

УДК 330.15, 338.001.36, 338.14
JEL: O5; O13; Q42; F64; H23; L94
DOI: 10.31857/S2686673023040077
EDN: VGQXRW

Ветряной и солнечный энергетический эффект в Канаде

В.Д. Газман

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики».
Россия, 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20.*

*ResearcherID: K-4985-2015 Scopus AuthorID: 2200428736 РИНЦ ID: 4932-0528
ORCID 0000-0001-7498-0505 e-mail: garantinv@bk.ru, vgazman@hse.ru*

Резюме. В статье представлены результаты исследования достигаемого эффекта от сокращения выбросов CO₂ при замещении угля и нефти энергией ветра и солнца. Расчёты основаны на фактическом размере платы за выбросы CO₂ с учётом причинённого ущерба, количества людей, спасённых от преждевременной смерти из-за выбросов CO₂, экономической стоимости жизни, расходов на здравоохранение из-за сопутствующих заболеваний, социальной ставки дисконтирования. Это позволяет впервые определить реальный социально-экономический эффект от замены ископаемых источников энергии более чистыми энергоносителями. Сравниваются цены на генерацию. С учётом экономической стоимости жизней, расходов на здравоохранение, ставки социального дисконтирования, платы за выбросы углерода в Канаде за шесть лет удалось предотвратить преждевременную смерть 11 307 человек, то есть более 5 человек на 10 тыс. жителей страны. Общая экономия рассматриваемых ресурсов за этот период составила почти 122 млрд американских долларов. Полученные результаты важны для формирования приоритетов в электроэнергетике и осторожного использования ископаемых ресурсов.

Ключевые слова: ветряная и солнечная энергия, социальная стоимость углерода, экономическая стоимость жизни

Для цитирования: Газман В.Д. Ветряной и солнечный энергетический эффект в Канаде. *США & Канада: экономика, политика, культура*. 2023; 53(4):94-107.
DOI: 10.31857/S2686673023040077 EDN: VGQXRW

Wind and Solar Energy Effect in Canada

Victor D. Gazman

*National Research University Higher School of Economics
101000, Moscow, Myasnitskaya str., 20*

*Researcher ID: K-4985-2015, Scopus Author ID: 2200428736 РИНЦ ID: 4932-0528
ORCID: 0000-0001-7498-0505 e-mail: garantinv@bk.ru, vgazman@hse.ru*

Abstract. The article presents the results of a study of the achieved effect of reducing CO₂ emissions when replacing coal and oil with wind and solar energy. The concept of determining the achieved savings developed by the author is described in detail. The author's methodology

and step-by-step calculations with comments are presented. The calculations are based on the actual amount of the fee for CO₂ emissions, taking into account the damage caused, the number of people saved from premature death due to CO₂ emissions, the economic cost of living determined by the World Bank for Canada, health care costs due to concomitant diseases, the social discount rate. This makes it possible for the first time to determine the real socio-economic effect of replacing fossil energy sources with cleaner energy carriers. Generation prices are compared. An argument is presented that refutes the arguments about the increase in costs in the economy, which may occur due to an increase in fees for harmful CO₂ emissions into the atmosphere. Taking into account the economic cost of life, health care costs, social discount rates, carbon charges in Canada, it was possible to prevent the premature death of 11,307 people in six years, i.e. more than 5 people per 10 thousand inhabitants of the country. The total savings of the resources under consideration during this period amounted to almost 122 billion USD. In the conditions of the energy crisis, coal mines were partially deconserved to temporarily replace less carbon-intensive natural gas at power plants. I believe that this is a temporary and forced measure, associated with negative environmental consequences, which, of course, will lead to human and economic losses. The results obtained make it possible to establish more accurate benchmarks to justify the construction of wind and solar power plants, and to use hydrocarbon resources more efficiently.

Keywords: Wind and solar energy, social cost of carbon, economic cost of living, social discount rate

For citation: Victor D. Gazman. Wind and Solar Energy Effect in Canada. *USA & Canada: Economics, Politics, Culture*. 2023; 53(4):94-107.
DOI: 10.31857/S2686673023040077 EDN: VGQXRW

ВВЕДЕНИЕ

Канада – страна с большим экологически чистым энергетическим потенциалом. Этому во многом способствует её географическое расположение с большими протяжённостями между океанами, с постоянными ветрами. Действительно, ресурсы ветра здесь невероятно велики. Используя данные «Бритиш петролеум» (*British Petroleum*), мы определили, что ветроэнергетика Канады является быстрорастущим сектором национальной экономики, со стабильным среднегодовым ростом в 4,5% [5]. В стране функционирует много ветряных электростанций мощностью 200–400 МВт, большинство из них находится в провинции Альберта.

Достаточно быстро были развенчаны ранее сложившиеся стереотипы относительно того, что в Канаде невозможна солнечная энергетика, поскольку в стране много снега, слишком холодно, продолжительный период мало света – и все эти обстоятельства препятствуют работе солнечных панелей. В реальности годовые темпы в этом сегменте электроэнергетики десятипроцентные. Конечно, прирастать к малым величинам легче, чем к давно сложившимся большим показателям. Тем не менее активно развивается строительство фотоэлектрических электростанций, а использование инновационных технологий позволяет преодолевать проблемы, связанные с северной локацией многих провинций стра-

ны. Здесь срабатывает собственный опыт и практика Норвегии, куда из Канады переместилось первенство по воздвижению самой крупной в мире солнечной электростанции. В Канаде много малонаселённых и труднодоступных регионов. Домохозяйства в этих местах активно использует фотоэлектрические панели, обеспечивая независимое получение электроэнергии. Такой подход хорошо апробирован на территории Юкон.

Канада выбрана нами в качестве объекта проводимого исследования. Для этого важны были несколько обстоятельств. Канада имеет большую географическую схожесть с Россией. Поэтому чрезвычайно полезным может оказаться для нас опыт этой страны. В Канаде развитое экологическое законодательство, нацеленное на стимулирование сокращения выбросов углерода в атмосферу. Здесь проводится активная преференциальная инвестиционная политика в области ветряной и солнечной энергии, нацеленность на их развитие. В Канаде значительный удельный вес в электроэнергетике занимают чистые источники – гидроэнергия и атомная энергия. Однако обе эти генерации, а также геотермальная энергия, демонстрируют тренд некоторого сокращения производства. То есть они не замещают токсичные ископаемые источники энергии. В то же время ветряная и солнечная энергия постоянно растут и их показатели в выработке электроэнергии достигли совокупного уровня угля и нефти, который снижается. Следовательно, эти генерации необходимо заместить в целях поддержания стабильности в энергобалансе страны, сокращения выбросов углерода и снижения стоимости энергоресурсов. В России цена электроэнергии для предприятий выше, чем для домохозяйств. В Канаде ситуация иная, хотя в отличие от многих других стран здесь наблюдается незначительное отклонение между ценами электроэнергии для предприятий и для домохозяйств – 89,7 долл. и 109 долл. за 1 МВт•ч [13]. То есть отклонение всего в 17,7%. Это расхождение значительно меньше, чем в Великобритании, Германии, США, Франции, Швеции и других странах.

Научная новизна исследования обусловлена тем, что пока в научной литературе не была представлена оценка замещения в Канаде экологически вредных энергоносителей ветряной и солнечной энергией. Это предопределило повышенный исследовательский интерес к тенденциям в использовании в этой стране ветра и солнца против ископаемых источников энергии. Причём основной акцент был сделан на замещении угля и нефти, как наиболее токсичных генераций среди ископаемых источников энергии.

Действительно, в научной литературе при сравнении потенциала генераций в незначительной степени учитывается социально-экономический эффект от замещения возобновляемыми источниками энергии ископаемых источников. Это сказывается как на уровне государств, так и при выставлении оценок в рамках модели ESG на уровне энергетических компаний. В проведённом нами исследовании были предприняты усилия по преодолению этой проблемы.

ПРЕДПОСЫЛКИ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Канадский профессор Вацлав Смил первым обозначил четыре энергетических перехода [Смил В., 2020]. Не так давно начался четвёртый переход, который напрямую захватил и страну кленового листа, хотя до его завершения ещё очень далеко. Тем не менее это обстоятельство уже проявилось в структурных преобразованиях в электроэнергетике. Так, в энергобалансе Канады более двух третьих составляют возобновляемые источники энергии, включая гидроэлектроэнергию, ветряную и солнечную энергию, геотермальную энергию [4]. Сложившееся положение дел стало следствием осмысления необходимости поддержания экологической безопасности для жителей страны и динамикой сокращения приведённой стоимости, прежде всего ветряной и солнечной энергии по сравнению с другими генерациями.

Интерес к инвестициям в возобновляемую энергетику во многом подогревался перспективой получения будущих доходов для инвесторов. С учётом быстрого понижения цен на энергетическое оборудование приведённая стоимость ветряной энергии в Канаде уменьшилась многократно и в 2021 г. она стала составлять только 15% уровня 1985 г. [12]. Использование приведенной стоимости позволяет осуществлять сравнение электростанций с различной структурой выработки и затрат друг с другом и рассчитывается путём сравнения всех затрат, понесённых в течение срока службы электростанции на строительство и эксплуатацию, и общего количества произведённой энергии [Christoph Kost, Shivenes Shamugam, Verena Julch, et al., 2018].

Однако следует принять во внимание, что минимизация приведённой стоимости не всегда является определяющим фактором в структурных изменениях в электроэнергетике. Дело в том, что всё ещё не устранён основной недостаток возобновляемой энергетики – поддержание непрерывности подачи электроэнергии в сети. Имеется в виду переменчивость погодных условий – слабый ветер, прерывистость солнечных дней. Другие недостатки мы рассмотрели в монографии «Потенциал возобновляемой энергетики» [Газман, 2022]. Решение проблемы возможно путём установления на ветряных и солнечных электростанциях накопителей электроэнергии; развития гибридных электростанций; использования для транспортировки электроэнергии «умных сетей», управляемых искусственным интеллектом. Такие сценарии преодоления сложностей уже используются в Канаде.

Цены меняются в зависимости от снижения себестоимости выработки электроэнергии возобновляемыми источниками; экономии на масштабе производства, в том числе за счёт ввода более мощного оборудования; сокращения стоимости производства ветрогенераторов и солнечных панелей. В условиях энергетического кризиса оптовые цены на возобновляемую энергию, несмотря на рост, меньше, чем для ископаемых источников энергии. Вместе с тем следует учиты-

вать, что количество часов работы накопителя для поддержания электроэнергии в сети составляет в среднем около четырёх часов. С учётом имеющихся накопителей и ввода в эксплуатацию новых, приведённая стоимость ветряной и солнечной энергии может повыситься в полтора раза.

Наибольшее сокращение выбросов CO₂ наблюдалось в Канаде в 2020 г. По сравнению с предыдущим годом все выбросы по стране сократились на 54 млн т. Правда, одним из значимых факторов этого снижения была эпидемия *Covid-19*, когда из-за простоев сокращались объёмы производства. Вместе с тем 8,7 млн т, то есть более 16%, приходились на уменьшение выбросов за счёт использования угля и нефти при производстве электроэнергии. В 2021 г. в целом по стране выбросы CO₂ опять стали расти. Увеличение составило свыше 10 млн т, в то время как угольная и нефтяная составляющая в электроэнергетике, во многом благодаря их замещению на чистые источники энергии, не изменилась.

В ближайшие несколько лет у ветряной и солнечной энергии Канады, как в ряде других стран имеются предпосылки для благоприятного сценария развития. Об этом свидетельствуют и результаты исследования Международного энергетического агентства (*International Energy Agency*), опубликованного в декабре 2022 г., в котором отмечается, что возобновляемые источники энергии станут крупнейшим источником выработки электроэнергии в мире к началу 2025 года, обогнав уголь [11].

КОМПОНЕНТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЭФФЕКТА ОТ ЗАМЕЩЕНИЯ ГЕНЕРАЦИЙ

При определении размера в Канаде эффекта от замещения угля и нефти энергией ветра и солнца при производстве электроэнергии были проведены сопоставления по каждой из генераций на основе разработанной нами методологии, опирающейся на сформированную статистическую базу. Эта методология была создана с учётом ранее проводимых острых академических и научно-практических дискуссий и обсуждений, которые нашли отражение в публикациях многих авторов; установления соответствующих нормативных значений в целом по миру, по ряду стран, включая Канаду.

В частности, нами была исследована «социальная стоимость углерода» или «общественная плата за выбросы углерода» (*Social Cost of Carbon*). Имеется в виду налог, который позволяет учитывать величину реально наносимого ущерба от выбросов одной тонны загрязнений CO₂. Этот показатель был использован нами в расчётах на уровнях, зафиксированных Федеральным агентством по окружающей среде Германии (*Germany's Federal Environment Agency*). В 2016 г. его значение составляло 80 евро, а в 2018 г. было скорректировано до 180 евро [10]. Установленное в Германии реальное значение налога оказалось близко по значению показателю, который был определён исследователями Стэнфордского универ-

ситета (220 долл. США за 1 т выбросов) и Лондонской школы экономики (260 долл. США к 2030 г.) [7]; [W. Kip Viscusi, Clayton J. Masterman, 2015].

При принятии нами решения о размере ставки, используемой для проведения расчётов, учитывались, с одной стороны, законодательно установленные к настоящему времени в разных странах нормативы. Они зафиксированы в работах [16]; [6]. С другой стороны, мы приняли во внимание и более радикальные академические оценки в 417 долл. США, которые были опубликованы специалистами Школы глобальной политики и стратегии университета Сан-Диего, Калифорния; Европейского института экономики и охраны окружающей среды (Милан) и Исследовательского института Карнеги в университете Стэнфорда [Katharine Ricke, Laurent Drouet, Ken Caldeira, Massimo Tavoni, et al., 2018]; Американского физического общества, Массачусетского технологического института в пределах от 600 до 1000 долл. США за тонну выбросов [8]. Как видно, такие предложения по ставкам общественной платы за выбросы углерода в 2–5 раз превышают уровень, определенный Федеральным агентством по охране окружающей среды Германии, который, в свою очередь, выше нормативов, установленных в наиболее экологически продвинутых странах, например, в Швеции, где он составляет 137 долл. США.

Предположение о том, что установление более высоких ставок налогов на выбросы углерода — это чуть ли не единственное решение проблемы изменения климата, поскольку они стимулируют рынок рост инноваций, представляется нам не завершённым. Дело в том, что такой подход не учитывает в полной мере преждевременные потери жизней.

В нашем исследовании для достижения соответствующей объективности мы оценивали и резкую критику со стороны представителей академической науки предлагаемых новаций в вопросах налогообложения выбросов CO₂. Например, известный учёный из Университета Нью-Йорка усомнился в рациональности резкого повышения нормативных значений, отметив, что предлагаемые цены на углерод в диапазоне от 200 до 400 долл. чрезвычайно завышены. Он полагает, что показатель в размере 100 долл. за тонну приведет к росту цены на бензин примерно на 0,90 долл. за галлон [15].

Однако спустя всего пару лет, когда начался энергетический кризис, действительность превзошла все академические опасения. Средняя цена за галлон бензина увеличилась в США почти вдвое по сравнению с показателем годичной давности. Произошло это из-за увеличения спроса, роста цен на энергоносители на фоне санкций против российского энергетического сектора и сокращения нефтеперерабатывающих мощностей в период пандемии [14]. Очевидно, что отмеченные факторы оказали более сильное влияние на ценообразование, нежели установление более обоснованного и социально необходимого налога на углерод.

В Канаде в течение ряда лет ставка налога устанавливалась в каждой провинции самостоятельно. Опыт установления федеральной ставки налога в виде общественной платы за выбросы углерода начался после принятия 21 июня

2018 г. федерального закона о ценообразовании за выбросы парниковых газов [9]. Сначала размер налога составлял 10 долл., как и ранее устанавливалось в ряде провинций, а затем ставка ежегодно увеличивалась ещё на 10 долл. В апреле 2022 г. налог был равен 50 кан. долл., а к 2030 г. предусмотрено, что он составит 170 кан. долларов.

РАЗМЕРНОСТЬ СТАВКИ ДИСКОНТИРОВАНИЯ

Если ставка налога на выбросы углерода не меняется в течение нескольких лет, то при проведении расчётов необходимо текущую ставку налога соответствующим образом дисконтировать. Вопрос в размерности величины дисконта. По поводу установления взаимосвязи между социально-экономическими показателями и выбросами CO₂ велась острая дискуссия, в которой участвовали представители академической науки из Йельского университета, Лондонской школы экономики, включая нобелевских лауреатов.

Было опубликовано большое количество работ, посвящённых различным сценариям установления ставки, её значимости (от 1,5% до 4,25%), постоянства применения (стабильная, плавающая), рисков по активам, горизонта планирования климатических изменений. Наиболее примечательные соображения были сфокусированы в работах [William D. Nordhaus, 2017]; [Nicholas Stern, 2008]; [Frank Ackerman, 2007].

Основываясь на аргументации, приводимой оппонентами по дискуссиям, мы посчитали целесообразным использовать в расчётах ставку дисконтирования в размере 3% годовых. Считаем, что она до последнего времени в наибольшей степени была привязана к средним темпам роста потребления на душу населения.

ВЗАИМОСВЯЗЬ ВЫБРОСОВ CO₂ И СБЕРЕЖЁННЫХ ЖИЗНЕЙ

Одним из ключевых компонентов, оказывающих влияние на величину социально-экономического эффекта, который возникает при замещении в электроэнергетике ветром и солнцем угля и нефти лежит экономическая стоимость жизни людей. Вкупе с социальной стоимостью углерода, эти компоненты напрямую взаимосвязаны с процессом сокращения вредных выбросов CO₂. Это принципиально важное обстоятельство для осуществления эффективной государственной политики в электроэнергетике, здравоохранение, экологии, во многих сферах жизнедеятельности.

Результаты исследований российских учёных показали, что снижение выбросов углерода на каждые 3,5 тыс. т сохраняют одну человеческую жизнь [1]. В исследовании, выполненном учёными в Массачусетском технологическом институте (MIT), на примере Китая были смоделированы три сценария по сокращению выбросов CO₂ и взаимосвязанную с этим процессом преждевременную смертность населения из-за выбросов углерода в атмосферу [Mingweq Li, Da

Zhang, Valerie J. Karplus, et al., 2018]. В этом исследовании акцентировалось внимание на нормативе, согласно которому на одну преждевременную смерть приходится 7,615 тыс. т выбросов CO₂.

В статье доктора Бресслера, исследователя из Колумбийского университета (США), отмечается, что на каждые 4,434 тыс. т выбросов CO₂ в мире умирает один человек [R. Daniel Bressler, 2021].

Мы считаем, что специалисты МГТ наиболее близко подошли к установлению пропорций, с помощью которых можно определить реальный уровень ущерба от выбросов CO₂ в атмосферу и тем самым установить размеры социально-экономического эффекта от сокращения этих выбросов.

В нашем исследовании мы использовали наименее оптимистичный сценарий МГТ для Китая, поскольку он, по нашему мнению, в большей степени соответствует сложившимся реалиям сокращения выбросов углекислого газа – на одну преждевременную смерть приходится 7,615 тыс. т выбросов CO₂. При определении частного от деления замещаемых токсичных выбросов на величину этого показателя получается наименьшая величина сбережённых от преждевременной смерти жизней. Это позволяет осуществлять расчёты по минимальному уровню.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ СТОИМОСТЬ ЖИЗНИ

Наиболее важным для общих итогов является определение экономической стоимости жизни. Один из наиболее известных в мире специалистов в этой области – профессор Гарвардского университета Уильям Вискуси. В его многочисленных публикациях представлен анализ факторов, которые оказывают влияние на значения экономической стоимости жизни, моделируются рассматриваемые процессы и отмечается, что показатели существенно дифференцированы по странам в зависимости от уровней доходов. Приводятся данные Всемирного банка по экономической стоимости жизни почти по всем странам мира. Так, в Канаде она составляет 8,179 млн долл. США [W. Kip Viscusi, Clayton J. Masterman, 2017]. В более поздних статьях Вискуси не пересматривает ранее приведённые показатели. Вместе с тем необходимо обязательно осуществлять дисконтирование величины экономической стоимости жизни.

Определяя расходы на здравоохранение, связанные с выбросами CO₂, автор обратился к докладу Европейского бюро ВОЗ «Экономические издержки воздействия загрязнения воздуха на здоровье человека в Европе». В докладе отмечалось, что расходы на здравоохранение, связанные с сопутствующими заболеваниями на континенте, составляют 10% ущерба, причинённого в результате преждевременной смерти людей из-за выбросов вредных веществ [2]. При проведении расчётов автор использовали данные ВОЗ. Они позволяют осуществить сопоставление дополнительных расходов на здравоохранение, возникающих из-за выбросов CO₂.

РАСЧЁТ ЭФФЕКТА ОТ ЗАМЕЩЕНИЯ ВЕТРЯНОЙ И СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИЕЙ УГЛЯ И НЕФТИ В КАНАДЕ

В проведенном автором исследовании был использован метод расчёта выбросов CO₂, который длительное время применяется в годовых аналитических отчётах «Бритиш петролеум», в том числе для Канады. Этот метод основывается на стандартных глобальных средних коэффициентах конверсии, составленных на основе среднего содержания углерода: нефть на уровне 73 300 кг CO₂ на TJ (3,07 т на тонну нефтяного эквивалента); природный газ на уровне 56 100 кг CO₂ на TJ (2,35 т на тонну нефтяного эквивалента); и угля на уровне 94 600 кг CO₂ на TJ (3,96 т на тонну нефтяного эквивалента) [4]; [3].

Таблица 1

Показатели, определяющие эмиссионно-углеродную деятельность в электроэнергетике Канады

Показатель	Строка	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Производство электроэнергии за счёт всех ископаемых источников энергии, из-за которых происходили выбросы CO ₂ , ТВт•ч	1	130,8	122,8	121,7	120,8	115,1	117,5
Выработка электроэнергии за счёт ветряной и солнечной энергии, ТВт•ч	2	34,9	36,1	36,9	37,0	39,9	40,3
Выбросы CO ₂ , предотвращённые замещением угля и нефти ветряной и солнечной энергией, млн т	3	15,9	16,7	14,7	13,7	12,5	12,5

Каждый показатель в Табл. 1 и в Табл. 2 указан автором как соответствующая строка в этих таблицах. Это упростит понимание алгоритма проведения расчетов.

Выбросы CO₂, предотвращённые замещением угля и нефти ветряной и солнечной энергией (строка 3, Табл. 1), посредством следующего алгоритма действий. Сначала фиксируем производство электроэнергии за счёт угля в ТВт•ч и определяем объём производства в млн тонн. Пересчёт ведётся по нормативу, который используется в отчётах «Бритиш петролеум», посредством деления объёма в ТВт•ч на 4,40 [4]. Затем рассчитываем выбросы CO₂ за счёт угля при производстве электроэнергии в млн т путём умножения предыдущего результата на 3,96. Далее через удельный вес выясняем долю выбросов CO₂ за счёт угля в общем объёме выбросов при производстве электроэнергии ископаемыми источниками энергии. Зная выработку электроэнергии за счёт ветряной и солнечной энергии (строка 2, Табл. 1), определяем размер замещения угля ветряной и солнечной энергией. Аналогичным образом осуществляем расчёт и по нефти. По-

лученные результаты суммируются и получаем значение, отражённое в строке 3, Табл. 1.

Как видно из табл. 1, производство электроэнергии за счёт всех ископаемых источников энергии, из-за которых происходили выбросы CO₂, превосходило выработку электроэнергии за счёт чистой ветряной и солнечной энергии в 2016 г. в 3,75 раза, а в 2021 г. – в 2,92 раза, то есть за шесть лет разрыв между токсичными и чистыми генерациями в электроэнергетике Канады сократился более чем на четверть.

Таблица 2

Выгоды от замещения ветряной и солнечной энергией угля и нефти в Канаде

Показатель	Строка	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Количество сбережённых жизней, человек	1	2088	2193	1943	1799	1642	1642
Экономическая стоимость сбережённых жизней, млрд долл. США	2	17,08	18,47	16,86	16,08	15,11	15,57
Расходы на поддержание здоровья, млрд долл. США	3	1,71	1,85	1,69	1,61	1,51	1,56
Расходы на экологию без уплаченного налога за предотвращенные выбросы, млрд долл. США	4	1,18	1,32	2,81	2,59	2,36	2,41
Всего сбережено ресурсов, млрд долл. США	5	19,97	21,64	21,36	20,28	18,98	19,54

В табл. 2 количество сбережённых жизней при замещении ветряной и солнечной энергией (строка 1) рассчитывается по годам путём деления данных, отражённых в строке 3, Табл. 1, на 7,615 тыс. т, то есть на показатель, взятый автором за основу из результатов исследования Массачусетского технологического института. Затем полученные показатели по углю и нефти складываются.

Экономическая стоимость сбережённых жизней (строка 2, Табл. 2) определяется по годам с учётом трёхпроцентной ставки дисконтирования. Расходы на здравоохранение (строка 3, Табл. 2) составляют 10% экономической стоимости жизней.

Расходы на экологию без уплаченного налога за предотвращенные выбросы CO₂ (строка 4, Табл. 2) определяются путём перемножения величины выбросов CO₂, предотвращённых замещением угля и нефти ветряной и солнечной энергией (строка 3, Табл. 1) на дисконтированное значение норматива реальной ставки социального налога на выбросы 1 т CO₂, уменьшенной на фактические

выплаты по этому налогу по действующей в стране ставке на соответствующий год.

Таким образом, общая сумма сбережённых ресурсов (строка 5, Табл. 2) складывается из тех значений, которые отражены в строках 2, 3, 4, Табл. 2.

Как показали результаты проведённого анализа с учётом экономической стоимости жизней, дополнительных расходов на здравоохранение, ставки социального дисконтирования, платы за выбросы углерода, в Канаде в течение 2016–2021 гг. удалось предотвратить, и это самое главное, преждевременную смерть 11 307 человек. Сопоставив полученный показатель с численностью населения страны, мы определил, что в результате замещения угля и нефти ветряной и солнечной энергией от преждевременного летального исхода были спасены 5,1 человека на 10 тыс. жителей страны. Общая экономия ресурсов по трём основным компонентам за этот период составила почти 122 млрд долл. США.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В среднем ежегодно за рассматриваемый период экономические выгоды, полученные от ресурсосбережения от сокращения выбросов CO₂ в атмосферу за счёт замещения ветряной и солнечной энергией угля, составили в Канаде более 20 млрд долл. США.

Полученные в результате аналитического исследования результаты свидетельствуют не только о социально-экономическом эффекте, но ещё и о необходимости более рационально использовать углеводородные ресурсы.

Рост ветряной и солнечной генераций определяется и быстрым сокращением цен, и значительным ростом новых вводимых производственных мощностей, что предопределяет формирование экономических предпочтений при выборе наиболее подходящих генераций. Оба направления тесно взаимосвязаны и взаимообусловлены.

В условиях энергетического кризиса угольные шахты частично стали расконсервировать для временного замещения менее углеродоёмкого природного газа на электростанциях. Полагаю, что это временная и вынужденная мера, сопряжённая с негативными экологическими последствиями, которые, конечно, приведут к людским и экономическим потерям.

Как показало проведённое исследование, ещё на протяжении определённого периода у ископаемых источников энергии будет оставаться одно важное преимущество по сравнению с возобновляемыми источниками энергии – его использование позволяет постоянно подавать электричество в сеть. Расширение рынка накопителей энергии позволит ветру и солнцу добиться окончательного превосходства. По другим параметрам (сокращение выбросов CO₂, сохранение жизней и сопутствующее снижение расходов на здравоохранение и экологию, стоимость электроэнергии) ветер и солнце являются более привлекательными генерациями по сравнению с углем и нефтью.

ИСТОЧНИКИ

1. Авалиани С., Голуб А., Дудек Д., Струкова Е., Сафонов Г., Сапаров М. (2009) Дополнительные выгоды от снижения выбросов парниковых газов в России // Информационно-аналитический бюллетень «Жизнь в атмосфере парниковых газов». Институт консалтинга экологических проектов, 2009. 16 с. Available at: <http://eco-project.org/upload/2009/life-gaz.pdf> (accessed: 12.12.2022).
2. Air pollution costs Europeans 1.6 trillion annually. USD. April 28, 2015. Available at: <http://www.finmarket.ru/news/4004423> (accessed: 24.10.2022)
3. Carbon Dioxide (CO₂) Emmissions - Total Europe. Available at: https://data.nasdaq.com/data/BP/CO2_EMITTIONS_EUR-carbon-dioxide-co2-emmissions-total-europe (accessed: 14.12.2022).
4. BP Statistical Review of World Energy 2019. 64 P. Available at: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf> (accessed: 14.12.2022).
5. BP Statistical Review of World Energy, June 2022 Available at: <http://www.bp.com/statisticalreview> (Accessed: 12.12.2022).
6. Chestney N., Abnett K., Twidale S. Europe's Carbon Price Nears the 100 Euro Milestone. London/Brussels. Reuters, 4 February, 2022. Available at: <https://www.reuters.com/business/energy/europes-carbon-pricenears-100-euro-milestone-2022-02-04/> (accessed: 12.12.2022).
7. Dattaro L. The Economic Cost of Carbon Pollution Is Much Greater Than Estimated, Say Stanford University Researchers, VICE Media Group, 2015. Available at: https://www.vice.com/en_us/article/xwpjka/theeconomic-cost-of-carbon-pollution-is-much-greater-than-estimated-say-stanford-university-researchers (accessed: 12.12.2022).
8. Evans S. The Swiss Company Hoping to Capture 1% of Global CO₂ Emissions by 2025. Carbon Brief, 2017. Available at: <https://www.carbonbrief.org/swiss-company-hoping-capture-1-global-co2-emissions-2025/> (Accessed: 14.12.2022).
9. Greenhouse Gas Pollution Pricing Act, S.C. 2018, c. 12, s. 186, Assented to 2018-06-21. Government of Canada, Justin Law Website, Available at: <https://laws.justice.gc.ca/eng/acts/G-11.55/FullText.html> (accessed: 31.12.2022).
10. High costs when environmental protection is neglected. – Umwelt Bundesamt, 20.11.2018. Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/en/press/pressinformation/high-costs-when-environmental-protection-is> (Accessed: 14.12.2022)
11. IEA (2022) Renewables 2022. Analysis and Forecast. December 2022. 159 P. Available at: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/64c27e00-c6cb-48f1-a8f0-082054e3ece6/Renewables2022.pdf> (accessed: 14.12.2022).
12. IRENA (2022), Renewable Power Generation Costs in 2021. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2022. 204 P. Available at:

<https://www.irena.org/>-

[/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jul/IRENA_Power_Generation_Costs_2021.pdf](#) (accessed: 12.12.2022).

13. Key World Energy Statistics – 2021. – IEA, September, 2021, 80 p. Available at: <http://iea.blob.core.windows.net/assets/52f66a88-0b63-4ad2-94a5-29d36e864b82/KeyWorldEnergyStatistics2021.pdf> (accessed: 12.12.2022).

14. Koenig D., Walker J. \$5 gas is here: AAA says nationwide average hits new high. – AP News, June 11. 2022. Available at: <https://apnews.com/fdcf2e9fbb835cd9bc3886b8dc4a7bc0> (accessed: 15.12.2022).

15. Wagner G. The True Price of Carbon / Project Syndicate – 2020, 28 Feb. 2020. Available at: <https://www.projectsyndicate.org/commentary/calculating-true-price-of-carbon-by-gernot-wagner-1-2020-02?barrier=accesspaylog> (accessed: 12.12.2022).

16. World Bank. State and Trends of Carbon Pricing 2021. Washington, DC: World Bank, 2021, 87 p. Available at: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/> (accessed: 12.12.2022).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Газман В.Д. (2022) Потенциал возобновляемой энергетики: монография. ИД ВШЭ, Москва, Россия, 359 с. doi: 10.17323/978-5-7598-2573-9

Смил В. Энергия и цивилизация: от первобытности до наших дней. М.: Эксмо, 2020, 480 с.

REFERENCES

Christoph Kost, Shivenes Shamugam, Verena Julch, NguenTran Nguen, Thomas Schlegl Levelized Cost of Electricity Renewable Energy Technologies. Freiburg: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE), 2018, March. 42 P. Available at: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/EN2018_Fraunhofer-ISE_LCOE_Renewable_Energy_Technologies.pdf (accessed: 12.12.2022).

Frank Ackerman (2007) Debating Climate Economics: The Stern Review vs. Its Critics Report to Friends of the Earth-UK - Global Development and Environment Institute, Tufts University, USA, July 2007. 24 P. Available at: <https://www.bu.edu/eci/files/2019/06/SternDebateReport.pdf> (accessed: 08.02.2023).

Gazman Victor D. Renewable Energy Potential: monograph. – Moscow: HSE Publishing House, 2022. – 359 pp. doi: 10.17323/978-5-7598-2573-9

Katharine Ricke, Laurent Drouet, Ken Caldeira, Massimo Tavoni (2018) Country-level social cost of carbon. - *Nature Climate Change*, 2018, Vol. 8, October. pp. 895-900. doi.org/10.1038/s41558-018-0282-y

Mingweq Li, Da Zhang, Chiao-Ting Li, Kathleen M. Mulvaney, Noelle E. Selin, Valerie J. Karplus (2018) Air quality co-benefits of carbon pricing in China. - *Nature Climate Change*, Vol. 14, no. 8, pp. 398–403. (Doi: 10.1038/s41558-018-0139-4)

Nicholas Stern (2008) Key Elements of a Global Deal on Climate Change / The London School of Economics and Political Science. 2008. 56 P.

<https://doi.org/10.1073/pnas.1609244114> Available at:

[http://eprints.lse.ac.uk/19617/1/Key_Elements_of_a_Global_Deal-](http://eprints.lse.ac.uk/19617/1/Key_Elements_of_a_Global_Deal-Final_version%282%29_with_additional_edits_post_launch.pdf)

[Final_version%282%29_with_additional_edits_post_launch.pdf](http://eprints.lse.ac.uk/19617/1/Key_Elements_of_a_Global_Deal-Final_version%282%29_with_additional_edits_post_launch.pdf) (accessed: 12.12.2022).

R. Daniel Bressler. The mortality cost of carbon - *Nature Communications* (2021) vol. 12: 4467 <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24487-w> Available at:

<https://www.nature.com/articles/s41467-021-24487-w> (accessed: 31.12.2022).

Simon Dietz, Nicholas Stern (2015) Endogenous Growth, Convexity of Damage and Climate Risk: How Nordhaus' Framework Supports Deep Cuts in Carbon Emissions. - *The Economic Journal*, Vol. 125, no. 583, March 2015, pp. 574-620. (<https://doi.org/10.1111/eoj.12188>).

Smil V. Energy and Civilization: A History. - Moscow: Eksmo, 2020. - 480 pp.

Simon Dietz, Nicholas Stern (2015) Endogenous Growth, Convexity of Damage and Climate Risk: How Nordhaus' Framework Supports Deep Cuts in Carbon Emissions. - *The Economic Journal*, Vol. 125, no. 583, March 2015, pp. 574-620. (<https://doi.org/10.1111/eoj.12188>).

William D. Nordhaus (2017) Revisiting the social cost of carbon. PNAS, National Academy of Sciences of the United States of America, January 31, 2017, pp. 1518-1523. Available at: <https://www.pnas.org/content/114/7/1518> (accessed: 12.12.2022).

W. Kip Viscusi, Clayton J. Masterman (2017) Income Elasticities and Global Values of a Statistical Life. Cambridge University Press, *Journal of Benefit-Cost Analysis*, 2017, Vol. 8, no 2, pp. 226-250. doi:10.1017/bca.2017.12

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

ГАЗМАН Виктор Давидович , кандидат экономических наук, профессор факультета экономических наук, Национального исследовательского Университета «Высшая школа экономики», Российская Федерация, 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20.	Victor D. GAZMAN , Candidate of Sciences (Economics), Professor of the Faculty of Economic Sciences / Department of Financial Market Infrastructure. National Research University Higher School of Economics. 20 Myasnitskaya str., 101000, Moscow, Russia/
---	--

Статья поступила в редакцию / Received 15.01.2023.

Поступила после рецензирования / Revised 30.01.2023.

Статья принята к публикации / Accepted 2.02.2023.