCO2	IMGR_TCO2	BALCO2_GR
и другие персональные услуги						
Домохозяйства	254,9	253,8	-1,1	-1,1

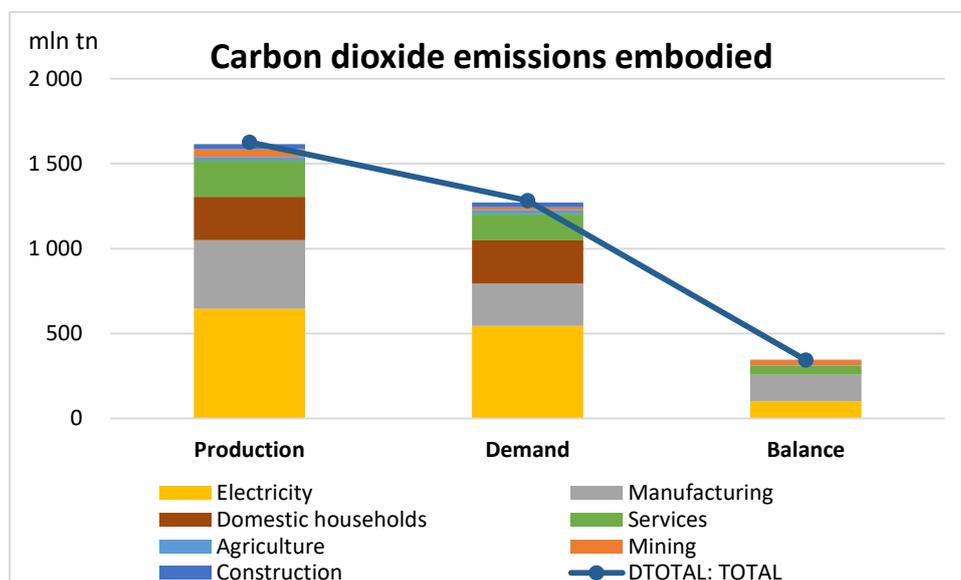


Рис. 2. Производство и потребление углеродного следа по видам деятельности, Россия, 2018 г.

4. Анализ

Экономика часто описывается как игра с ненулевой суммой (например, Otteson 2021 [16]). В то же время, если мы исключим финансовую составляющую и сконцентрируем внимание на физических сущностях, являющихся предметами экономического оборота (энергии и товарах), игра с ненулевой суммой возможна только на больших временных промежутках, охватывающих различные технологические переходы.

На сравнительно малых по историческим масштабам интервалах времени, в отсутствие сдвигов, качественно меняющих схемы производства и потребления энергии, планетарные энергопотоки представляют из себя игру с нулевой суммой в силу закона сохранения энергии. Повышение уровня жизни (зависящего от потребления энергии и товаров) в одном планетарном регионе неизбежно ведёт к снижению уровня жизни в других регионах.

В XXI веке перед Соединёнными Штатами Америки встала задача перераспределения глобальных энергопотоков с целью сохранения привычного для населения США уровня жизни, т. е. уровня потребления энергии и товаров. Наиболее очевидным, с американской точки зрения, решением стало сокращение числа нынешних выгодополучателей миропорядка путём деиндустриализации и снижения уровня жизни либо в Японии, либо в Западной Европе. В силу того, что КНР рассматривается существенной частью американских элит как главный геополитический соперник (и даже противник) США в XXI веке, деиндустриализация Японии (де-факто американского форпоста в Тихоокеанском регионе) не отвечает американским интересам. Таким образом, «проигравшей» была назначена Западная Европа.

Первой попыткой перераспределения энергопотоков стал Трансатлантический Торговый и Инвестиционный Пакт (ТТИП). Пакт содержал ряд условий, низводящих Евросоюз до фактического положения колонии США (закрытие европейских промышленных предприятий, конкурирующих с промышленностью США, отказ от собственного арбитражного судопроизводства и т.д.). Текст ТТИП перед подписанием «утёк» в сеть, что вызвало ряд протестов в странах Евросоюза, вследствие чего подписание Пакта было отменено.

Вторым заходом стало отсечение Западной Европы от суммарного энергопотока, идущего из Российской Федерации. Под давлением США западноевропейские страны приняли огромное число санкций, ограничивающих торговлю с РФ. Нетрудно убедиться (и это многократно отмечалось в аналитике), что антироссийские санкции вредят Западной Европе куда больше, чем РФ. Разрыв торговых связей между странами Евросоюза и РФ приводит к массовому закрытию промышленных

предприятий в Западной Европе и переносу промышленности в США и КНР. Кроме того, были почти полностью разрушены газопроводы «Северный Поток-1» и «Северный Поток-2».

5. Заключение

Суммируя вышесказанное: граждане Российской Федерации и Китайской Народной Республики стали жить лучше, следовательно, кто-то из трёх выгодополучателей нынешнего миропорядка должен начать жить хуже. В современных геополитических раскладах этим «кем-то, кто станет жить хуже» назначена Западная Европа.

Литература

1. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами – 4-е изд. – М.: Физматлит, 2021. – 636 с.
2. Rong He, Le Luo, Abul Shamsuddin, Qingliang Tang. Corporate carbon accounting: a literature review of carbon accounting research from the Kyoto Protocol to the Paris Agreement // Accounting & Finance, 2022, Volume62, Issue1, Pp. 261-298. <https://doi.org/10.1111/acfi.12789>.
3. Баженов Ю.М., Мармазова Т.И., Акимова А.О. От Киотского протокола к Парижскому соглашению. Что дальше? // Науки о Земле и цивилизация. 2021. Т. XII. С. 13-18.
4. Davis S., Peters G., Caldeira K. The supply chain of CO2 emissions // PNAS 2011, vol. 108, no. 45. – P. 18554–18559. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1107409110>.
5. Варнавский В.Г. Трансграничное углеродное регулирование ЕС как инструмент глобального управления // Проблемы управления. 2023. № 1. С. 15-25.
6. Varnavskii V.G. The Chinese Phenomenon of Economic Growth // World Economy and International Relations, 2022, vol. 66, no. 1, pp. 5-15.
7. Варнавский В.Г. Глобальное инновационное соперничество: США vs Китай // Друкеровский вестник. 2018. № 5. С. 191-202.
8. Yamano, N. and J. Guilhoto, CO2 emissions embodied in international trade and domestic final demand: Methodology and results using the OECD Inter-Country Input-Output Database”, OECD Science, Technology and Industry Working Papers, No. 2020/11, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/8f2963b8-en>.
9. Степановская И.А. Reduction of Carbon Footprint: Digital Management Strategies / Proceedings of the 15th International Conference Management of Large-Scale System Development (MLSD). IEEE, 2022. С.
10. Резчиков А.Ф., Цвиркун А.Д., и др. Цифровая платформа мониторинга углеродного следа // Труды 15-й международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD’2022)». – М.: ИПУ РАН, 2022. – С. 1305– 1310. – DOI: 10.25728/mlsd.2022.1305
11. Dranko O., Rezchikov A. Forecast of the Industry Development as a Large System / IFAC-PapersOnLine. Elsevier, 2022. 55(3). С. 240-244.
12. Dranko O., Dvoryashina M., Blagodarnyy Ye. The Growth Assessment of Renewable Energy in Russia: the Retrospective Analysis // 2022. IFAC-PapersOnLine, 55(9), pp. 64-69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.07.012>.
13. Akinfiyev V., Dranko O. Modeling Investment Decisions to Increase Renewable Generation // IFAC-PapersOnLine, 2022, 55(9), pp. 59-63. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.07.011>.
14. Trade in value-added. <https://www.oecd.org/en/topics/sub-issues/trade-in-value-added.html>. (Дата обращения 20.04.2024).
15. Торговая добавленная стоимость (TiVA). <https://nesrakonk.ru/trade-value-added-tiva/>. (Дата обращения 20.04.2024).
16. Otteson J. Wealth Is Positive-Sum // Seven Deadly Economic Sins. Obstacles to Prosperity and Happiness Every Citizen Should Know. – Cambridge University Press, 2021 – P. 14–62.