

# МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ В ЭКОНОМИКЕ

УДК 330.43

## Айвазян Г. В., Моисеев Н. А. Исследование динамики связи курса рубля и цены на нефть в 2021-2024 гг. с использованием метода DCC GARCH

A study of the dynamics of the relationship between the ruble exchange rate and oil prices in 2021-2024 using the DCC GARCH method

**Айвазян Г.В.,**

аспирант кафедры математических методов в экономике РЭУ им. Г. В. Плеханова, Москва

**Моисеев Н.А.,**

д. э. н., профессор, профессор кафедры математических методов в экономике РЭУ им. Г. В. Плеханова, Москва

Ayvazyan G.V.,

1. Postgraduate student of the Department of Mathematical Methods in Economics, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow

Moiseev N.A.

2. Doctor of Economics, Professor, Professor of the Department of Mathematical Methods in Economics, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow

**Аннотация.** В данной статье была проанализирована зависимость между ценой на нефть марки Urals и курсом рубля в период с января 2021 года по сентябрь 2024 года. Актуальность работы обусловлена сильным изменением рыночной конъюнктуры после событий 2022 г., что могло повлечь изменение различных рыночных связей. Для моделирования корреляции между рассматриваемыми показателями во времени была использована модель DCC GARCH первого порядка. В работе основной акцент был сделан на изучении связи между ценой на нефть и курсом рубля до и после 2022 года в контексте ужесточения антироссийских санкций.

**Ключевые слова:** DCC GARCH, GARCH, Urals, динамическая корреляция, корреляционный анализ, кризис 2022, нефть, доллар, курс рубля.

**Abstract.** This article analyzes the relationship between the price of Urals crude oil and the ruble exchange rate in the period from January 2021 to September 2024. The relevance of the work is due to the strong change in market conditions after the events of 2022, which could lead to a change in various market relations. The first-order DCC GARCH model was used to model the correlation between the considered indicators over time. The paper focused on studying the relationship between the oil price and the ruble exchange rate before and after 2022 in the context of tougher anti-Russian sanctions.

**Keywords:** DCC GARCH, GARCH, Urals, dynamic correlation, correlation analysis, crisis of 2022, oil, dollar, ruble exchange rate.

Рецензент: Булгакова Ирина Николаевна - Доктор экономических наук, доцент. Доцент кафедры системного анализа и управления ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»

## ВВЕДЕНИЕ

Нефть играет ключевую роль в российской экономике, формируя значительную часть ВВП и экспортных доходов. Исторически сложившаяся зависимость от нефтегазового сектора сделала Россию одним из крупнейших мировых поставщиков энергоресурсов, обеспечивая приток валюты, необходимый для поддержания государственных расходов и финансирования других отраслей экономики [12]. Добыча, транспортировка и переработка нефти генерируют рабочие места и стимулируют развитие инфраструктуры, а налоги и пошлины, взимаемые с нефтегазовых компаний, составляют значительную долю федерального бюджета. Однако, такая высокая зависимость от нефти создает и ряд экономических уязвимостей. Колебания мировых цен на нефть напрямую влияют на доходы бюджета, курс рубля и общую экономическую стабильность [11, 15]. Необходимость диверсификации экономики и снижения зависимости от сырьевого сектора является одной из ключевых задач, стоящих перед российским правительством, для обеспечения устойчивого и сбалансированного экономического роста в долгосрочной перспективе.

Динамика курса рубля к доллару США также является одним из главных факторов, определяющих состояние российской экономики [4, 8]. В контексте этой динамики особенно интересным представляется влияние на нее цены на нефть, являющейся для России ключевым экспортным товаром.

Ранее уже проводились исследования, целью которых было выяснить, насколько влияет цена на нефть на курс рубля. Так, в работе [9] для определения этой связи в период 2009–2019 гг. использовалась авторегрессионная модель с марковскими переключениями режимов. По результатам анализа был сделан вывод, что в период до ноября 2014 г., характеризующийся режимом управляемого валютного курса, эта зависимость была слабой; в период до июля 2017 г., когда был переход к режиму таргетирования инфляции, курс рубля сильно зависел от цены на нефть; а после этого, вплоть до 2019 г. зависимость снова ослабла, что, как отмечают авторы, явилось следствием введения нового бюджетного правила. В работе [3] опираясь на результаты регрессионного анализа также был сделан вывод о значительном влиянии цены на нефть на курс рубля с 2011 г. по 2016 г., и незначительном влиянии в период с 2017 г. по 2020 г., что также связывалось авторами с изменениями в монетарной и фискальной политике.

В последние годы в связи с усложнением отношений с западными странами и масштабными санкциями существенно изменилась рыночная конъюнктура. Например, в последние годы значительно увеличилась инфляция, снизился экономический рост, а также увеличился фокус на импортозамещение, в особенности в высокотехнологичных отраслях [1, 6]. Также в связи с санкциями изменилась конъюнктура и нефтегазовой

отрасли в России в первую очередь в связи с изменением структуры экспорта [7]. В работе [2] уже анализировалось насколько изменилась зависимость российского и западного фондовых рынков в военный период по сравнению с довоенным, но вызывает также интерес и то, насколько изменилась взаимосвязь курса рубля и цены на нефть в контексте этих трансформаций.

## МЕТОДОЛОГИЯ

Целью данного исследования является анализ динамики зависимости курса рубля от цены на нефть марки Urals в период с января 2021 г. по сентябрь 2024 г.

Для этой цели было проведено моделирование динамики корреляционной структуры временных рядов, представляющих собой дневные данные по ценам на нефть марки Urals и курсу доллара в указанный период методом DCC GARCH.

Модель DCC-GARCH, разработанная Энглom [13], применяется для учета изменяющейся во времени волатильности и корреляции между фондовыми индексами. Общее уравнение модели DCC-GARCH приведено ниже [14]:

$$H_t = D_t R_t D_t \quad (1)$$

где  $H_t$  - матрица условной дисперсии,  $D_t$  - диагональная матрица размера  $k \times k$ , имеющая условное среднеквадратическое отклонение  $\sqrt{h_{it}}$  на своих диагоналях, и  $R_t$  - изменяющаяся во времени корреляционная матрица. Условная дисперсия ( $h_{it}$ ) в данной модели оценивается с использованием одномерной модели GARCH ( $X, Y$ ), как показано в уравнении (2).

$$h_{it} = \omega_i + \sum_{x=1}^{x_i} \alpha_{ix} r_{it-x}^2 + \sum_{y=1}^{y_i} \beta_{iy} h_{it-y}, \text{ for } i = 1, 2, \dots, k \quad (2)$$

где  $\omega_i$ ,  $\alpha_{ix}$  и  $\beta_{iy}$  неотрицательны,  $\sum_{x=1}^{x_i} \alpha_{ix} + \sum_{y=1}^{y_i} \beta_{iy} < 1$ , а количество активов обозначено  $k$ . В текущем исследовании используется часто используемая одномерная модель GARCH(1, 1).

Кроме того, отсюда находятся остатки ( $\varepsilon_t$ ) и условные стандартные отклонения ( $\sqrt{h_{it}}$ ). Условное стандартное отклонение выражается диагональной матрицей  $D_t$ , состоящей из элементов ( $\sqrt{h_{it}}$ ) на диагоналях, как показано в уравнении (3).

$$D_t = \begin{bmatrix} \sqrt{h_{11,t}} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sqrt{h_{22,t}} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \sqrt{h_{33,t}} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Стандартизированные остатки  $\left(\sigma_{it} = \frac{\varepsilon_{it}}{\sqrt{h_{it}}}\right)$  в дальнейшем используются для оценивания динамической корреляционной матрицы  $R_t$ .

$$R_t = \widehat{Q}_t^{-1} Q_t \widehat{Q}_t^{-1} \quad (4)$$

$$\widehat{Q}_t = \begin{bmatrix} \sqrt{q_{11}} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sqrt{q_{22}} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \sqrt{q_{kk}} \end{bmatrix} \quad (5)$$

где  $\widehat{Q}_t$  – диагональная матрица, состоящая из квадратных корней диагональных элементов матрицы  $Q_t$ , как указано в уравнении (5).

$$Q_t = (1 - a - b)\bar{Q} + a(\varepsilon_{t-1}\varepsilon'_{t-1}) + bQ_{t-1} \quad (6)$$

где  $Q_t$  — симметричная положительная определенная матрица условной ковариации,  $Q_t = (q_{ij,t})$  и  $\bar{Q}$  — безусловная ковариация стандартизованного остатка одномерной модели GARCH.

Условную корреляцию  $\rho_{ij,t} = \frac{q_{i,j,t}}{\sqrt{q_{i,j,t}q_{i,j,t}}}$  можно выразить в типичной корреляционной форме следующим образом:

$$\rho_{ij,t} = \frac{W + a\varepsilon_{t-1} - 1\varepsilon'_{t-1} + bQ_{t-1}}{\sqrt{W + a\varepsilon_{t-1} - 1\varepsilon'_{t-1} + bQ_{t-1}}\sqrt{W + a\varepsilon_{t-1} - 1\varepsilon'_{t-1} + bQ_{t-1}}}, \quad (7)$$

где  $W = (1 - a - b)\bar{Q}$ .

Как при оценивании параметров одномерных моделей GARCH, так и при оценивании параметров  $a$  и  $b$  в (14) используется метод максимального правдоподобия в предположении нормального распределения (более подробно см. [13]).

Данные о значениях курса доллара к рублю и спотовой цены на нефть марки Urals были взяты с финансовой платформы Investing.com [10]. Рассматривались дневные данные с 1 января 2021 г. по 1 сентября 2024 г., где в качестве дневной характеристики стоимости актива бралась максимальная цена за день.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам оценки корреляции моделью DCC GARCH можно увидеть, что период до 2022 г. характеризовался, в основном, отрицательной корреляцией между ценой на нефть марки Urals и курсом доллара. Это говорит о том, что в этот промежуток времени с увеличением цены на нефть, рубль укреплялся, а со снижением, напротив, ослаблялся. Однако в период 2022-2024 гг. корреляция колебалась возле нуля, что может говорить об отсутствии четкой линейной связи между курсом доллара к рублю и ценой на нефть.

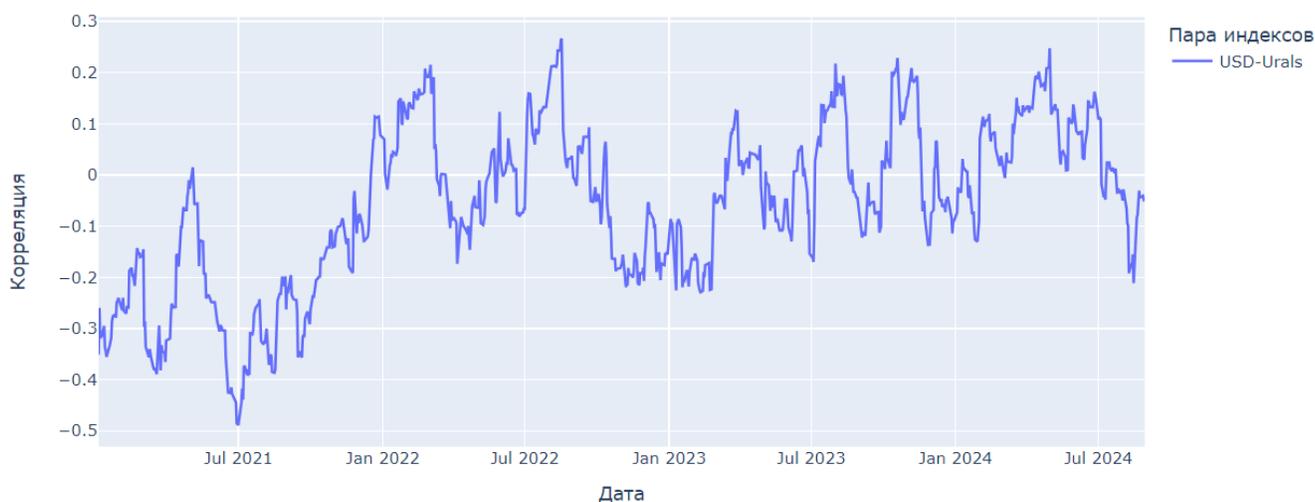


Рисунок 1. График условной корреляции по времени с 1 января 2021 г. по 1 сентября 2024 г. между курсом доллара к рублю и ценой на нефть марки Urals

Так, если разделить весь рассматриваемый период на два интервала времени: довоенный период – с 1 января 2019 г. по 23 февраля 2022 г. и период вооруженного конфликта – с 24 февраля 2022 г. по 1 марта 2024 г., и посчитать среднее значение дневной корреляции, оцененной моделью DCC GARCH, то выяснится, что в довоенный период оно составило  $-0.188$ , в то время как в период вооруженного конфликта –  $-0.015$ .

Из описанного выше видно, что линейная связь между курсом доллара к рублю и ценой на нефть марки Urals имела отчетливый отрицательный характер в 2021 г., а начиная с 2022 г. между этими показателями уже не было четкой связи.

В некоторой степени это, очевидно, связано с жесткими ограничениями, связанными с операциями с иностранной валютой, введенными после февраля 2022 г., а также с директивой государства экспортерам продавать валютную выручку [5]. Тем не менее, налицо факт снижения прямой зависимости курса доллара к рублю от цены на нефть в следствии вооруженного кризиса 2022 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что в условиях кризисных явлений традиционные экономические взаимосвязи могут быть существенно нарушены. Значительное снижение корреляции между ценой на нефть и курсом рубля, выявленное после февраля 2022 года, вероятно, является прямым следствием введения жестких ограничений на валютные операции и директивы об обязательной продаже валютной выручки экспортерами. Эти меры, направленные на стабилизацию валютного рынка в условиях санкционного давления, фактически подавили естественный рыночный механизм, при котором доходы от экспорта нефти напрямую влияли на курс

рубля. Дальнейшие исследования могут быть направлены на детальный анализ влияния каждого из введенных регуляторных инструментов на валютный рынок, а также на выявление новых факторов, определяющих динамику курса рубля в условиях изменившейся геополитической и экономической реальности.

#### Библиографический список

1. Абдикеев Н. М. Импортозамещение в высокотехнологичных отраслях промышленности в условиях внешних санкций //Управленческие науки. – 2022. – Т. 12. – №. 3. – С. 53-69.
2. Айвазян Г. В. Исследование динамики связи российского и мирового фондовых рынков в 2019-2024 гг. с использованием метода DCC GARCH //по специальностям 1.2. 1. Искусственный интеллект и машинное обучение, 1.2. 2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. – 2024. – С. 69.
3. Алехин Б. И. Нефть и рубль: коллапс коинтеграции //Финансовый журнал. – 2021. – Т. 13. – №. 1. – С. 58-74.
4. Глазунов С. Н. Курс рубля и экономика России //Экономическое возрождение России. – 2014. – №. 1 (39). – С. 31-36.
5. Климова П. Н., Петрушина О. М. Аналитическая оценка некоторых показателей валютного регулирования и валютного контроля // Экономика и бизнес: теория и практика. 2024. №1-1 (107). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiticheskaya-otsenka-nekotoryh-pokazateley-valyutnogo-regulirovaniya-i-valyutnogo-kontrolya> (дата обращения: 20.01.2025).
6. Масальский М. Г. Экономические санкции. Влияние экономических санкций на Российскую Федерацию // Экономика и социум. 2022. №4-3 (95). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskie-sanktsii-vliyanie-ekonomicheskikh-sanktsiy-na-rossiyskuyu-federatsiyu> (дата обращения: 04.01.2025).
7. Стефанова Н. А., Королев А. А. Влияние геополитического кризиса на нефтегазовую отрасль экономики Российской Федерации //Экономические отношения. – 2024. – №. 2. – С. 323.
8. Титова О. В., Восканян Н. А. Динамика валютных курсов и их влияние на Российскую экономику //Вектор экономики. – 2020. – №. 5. – С. 29-29.
9. Шумилов А. В., Полбин А. Модель зависимости обменного курса рубля от цен на нефть с марковскими переключениями режимов //Экономика и математические методы. – 2020. – Т. 56. – №. 4. – С. 88-98.
10. Финансовые рынки. Котировки. Режим доступа: <https://ru.investing.com/markets/> (дата обращения 15.01.2025).

11. Balashova S., Serletis A. Oil prices shocks and the Russian economy //The Journal of Economic Asymmetries. – 2020. – Т. 21. – С. e00148.
12. Crude Oil: Exports. Режим доступа: <https://ru.investing.com/markets/> (дата обращения 04.01.2025).
13. Engle, R. Dynamic conditional correlation: A simple class of multivariate generalized autoregressive conditional heteroskedasticity models. J. Bus. Econ. Stat. 2002, 20, 339–350. <https://doi.org/10.1198/073500102288618487>
14. Joyo A. S., Lefen L. Stock market integration of Pakistan with its trading partners: A multivariate DCC-GARCH model approach //Sustainability. – 2019. – Т. 11. – №. 2. – С. 303. <https://doi.org/10.3390/su11020303>
15. Lomonosov D., Polbin A., Fokin N. The impact of global economic activity, oil supply and speculative oil shocks on the Russian economy //HSE Economic Journal. – 2021. – Т. 25. – №. 2. – С. 227-262.