

УДК 338.57-047.72:330.15:665.612.3

<https://doi.org/10.18799/26584956/2026/3/2039>

Шифр специальности ВАК: 5.2.3



Полиномиальные модели тенденций цен на природный газ на мировом рынке энергетических ресурсов

Л.И. Теньковская✉

ПАО «Московская биржа ММВБ-РТС», Российская Федерация, г. Москва

✉tenkovskaya.lyudmila@gmail.com

Аннотация. Представленное научное исследование актуально, так как касается изучения конъюнктуры глобального рынка энергетических ресурсов, оказывающей влияние на социально-экономическую сферу в России. Изучаемый ключевой показатель – мировая цена на природный газ, представляющая собой стоимость фьючерсного контракта на эталонный сорт природного газа Henry Hub с американской фондовой площадки NYMEX. Данный показатель служит основой экономических прогнозов и инвестиционных стратегий. **Цель:** анализ и прогноз мировых цен на природный газ с учетом их волатильности в долгосрочном периоде и в пределах экономических циклов на основе полиномиальных моделей тенденции. **Методы:** анализ, синтез, монографический метод, ADF-тест, KPSS-тест, центрированное скользящее среднее, экономико-математическое моделирование на основе полиномиальных моделей тенденции, прогнозирование, табличный и графический методы. **Результаты:** конъюнктура мирового рынка природного газа постоянно изменяется под влиянием большого количества факторов, что повышает волатильность цен на природное топливо; в настоящее время ситуация на глобальном рынке природного газа складывается в пользу расширения спроса, сжатия предложения, роста издержек и цены; разработан методологический алгоритм анализа и прогноза мировых цен на природный газ, учитывающий и моделирующий изменчивость приведенного показателя в долгосрочном временном отрезке и в пределах экономических циклов, а также базирующийся на полиномиальных моделях тенденции; статистически значимые и наиболее качественные экономико-математические модели полиномиальных тенденций показали, что мировые цены на природный газ в долгосрочном периоде два раза последовательно прошли длительные стадии существенного роста и значительного снижения, в пределах экономических циклов два-три раза последовательно повышались и понижались в рамках более узкой амплитуды колебания; долговременный и циклический прогнозы глобальных цен на природный газ продемонстрировали, что в краткосрочном периоде исследуемый индикатор из стадии понижения должен перейти в фазу роста. **Выводы:** экономико-математическое моделирование на основе полиномиальных тенденций может быть использовано для анализа и прогноза глобальных цен на природный газ, потому что позволяет учитывать постоянную изменчивость показателя; прогнозы свидетельствуют о скором повышении цен на природный газ на мировом энергетическом рынке.

Ключевые слова: фьючерсы на природный газ, мировой рынок энергетических ресурсов, экономико-математическое моделирование, полиномиальные тенденции, прогнозирование

Использование средств ИИ: автор заявляет о том, что при написании данной статьи не применялись средства генеративного искусственного интеллекта.

Для цитирования: Теньковская Л.И. Полиномиальные модели тенденций цен на природный газ на мировом рынке энергетических ресурсов. Векторы благополучия: экономика и социум, 2026, Т. 54, № 3, С. 13–24. <https://doi.org/10.18799/26584956/2026/3/2098>

UDC 338.57-047.72:330.15:665.612.3

<https://doi.org/10.18799/26584956/2026/3/2039>

Polynomial models of natural gas price trends in the global energy market

L.I. Tenkovskaya✉

PJSC Moscow Exchange MICEX-RTS, Moscow, Russian Federation

✉tenkovskaya.lyudmila@gmail.com

Abstract. This scientific study is relevant because it examines global energy market conditions, which impact the socio-economic sphere in our country. The key indicator under study is the global price of natural gas, which is the price of a futures contract for the Henry Hub benchmark natural gas grade, traded on the NYMEX stock exchange. This indicator serves as the basis for economic forecasts and investment strategies. **Aim.** To analyze and forecast world prices for natural gas, taking into account their volatility in the long term and within economic cycles, based on polynomial trend models. **Methods.** Analysis, synthesis, monographic, ADF test, KPSS test, centered moving average, economic and mathematical modeling based on polynomial trend models, forecasting, tabular, graphical. **Results.** The global natural gas market situation is constantly changing under the influence of a large number of factors, which increases the volatility of natural fuel prices; currently, the situation on the global blue fuel market is developing in favor of expanding demand, contracting supply, and rising costs and prices. The author has developed the methodological algorithm for analyzing and forecasting global natural gas prices, taking into account and modeling the variability of the given indicator in the long-term period and within economic cycles, based on polynomial trend models. Statistically significant and the highest quality economic and mathematical models of polynomial trends shown that global natural gas prices in the long-term period have twice successively gone through large stages of growth and decline, and within economic cycles two or three times successively increased and decreased within a narrower amplitude of fluctuations. Long-term and cyclical forecasts of global natural gas prices demonstrated that in the short term, the studied indicator should move from the decline stage to the growth phase. **Conclusions.** Economic and mathematical modeling based on polynomial trends can be used to analyze and forecast global natural gas prices because it allows for the constant variability of this indicator to be taken into account; forecasts indicate an imminent increase in prices for natural gas in the global energy market.

Keywords: natural gas futures, global energy market, economic and mathematical modeling, polynomial trends, forecasting

Use of AI: the author declares no use of the AI in the paper.

For citation: Tenkovskaya L.I. Polynomial models of natural gas price trends in the global energy market. *Journal of Wellbeing Technologies*, 2026, vol. 54, no. 3, pp. 13–24. <https://doi.org/10.18799/26584956/2026/3/2098>

Введение

Энергетические ресурсы – основной фактор развития мировой экономики. Россия – один из крупнейших поставщиков энергии. В нашей стране доходы от экспорта энергетических ресурсов поступают в бюджет, обеспечивая экономическую безопасность. Низкие цены на нефть и природный газ несут в себе угрозу отечественной экономике. Поэтому конъюнктура мирового рынка энергии вызывает интерес у многих экономических субъектов [1]. А тема исследования ситуации на глобальном рынке природного газа является актуальной. Необходимо понимать основные особенности функционирования мирового рынка природного топлива. Глобальный рынок природного газа может быть стабильным во многом благодаря долгосрочным контрактам и устойчивому спросу на сжиженный природный газ, предназначенный в основном для выработки электроэнергии [2]. Однако в настоящее время мировой газовый рынок переживает по-

трясения. Из-за амбициозной цели Европы по достижению нулевых выбросов парниковых газов, отказа от потребления импортируемых российских традиционных энергетических ресурсов, замены их своими возобновляемыми источниками энергии развился энергетический кризис [3]. Он привел к стремительному росту цен на природный газ [4]. Сильные конъюнктурные колебания вызывает ориентация Европы на спотовый рынок природного газа [2]. Существуют также иные факторы роста мировых цен на природный газ: отсутствие в достаточном количестве инвестиций и новых мощностей в отраслях сжиженного природного газа, рост спроса на природное топливо в других странах [5]. На первый взгляд, ситуация на мировом рынке природного газа складывается не в пользу отечественной экономики. Однако Россия имеет возможности по развитию своего газового рынка. Прежде всего, к ним относится повышение цен на энергетические ресурсы. Кроме этого, научные исследования за последние 20 лет показали, что наше государство должно проводить независимую энергетическую политику, ориентируясь на юго-восточные страны, минуя взаимоотношения с враждебными государствами, настроенными на сокращение российского экспорта [6]. Также для России позитивными являются ожидания роста спроса на природный газ в странах Восточной и Южной Азии к 2050 г. в два раза. Например, Китай увеличит использование природного газа, объемы которого превзойдут потребление в странах Европейского союза [7]. В ситуации сильной зависимости российской экономики от глобального энергетического рынка важно знать не только текущие рыночные цены на природное топливо, но и необходимо уметь сделать их анализ и прогноз. Имеются проблемы в изучении мирового рынка природного газа. Исследование должно учитывать, что на конъюнктуру мирового рынка природного топлива оказывают влияние многие движущие силы, наиболее мощные из них – геополитические факторы [8, 9]. Также в настоящее время прогнозирование цен на природный газ осложнено их сильной волатильностью [10]. Представленная исследовательская работа как раз позволяет восполнить эти пробелы в научной литературе по предвидению обстановки на глобальном рынке природного топлива.

Цель научного изыскания – анализ и прогноз мировых цен на природный газ с учетом их волатильности в долгосрочном периоде и в пределах экономических циклов на основе полиномиальных моделей тенденции. Задачи научной проработки: рассмотреть теоретические аспекты изменения динамики мировых цен на природное топливо; разработать методологический алгоритм для анализа и прогноза глобальных цен на природное топливо; построить полиномиальные модели тенденций стоимости природного газа на мировом рынке энергетических ресурсов; сделать анализ и прогноз мировых цен на природный газ на основе сконструированных полиномиальных моделей. В процессе работы использованы следующие научные методы: анализ, синтез, монографический метод, ADF-тест, KPSS-тест, метод центрированной скользящей средней, экономико-математическое моделирование на основе полиномиальных моделей тенденции второй, третьей, четвертой и пятой степеней, прогнозирование, табличный и графический методы. Научная новизна исследования: разработан методологический алгоритм анализа и прогноза мировых цен на природный газ, основанный на полиномиальных моделях тенденции; сконструированы экономико-математические модели полиномиальной тенденции глобальной стоимости природного топлива. Практическая значимость научной работы в том, что она помогает инвесторам, государственным служащим и ученым понять особенности ценообразования в газовой отрасли. Представленное научное исследование проверяет гипотезу о том, что цены на природный газ на мировом рынке энергетических ресурсов в краткосрочном периоде перейдут к росту.

Теоретические основы изучения динамики мировых цен на природный газ

Представленное изыскание систематизирует научную литературу по исследованию цен на природный газ на мировом рынке энергетических ресурсов. Изучение источников литературы показало, что конъюнктура мирового рынка природного газа является очень сложной. В настоящее время имеется большое количество факторов, влияющих на спрос, предложение и стоимость природного газа. Назовем наиболее важные из них.

Во-первых, рассмотрим первостепенные движущие силы. Главные индикаторы на глобальном рынке природного газа – это объемы производства и запасов данного вида энергетических ресурсов в мире, в частности в Соединенных Штатах Америки. Известно, что в последнее время производство природного газа в международной экономике существенно увеличивается в основном благодаря таким странам, как США, Россия, Иран и Китай. США вносят наибольший вклад в данную деятельность и в будущем планируют значительно ее расширить [11]. Очевидно, что приведенные выше факторы будут сдерживать повышение цен на данный вид энергии.

Во-вторых, на конъюнктуре глобального рынка энергии отражается отмена Европейским союзом потребления российского природного газа с целью обеспечения энергетической независимости от России [8]. На примере венгерской экономики показано, что отказ Европейского союза от российского природного газа привел к росту цен производителей и потребительских цен на фоне увеличения стоимости природного газа, что вызвало необходимость у государственных служащих установить жесткий контроль над ценами [12]. К слову, в Европе к изменениям цен на природный газ оказалась устойчивой только экономика Швейцарии, поскольку она в меньшей степени зависима от энергетических ресурсов и имеет высокую добавленную стоимость [13]. Вынужденное сокращение предложения российского природного газа для международной экономики поднимает цены на мировом рынке энергии.

В-третьих, определенный эффект на цены природного газа на глобальном рынке энергетических ресурсов оказывает создание возобновляемых источников энергии. Научные исследования показывают, что по мере увеличения производства электроэнергии из возобновляемых источников растет роль природного газа для компенсации их непостоянства [9, 14, 15]. Сети природного газа и электроэнергии становятся взаимозависимыми [16]. В прошлом отказ Европы от природного газа в пользу возобновляемых источников энергии поднял стоимость природного газа и электроэнергии, расширил спрос на уголь, увеличил выбросы углекислого газа, обанкротил промышленные и коммунальные предприятия [3–5]. В связи с вышесказанным использование возобновляемых источников энергии не предполагает сильного сокращения спроса и снижения цен на природный газ.

В-четвертых, активная замена нефти, угля и древесины природным газом с целью улучшения окружающей среды расширяет спрос на природный газ. Например, в Китае уделяется большое внимание замещению древесного топлива и угля природным газом, в особенности в сельской местности. Для этого развивается соответствующая инфраструктура [1–3, 6, 7, 17, 18]. Дело в том, что в Азии использование природного газа имеет большие перспективы, что формирует более высокие цены на природный газ на фоне повышенного спроса.

В-пятых, инновационные продукты тоже воздействуют на обстановку на мировом рынке энергии. Успешными инновационными решениями в области энергетики можно считать сжатый и сжиженный природный газ [19, 20]. Также стоит обратить внимание на инновационные организационные структуры нефтегазовых предприятий, основанные на вертикальной интеграции, экономической, социальной и управленческой устойчивости [21]. Ключевой момент заключается в том, что эти инновации увеличивают потребление природного газа, так как обеспечивают его поставки практически в любую точку мира – туда, где нет возможности провести трубопроводы. Сжиженный природный газ имеет более высокую цену, чем трубопроводное природное топливо, потому что производится с наибольшими затратами. Эти обстоятельства играют в пользу повышения стоимости природного топлива.

В-шестых, все-таки стоит обратить внимание на военные факторы: война на Ближнем Востоке, специальная военная операция России на Украине, нападения хуситов на торговые суда в Суэцком канале и др. [22]. Перечисленные факторы способствовали значительному росту мировых цен на природный газ и в настоящее время не позволяют им упасть до исторических минимумов. Суть в том, что эскалация военных конфликтов в мире увеличивает спрос на энергетические ресурсы для расширения оборонно-промышленного комплекса и ограничивает их предложение в местах военных действий.

В-седьмых, необходимо отметить экспансию газовой промышленности в международной экономике: наличие и разработка новых месторождений природного газа; дополнительное задействование капитала и трудовых ресурсов в сферу добычи природного топлива; увеличение стоимостных объемов инвестиций в инфраструктуру для транспортировки голубого топлива; осуществление поставок природного газа прежде всего в регионы с высокими ценами на энергию в условиях широкой амплитуды колебания стоимости этого вида топлива от региона к региону [23–25]. Дополнительное использование ограниченных ресурсов, возможность сегментации энергетического рынка поднимают издержки производства и цены.

В-восьмых, целесообразно привести глобальные социально-экономические факторы: демографическую ситуацию в мире, характеризующуюся ростом численности населения; экономическую экспансию, ведущую к расширению мировой хозяйственной отрасли [2, 26]. Социально-экономическая группа глобальных факторов указывает на изменение конъюнктуры мирового рынка энергии в сторону увеличения спроса и цены.

В-девятых, существуют взаимосвязи газового рынка с фондовыми, валютными и нефтяными рынками, рынками металлов [27, 28]. В частности, фьючерсы на природный газ могут быть объектами для хеджирования во время экономических кризисов [29]. Определено, что подъем в рыночной экономике поддержит газовую отрасль, экономический кризис не нарушит стабильности ценообразования в газовой сфере.

Таким образом, имеется большое количество движущих сил, влияющих на конъюнктуру глобального рынка природного газа и в долгосрочном периоде, и в соответствии с условиями цикличности экономического развития. В настоящее время основная масса представленных выше факторов в международной экономике и мировой хозяйственной системе способствует повышению спроса, сокращению предложения и росту цен на глобальном рынке природного газа.

В долгосрочной перспективе и на протяжении экономических циклов природное топливо демонстрирует существенные колебания стоимости. Цена на природный газ на глобальном энергетическом рынке подвержена значительным колебаниям из-за совокупности влияющих на нее факторов. Волатильность цен на природный газ обуславливает резкие изменения в экономике. Грамотный учет постоянной изменчивости глобальных цен на голубое топливо необходим, потому что они влияют на инвестиции в энергетику, составляют издержки и являются основой прогнозов во многих отраслях экономики, в особенности в сфере сельского хозяйства [28, 30, 31]. В связи с вышесказанным для анализа и прогноза мировых цен на природный газ требуется методология, способная уловить их волатильность. Для изучения волатильности приведенного показателя целесообразно апробировать методологию экономико-математического моделирования на основе полиномиальных моделей различной степени в рамках длинного промежутка времени и циклов экономики.

Ниже представим уже имеющуюся в научной литературе методологию исследования динамики цен на природный газ на мировом рынке энергетических ресурсов. Для изучения конъюнктуры газового рынка применяются следующие научные методы: преобразования нестационарных временных рядов в стационарный вид – центрированная скользящая средняя, логарифмирование и др.; тестирования временных рядов на стационарность – тест Эндрюса–Зивота, тест Филлипса–Перрона, коинтеграция Энгла–Грейнджера, нелинейная коинтеграция Эндерса–Сиклоса; тенденции; индексация; среднеквадратическое отклонение; F-тест; тест причинности Грейнджера; корреляционный анализ; парная и множественная линейная регрессия; квантильная регрессия; гетерогенные модели авторегрессии; модели векторной авторегрессии; модели панельной векторной авторегрессии; модели GARCH и EGARCH; модели аукционов; скоординированные модели оптимальной диспетчеризации; оптимизация с использованием функции Никайдо–Исода; нейросетевое моделирование – модели с долговременной краткосрочной памятью; моделирование Монте-Карло; модель Вильсона; метод Чана [8–10, 12, 14, 15, 19–21, 25, 27–31]. Поскольку динамика мировых цен на природный газ

подвержена резким колебаниям, это существенно осложняет процессы экономико-математического моделирования. Поэтому для экономического моделирования мировых цен на природный газ разработан большой математический аппарат. Однако он не предполагает задействования полиномиальных моделей тенденции.

Подведем итоги литературного обзора. Большое количество факторов, описанных в научной литературе, указывает на повышение мировых цен на природный газ. Представляется целесообразным проверить эту гипотезу с помощью экономико-математического моделирования на основе полиномиальных моделей различной степени, построенных в рамках долгосрочного временного интервала и экономических циклов. Дело в том, что такая методология позволяет уловить волатильность мировых цен на природный газ, которая существенно осложняет процессы изучения конъюнктуры глобального рынка энергии. В связи с этим для анализа и прогноза динамики стоимости природного газа на мировом рынке энергии выбраны полиномиальные модели тенденции. Как показало изучение методологии в имеющейся научной литературе, экономико-математическое моделирование глобальной стоимости природного газа на основе полиномиальных моделей будет использоваться впервые. Научное исследование движения стоимости на основе тенденций как раз выполняется тогда, когда экономическим субъектам уже известна информация о наличии влияния всех имеющихся факторов.

Материалы и методология исследования мировых цен на природный газ

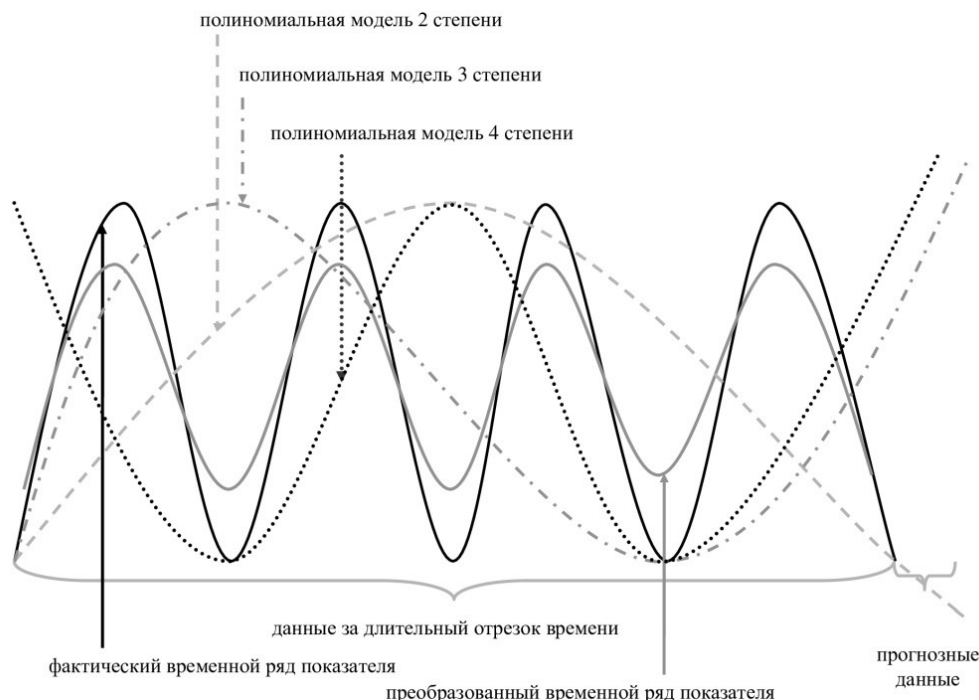
Представленное научное исследование предполагает анализ и прогноз мировых цен на природный газ посредством уравнений полиномиальной тенденции. Используются тенденции, так как подразумевается, что все экономические субъекты уже учли наличие рассмотренных в данной статье факторов. В качестве мировых цен на природный газ выступает стоимость фьючерсного контракта на эталонный сорт природного газа Henry Hub, который торгуется на американской фондовой площадке NYMEX. Статистические данные о ценах на природный газ на мировом рынке энергии за длительный временной интервал май 1990 года – апрель 2026 года взяты с сайта финансового портала ru.investing.com. Временные рамки научного исследования обусловлены доступностью статистических данных. Характеристика полиномиальных моделей приведена в табл. 1.

Для анализа и прогноза мировых цен на природный газ выбраны полиномиальные модели тенденций второй, третьей и четвертой степеней, чтобы описать наиболее существенные колебания показателя в течение длительного временного отрезка. Прогноз мировых цен на природный газ за рамками исследуемого временного интервала осуществляется на основе полиномиальной модели тенденции, имеющей наибольший коэффициент детерминации и наименьшую остаточную стандартную ошибку (рис. 1).

Поскольку мировые цены на природный газ являются волатильными, для их точного анализа исследуемый период поделен на короткие отрезки, соответствующие экономическим циклам. Цены на природный газ на мировом рынке энергетических ресурсов несколько раз последовательно повышаются и понижаются в пределах экономического цикла, поэтому для их изучения в рамках экономических циклов выбраны полиномиальные модели тенденций четвертой и пятой степеней (рис. 2).

Методологический алгоритм экономико-математического моделирования мировых цен на природный газ представлен в табл. 2.

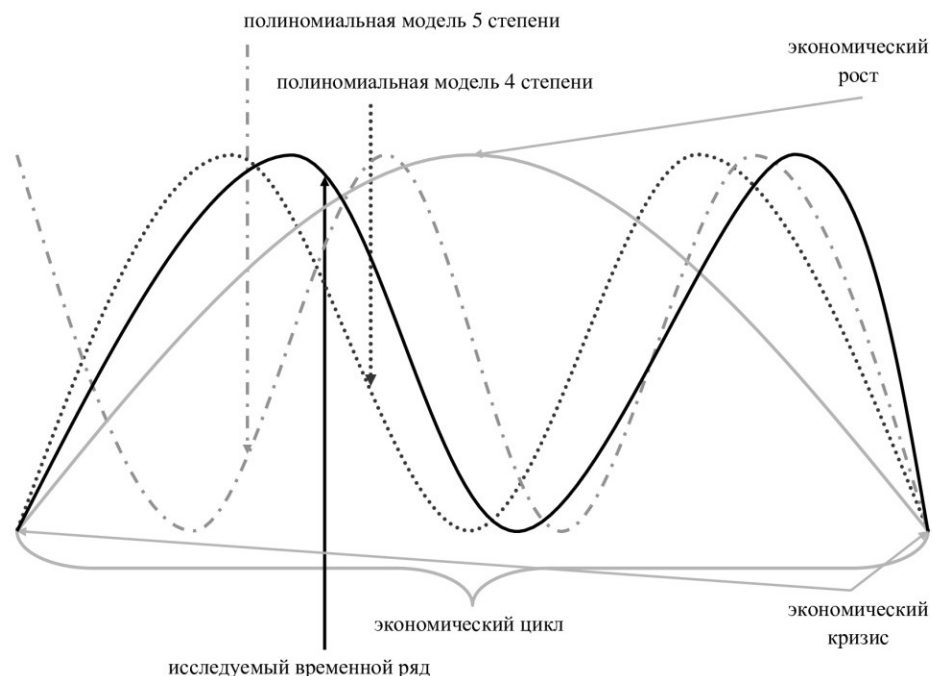
Выбор форм полиномиальных моделей обусловлен их статистической значимостью и надежностью. Все модели оценены по критериям: t-статистика, F-статистика, коэффициенты детерминации. Полученные результаты представлены в виде таблиц, графиков, формул. Таким образом, автором разработан методологический алгоритм, позволяющий сделать анализ и прогноз мировых цен на природный газ с учетом долгосрочных тенденций, цикличности экономического развития и волатильности изучаемого показателя.



Источник: составлено автором/Source: compiled by the author.

Рис. 1. Схема построения полиномиальных моделей тенденции мировых цен на природный газ в долгосрочном периоде

Fig. 1. Scheme for constructing polynomial models of trends in world prices for natural gas in the long term



Источник: составлено автором/Source: compiled by the author.

Рис. 2. Схема построения полиномиальных моделей тенденции мировых цен на природный газ в пределах экономических циклов

Fig. 2. Scheme for constructing polynomial models of trends in world prices for natural gas within economic cycles

Таблица 1. Характеристика полиномиальных моделей
Table 1. Characteristics of polynomial models

Характерные признаки Characteristic signs	Описание характерных признаков Description of characteristic features
Форма записи Entry form	$y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2 + \beta_3x^3 + \dots + \beta_nx^n + \varepsilon$
Обозначения Designations	y – зависимая переменная; x – независимая переменная (порядковый номер даты периода исследования); β – коэффициенты регрессии; n – степень полинома; ε – случайная ошибка y is the dependent variable; x is the independent variable (the ordinal number of the date of the study period); β are the regression coefficients; n is the degree of the polynomial; ε is the random error
Сущность Essence	Гибкая модель, улавливающая нелинейные паттерны, хорошо подходит для описания поведения волатильных индикаторов в долгосрочном периоде и в условиях цикличности экономического развития A flexible model that captures nonlinear patterns. It is well suited for describing the behavior of volatile indicators over the long term and in the context of economic cyclicity
Цель Target	Анализ и прогнозирование показателей с нелинейной динамикой Analysis and forecasting of indicators with nonlinear dynamics
Интерпретация в зависимости от степени полинома Interpretation depending on the degree of the polynomial	Аппроксимация сложных нелинейных зависимостей в пределах выбранных длинных и коротких диапазонов. Не очень высокая степень полинома и длительный период исследования дают возможность прогнозировать данные за пределами выбранного диапазона. Довольно высокая степень полинома и короткий изучаемый временной интервал обеспечивают прогнозирование в пределах выбранного диапазона. Чем выше степень полинома, тем ниже интерпретируемость коэффициентов модели Approximation of complex nonlinear relationships within selected long and short ranges. A moderate polynomial degree and a long study period enable forecasting data outside the selected range. A relatively high polynomial degree and a short study period ensure forecasting within the selected range. The higher the polynomial degree, the less interpretable the model coefficients

Источник: составлено автором на основе Wikipedia¹ / Source: compiled by the author based on Wikipedia¹.

Результаты исследования мировых цен на природный газ

Приведенный научный труд представляет модели полиномиальной тенденции для анализа и прогноза динамики фьючерсов на природный газ на мировом рынке энергетических ресурсов. Используемые для экономико-математического моделирования статистические данные проверены на стационарность (табл. 3). Расчеты показали, что большинство исследуемых временных рядов стационарно.

В табл. 4 представлена оценка построенных моделей полиномиальной тенденции. Экономико-математические модели, рассчитанные на основе преобразованных временных рядов, являются более качественными, чем экономико-математические модели, базирующиеся на фактических данных.

¹ Polynomial and rational function modeling. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Polynomial_and_rational_function_modeling (дата обращения 12.11.2025).

Таблица 2. Методологический алгоритм экономико-математического моделирования мировых цен на природный газ
Table 2. Methodological algorithm for economic and mathematical modeling of world prices for natural gas

Шаги Steps	Цель Target	Метод Method	Действие Action	Результат Result
1	Формирование базы данных для научного исследования Formation of a database for scientific research	Метод статистического наблюдения Statistical observation method	Получение статистических данных о показателе за долгосрочный временной отрезок Obtaining statistical data on an indicator over a long period of time	Имеются данные о мировых ценах на природный газ за май 1990 г. – апрель 2026 г. ² Data on world prices for natural gas for May 1990 – April 2026 are available from the financial portal ²
2	Визуальный анализ структуры фактического временного ряда показателя Visual analysis of the structure of the actual time series of the indicator	Графический метод Graphical method	Построение графика динамики исследуемого показателя за долгосрочный временной интервал Plotting a graph of the dynamics of the studied indicator over a long-term time interval	Обнаружена нелинейная динамика с последовательными повышениями и понижениями мировых цен на природный газ A nonlinear dynamic with successive increases and decreases in global prices for natural gas has been discovered
3	Экономико-математическое моделирование фактического временного ряда исследуемого показателя Economic and mathematical modeling of the actual time series of the studied indicator	Полиномиальные модели тенденций Polynomial trend models	Построение, оценка долговременных полиномиальных моделей фактических значений показателя. Выбор наиболее качественных моделей. Прогнозирование Construction and evaluation of long-term polynomial models of actual indicator values. Selection of the highest-quality models. Forecasting	Имеются полиномиальные модели фактических мировых цен на природный газ второй, третьей и четвертой степеней за май 1990 г. – апрель 2026 г. Наиболее качественная модель – модель четвертой степени. Сделан прогноз роста показателя до 2030 г. Polynomial models of actual world natural gas prices of the second, third, and fourth degrees are available for May 1990 through April 2026. The highest-quality model is the fourth degree model. A forecast of price growth through 2030 is made
4	Улучшение структуры временного ряда изучаемого показателя Improving the structure of the time series of the indicator under study	Метод центрированной скользящей средней Centered Moving Average Method	Сглаживание фактического долгосрочного временного ряда показателя Smoothing the actual long-term time series of an indicator	Преобразованный временной ряд мировых цен на природный газ за май 1990 г. – апрель 2026 г. Transformed time series of world natural gas prices for May 1990 – April 2026
5	Экономико-математическое моделирование преобразованного временного ряда исследуемого показателя Economic and mathematical modeling of the transformed time series of the studied indicator	Полиномиальные модели тенденций Polynomial trend models	Построение, оценка долговременных полиномиальных моделей преобразованных значений показателя. Выбор наиболее качественных моделей Прогнозирование Construction and evaluation of long-term polynomial models of transformed indicator values. Selection of the highest-quality models. Forecasting	Имеются полиномиальные модели преобразованных мировых цен на природный газ второй, третьей и четвертой степеней за май 1990 г. – апрель 2026 г. Наиболее качественная модель – модель четвертой степени. Сделан прогноз роста показателя до 2030 г. Polynomial models of transformed world natural gas prices of the second, third, and fourth degrees are available for May 1990 – April 2026. The highest-quality model is of the fourth degree. A forecast of growth for this indicator through 2030 is made

² Финансовый портал. URL: ru.investing.com (дата обращения 06.04.2026).

6	Проверка на стационарность фактического и преобразованного долгосрочных временных рядов показателя Testing for stationarity of actual and transformed long-term time series of an indicator	ADF-тест, KPSS-тест, табличный метод, метод сравнения ADF test, KPSS test, tabular method, comparison method	Отражение в таблице и сравнение результатов тестирования фактического и преобразованного временных рядов показателя в долгосрочном периоде Reflection in the table and comparison of the results of testing the actual and transformed time series of the indicator in the long term	Временной ряд и полиномиальные модели преобразованных мировых цен на природный газ за май 1990 г. – апрель 2026 г. являются более качественными статистически Time series and polynomial models of transformed world natural gas prices for May 1990 – April 2026 are of higher quality
7	Деление долгосрочного периода исследования на короткие временные интервалы для повышения точности экономико-математического моделирования Dividing a long-term research period into short time intervals to improve the accuracy of economic and mathematical modeling	Метод классификации Classification method	Деление исследуемого долгосрочного временного интервала на периоды экономических циклов, последовательно охватывающих в экономике кризис, рост, следующий кризис Dividing the studied long-term time interval into periods of economic cycles, successively covering crisis, growth, and the next crisis in the economy	Выделены следующие периоды: I – май 1990 г. – январь 1999 г.; II – январь 1999 г. – январь 2002 г.; III – январь 2002 г. – июнь 2009 г.; IV – июнь 2009 г. – февраль 2016 г.; V – февраль 2016 г. – март 2020 г.; VI – март 2020 г. – апрель 2026 г. The following periods are highlighted: I – May 1990 – January 1999; II – January 1999 – January 2002; III – January 2002 – June 2009; IV – June 2009 – February 2016; V – February 2016 – March 2020; VI – March 2020 – April 2026
8	Проверка на стационарность преобразованных временных рядов показателя в пределах экономических циклов Testing for stationarity of transformed time series of an indicator within economic cycles	ADF-тест, KPSS-тест, табличный метод ADF test, KPSS test, tabular method	Получение, представление в виде таблицы и оценка результатов тестирования Receiving, presenting in a table and evaluating test results	Большинство преобразованных временных рядов мировых цен на природный газ в пределах выделенных периодов является стационарным Most of the transformed time series of world natural gas prices are stationary within the selected periods
9	Экономико-математическое моделирование показателя в пределах выделенных периодов Economic and mathematical modeling of the indicator within the selected periods	Полиномиальные модели тенденций Polynomial trend models	Построение и оценка полиномиальных моделей, расчет прогнозных значений показателя в пределах экономических циклов Construction and evaluation of polynomial models, calculation of predicted values of the indicator within economic cycles	В пределах шести периодов имеются качественные полиномиальные модели четвертой и пятой степеней мировых цен на природный газ. Они демонстрируют следующее: в рамках цикла показатель два-три раза последовательно проходит стадии повышения и понижения, цикл заканчивается понижением показателя. В VI периоде показатель находится на последней стадии снижения, следовательно, в краткосрочном периоде наступит следующий цикл с новой стадией повышения показателя High-quality fourth- and fifth-degree polynomial models of global natural gas prices are available over six periods. They demonstrate that within a cycle, the indicator undergoes two or three consecutive periods of increase and decrease, ending with a decline. In period VI, the indicator is in its final decline, suggesting that a new cycle with a new increase will occur in the short term

Источник: составлено автором/Source: compiled by the author.

Таблица 3. Результаты ADF-теста, KPSS-теста
Table 3. Results of the ADF test, KPSS test

Показатели Indicators	Характеристика временных рядов Characteristics of time series	Периоды Periods	Расширенный тест Дики-Фуллера Augmented Dickey-Fuller test				KPSS-тест KPSS test	
			Тест с константой Test with a constant		Тест с константой и трендом Test with constant and trend		Тестовая статистика Test statistics	p-уровень p-level
			Тестовая статистика Test statistics	p-уровень p-level	Тестовая статистика Test statistics	p-уровень p-level		
Фьючерсы на природный газ Henry Hub Natural Gas Futures	фактический временной ряд factual time series	долгосрочный период (май 1990 – апрель 2026) Long-term period (May 1990 – April 2026)	-2,391	0,144	-2,319	0,423	0,990	< 0,01
	преобразованные временные ряды transformed time series	долгосрочный период (май 1990 – апрель 2026) Long-term period (May 1990 – April 2026)	-2,231	0,195	-2,159	0,512	1,020	< 0,01
		I	-1,894	0,335	-2,423	0,368	1,035	< 0,01
		II	-2,083	0,252	-2,545	0,306	0,341	> 0,10
		III	-1,851	0,356	-1,177	0,914	0,747	< 0,01
		IV	-2,464	0,124	-3,321	0,063	0,765	< 0,01
		V	0,156	0,970	-0,511	0,983	0,410	0,074
		VI	-2,678	0,078	-3,297	0,067	0,233	> 0,10
Фьючерсы на природный газ TTF Natural Gas Futures TTF	фактический временной ряд factual time series	VI	-2,029	0,274	-2,039	0,579	0,251	> 0,10

Источник: составлено автором/Source: compiled by the author.

Таблица 4. Оценка моделей полиномиальной тенденции
Table 4. Evaluation of polynomial trend models

Индикаторы Indicators	Порядковый номер уравнения полиномиальной тенденции Ordinal number of the polynomial tendency equation													
	1		6		3		4		5		6		7	
Параметры уравнений Parameters of equations	t-статистика t-statistics	t-статистика t-statistics	t-статистика t-statistics	p-уровень p-level	t-статистика t-statistics	t-статистика t-statistics	p-уровень p-level	t-статистика t-statistics	p-уровень p-level	p-уровень p-level	t-статистика t-statistics	p-уровень p-level	t-статистика t-statistics	p-уровень p-level
β_0	2,94	5,31	-1,16	0,25	4,85	5,31	2E-07	5,31	2E-07	0,21	5,31	2E-07	11,97	0,00
β_1	12,71	-3,22	9,93	0,00	-2,94	-3,22	1E-03	-3,22	1E-03	0,00	-3,22	1E-03	-3,09	3E-03
β_2	-12,24	7,69	-7,16	0,00	7,03	7,69	0,00	7,69	0,00	0,00	7,69	0,00	4,03	1E-04
β_3	-	-9,74	5,14	0,00	-8,90	-9,74	0,00	-9,74	0,00	6E-08	-9,74	0,00	-4,51	2E-05
β_4	-	10,59	-	-	9,68	10,59	0,00	10,59	0,00	-	10,59	0,00	4,89	4E-06
β_5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-5,20	1E-06
Коэффициент детерминации R^2 Coefficient of determination R^2	0,274		0,484		0,439		0,301		0,348		0,484		0,572	
Критерии Фишера Fisher's criteria	F-статистика F-statistics	F-статистика F-statistics	F-статистика F-statistics	p-уровень p-level	F-статистика F-statistics	F-статистика F-statistics	p-уровень p-level	F-статистика F-statistics	p-уровень p-level	p-уровень p-level	F-статистика F-statistics	p-уровень p-level	F-статистика F-statistics	p-уровень p-level
	80,77	99,99	65,85	0,00	83,52	99,99	0,00	99,99	0,00	0,00	99,99	0,00	26,48	0,00
Индикаторы Indicators	Порядковый номер уравнения полиномиальной тенденции Ordinal number of the polynomial tendency equation													
	8		9		10		11		12		13			
Параметры уравнений Parameters of equations	t-статистика t-statistics	p-уровень p-level	t-статистика t-statistics	p-уровень p-level	t-статистика t-statistics	p-уровень p-level	t-статистика t-statistics	p-уровень p-level	t-статистика t-statistics	p-уровень p-level	t-статистика t-statistics	p-уровень p-level		
β_0	4,44	1E-04	2,41	0,02	10,07	0,00	7,83	7E-10	4,92	6E-06	1,86	0,07		
β_1	-2,31	0,03	2,56	0,01	6,92	1E-09	7,13	8E-09	-3,83	3E-04	-3,20	2E-03		
β_2	2,89	7E-03	-1,65	0,10	-7,63	1E-10	-5,72	9E-07	6,51	1E-08	4,81	9E-06		
β_3	-2,58	0,01	1,67	0,10	7,37	2E-10	4,92	1E-05	-7,72	1E-10	-5,30	1E-06		
β_4	2,01	0,05	-1,96	0,05	-6,80	2E-09	-4,38	7E-05	8,18	0,00	5,33	1E-06		
β_5	-	-	-	-	6,12	4E-08	3,91	3E-04	-8,26	0,00	-5,16	2E-06		
Коэффициент детерминации R^2 Coefficient of determination R^2	0,765		0,583		0,763		0,860		0,731		0,598			
Критерии Фишера Fisher's criteria	F-статистика F-statistics	p-уровень p-level	F-статистика F-statistics	p-уровень p-level	F-статистика F-statistics	p-уровень p-level	F-статистика F-statistics	p-уровень p-level	F-статистика F-statistics	p-уровень p-level	F-статистика F-statistics	p-уровень p-level		
	26,10	1E-09	29,68	0,00	48,39	0,00	54,25	0,00	37,05	0,00	20,26	0,00		

Источник: рассчитано автором/Source: calculated by the author.

На основе фактических данных за май 1990 г. – апрель 2026 г. построим долгосрочные полиномиальные модели тенденций фьючерсов на природный газ Henry Hub.

Полиномиальная модель второй степени:

$$y = 0,7861 + 0,0362x - 7,81E - 05x^2, \quad (1)$$

где y – фьючерсы на природный газ Henry Hub, доллары США за MMBtu (фактические данные); x – порядковый номер даты периода исследования.

Полиномиальная модель третьей степени:

$$y = -0,4027 + 0,0690x - 2,67E - 04x^2 + 3,00E - 07x^3. \quad (2)$$

Полиномиальная модель четвертой степени:

$$y = 1,9203 - 0,0372x + 8,34E - 04x^2 - 3,66E - 06x^3 + 4,60E - 09x^4. \quad (3)$$

Поскольку приведенные выше экономико-математические модели имеют недостатки (низкие коэффициенты детерминации, r -уровень $> 0,10$), длинный временной ряд фьючерсов на природный газ Henry Hub приближен к стационарному виду путем преобразования с помощью сглаживания. На основе преобразованного временного ряда фьючерсов на природный газ Henry Hub за май 1990 г. – апрель 2026 г. вычислим долгосрочные полиномиальные модели тенденций.

Полиномиальная модель второй степени:

$$y = 0,7867 + 0,0362x - 7,81E - 05x^2, \quad (4)$$

где y – фьючерсы на природный газ Henry Hub, долл. США за MMBtu (преобразованные данные).

Полиномиальная модель третьей степени:

$$y = -0,4020 + 0,0690x - 2,67E - 04x^2 + 3,00E - 07x^3. \quad (5)$$

Полиномиальная модель четвертой степени:

$$y = 1,9210 - 0,0372x + 8,34E - 04x^2 - 3,66E - 06x^3 + 4,60E - 09x^4. \quad (6)$$

Долгосрочные фактические, преобразованные и прогнозные данные о фьючерсах на природный газ Henry Hub представлены на рис. 3.

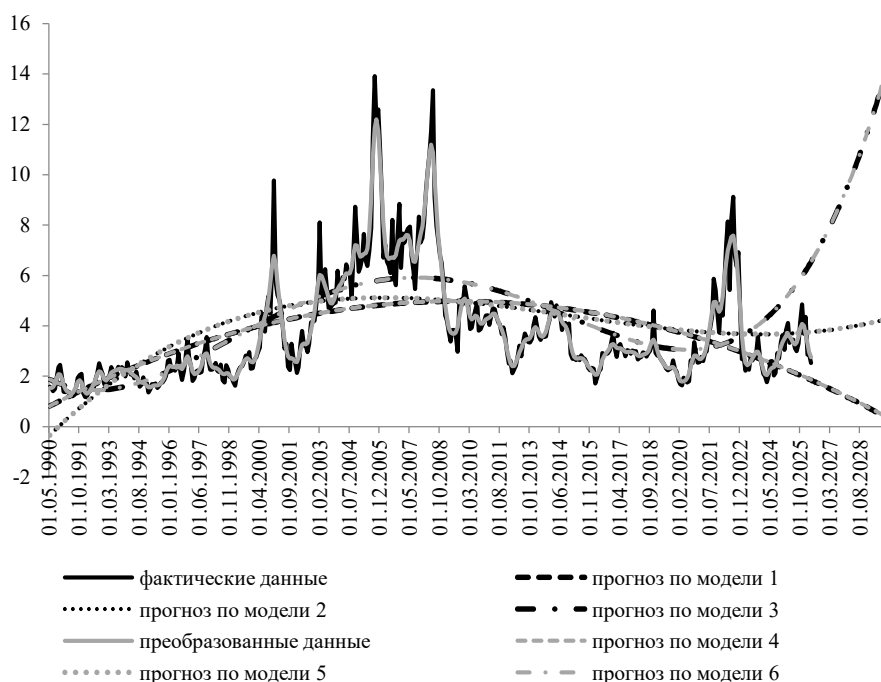
Для дальнейшего улучшения качества экономико-математических моделей преобразованный временной ряд фьючерсов на природный газ Henry Hub поделен на периоды, совпадающие с экономическими циклами, последовательно включающими крах, рост экономики и следующий экономический кризис. В пределах экономических циклов фьючерсы на природный газ Henry Hub с минимальных значений растут до максимумов, а затем достигают новых минимумов.

I период – май 1990 г. – январь 1999 г. В этом экономическом цикле фьючерсы на природный газ Henry Hub оставались на низком уровне на фоне азиатского и российского экономических кризисов.

II период – январь 1999 г. – январь 2002 г. В этом интервале времени фьючерсы на природный газ Henry Hub обрушились после существенного роста из-за американского кризиса доткомов.

III период – январь 2002 г. – июнь 2009 г. На данном этапе фьючерсы на природный газ Henry Hub максимально увеличились, но после возвратились к минимальным значениям вследствие глобального финансового кризиса, начавшегося в США.

IV период – июнь 2009 г. – февраль 2016 г. В это время фьючерсы на природный газ Henry Hub имели понижающую динамику по причинам сланцевой революции в США, конфликта на Украине и валютного кризиса в России.



Источник: рассчитано автором по данным Финансового портала³
 Source: calculated by the author based on data from the Financial Portal⁴

Рис. 3. Фьючерсы на природный газ Henry Hub, долл. США за MMBtu⁴
Fig. 3. Henry Hub Natural Gas Futures, US Dollars per MMBtu³

V период – февраль 2016 г. – март 2020 г. На этом этапе экономического развития фьючерсы на природный газ Henry Hub продолжили снижение ввиду кризиса экономики, вызванного пандемией коронавируса COVID-19.

VI период – март 2020 г. – апрель 2026 г. В течение данного цикла деловой активности фьючерсы на природный газ Henry Hub значительно увеличились, но затем упали. Причинами резких изменений стали специальная военная операция на Украине, торговая война США.

В пределах выделенных периодов сконструированы модели полиномиальных тенденций. Дело в том, что динамика фьючерсов на природный газ Henry Hub соответствует цикличности экономического развития. Модели полиномиальных тенденций в пределах выделенных периодов:

Экономико-математическая модель I периода –

$$y = 1,9353 - 0,0936x + 7,06E - 03x^2 - 1,88E - 04x^3 + 2,11E - 06x^4 - 8,40E - 09x^5, \quad (7)$$

где y – фьючерсы на природный газ Henry Hub, долл. США за MMBtu (преобразованные данные за май 1990 г. – январь 1999 г.).

Экономико-математическая модель II периода –

$$y = 3,0779 - 0,5658x + 0,0744x^2 - 2,61E - 03x^3 + 2,67E - 05x^4, \quad (8)$$

где y – фьючерсы на природный газ Henry Hub, долл. США за MMBtu (преобразованные данные за январь 1999 г. – январь 2002 г.).

Экономико-математическая модель III периода:

$$y = 1,9574 + 0,3138x - 8,95E - 03x^2 + 1,50E - 04x^3 - 9,57E - 07x^4, \quad (9)$$

³ Финансовый портал. URL: ru.investing.com (дата обращения 06.04.2026).

⁴ Фьючерс на природный газ - Авг. '26 (NGQ6). URL: https://ru.investing.com/commodities/natural-gas-historical-data (дата обращения 12.11.2025).

где y – фьючерсы на природный газ Henry Hub, долл. США за MMBtu (преобразованные данные за январь 2002 г. – июнь 2009 г.).

Экономико-математическая модель IV периода:

$$y = 2,9454 + 0,4884x - 0,0401x^2 + 1,19E-03x^3 - 1,47E-05x^4 + 6,42E-08x^5, \quad (10)$$

где y – фьючерсы на природный газ Henry Hub, долл. США за MMBtu (преобразованные данные за июнь 2009 г. – февраль 2016 г.).

Экономико-математическая модель V периода:

$$y = 1,3365 + 0,4652x - 0,0443x^2 + 1,87E-03x^3 - 3,59E-05x^4 + 2,50E-07x^5, \quad (11)$$

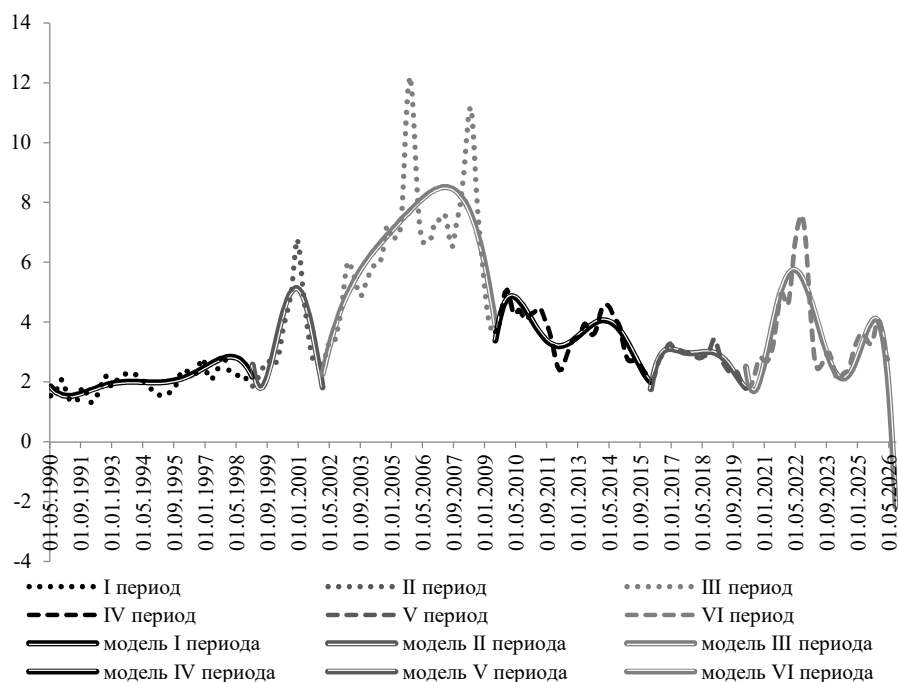
где y – фьючерсы на природный газ Henry Hub, долл. США за MMBtu (преобразованные данные за февраль 2016 г. – март 2020 г.).

Экономико-математическая модель VI периода:

$$y = 3,0593 - 0,6266x + 0,0866x^2 - 3,45E-03x^3 + 5,35E-05x^4 - 2,87E-07x^5, \quad (12)$$

где y – фьючерсы на природный газ Henry Hub, долл. США за MMBtu (преобразованные данные за март 2020 г. – апрель 2026 г.).

На рис. 4 представлены в пределах экономических циклов преобразованные и прогнозные данные о фьючерсах на природный газ Henry Hub.



Источник: рассчитано автором /Source: calculated by the author.

Рис. 4. Фьючерсы на природный газ Henry Hub в пределах экономических циклов, долл. США за MMBtu

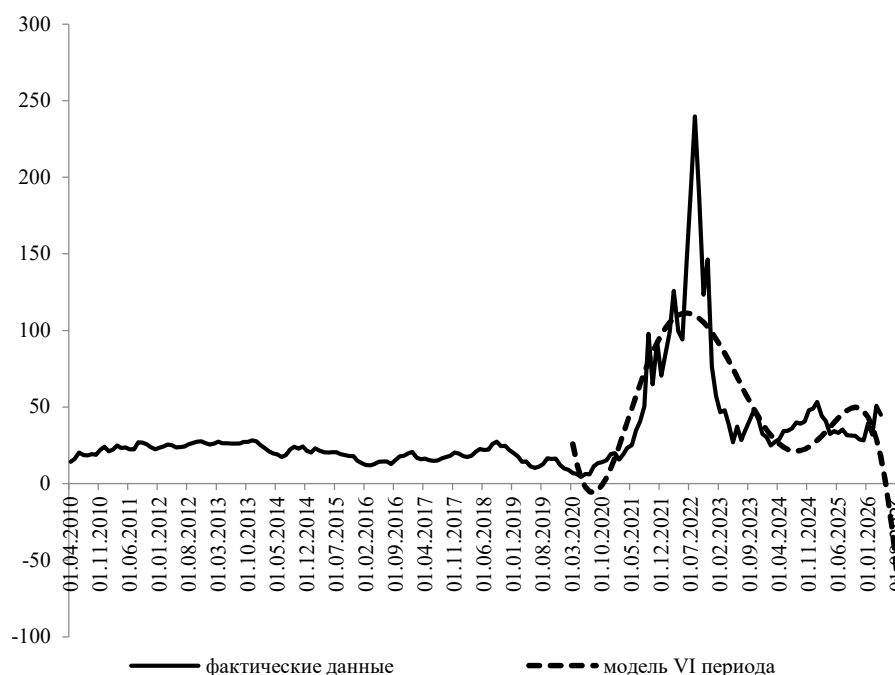
Fig. 4. Henry Hub Natural Gas Futures Across Economic Cycles, US Dollars per MMBtu

Сравним полученные результаты с ценами на природный газ в европейском регионе. Дело в том, что имеются фактические данные о фьючерсах на природный газ TTF за апрель 2010 г. – апрель 2026 г. На их основе невозможно построить долгосрочную полиномиальную модель тенденции. Однако с задействованием фактических данных о фьючерсах на природный газ TTF за март 2020 г. – апрель 2026 г. можно сконструировать модель полиномиальной тенденции пятой степени VI периода:

$$y = 43,2154 - 19,5895x + 2,3898x^2 - 0,0885x^3 + 1,30E - 03x^4 - 6,70E - 06x^5, \quad (13)$$

где y – фьючерсы на природный газ TTF, евро за MWh (фактические данные за март 2020 г. – апрель 2026 г.).

Представим на рис. 5 сведения о ценах на природный газ в европейском регионе. В настоящий момент времени региональная ситуация с ценами на природный газ аналогична обстановке на глобальном энергетическом рынке.



Источник: рассчитано автором по данным Финансового портала⁵
Source: calculated by the author based on data from the Financial Portal⁵

Рис. 5. Фьючерсы на природный газ TTF, евро за MWh⁶
Fig. 5. Natural Gas Futures TTF, EUR/MWh

Итак, построены модели полиномиальных тенденций фьючерсов на природный газ на мировом рынке энергетических ресурсов. Из всей совокупности рассчитанных моделей полиномиальных тенденций выбраны для анализа и прогноза и представлены в данном научном исследовании только те модели, которые являются статистически значимыми в целом. Некоторые модели не лишены недостатков: имеются статистически незначимые коэффициенты во второй и пятой моделях; коэффициенты детерминации моделей не всегда превышают минимально допустимый уровень 0,5. Экономико-математическое моделирование показало, что фьючерсы на природный газ Henry Hub волатильны, так как даже в пределах экономических циклов они несколько раз проходят стадии повышения и понижения. Сконструированные полиномиальные модели демонстрируют, что фьючерсы на природный газ последовательно преодолевают этапы подъема и снижения. Модель полиномиальной тенденции VI экономического цикла (формула 12) свидетельствует о том, что в настоящее время фьючерсы на природный газ Henry Hub находятся на стадии снижения (краткосрочный период). Следовательно, в

⁵ Финансовый портал. URL: ru.investing.com (дата обращения 06.04.2026).

⁶ ICE Dutch TTF Natural Gas Futures - Авг. '26 (TFMBMc1). URL: https://ru.investing.com/commodities/ice-dutch-ttf-gas-c1-futures-historical-data (дата обращения 12.11.2025).

перспективе можно ожидать роста анализируемого показателя (среднесрочный период). Будущая восходящая тенденция фьючерсов на природный газ Henry Hub заложена в третьей и шестой моделях – наиболее статистически качественные уравнения долгосрочного временного интервала с наименьшими остаточными стандартными ошибками, являющиеся многостепенными и поэтому способными описать динамику показателя не только в настоящий момент, но и в недалеком будущем.

Обсуждение

Представленный научный труд решает обозначенную современную проблему изучения конъюнктуры глобального рынка природного газа: в процессе работы важно было учесть волатильность показателя, вызванную разнонаправленным влиянием большой совокупности факторов. При этом в ходе научного исследования нельзя устранять это явление. Напротив, целесообразно смоделировать сильную изменчивость индикатора. В приведенной научной статье данная проблема решена посредством экономико-математического моделирования с применением полиномиальных тенденций.

Полиномиальные тенденции мировых цен на природный газ построены за долгосрочный временной отрезок и в течение шести периодов, охватывающих экономические циклы. Долгосрочные полиномиальные модели позволяют сделать прогноз глобальной стоимости природного топлива в текущем моменте времени и в течение одного-двух лет. Полиномиальные модели экономических циклов предсказывают цены на природный газ в настоящее время.

Научное исследование предполагает задействование фактических и преобразованных временных рядов показателя. Вычисления говорят о том, что преобразованные путем сглаживания методом центрированной скользящей средней временные ряды дают более качественные модели, что видно по коэффициентам детерминации и остаточным стандартным ошибкам.

Сравним построенные долгосрочные полиномиальные модели по коэффициентам детерминации: 1-я модель – $R^2 = 0,274$; 2-я модель – $R^2 = 0,316$; 3-я модель – $R^2 = 0,439$; 4-я модель – $R^2 = 0,301$; 5-я модель – $R^2 = 0,348$; 6-я модель – $R^2 = 0,484$. Расчеты показали, что лучше всего поведение исследуемого индикатора объяснено моделью 6. Опишем модели экономических циклов на основе коэффициентов детерминации: модели 7–13 имеют коэффициенты детерминации больше 0,5, что доказывает их высокую статистическую значимость и придает им прогностические свойства.

Спрогнозируем мировые цены на природный газ в долгосрочном периоде. Полиномиальные модели долгосрочного периода имеют следующие остаточные ошибки: 1-я модель – 1,8439; 2-я модель – 1,7916; 3-я модель – 1,6242; 4-я модель – 1,7225; 5-я модель – 1,6661; 6-я модель – 1,4843. Наименьшая стандартная ошибка у модели 6, поэтому прогноз цен на природный газ на мировом рынке энергии сделан по модели 6: в настоящее время (в июне 2026 г.) стоимость фьючерса на природный газ должна составить 6,793 долл. США за MMBtu; к декабрю 2026 г. показатель должен увеличиться до 7,573 долл. США за MMBtu; к декабрю 2027 г. индикатор должен вырасти до 9,431 долл. США за MMBtu.

Спрогнозируем мировые цены на природный газ в пределах последнего экономического цикла. Анализ полиномиальных моделей в пределах выделенных периодов – экономических циклов показал: наиболее качественные (статистически значимые) модели имеют четвертую и пятую степени; в последнем экономическом цикле (в VI периоде) можно построить статистически значимую полиномиальную модель пятой степени (модель 12) и сделать по ней прогноз; параметры данной модели свидетельствуют о том, что в конце текущего экономического цикла стоимость фьючерсов на природный газ достигнет 2,758 долл. США за MMBtu, что соответствует действительности, так как 08.05.2026 исследуемый индикатор составил 2,757 долл. США за MMBtu. Изучаемый показатель должен оттолкнуться от приведенного минимального значения и вступить в стадию роста, потому что экономический цикл подошел к концу.

Цены на природный газ в европейском регионе влияют на стоимость природного топлива на мировом рынке энергии. Сопоставим прогноз мировых цен на природный газ в краткосрочном периоде (в пределах последнего экономического цикла) с ситуацией на рынке природного топлива в европейском регионе: статистические данные позволили построить значимую модель пятой степени (модель 13), охватывающую динамику цен на природный газ в европейском регионе в течение последнего экономического цикла; модели 12 и 13 свидетельствуют о том, что динамика мировых цен на природный газ и движение цен на природное топливо в европейском регионе соответствуют друг другу; сделан вывод о том, что текущая ситуация с ценами на природный газ в европейском регионе и на мировом рынке идентичная.

Заключение

Представленное научное исследование позволило сделать заключение относительно результатов выполненной работы.

Во-первых, изучение теоретических аспектов показало, что существует большое количество факторов изменения цен на природный газ на мировом рынке энергетических ресурсов, поэтому они характеризуются сильной волатильностью. Опираясь на факты, можно утверждать, что в последнее время конъюнктура глобального газового рынка трансформировалась под эффектами расширения спроса, сокращения предложения, роста издержек и цены. Сложившаяся ситуация на мировом рынке природного газа вряд ли существенно переменится в ближайшее время, поскольку приведенные движущие силы будут иметь большое значение и в будущем.

Во-вторых, в ходе научной деятельности впервые разработан методологический алгоритм, который имеет следующие особенности: предполагает преобразование фактических временных рядов мировых цен на природный газ с помощью сглаживания методом центрированной скользящей средней для улучшения результатов экономико-математического моделирования; позволяет учесть долгосрочные изменения и среднесрочную волатильность в пределах экономических циклов мировых цен на природный газ, базируясь на долговременных и циклических полиномиальных моделях тенденции второй, третьей, четвертой и пятой степеней; позволяет проанализировать и спрогнозировать мировые цены на природный газ в прошлом, в текущем моменте времени и в течение будущих двух лет, то есть в краткосрочном временном интервале.

В-третьих, построенные полиномиальные модели демонстрируют, что динамика мировых цен на природный газ в течение долгосрочного временного интервала и выделенных экономических циклов характеризуется последовательными повышениями и снижениями значений. Рассчитанные модели не всегда предвидят точные значения анализируемого показателя. Однако они предсказывают нисходящие и восходящие направления движения стоимости фьючерсов на природный газ. В долгосрочном периоде наиболее качественными полиномиальными моделями тенденций глобальных цен на природное топливо являются уравнения второй, третьей и четвертой степеней. В пределах экономических циклов лучшими полиномиальными моделями мировых цен на природное топливо считаются уравнения четвертой и пятой степеней.

В-четвертых, на основе экономико-математического моделирования проанализированы и спрогнозированы фьючерсы на природный газ: наиболее качественная 6-я модель долгосрочного периода свидетельствует о росте мировых цен на природный газ в будущем краткосрочном временном отрезке; полиномиальные модели шести экономических циклов говорят о том, что глобальные цены на природный газ в пределах цикла два-три раза проходят стадии повышения и понижения; полиномиальная модель шестого периода (модель 12) свидетельствует о том, что фьючерсы на природный газ находятся на последней стадии снижения, завершающей текущий экономический цикл; с помощью модели 12 подтверждается приведенный выше прогноз роста цен на природное топливо на мировом рынке энергии в будущем краткосрочном интервале времени. Таким образом, доказывается гипотеза роста мировых цен на природный газ в ближайшее время.

Итак, проделанная работа полезна тем, что она характеризует конъюнктуру глобального газового рынка в будущем краткосрочном временном интервале, учитывает влияние совокупности наиболее важных внешнеэкономических факторов и особенности динамики фьючерсов на природный газ, выявленные в прошлом времени. В этой непростой работе необходимо было уловить и смоделировать специфику волатильности изучаемого показателя, в чем помогло экономико-математическое моделирование на основе полиномиальных моделей тенденции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колпакова И.А. Взаимосвязь мировых и внутренних цен на энергоресурсы в контексте обеспечения экономической безопасности России. *Экономическая безопасность*, 2019, Т. 2, № 1, С. 79–83. DOI: <https://doi.org/10.18334/ecsec.2.1.100626>. EDN: FENIBE.
2. Кочерова В.Д. Влияние фактора пандемии COVID-19 на развитие мирового рынка сжиженного природного газа. *Экономика и управление: проблемы, решения*, 2022, Т. 2, № 4, С. 29–38. DOI: [10.36871/ek.ur.p.r.2022.04.02.004](https://doi.org/10.36871/ek.ur.p.r.2022.04.02.004). EDN: MEWAHS.
3. Сергеева З.В. Четвертый энергетический переход и европейский энергетический кризис: уроки для ЕАЭС. *Евразийская интеграция: экономика, право, политика*, 2023, Т. 17, № 2, С. 153–168. DOI: <https://doi.org/10.22394/2073-2929-2023-02-153-168>. EDN: NIPLWP.
4. Дорохина К.М. Влияние газового кризиса 2021–2022 годов на энергетическую устойчивость и реализацию климатических обязательств крупнейшими эмитентами углекислого газа. *Россия и мир: научный диалог*, 2022, № 2 (4), С. 178–201. DOI: [https://doi.org/10.53658/RW2022-2-2\(4\)-178-201](https://doi.org/10.53658/RW2022-2-2(4)-178-201). EDN: URKWUJ.
5. Чернова Е.Г., Разманова С.В. Газовый кризис на европейском сырьевом рынке: причины возникновения и возможности преодоления. *Экономика региона*, 2022, Т. 18, № 4, С. 1194–1208. DOI: <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2022-4-16>. EDN: LFTPAА.
6. Завьялов Ф.Н. Экспорт энергетических ресурсов России за 2000–2019 гг. положение и проблемы. *Теоретическая экономика*, 2022, № 7, С. 58–73. DOI: [10.52957/22213260_2022_7_58](https://doi.org/10.52957/22213260_2022_7_58). EDN: LSCHFY.
7. Кондратов Д.И. Вызовы для России на мировом рынке природного газа. *Экономика. Налоги. Право*, 2022, Т. 15, № 1, С. 35–44. DOI: [10.26794/1999-849X-2022-15-1-35-44](https://doi.org/10.26794/1999-849X-2022-15-1-35-44). EDN: TYVAOQ.
8. Дьячкова А.В., Карасс В.О. Влияние геополитических рисков и экономической неопределенности на стоимость природного газа в Европе. *Фундаментальные исследования*, 2023, № 5, С. 11–18. DOI: [10.17513/fr.43452](https://doi.org/10.17513/fr.43452). EDN: LPFZYB.
9. Речкина Е.А., Терехов А.М. Анализ состояния рынка газа в условиях обострения украинского кризиса. *Вестник университета*, 2023, № 3, С. 60–70. DOI: <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2023-3-60-70>. EDN: PEGCJS.
10. Комлев С., Чапайкин Д. Трансформация механизмов ценообразования на природный газ: перспективы возвращения к стационарности. *Энергетическая политика*, 2023, № 6 (184), С. 54–65. EDN: QFUYP.
11. Qian X., Lu R., Luo L., Wu M., Liao Q. Analysis of the international natural gas market. *Global Oil and Gas Industry Development Report: 2023*. Singapore: Springer, 2026. P. 113–131. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-95-2375-7_5.
12. Bareith T., Fertő I., Podruzsk S. Price transmission in the Hungarian pork market. *Agricultural and Food Economics*, 2025, Vol. 13, № 1, art. 11. DOI: [10.1186/s40100-025-00353-x](https://doi.org/10.1186/s40100-025-00353-x). EDN: VVYMRW.
13. Fernández-Amador O., Oberdabernig D.A., Tomberger P. Measuring regional integration into global supply chains: evidence from a new dataset of Swiss cantons. *Swiss Journal of Economics and Statistics*, 2025, Vol. 161, art. 3. DOI: [10.1186/s41937-025-00134-9](https://doi.org/10.1186/s41937-025-00134-9). EDN: XGNYRC.
14. Nandakumar N., Annaswamy A.M. Impact of increased renewables on natural gas markets in eastern United States. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 2017, vol. 5, pp. 424–438. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40565-017-0292-1>.
15. Chen Z., Zhang Y., Ji T., Cai Z., Li L., Xu Zh. Coordinated optimal dispatch and market equilibrium of integrated electric power and natural gas networks with P2G embedded. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 2018, Vol. 6, P. 495–508. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40565-017-0359-z>. EDN: HFRDCT.
16. Farokhzad Rostami H., Samiei Moghaddam M., Radmehr M., Ebrahimi R. Energy expansion planning with a human evolutionary model. *Energy Informatics*, 2024, Vol. 7, art. 64. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42162-024-00371-x>. EDN: YKUJTD.
17. Zhou Y., Li L., Chen X. Sustainable consumption of household cooking practices: the mediating role of social trust. *The Journal of Chinese Sociology*, 2025, Vol. 12, art. 13. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40711-025-00238-y>. EDN: HLOWTA.
18. Li Q., Yang M., Xiang X., Xu F., Yang F. Evaluating the CO2 abatement effects of low-carbon city policy in China: a quasi-natural experiment. *Energy Informatics*, 2021, Vol. 4, art. 39. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42162-021-00167-3>. EDN: AUEOFW.

19. Shaarawi S.I., Abutaleb Kh., Aboelmagd A.R., Temraz T. GHGs emission reductions and economic saving by enhancing switching to natural gas vehicles in Egypt. *Bulletin of the National Research Centre*, 2023, Vol. 47, art. 107. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42269-023-01082-1>. EDN: OOOZMTV.
20. Lopes C., Correia A., Costa e Silva E., Monteiro M., Borges Lopes R. Inventory models with reverse logistics for assets acquisition in a liquefied petroleum gas company. *Journal of Mathematics in Industry*, 2020, Vol. 10, art. 10. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13362-020-00078-0>. EDN: RYWBQW.
21. Ali M.K., Zahoor M.K., Saeed A., Nosheen S. Moderating effect of vertical integration on the relationship between sustainability and performance: evidence from oil and gas energy sector. *Future Business Journal*, 2023, Vol. 9, art. 53. DOI: <https://doi.org/10.1186/s43093-023-00236-x>. EDN: IQKJEF.
22. Polemis D., Bentsos C. LNG vessels transits through Suez Canal under the changing geopolitical context. *Journal of Shipping and Trade*, 2025, Vol. 10, art. 17. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41072-025-00205-3>. EDN: UVDCZE.
23. Isiksal A.Z. The role of natural resources in financial expansion: evidence from Central Asia. *Financial Innovation*, 2023, Vol. 9, art. 78. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40854-023-00482-6>. EDN: QOOCBO.
24. Zhuang Y., Zhang G. Natural resources, rent dependence, and public goods provision in China: evidence from Shanxi's county-level governments. *The Journal of Chinese Sociology*, 2016, Vol. 3, art. 20. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40711-016-0040-3>. EDN: EOTBQS.
25. Butt S., Ramakrishnan S., Loganathan N., Chohan M.A. Evaluating the exchange rate and commodity price nexus in Malaysia: evidence from the threshold cointegration approach. *Financial Innovation*, 2020, vol. 6, art. 22. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40854-020-00181-6>. EDN: ZNPLJQ.
26. Sueyoshi T., Goto M. World trend in energy: an extension to DEA applied to energy and environment. *Journal of Economic Structures*, 2017, Vol. 6, art. 13. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40008-017-0073-z>. EDN: BSWOJA.
27. Теньковская Л.И. Прогноз котировок акций ПАО «Газпром» на основе корреляционно-регрессионной связи. *Вестник Пермского университета. Серия «Экономика»*, 2023, Т. 18, № 1, С. 25–52. DOI: <https://doi.org/10.17072/1994-9960-2023-1-25-52>. EDN: FACVZS.
28. Kristjanpoller W. A hybrid econometrics and machine learning based modeling of realized volatility of natural gas. *Financial Innovation*, 2024, Vol. 10, art. 45. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40854-023-00577-0>. EDN: FXZZWD.
29. Cunado J., Gabauer D., Gupta R. Realized volatility spillovers between energy and metal markets: a time-varying connectedness approach. *Financial Innovation*, 2024, Vol. 10, art. 12. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40854-023-00554-7>. EDN: LXGBQB.
30. Tsuji C. Simmering tensions on the Russia–Ukraine border and natural gas futures prices: identifying the impact using new hybrid GARCH. *Energy Informatics*, 2024, Vol. 7, art. 37. <https://doi.org/10.1186/s42162-024-00336-0>. EDN: JKZFFB.
31. Salazar C., Acuña-Duarte A., Gil J.M. Price relationships between differentiated agricultural products. Do energy and climate shocks matter? *Agricultural and Food Economics*, 2025, Vol. 13, art. 12. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40100-025-00355-9>. EDN: RUDWKW.

Информация об авторе

Людмила Игоревна Теньковская, кандидат экономических наук, доцент, аналитик фондового рынка ПАО «Московская биржа ММВБ–РТС», Российская Федерация, 125009, г. Москва, пер. Большой Кисловский, 13; tenkovskaya.lyudmila@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2055-1497>

Поступила в редакцию: 12.04.2026

Поступила после рецензирования: 13.06.2026

Принята к публикации: 30.09.2026

REFERENCES

1. Kolpakova I.A. The relationship between global and domestic energy prices in the context of ensuring Russia's social and economic security. *Economic security*, 2019, vol. 2, no. 1, pp. 79–83. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.18334/ecsec.2.1.100626>. EDN: FENIBE.
2. Kocherova V.D. The impact of coronavirus infection on the development of the global liquefied natural gas (LNG) market. *Economics and management: problems, solutions*, 2022, vol. 2, no. 4, pp. 29–38. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2022.04.02.004>. EDN: MEWAHS.
3. Sergeeva Z.V. The fourth energy transition and the European energy crisis: lessons for the EAEU. *Eurasian Integration: Economics, Law, Politics*, 2023, vol. 17, no. 2, pp. 153–168. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.22394/2073-2929-2023-02-153-168>. EDN: NIPLWP.
4. Dorokhina K.M. The impact of the gas crisis of 2021–2022 on energy sustainability and the implementation of climate commitments by the largest emitters of carbon dioxide. *Russia & World: Sc. Dialogue*, 2022, no. 2 (4), pp. 178–201. (In Russ.) DOI: [https://doi.org/10.53658/RW2022-2-2\(4\)-178-201](https://doi.org/10.53658/RW2022-2-2(4)-178-201). EDN: URKWUJ.

5. Chernova E.G., Razmanova S.V. Gas crisis in the European commodity market: roots and opportunities to overcome. *Ekonomika regiona*, 2022, vol. 18, no. 4, pp. 1194–1208. DOI: <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2022-4-16>. EDN: LFTPAA.
6. Zavialov F.N. Export energy resources of Russia for 2000–2019 years. Positions and problem. *Teoretičeskāā ekonomika*, 2022, no. 7, pp. 58–73. (In Russ.) DOI: 10.52957/22213260_2022_7_58. EDN: LSCHFY.
7. Kondratov D.I. Challenges for Russia in the global natural gas market. *Ėkonomika. Nalogi. Pravo*, 2022, vol. 15, no. 1, pp. 35–44. (In Russ.) DOI: 10.26794/1999-849X-2022-15-1-35-44. EDN: TYVAOQ.
8. Dyachkova A.V., Karass V.O. The impact of geopolitical risks and economic uncertainty on the cost of natural gas in Europe. *Fundamental research*, 2023, no. 5, pp. 11–18. (In Russ.) DOI: 10.17513/fr.43452. EDN: LPFZYB.
9. Rechkina E.A., Terekhov A.M. Analysis of the state of the gas market in the context of the aggravation of the Ukrainian crisis. *Vestnik universiteta*, 2023, no. 3, pp. 60–70. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2023-3-60-70>. EDN: PEGCJS.
10. Komlev S., Chapaikin D. Transformation of natural gas price formation mechanisms: prospects of retreat to stationary development. *Energy policy*, 2023, no. 6 (184), pp. 54–65. (In Russ.) EDN: QFUYLP.
11. Qian X., Lu R., Luo L., Wu M., Liao Q. Analysis of the international natural gas market. *Global Oil and Gas Industry Development Report: 2023*. Singapore, Springer, 2026. pp. 113–131. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-95-2375-7_5.
12. Bareith T., Fertő I., Podruzisik S. Price transmission in the Hungarian pork market. *Agricultural and Food Economics*, 2025, vol. 13, no. 1, art. 11. DOI: 10.1186/s40100-025-00353-x. EDN: VVYMRW.
13. Fernández-Amador O., Oberdabernig D.A., Tomberger P. Measuring regional integration into global supply chains: evidence from a new dataset of Swiss cantons. *Swiss Journal of Economics and Statistics*, 2025, vol. 161, art. 3. DOI: 10.1186/s41937-025-00134-9. EDN: XGNYRC.
14. Nandakumar N., Annaswamy A.M. Impact of increased renewables on natural gas markets in eastern United States. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 2017, vol. 5, pp. 424–438. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40565-017-0292-1>.
15. Chen Z., Zhang Y., Ji T., Cai Z., Li L., Xu Zh. Coordinated optimal dispatch and market equilibrium of integrated electric power and natural gas networks with P2G embedded. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 2018, vol. 6, pp. 495–508. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40565-017-0359-z>. EDN: HFRDCT.
16. Farokhzad Rostami H., Samiei Moghaddam M., Radmehr M., Ebrahimi R. Energy expansion planning with a human evolutionary model. *Energy Informatics*, 2024, vol. 7, art. 64. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42162-024-00371-x>. EDN: YKUJTD.
17. Zhou Y., Li L., Chen X. Sustainable consumption of household cooking practices: the mediating role of social trust. *The Journal of Chinese Sociology*, 2025, vol. 12, art. 13. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40711-025-00238-y>. EDN: HLOWTA.
18. Li Q., Yang M., Xu F. Evaluating the CO2 abatement effects of low-carbon city policy in China: a quasi-natural experiment. *Energy Informatics*, 2021, vol. 4, art. 39. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42162-021-00167-3>. EDN: AUEOFW.
19. Shaarawi S.I., Abutaleb Kh., Aboelmagd A.R., Temraz T. GHGs emission reductions and economic saving by enhancing switching to natural gas vehicles in Egypt. *Bulletin of the National Research Centre*, 2023, vol. 47, art. 107. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42269-023-01082-1>. EDN: OÖZMTV.
20. Lopes C., Correia A., Costa e Silva E., Monteiro M., Borges Lopes R. Inventory models with reverse logistics for assets acquisition in a liquefied petroleum gas company. *Journal of Mathematics in Industry*, 2020, vol. 10, art. 10. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13362-020-00078-0>. EDN: RWYBQW.
21. Ali M.K., Zahoor M.K., Saeed A., Nosheen S. Moderating effect of vertical integration on the relationship between sustainability and performance: evidence from oil and gas energy sector. *Future Business Journal*, 2023, vol. 9, art. 53. DOI: <https://doi.org/10.1186/s43093-023-00236-x>. EDN: IQKJEF.
22. Polemis D., Bentsos C. LNG vessels transits through Suez Canal under the changing geopolitical context. *Journal of Shipping and Trade*, 2025, vol. 10, art. 17. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41072-025-00205-3>. EDN: UVDCZE.
23. Isiksal A.Z. The role of natural resources in financial expansion: evidence from Central Asia. *Financial Innovation*, 2023, vol. 9, art. 78. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40854-023-00482-6>. EDN: QOOCBO.
24. Zhuang Y., Zhang G. Natural resources, rent dependence, and public goods provision in China: evidence from Shanxi's county-level governments. *The Journal of Chinese Sociology*, 2016, vol. 3, art. 20. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40711-016-0040-3>. EDN: EOTBQS.
25. Butt S., Ramakrishnan S., Loganathan N., Chohan M.A. Evaluating the exchange rate and commodity price nexus in Malaysia: evidence from the threshold cointegration approach. *Financial Innovation*, 2020, vol. 6, art. 22. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40854-020-00181-6>. EDN: ZNPLJQ.
26. Sueyoshi T., Goto M. World trend in energy: an extension to DEA applied to energy and environment. *Journal of Economic Structures*, 2017, vol. 6, art. 13. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40008-017-0073-z>. EDN: BSWOJA.

27. Tenkovskaya L.I. Correlation regression based forecast of Gazprom PJSC stock quotes. *Perm University Herald. Economy*, 2023, vol. 18, no. 1, pp. 25–52. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17072/1994-9960-2023-1-25-52>. EDN: FACVZS.
28. Kristjanpoller W. A hybrid econometrics and machine learning based modeling of realized volatility of natural gas. *Financial Innovation*, 2024, vol. 10, art. 45. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40854-023-00577-0>. EDN: FXZZWD.
29. Cunado J., Gabauer D., Gupta R. Realized volatility spillovers between energy and metal markets: a time-varying connectedness approach. *Financial Innovation*, 2024, vol. 10, art. 12. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40854-023-00554-7>. EDN: LXGBQB.
30. Tsuji C. Simmering tensions on the Russia–Ukraine border and natural gas futures prices: identifying the impact using new hybrid GARCH. *Energy Informatics*, 2024, vol. 7, art. 37. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42162-024-00336-0>. EDN: JKZFFB.
31. Salazar C., Acuña-Duarte A., Gil J.M. Price relationships between differentiated agricultural products. Do energy and climate shocks matter? *Agricultural and Food Economics*, 2025, vol. 13, art. 12. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40100-025-00355-9>. EDN: RUDWKW.

Information about the author

Lyudmila I. Tenkovskaya, Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Stock Market Analyst, PJSC Moscow Exchange MICEX-RTS, 13, Bolshoy Kislovsky alley, Moscow, 125009, Russian Federation; tenkovskaya.lyudmila@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2055-1497>

Received: 12.04.2026

Revised: 13.06.2026

Accepted: 30.09.2026