

УДК 620.92

DOI: 10.5281/zenodo.10066028

Учет факторов изменения климата при прогнозировании цен на природный газ в ЕС

¹Бушуев Виталий Васильевич^[0000-0001-9288-4699]
^{1,2}Соловьев Дмитрий Александрович^[0000-0001-5591-3067],

¹Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН),
г. Москва, Россия

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

E-mail: vital@guies.ru, solovev@ocean.ru

Аннотация. В статье выполнен нейронный прогноз газовых цен в Европе на текущий год и на перспективу до 2030 г. Проведен анализ связи газовых цен и роста глобальной температуры, эмиссии CO₂ и скорости ветра. Ожидаемое снижение цен на газ в Европе в 2023 году может произойти из-за снижения спроса, вызванного более теплой погодой. Показано, что рынок газа подвержен различным факторам, таким как погода, спрос и предложение, а также влиянию геополитических событий, что может вызывать колебания цен и создавать риски для рынка. Кроме того, статья подчеркивает необходимость борьбы с изменением климата и принятия мер по сокращению выбросов CO₂, так как, согласно выполненным прогнозам динамики климатических аномалий, глобальное потепление превысит цели Парижского соглашения, если не будут предприняты дополнительные действия. Анализируется также взаимосвязь между ценами на газ, температурой воздуха и скоростью ветра, при этом отмечается положительная корреляция между скоростью ветра и ценами на газ в Европе. Статья подчеркивает важность усилий по сокращению выбросов CO₂ и разработке адаптационных мер для изменения климата на Европейском континенте.

Ключевые слова: газовый рынок ЕС, природный газ, нейронное прогнозирование, глобальное потепление, климат, газовый рынок ЕС

1 Введение

В последние годы нейронные сети стали мощным инструментом в области прогнозирования, и экономика не стала исключением. Они успешно применяются для прогнозирования различных экономических переменных, включая

цены на энергоресурсы, а так же их можно использовать для прогнозирования и других периодически меняющихся процессов, например, в сфере экологии и климата [1].

Прогнозирование цен на энергоресурсы, в том числе природный газ, является сложной задачей, которая зависит от множества факторов, включая спрос и предложение, погодные условия, геополитические события и другие экономические переменные. Нейронные сети позволяют обрабатывать и анализировать большие объемы данных, выявлять сложные взаимосвязи и создавать более точные прогнозы.

Одним из основных преимуществ нейронного прогнозирования в экономике является его способность улавливать нелинейные зависимости и обрабатывать большое количество информации. Нейронные сети могут использовать данные о прошлых ценах на газ, экономических показателях, погодных условиях и других факторах для прогнозирования будущих цен. Они могут обнаруживать скрытые закономерности и тренды, что помогает улучшить качество прогнозов.

Однако, прогнозирование цен на природный газ с использованием нейронных сетей также имеет свои ограничения. Нейронные сети требуют большого объема данных для обучения и могут страдать от проблемы переобучения, если используемые данные недостаточно репрезентативны или содержат шум. Кроме того, экономические рынки могут быть подвержены внезапным изменениям и неожиданным событиям, которые могут исказить прогнозы.

Для создания нейросетевой модели была реализована многослойная архитектура нейронной сети с обратным распространением ошибки [2]. Кроме того, в связи с большим количеством взаимосвязанных факторов на рынке, в данных программных продуктах существует возможность «подмешивания» других параллельных входов, тем самым учитывая влияние коррелированных процессов, связанных в т.ч. с учетом климатических факторов.

Для того, чтобы построить прогноз некоторой функции $F1$, мы должны подать на вход нейросети f точек, и считать $f+1$ -ю точку с выхода нейросети.

Тем не менее, перед подобным вычислением следует определиться с топологией сети, её типом, и обучить её.

В нашем случае используется персептрон с обратным распространением ошибки. Каждый из нейронов одного слоя (кол-во нейронов = i) соединён с каждым из нейронов соседнего слоя (кол-во нейронов = j), образуя $i*j$ связей (синапсов). Каждый синапс обладает некоторым весом – значимостью выхода предыдущего нейрона к последующему. Так, нейрон с большим весом будет наиболее сильно влиять на выходное значение нейронов в следующем слое, связанных с ним.

Выход (OUT) каждого нейрона определяется как сумма входных весов помноженных на соответствующие входные сигналы (Sum(IN)) и пропущенные через функцию активации. Функция активации, как правило, выбирается экспоненциальной: $OUT = 1/(1 + \exp(-\text{Sum}(\text{IN})))$. Однако, многочисленные численные эксперименты позволяют нам сделать вывод о том, что предварительное выявление структурных (внутренних) закономерностей заданного временного ряда, в частности, волнами Эллиотта, позволяет выявить сначала скрытые закономерности в

данных, и затем уже, на основе имеющихся выявленных закономерностей формировать вид активационной функции, которая имеет различный вид на различных временных интервалах прогнозирования. Описание структуры нейронной модели и алгоритма ее работы было представлено в работе [3].

Цель настоящей работы заключается в разработке прогностической модели, использующей нейронные сети или другие методы машинного обучения, для прогнозирования будущих цен на газ в ЕС (построения краткосрочного на текущий год и долгосрочного прогноза до 2030 г.) и в исследовании взаимосвязи между ценами на газ в Европейском союзе (ЕС) и факторами, влияющими на них, такими как глобальное потепление, уровень выбросов углекислого газа (CO₂) и скорость ветра. Статья направлена на понимание влияния этих факторов на цены на газ в ЕС и предсказание будущих трендов. Поэтому, проводится анализ данных о прошлых ценах на газ в ЕС, а также собирают информацию о глобальной температуре, уровне выбросов CO₂ и скорости ветра.

В результате этой работы мы сможем ответить на вопрос, как изменение глобальной температуры, уровня CO₂ и скорости ветра может повлиять на будущие цены на газ в ЕС, и предоставить полезные выводы и рекомендации для рынка газа и энергетических компаний. Это имеет важное практическое значение, поскольку предоставление точных прогнозов цен на газ в ЕС и понимание взаимосвязи с факторами, связанными с изменением климата, позволяет участникам рынка принимать более обоснованные решения, планировать свою деятельность и адаптироваться к изменяющимся условиям. Это также может способствовать разработке более устойчивых и экологически эффективных энергетических стратегий стран экспортеров и импортеров природного газа.

2 Анализ прогнозной и фактической сравнительной динамики газовых цен на спотовом рынке ЕС

В качестве источников получения исходных данных для составления нейронного прогноза цен на природный газ ЕС использовались данные портала ProFinance [4] и Gas Infrastructure Europe – AGSI [5].

На **рис. 1 и 2** показаны графики для прогноза среднемесячных цен на природный газ ЕС от мая 2023 г. и уровня заполнения подземных хранилищ природного газа ЕС, ТВтч, ср. мес. - от 20.05.2023 (фактические цены ср.месяч на 18.05.2023).

Майские прогнозы 2023 г. о более теплой погоде в некоторых частях Европы привели к снижению спроса на газ, что вызвало снижение цен. Фьючерсы на ближайшие месяцы достигли самого низкого уровня с июня 2021 года, составляя менее одной десятой от рекорда, установленного в прошлом году.

Однако, стоит отметить, что на континенте сохраняется риск перебоев с поставками газа. Несмотря на это, расширение возможностей импорта сжиженного природного газа (СПГ), экономия спроса со стороны промышленности и домохозяйств, а также хорошие запасы газа способствовали улучшению ситуации на рынке в конце прошлого года и в начале 2023 года.

Цены на голландский фьючерс TTF и эквивалент Великобритании на поставку газа также снизились. При этом цены на природный газ в США также снижаются из-за ожидания увеличения запасов.

В целом, рынок природного газа подвержен влиянию множества факторов, включая погодные условия, спрос и предложение, а также геополитические события. Эти факторы могут вызывать колебания цен на газ и создавать риски для рынка.

Таблица 1. Природный газ в ЕС (TTF), 2023.

Дата	Природный газ в ЕС (TTF) ср. мес., USD/ тыс.,м3* - прогноз от 20.05.2023
01.01.2023	708,8
01.02.2023	579,4
01.03.2023	488,4
01.04.2023	474,1
01.05.2023	392,4
01.06.2023	374,9
01.07.2023	372,0
01.08.2023	236,9
01.09.2023	250,7
01.10.2023	268,8
01.11.2023	246,0
01.12.2023	149,1

Источник: расчеты авторов, [4].



Рис. 1. Сравнительный прогноз среднемесячных цен на природный газ ЕС от 20.05.2023 (фактические цены ср.месяц на 18.05.2023).

Источник: расчеты авторов, [4].

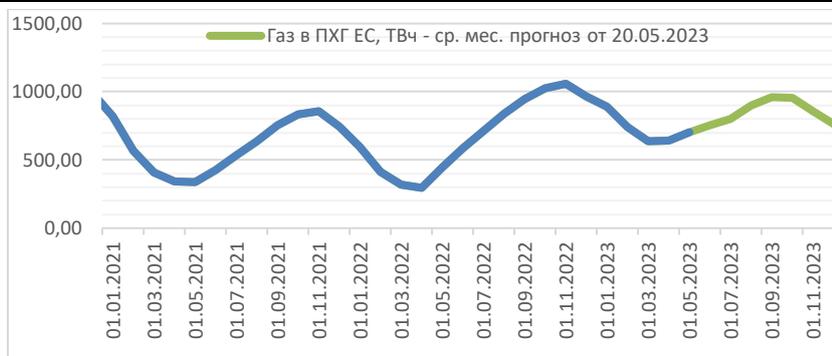


Рис. 2. Прогноз уровня заполнения подземных хранилищ природного газа ЕС, ТВтч, ср. мес. - от 20.05.2023 (фактические цены ср.месяч на 18.05.2023).

Источник: расчеты авторов, [5].

Согласно представленным в Табл.1 прогнозам газовых цен в ЕС (ТТФ) ср. мес., USD/ тыс,м³, цены на природный газ в Европе снижаются с января по декабрь 2023 года. Самый высокий уровень цен наблюдается в январе (708,8 долларов за тысячу кубометров), а самый низкий - в декабре (149,1 доллара за тысячу кубометров).

Согласно данным Табл.1, средняя цена на газ в Европе в 2023 году составит 312,5 долларов за тысячу кубометров.

По данным рейтингового агентства Fitch, средняя цена на газ в Европе в 2023 году составит 706 долларов за тысячу кубометров, что вдвое выше, чем по нашим прогнозам. Fitch понизило свой прогноз из-за более высоких, чем ожидалось, уровней газа в европейских хранилищах (рис.2). Однако агентство ожидает, что рынок в Европе будет сбалансирован в 2023 году, хотя волатильность цен может сохраниться.

По данным газеты «Ведомости», средняя цена на газ в Европе в 2023 году составит 400 долларов за тысячу кубометров, что ближе к нашим прогнозам. Эксперт маркетплейса «Финмир» Антон Кравцов допускает, что цены на газ в Европе могут упасть до этого уровня из-за сокращения спроса и увеличения поставок СПГ. Однако он также ожидает «отскока» вверх до 565-580 \$ за тысячу кубометров в ближайшее время.

По данным газеты «Коммерсант», средняя цена на газ в Европе в 2023 году составит 38 долларов за тысячу кубических футов, что эквивалентно 1344 долларам за тысячу кубометров. Это самый высокий прогноз среди рассмотренных источников. Газета ссылается на данные Fitch, но не уточняет, какой период они охватывают. Возможно, это прогноз на начало 2023 года, когда цены на газ могут быть еще высокими из-за холодной погоды и низких запасов.

Прогнозы цен на газ в Европе на 2023 год сильно разнятся в зависимости от источника и методологии. Наш прогноз является одним из самых низких и оптимистичных для ЕС, но он может быть близок к реальности, если в Европе будет теплая погода, высокий уровень хранения и поставок газа и низкий спрос на энергию. Однако не стоит исключать возможность повышения цен на газ в случае холодной зимы, перебоев с поставками, геополитических рисков или увеличения спроса в Азии.

В качестве вывода, который основывается на текущих прогнозных расчетах газовых цен в ЕС, можно предположить, что газовый рынок в Европейском союзе (как и нефтяной) будут стабилизироваться и не подвергаться значительным глобальным колебаниям. Флуктуации на газовом рынке скорее будут иметь локальный характер, и нет оснований пересматривать данный вывод, который был представлен также и в предыдущих отчетах.

Таблица 2. Природный газ в ЕС (TTF), 2022-2030

Дата	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Природный газ в ЕС (TTF) ср. мес., USD/тыс.м ³ - прогноз от 20.05.2023	1414,0	378,4	200,9	198,5	166,2	137,0	269,7	129,9	305,2

Источник: расчеты авторов, [4].

В Таблице 2 показаны данные о среднемесячных ценах на природный газ в ЕС (TTF) в долларах США за тысячу кубических метров с 2022 по 2030 годы.

Анализ данных этой таблицы показывает, что среднемесячные цены на природный газ в ЕС (TTF) в долларах США за тысячу кубических метров сильно снизятся с 2022 по 2024 годы, а затем возрастут с 2025 по 2030 годы. Самая высокая цена на природный газ в ЕС (TTF) была в 2022 году — 1414 долларов США за тысячу кубических метров. Всплеск цены 2022 года был вызван низкими запасами, высоким спросом, погодными условиями и политическими решениями вокруг ситуации на Украине. Самая низкая цена на природный газ в ЕС (TTF) ожидается в 2029 году — 129,9 долларов США за тысячу кубических метров. Это может быть связано с увеличением поставок газа в Европу, восстановлением запасов и снижением спроса на газ из-за перехода к более чистым источникам энергии. Средняя цена на природный газ в ЕС (TTF) за весь период с 2022 по 2030 годы составляет 312,8 долларов США за тысячу кубических метров. Это ниже, чем текущая цена на газ в Европе, которая составляет около 357 долларов США за тысячу кубических метров. Коэффициент корреляции между датой и ценой на природный газ в ЕС (TTF) равен -0,15, что означает, что нет сильной линейной связи между этими переменными. Это означает, что цены на природный газ в ЕС (TTF) не зависят только от времени, а также от других факторов, которые могут изменяться в разные периоды.

По состоянию на 15 мая 2023 года, фьючерсы на голландский TTF составляли 32,31 евро за мегаватт-час для контрактов с поставкой в июне 2023 года ¹. Это соответствует примерно 357 долларов США за тысячу кубических метров по текущему курсу обмена.

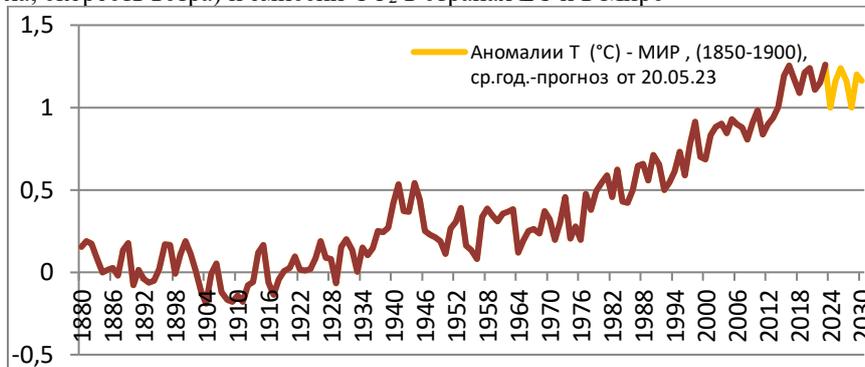
Цены на природный газ в Европе сильно колебались в последние месяцы из-за различных факторов, таких как низкие запасы, высокий спрос, погодные условия и политические решения. Некоторые аналитики ожидают, что цены на природный газ в Европе останутся на текущем уровне до конца 2023 года, а затем начнут снижаться по мере увеличения поставок и восстановления запасов.

Есть высокая вероятность, что потолок цен на газ, установленный ЕС с февраля 2023 года, не повлияет на Россию как на поставщика газа в Евросоюз. Так как Россия продает газ только тем странам, которые у нее в политическом фаворе, а их контракты не зависят от ограниченной ЕС цены на спотовом рынке TTF. Кроме того, Россия по-прежнему продает ЕС сжиженный природный газ (СПГ), занимая второе место по объему поставок после США.

3 Климатические аномалии (температура воздуха, скорость ветра) и эмиссия CO₂ в странах ЕС и в Мире

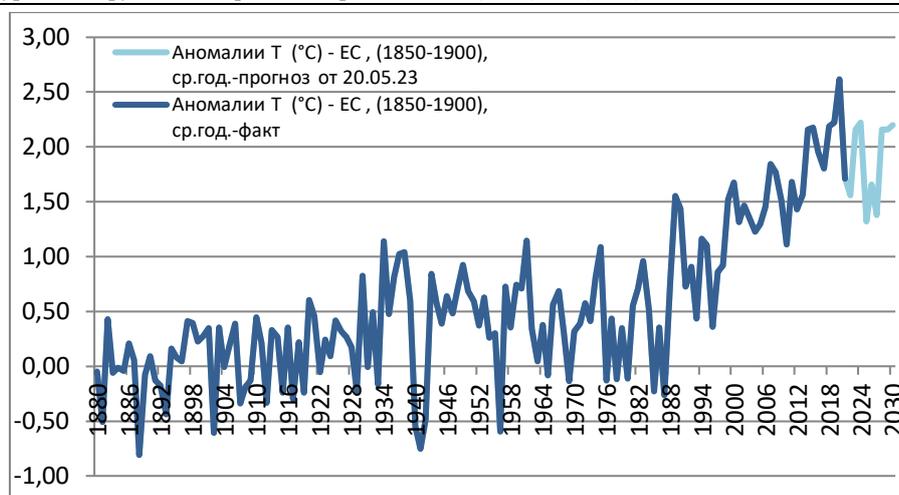
В качестве источников получения исходных данных для составления нейронного прогноза климатических аномалий, использовались данные European Environment Agency [6] и данные реанализов климатических показателей climateranalyser.org [7].

На **рис. 3 -5** показаны прогнозы климатических аномалий (температура воздуха, скорость ветра) и эмиссии CO₂ в странах ЕС и в Мире



(a)

¹ <https://www.statista.com/statistics/1267202/weekly-dutch-ttf-gas-futures/>



(б)

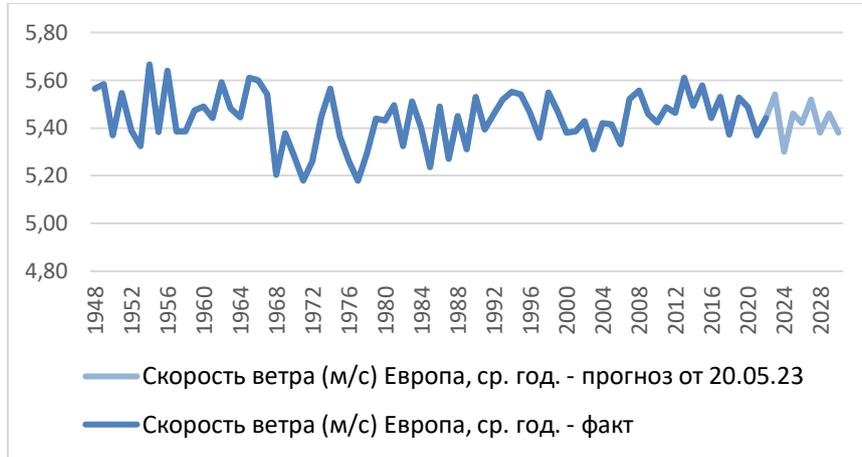
Рис. 3. Температура воздуха (Т) в сравнении с доиндустриальными значениями 1850-1900 (°C) -NOAAGlobalTemp -Парижское соглашение², а – МИР, б – ЕС.

Источник: расчеты авторов, [6].



(а)

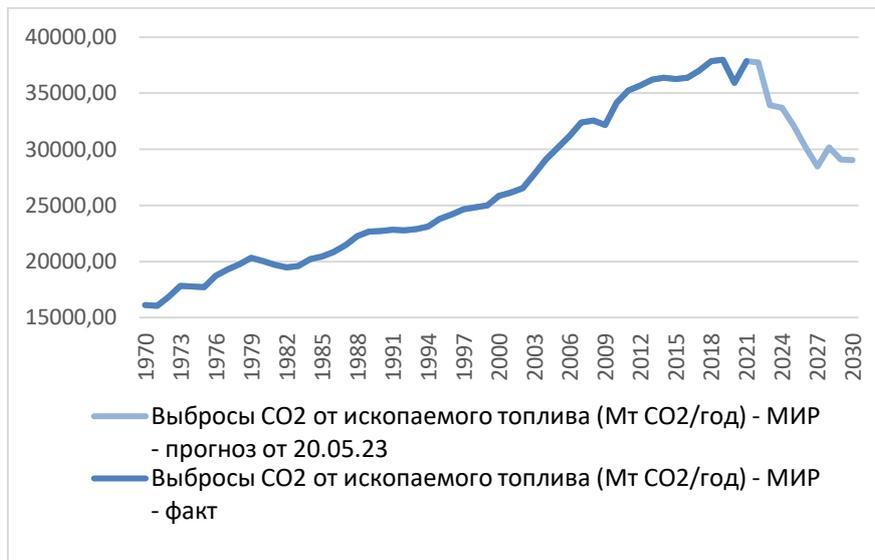
² Парижское соглашение провозгласило целью не допустить превышения глобальной среднегодовой температуры на планете к 2100 году более чем на два градуса Цельсия от доиндустриального уровня и предпринять меры для удержания потепления в пределах 1,5 градуса (в настоящее время средняя температура на 0,75 градусов выше, чем среднегодовые показатели в 1850-1900 гг.).



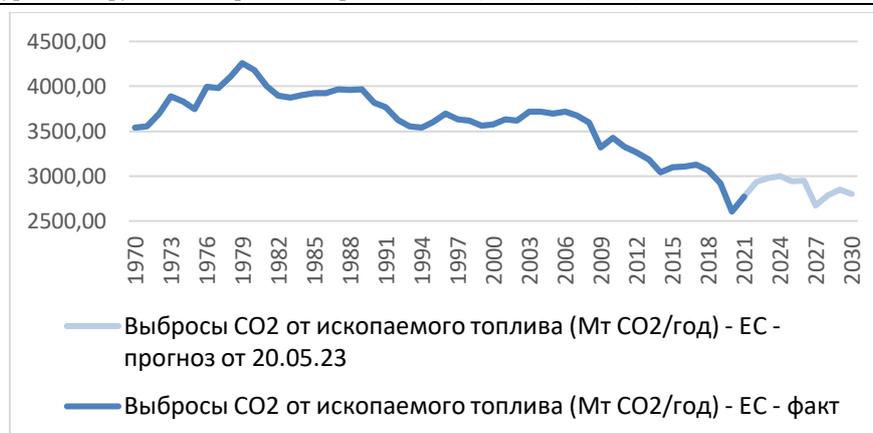
(б)

Рис. 4. Прогноз изменения скорости ветра (м/с) , а – МИР и б – Европа

Источник: расчеты авторов, [7].



(а)



(б)

Рис. 5. Выбросы CO₂ от ископаемого топлива (Мт CO₂/год), а – МИР и б – Европа

Источник: расчеты авторов, [7].

Таблица 3. Т - в сравнении с доиндустриальными значениями 1850-1900 (°C) - Парижское соглашение, 2023-2030

Год	Аномалии Т воздуха (°C) - страны ЕС , (1850-1900), ср.год.-прогноз от 20.05.23	Аномалии Т воздуха (°C) - МИР , (1850-1900), ср.год.-прогноз от 20.05.23
2023	2,16	1,26
2024	2,22	1
2025	1,32	1,16
2026	1,66	1,24
2027	1,38	1,16
2028	2,16	1
2029	2,16	1,2
2030	2,2	1,16

Источник: расчеты авторов, [7].

На рис.3 а и б и Табл.3 представлено сравнение прогнозов температурных аномалий воздуха в Европе и в мире на текущий год. Аномалии Т воздуха в Табл.3 показывает, на сколько градусов цельсия температура воздуха отличается от среднего значения за период 1850-1900 годов в 2023. Парижское соглашение - это международный договор, подписанный в 2015 году, который призывает страны сократить выбросы парниковых газов и ограничить глобальное потепление до 1,5°C к 2100 году.

Нами прогнозируется, что средняя глобальная температура воздуха в 2030 году будет на 1,16°C выше, чем в периоде 1850-1900 годов. Это означает, что мир находится на пути к превышению цели Парижского соглашения в 1,5°C к 2100

году, если не будут предприняты дополнительные меры по сокращению выбросов парниковых газов. Средняя температура воздуха в странах ЕС в 2030 году будет на 2,2°C выше, чем в периоде 1850-1900 годов. Это означает, что Европа испытывает более сильное потепление, чем мир в целом, и должна усилить свои усилия по адаптации к изменению климата и смягчению его последствий.

На рис 4 а и б представлены прогнозы изменения скорости ветра (м/с) в регионе ЕС и в мире до 2030 г.

Таблица 4. Ветер, 2022-2030

Год	Скорость ветра (м/с) МИР, ср. год. - прогноз от 20.05.23	Скорость ветра (м/с) Европа, ср. год. - прогноз от 20.05.23
2022	6,60	5,44
2023	6,46	5,54
2024	6,52	5,3
2025	6,46	5,46
2026	6,52	5,42
2027	6,42	5,52
2028	6,48	5,38
2029	6,48	5,46
2030	6,56	5,38

Источник: расчеты авторов, [7].

Скорость ветра в мире колеблется от 6,42 до 6,60 м/с в период с 2022 по 2030 год. Она имеет небольшой спад в 2023 и 2025 годах, но в целом остается достаточно стабильной. Скорость ветра в Европе колеблется от 5,3 до 5,54 м/с в тот же период. Она имеет небольшой рост в 2023 и 2027 годах, но также остается достаточно стабильной. Скорость ветра в Европе всегда ниже, чем в мире, на примерно 1 м/с. Разница между скоростью ветра в мире и в Европе не имеет явной тенденции к увеличению или уменьшению на заданном горизонте прогнозирования.

Снижение скорости ветра в Европе (Табл.4) относительно максимумов, прогнозируемых в 2023 и 2027 годах может означать возможное уменьшение произ-

водства электроэнергии из ветровых источников, особенно оффшорных. Это может повлиять на стабильность и надёжность энергоснабжения, а также на экономическую эффективность ветроэнергетики. Однако эти факторы зависят не только от скорости ветра, но и от других параметров, таких как направление ветра, плотности воздуха, высота установки ветрогенераторов, характеристики сети и спроса на электричество. Кроме того, существуют различные способы компенсации колебаний скорости ветра, такие как использование гибридных систем с другими видами возобновляемой энергии (например, солнечной), развитие систем хранения энергии, управление спросом и трансграничная кооперация.

Прогнозируемый рост скорости ветра в Европе в 2023 году может означать увеличение производства электроэнергии из ветровых источников, особенно оффшорных и может снизить спрос на газ и нефть в некоторой степени, но не решить проблему высоких цен на эти виды энергии. Для этого необходимо увеличить поставки и запасы газа и нефти, развивать другие виды возобновляемой энергии, повышать энергоэффективность и сотрудничать на международном уровне.

Скорость ветра и аномалии температуры воздуха в ЕС имеют слабую положительную корреляцию (0.25). Это означает, что повышение скорости ветра слегка сопровождается повышением температуры воздуха и наоборот. Это может быть связано с тем, что более сильный ветер переносит тёплый воздух из одних регионов в другие, уравнивая температурные различия. Однако, эта связь не очень сильная, так как на температуру воздуха влияют и другие факторы, такие как альбедо, облачность, циркуляция атмосферы и океанов, вулканическая активность и т.д.

Скорость ветра и цены на природный газ в ЕС имеют среднюю положительную корреляцию (0.54). Это означает, что повышение скорости ветра сопровождается повышением цен на природный газ и наоборот. Это может быть связано с тем, что природный газ используется для резервирования мощностей ВЭС, когда ветер сильный, но нестабилен. Однако, цена на природный газ также зависит от других факторов, таких как температура воздуха, спрос на энергию, предложение природного газа и политика по борьбе с изменением климата, поэтому здесь нельзя говорить об однозначной связи этих двух показателей.

На рис.5 а и б представлены прогнозы уровня выбросов CO₂ от ископаемого топлива (Мт CO₂/год) в регионе ЕС и в мире до 2030 г.

Таблица 5. Выбросы CO₂ от ископаемого топлива, 2021-2030 гг.

Год	Выбросы CO ₂ от ископаемого топлива (Мт CO ₂ /год) - МИР - прогноз от 20.05.23	Выбросы CO ₂ от ископаемого топлива (Мт CO ₂ /год) - ЕС - прогноз от 20.05.23
2021	37857,58	2774,93
2022	37749,22	2935,1
2023	33955,52	2978,36
2024	33695,84	2999,5
2025	32104,12	2942,26
2026	30238,48	2947,78
2027	28444,54	2669,04
2028	30204,56	2786,76
2029	29090,96	2852,46
2030	29041,92	2802,08

Источник: расчеты авторов, [7].

Прогнозы выбросов CO₂ от ископаемого топлива, представленные в Табл.4, в т.ч. для мира показывают общий тренд на снижение с 2021 по 2030 год, за исключением небольшого роста в 2028 году. Самый большой спад произошел между 2022 и 2023 годами, когда выбросы уменьшились на 10%.

Выбросы CO₂ от ископаемого топлива для ЕС также показывают общий тренд на снижение с 2021 по 2030 год, за исключением небольшого роста в 2024 и 2028 годах. Самый большой спад произошел между 2026 и 2027 годами, когда выбросы уменьшились на 9.4%.

Согласно прогнозу доля выбросов CO₂ от ископаемого топлива ЕС в мировых выбросах колеблется от 7.3% в 2021 году до 9.6% в 2030 году. Это означает, что ЕС сокращает свои выбросы медленнее, чем мир в целом.

В целом, таблица показывает положительную динамику в борьбе с изменением климата, но для достижения цели Парижского соглашения ограничить глобальное потепление до 1.5°C этого не будет достаточно (рис.3).

Анализируя данные роста аномалий T и выбросов CO_2 для ЕС и Мира (Табл. 3 и 5) можно сделать следующие выводы:

Для ЕС, аномалии температуры воздуха и выбросы CO_2 от ископаемого топлива имеют слабую отрицательную корреляцию (-0.33). Это означает, что снижение выбросов CO_2 не приводит к значительному понижению температуры воздуха. Наоборот, в 2028 и 2029 годах, когда выбросы CO_2 снижаются, аномалии температуры воздуха растут до максимальных значений ($2.16^{\circ}C$).

Для Мира, аномалии температуры воздуха и выбросы CO_2 от ископаемого топлива имеют сильную положительную корреляцию (0.81). Это означает, что снижение выбросов CO_2 приводит к понижению температуры воздуха. Например, в 2024 году, когда выбросы CO_2 достигают минимального значения (33695.84 Мт CO_2 /год), аномалии температуры воздуха также достигают минимального значения ($1^{\circ}C$).

Эти данные могут быть связаны между собой следующим образом:

Выбросы CO_2 от ископаемого топлива являются одним из основных факторов, влияющих на глобальное потепление. Однако, влияние выбросов CO_2 на температуру воздуха зависит от многих других факторов, таких как альbedo, облачность, циркуляция атмосферы и океанов, вулканическая активность и т.д.

ЕС является одним из регионов, которые наиболее подвержены изменению климата из-за своего географического положения и высокой плотности населения. Поэтому, снижение выбросов CO_2 в ЕС может не быть достаточным для снижения температуры воздуха в этом регионе, если другие регионы продолжают увеличивать свои выбросы CO_2 или если другие факторы усиливают эффект парниковых газов.

Мир в целом показывает более сильную связь между выбросами CO_2 и температурой воздуха, потому что он учитывает все регионы и все факторы, влияющие на климат. Поэтому, снижение выбросов CO_2 на глобальном уровне может привести к снижению глобального потепления и предотвратить опасные последствия для человечества и природы.

Аномалии температуры воздуха и цены на природный газ в ЕС имеют среднюю отрицательную корреляцию (-0.51). Это означает, что повышение температуры воздуха сопровождается понижением цен на природный газ и наоборот. Например, в 2024 году, когда аномалии температуры воздуха достигают второго по величине значения ($2.22^{\circ}C$), цены на природный газ достигают второго по низкости значения (200.87 USD/тыс.м³).

Выбросы CO_2 от ископаемого топлива и цены на природный газ в ЕС имеют сильную отрицательную корреляцию (-0.87). Это означает, что снижение выбросов CO_2 сопровождается понижением цен на природный газ и наоборот. Например, в 2022 году, когда выбросы CO_2 достигают максимального значения (2935.1 Мт CO_2 /год), цены на природный газ также достигают максимального значения (1414.03 USD/тыс.м³).

Это объясняется тем, что природный газ является одним из ископаемых топлив, которые выделяют CO_2 при сжигании. Поэтому, потребление природного

газа влияет на уровень выбросов CO₂ в атмосферу. Поэтому, снижение потребления природного газа может привести к снижению выбросов CO₂ и уменьшению его цены.

Цена на природный газ также зависит от спроса, который определяется не только температурой воздуха, но и политикой по борьбе с изменением климата. Поэтому, цена на природный газ может колебаться в зависимости от изменения этих факторов. Например, в 2023 году, когда цена на природный газ резко падает до 378.45 USD/тыс.м³, это может быть связано с увеличением спроса на альтернативные источники энергии, такие как ветер, солнце или биомасса, которые не выделяют CO₂ при производстве электричества.

4 Выводы

Ниже представлены основные выводы, которые получены из анализа данных полученных нами нейронных прогнозов газовых цен на рынке ЕС и факторов наблюдаемых климатических изменений:

- 1) Ожидается, что цены на газ в Европе будут снижаться в течение 2023 года, особенно из-за снижения спроса на газ из-за более теплой погоды.
- 2) Средняя цена на природный газ в ЕС (TTF) за весь период с 2022 по 2030 годы составляет 312,8 долларов США за тысячу кубических метров. Это ниже, чем текущая цена на газ в Европе, которая составляет около 357 долларов США за тысячу кубических метров.
- 3) Рынок природного газа ЕС подвержен влиянию множества факторов, включая погоду, спрос и предложение, а также геополитические события, что может вызывать колебания цен на газ и создавать риски для рынка.
- 4) Прогнозы цен на газ в Европе на 2023 год разнятся в зависимости от источника и методологии. Оптимистичные прогнозы предполагают теплую погоду, высокий уровень хранения и поставок газа, а также низкий спрос на энергию.
- 5) Глобальное потепление превысит цель Парижского соглашения в 1,5°C к 2100 году, если не будут предприняты дополнительные меры по сокращению выбросов парниковых газов. Это подтверждает необходимость усиления усилий по борьбе с изменением климата и адаптации к его последствиям.
- 6) Европа испытывает более сильное потепление, чем весь мир в целом, что требует дополнительных мер по адаптации и смягчению последствий изменения климата в регионе.

- 7) Скорость ветра в Европе и в мире остается достаточно стабильной в прогнозируемом периоде, но возможное снижение скорости ветра может повлиять на производство электроэнергии из ветровых источников.
- 8) Наблюдается положительная корреляция между скоростью ветра и ценами на природный газ в Европе, но цена на газ также зависит от других факторов, и нет однозначной связи этих двух показателей.
- 9) Снижение выбросов CO₂ от ископаемого топлива наблюдается как в мире в целом, так и в Европейском Союзе, но снижение выбросов в ЕС происходит медленнее, требуя дополнительных усилий для перехода к более экологически устойчивым источникам энергии.

Благодарность: работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (госзадание № FMWE-2021-0003).

Литература

1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. Издательский дом Вильямс, 2008.
2. Бушуев В.В., Соколущенко В.Н. Интеллектуальное прогнозирование. Москва: ИД «Энергия», 2016.
3. 3. Неведова Л.В., Соловьев Д.А. Нейронное прогнозирование аномалии осредненной температуры воздуха для арктического региона // Физическое и математическое моделирование процессов в геосредах: Шестая международная научная конференция-школа молодых ученых; Москва. 21-23 октября 2020 г.. Сборник материалов. 2020. С. 150–152.
4. Charts GAS TTF USD/1000 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.profinance.ru/charts/ttfusd1000/1191h> (дата обращения: 29.05.2023).
5. AGSI [Электронный ресурс]. . 2023 URL: <https://agsi.gie.eu/>.
6. Global (left) and European land (right) average near-surface temperatures relative to the pre-industrial period 1850-1900 [Электронный ресурс]. . 2023 URL: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/global-left-and-european-land-1>.
7. Climate Reanalyzer [Электронный ресурс]. . 2022 URL: https://climatreanalyzer.org/reanalysis/monthly_tseries/ (дата обращения: 8.04.2022).

References

1. Haykin S. Neural Networks: A Comprehensive Course, 2nd Edition. Williams Publishing House, 2008.
2. Bushev V.V., Sokotushenko V.N. Intellectual Forecasting. Moscow: ID "Energy," 2016.
3. Nefedova L.V., Soloviev D.A. Neural Forecasting of Anomalies in Average Air Temperature for the Arctic Region // Physical and Mathematical Modeling of Processes in Geo-environments: The Sixth International Scientific Conference-School for Young Scientists; Moscow. October 21-23, 2020. Proceedings. 2020. Pp. 150–152.

4. Charts GAS TTF USD/1000 [Electronic resource]. URL: <https://www.profinance.ru/charts/ttfusd1000/1191h> (date of access: 29.05.2023).
5. AGSI [Electronic resource]. URL: <https://agsi.gie.eu/>. 2023.
6. Global (left) and European land (right) average near-surface temperatures relative to the pre-industrial period 1850-1900 [Electronic resource]. URL: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/global-left-and-european-land-1>. 2023.
7. Climate Reanalyzer [Electronic resource]. URL: https://climatreanalyzer.org/reanalysis/monthly_tseries/ (date of access: 8.04.2022).

Accounting for Climate Change Factors in Forecasting Natural Gas Prices in the EU

¹ Bushuev Vitaly Vasilievich ^[0000-0001-9288-4699],
^{1,2} Solovyev Dmitry Alexandrovich ^[0000-0001-5591-3067]

¹ Joint Institute of High Temperatures of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

E-mail: vital@guies.ru, solovev@ocean.ru

Abstract. The article presents a neural forecast of gas prices in Europe for the current year and the future up to 2030. An analysis is made of the relationship between gas prices and global temperature growth, CO₂ emissions and wind speed. A decline in gas prices in Europe in 2023 is expected due to reduced demand caused by warmer weather. It is shown that the gas market is subject to various factors, such as weather, supply and demand, and the influence of geopolitical events, which can cause price fluctuations and create risks for the market. In addition, the article highlights the need to combat climate change and take action to reduce CO₂ emissions, as according to the forecasts of climate anomalies, global warming will exceed the goals of the Paris Agreement if additional actions are not taken. The relationship between gas prices, air temperature and wind speed is also analyzed, and there is a positive correlation between wind speed and gas prices in Europe. The article highlights the importance of efforts to reduce CO₂ emissions and develop climate change adaptation measures in Europe.

Keywords: EU gas market, natural gas, neural prediction, global warming, climate, EU gas market

Acknowledgment. This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (state task No. FMWE-2021-0003).