

DOI: 10.15838/esc.2024.1.91.14

УДК 338.4, ББК 65.20:66.3

© Нифтиев И.М., Рустамли Э.Ф., Маммадли Р.М.

Моделирование производства возобновляемой электроэнергии в Азербайджане



**Ибрагим М.
НИФТИЕВ**

Азербайджанский государственный экономический университет
Баку, Азербайджан
e-mail: ibrahim.niftiyev@unec.edu.az
ORCID: 0000-0003-3437-9824



**Эмин Ф.
РУСТАМЛИ**

UNY LLC
Баку, Азербайджан
e-mail: emin.f.rustamli@gmail.com
ORCID: 0009-0005-5761-8367



**Раван М.
МАММАДЛИ**

Азербайджанский государственный экономический университет
Баку, Азербайджан
e-mail: ravan.m.mammadli@gmail.com
ORCID: 0009-0003-1390-2716

Для цитирования: Нифтиев И.М., Рустамли Э.Ф., Маммадли Р.М. (2024). Моделирование производства возобновляемой электроэнергии в Азербайджане // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. Т. 17. № 1. С. 240–260. DOI: 10.15838/esc.2024.1.91.14

For citation: Niftiyev I.M., Rustamli E.F., Mammadli R.M. (2024). Modeling renewable electricity production in Azerbaijan. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 17(1), 240–260. DOI: 10.15838/esc.2024.1.91.14

Аннотация. Азербайджан — богатая нефтью страна на Южном Кавказе, обладающая большим потенциалом для развития сектора возобновляемых источников энергии, на долю которого в настоящее время приходится лишь небольшая часть от общего объема производства энергии. Увеличение объемов выработки электроэнергии из возобновляемых источников приносит экономические и экологические выгоды: повышение энергетической безопасности, устойчивости и ресурсосбережения, децентрализованное производство электроэнергии, технологические инновации и смягчение последствий изменения климата. Несмотря на растущее число исследований, посвященных зеленой энергетике Азербайджана или энергетическому переходу, динамика относительно продолжительного производства электроэнергии из возобновляемых источников на душу населения в стране изучена не в полной мере. Более того, в большинстве исследований не учитывается роль технологических изменений и ключевых институциональных и политических переменных в энергетическом переходе. В нашей работе восполняется этот пробел, в ней применяется моделирование с помощью динамического обычного метода наименьших квадратов (DOLS) к годовым данным для выявления ключевых экономических, институциональных и политических детерминант в период с 1990 по 2021 год. Обнаружено, что экономические переменные, такие как цены на нефть, открытость торговли, выбросы CO₂, присоединение к Киотскому протоколу и кризисные периоды, были положительно и статистически значимо связаны с производством электроэнергии из возобновляемых источников в Азербайджане. Однако институциональные переменные (например, эффективность государственного управления), ВВП на душу населения и потребление первичной энергии были отрицательно и статистически значимо связаны с производством возобновляемой электроэнергии. Полученные выводы могут послужить источником важной информации об увеличении объемов производства энергии из возобновляемых источников как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе. Следовательно, работа представляет интерес для ученых, политиков и лиц, принимающих решения.

Ключевые слова: экономика Азербайджана, производство электроэнергии, динамический метод наименьших квадратов, зеленая экономика, возобновляемые источники энергии.

Введение

Исследование фундаментальных факторов, определяющих производство энергии из возобновляемых источников, приносит существенную пользу обществу. Прежде всего это помогает повысить энергетическую безопасность за счет снижения зависимости от импорта ископаемого топлива (Moriarty, Honnery, 2016). Далее, такие источники характеризуются незначительными выбросами парниковых газов, что делает их ключевым компонентом перехода к низкоуглеродной экономике и сопутствующему снижению выбросов¹. Кроме того, переход на возобновляемые источники энергии способствует укреплению здоровья населения за счет уменьшения загрязнения воздуха, что повышает качество жизни обще-

ства (Singh et al., 2010; Wolch et al., 2014). Этот переход также несет в себе потенциал для создания новых рабочих мест, особенно в сфере производства, установки и обслуживания инфраструктуры возобновляемых источников энергии². Наконец, в регионах, где преобладает традиционная биомасса, переход на возобновляемые источники энергии положительно влияет на жизнь в сельской местности, поскольку отпадает необходимость тратить значительное количество времени и сил на заготовку дров, и одновременно расширяется доступ к современным энергетическим услугам³.

¹ Meletioui A. (2017). The role of network regulation in the transition towards a low-carbon European power system. Doctoral dissertation. Politecnico di Torino.

² См.: Guta D. (2015). Bio-based energy, rural livelihoods and energy security in Ethiopia. Doctoral dissertation, Universitäts- und Landesbibliothek Bonn. DOI: 10.3726/978-3-653-06173-4

³ Там же.

Богатые нефтью страны все больше стремятся отказаться от традиционного производства энергии на основе ископаемого топлива. Этот переход обусловлен рядом факторов, которые наделяют производство возобновляемой энергии значительным потенциалом для укрепления долгосрочного экономического роста и стратегий развития богатых нефтью стран (Østergaard et al., 2021). Преимущества такого перехода следующие: диверсификация внутреннего производства энергии, которую можно также экспортировать; снижение затрат на производство; уменьшение негативного воздействия на окружающую среду; создание дополнительных возможностей для трудоустройства. Это цели, к которым стремятся многие развивающиеся нефтедобывающие страны. Вышесказанное требует изучения конкретных примеров для получения более глубокого представления о национальных социально-экономических показателях и секторе возобновляемой энергетики. В качестве одного из таких примеров можно привести Азербайджан, расположенный на Южном Кавказе и граничащий с Каспийским морем.

Азербайджан располагает значительными запасами нефти и природного газа, которые используются как для производства энергии внутри страны, так и для получения значительных доходов от экспорта (Bayulgen, 2003). В широком смысле Азербайджан обладает примерно семью миллиардами баррелей нефти, а уровень ее добычи в 2010 году составил 1 034,63 тысячи баррелей в день, что стало самым высоким показателем с 1991 года⁴. Горнодобывающий сектор, на долю которого в 2022 году пришлось 55,94% добавленной стоимости, играет важную роль, а производство энергии является основным стимулом для развития ненефтяной экономики⁵. Горнодобывающая и энергетическая отрасли традиционно воспринимаются как ключевые, а некоторым ненефтяным отраслям и институциональным достижениям в ненефтяной сфере не уделяется должного внимания, в том числе в связи с необходимостью получе-

ния сырьевой ренты⁶. Таким образом, быстрый экономический рост, прогресс в развитии, сокращение бедности и рост благосостояния, наблюдаемые в Азербайджане, сопровождаются такими явлениями, как «голландская болезнь» и деиндустриализация (Hasanov, 2013).

Зависимость Азербайджана от нефти, производство энергии на основе ископаемого топлива и ограниченные возможности для создания рабочих мест делают необходимым рассмотрение таких актуальных проблем, как возможности развития зеленой экономики с целью создания социальных и экономических перспектив. Несмотря на растущий объем литературы, посвященной изучению зеленой экономики и производства возобновляемой энергии в Азербайджане, комплексный подход к моделированию основных экономических, институциональных и политических факторов, влияющих на производство возобновляемой энергии, остается недостаточно проработанным. Кроме того, до сих пор не было проведено комплексное исследование динамики производства возобновляемой энергии за длительный период времени (с 1990 по 2021 год). Для устранения этого пробела в работе построены линейные модели экономики Азербайджана в зависимости от производства электроэнергии из возобновляемых источников на душу населения, что является ключевым фактором, влияющим на общий экономический рост и развитие (Humbatova, 2020). Исследовательский вопрос, на который мы попытаемся найти ответ, заключается в следующем: как экономические, институциональные и политические факторы повлияли на производство возобновляемой электроэнергии на душу населения в Азербайджане в период с 1990 по 2021 год? Для этого мы используем количественный метод исследования, в частности динамический обычный метод наименьших квадратов (DOLS), который эффективно устраняет проблемы эндогенности и серийной корреляции (Saikkonen, 1991; Stock, Watson, 1993). Подход позволяет отразить устойчивые и динамические взаимосвязи

⁴ The Global Economy (2023). Available at: <https://www.theglobaleconomy.com/>

⁵ Там же.

⁶ См.: Frayne T. (2012). Energy sector FDI in Azerbaijan: An example of good governance. E-international Relations. Available at: <https://www.e-ir.info/2012/08/05/energy-sector-fdi-in-azerbaijan-an-example-of-good-governance/>

между интересующими нас переменными, решая общие проблемы эндогенности, распространенные в наборах экономических данных (Isiaka, 2020). Таким образом, мы руководствуемся предложениями, содержащимися в работе Ahmet (Ahmet, 2021), согласно которым метод DOLS позволяет получить несмещенные коэффициенты для небольших выборок, соответствующих нашей ситуации, независимо от степени их интеграции. Вклад исследования заключается в комплексном рассмотрении детерминант возобновляемой электроэнергии на душу населения в Азербайджане, небольшой богатой нефтью стране, где мировые цены на нефть в значительной степени определяют экономическое процветание. Мы опираемся на теоретическую базу, полученную из обзора литературы, в частности посвященной азербайджанской экономике. Основные научные гипотезы нашей работы:

Г1: экономические детерминанты (например, ВВП на душу населения, открытость торговли) играют статистически значимую роль в производстве возобновляемой электроэнергии на душу населения в Азербайджане в период с 1990 по 2021 год;

Г2: институциональные детерминанты (например, эффективность правительства, качество регулирования) играют статистически значимую роль в производстве возобновляемой электроэнергии на душу населения в Азербайджане в период с 1996 по 2021 год;

Г3: политические детерминанты (например, расходы на исследования и разработки, присоединение к Киотскому протоколу) играют статистически значимую роль в производстве электроэнергии из возобновляемых источников на душу населения в Азербайджане в период с 1996 по 2021 год.

Обзор литературы и теоретическая база

Потенциал Азербайджана для перехода от преобладающей парадигмы энергетики, основанной на использовании ископаемого топлива, к более экологически устойчивой модели производства привлекает пристальное внимание. Это обусловлено наличием в стране мощностей гидро-, солнечной и ветроэнергетики, что благоприятно сказывается на увеличении производства электроэнергии из возобновляе-

мых источников на душу населения (Vidadili et al., 2017). Преобладает мнение, что скрытый потенциал Азербайджана остается не полностью задействованным, открывая перспективы значительного увеличения производства зеленой энергии (Mustafayev et al., 2022). Существует реальная возможность увеличить производство электроэнергии в Азербайджане на 5–7%, а также на 10% повысить производство тепловой энергии, чему способствует внедрение альтернативных источников энергии (Azizov, Mammadova, 2022). Правительство Азербайджана уделяет внимание этим вопросам, особенно в последнее десятилетие, что подчеркивается в Государственной программе по использованию альтернативных и возобновляемых источников энергии в Азербайджанской Республике (Hasanov, 2023). Но все же сохраняются и существенные проблемы в области правовой базы, беспрепятственной интеграции в энергосистему, ограничений по емкости накопителей и гармонизации динамики спроса и предложения, что требует согласованных усилий для их решения в обозримой перспективе.

Количество эконометрических и эмпирических исследований производства возобновляемой энергии в Азербайджане продолжает расти. Например, Huseynli и Huseynli (Huseynli, Huseynli, 2022) выявили причинно-следственную связь между переменными, включающими производство возобновляемой энергии, безработицу и объем производства традиционной энергии. Используя векторную авторегрессию и корреляционный анализ, ученые обнаружили устойчивую взаимосвязь между этими переменными и выяснили, что общее производство и потребление энергии способствует увеличению объемов производства возобновляемой энергии, тем самым создавая новые перспективы занятости. Mukhtarov (Mukhtarov, 2022) применил тест на причинность по Грейнджеру к годовым данным за период с 1992 по 2015 год и обосновал наличие причинно-следственной связи между экономическим ростом и производством возобновляемой энергии в Азербайджане. Mukhtarov и соавторы (Mukhtarov et al., 2020) установили, что рост потребления возобновляемой энергии на 0,16 и 0,60% сопровождается повышением на 1% уровня финансо-

вого развития, измеряемого через показатель внутреннего кредита по отношению к ВВП в период с 1993 по 2015 год. Это статистически достоверным образом подчеркивает ключевую роль внутреннего финансового развития и экономического роста в стимулировании потребления возобновляемой энергии. Тем не менее, в ряде работ были выдвинуты контраргументы, опровергающие предположение об устойчивом равновесии между производством возобновляемой энергии и ключевыми экономическими переменными в азербайджанской экономике (Kalyoncu, 2013), а также ставящие под сомнение их вклад в экономический рост (Huseynli, 2022). Несмотря на это, последнее исследование Hasanov и соавторов (Hasanov et al., 2023) с использованием алгоритмов машинного обучения показало, что и общая факторная производительность, и потребление возобновляемой энергии приводят к сокращению выбросов CO₂.

Азербайджан сталкивается с необходимостью ускорить процесс перехода на новые виды энергии. Традиционная практика производства энергии на основе ископаемого топлива, помимо того, что она явно не соответствует программе устойчивого развития, которой придерживается Организация Объединенных Наций, имеет негативные экологические последствия (Abbasov, 2015). Проблема деградации окружающей среды в Азербайджане привлекает пристальное внимание на протяжении нескольких лет. Это объясняется наличием в стране огромных запасов нефти и газа, что еще больше усугубилось историческим «Контрактом века», подписанным в 1994 году. Это также усилило озабоченность по поводу сохранения окружающей среды (Aliyev et al., 2006). Известные ученые утверждают, что инициированные государством начинания, такие как проекты «Чистый город» и «Белый город», представляют собой конкретные меры по борьбе с изменением климата и истощением жизненно важных ресурсов в Азербайджане (Mehdialiyeva, Mazanova, 2013). Внедрение автономных фотоэлектрических технологий (SAPV) в Карабахском регионе, в частности в городе Зангелан, служит ярким примером систематического стремления политиков укреплять социально-экономиче-

ское благополучие новых общин с помощью стратегий устойчивого производства энергии. Однако необходимо признать, что масштаб таких инициатив не должен ограничиваться исключительно энергетическим сектором; преимущества устойчивой зеленой энергетики должны касаться также сельского хозяйства и транспортной отрасли (Mehdialiyeva, Mazanova, 2013).

В рамках дискурса, охватывающего производство зеленой энергии в Азербайджане, перспективным направлением является сотрудничество с иностранными государствами для использования накопленного ими опыта, технологических инноваций и политических решений. Hajiyeva и Musayeva-Gurbanova подчеркивают перспективы развития сотрудничества между Азербайджаном и европейскими партнерами, в частности Швейцарией и Швецией, известными своими эффективными экономическими парадигмами и политикой, направленной на интеграцию зеленой энергетики (Musayeva-Gurbanova, Hajiyeva, 2022). Этот импульс подчеркивается ключевой ролью Азербайджана в укреплении энергетической безопасности стран Европейского союза, что придает стратегическое значение Южному Кавказу и региону Каспийского моря (Galandarova, 2023). Galandarova (Galandarova, 2023) также утверждает, что сотрудничество между Азербайджаном и странами Европейского союза способствует созданию прочной нормативно-правовой базы для продвижения программы производства возобновляемой энергии (Galandarova, 2023).

По сути, перспективные траектории производства возобновляемой энергии в Азербайджане опираются как на оптимистичные, так и на осторожные взгляды. Каждая позиция подкрепляется различными тезисами, основанными на преобладающих политических, социально-экономических и институциональных условиях. Например, Азербайджан разрабатывает целый ряд законодательных актов, правовых документов и государственных инициатив, созвучных европейским нормам, что свидетельствует о стремлении страны организовать энергетический переход, учитывающий экологические императивы и экономию ресурсов (Ahmadov,

Khalilov, 2019). Ibadoghlu (Ibadoghlu, 2022) предлагает свой взгляд на оценку производства возобновляемой энергии; Hajizada (Hajizada, 2021) утверждает, что сильное межведомственное взаимодействие в сочетании с проактивной позицией правительства Азербайджана повышает возможность реализации поставленных целей в сфере зеленой энергетики. Сравнительный анализ, проведенный Cholewa и соавторами (Cholewa et al., 2022), а также Guliyev (Guliyev, 2023), подчеркивает стремление Азербайджана сократить выбросы парниковых газов на 30% за счет сектора возобновляемой энергетики. Тем не менее, возникают проблемы: ограниченное сотрудничество с соседними странами и ярко выраженное монопольное господство ОАО «Азерэнерджи», что снижает эффективность нормативно-правовой базы и нормативных предписаний (Hamidova et al., 2022).

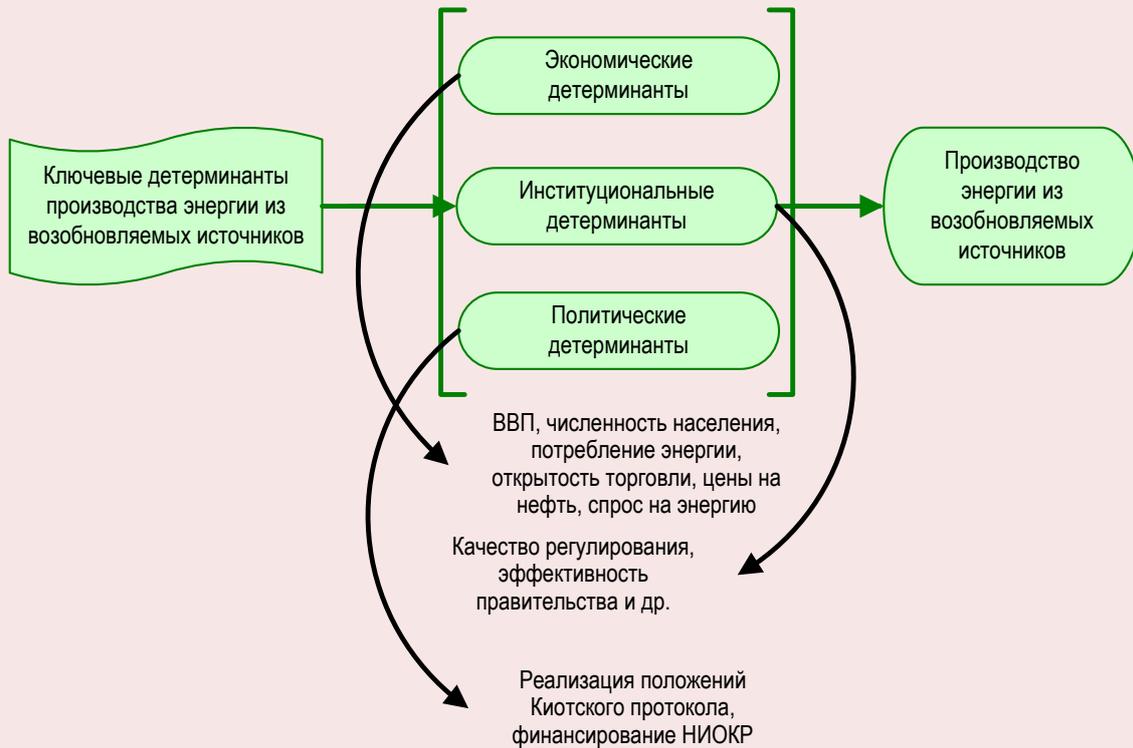
В ряде исследований обращается внимание на недобросовестные действия и серьезные препятствия, мешающие прогрессу развития зеленой энергетики в Азербайджане. Страна сталкивается с необходимостью пересмотреть свои ценовые и инвестиционные стратегии в сфере производства электроэнергии. В сложившейся обстановке достичь инвестиционного порога, необходимого для наращивания мощностей по производству возобновляемой энергии, очень сложно (Gulaliyev et al., 2020). Существующая технологическая и экономическая эффективность, связанная с производством возобновляемой энергии, явно неоптимальна в сочетании с недостатком стимулов, способных придать необходимый импульс потенциальным заинтересованным сторонам Азербайджана (Gulaliyev et al., 2020). Nuriyev и соавторы (Nuriyev et al., 2021) подтверждают вышесказанное, указывая среди проблемных аспектов развития возобновляемой энергетики энергетическую политику, финансовые риски и необходимость доступа к сетям. Bayramov (Bayramov, 2021) подчеркивает роль субсидий в принятии государством мер, направленных на стимулирование и укрепление производства энергии на основе ископаемого топлива, и обходит стороной проблему стимулирования начинаний в области возобновляемых источников энергии.

Трудности, вызванные пандемией COVID-19, нашли отклик и в сфере возобновляемой энергетики Азербайджана. По мере снижения мирового спроса и цен на нефть фискальная свобода Азербайджана сократилась, что ограничило его возможности по инвестированию и наращиванию производства возобновляемых источников энергии (Bayramov, 2021).

Доступ к капиталу для проектов возобновляемой энергетики остается затрудненным из-за низкой ликвидности в местной банковской системе и высоких процентных ставок (Bayramov, 2021). Guliyev (Guliyev, 2023) утверждает, что сектор возобновляемой энергетики Азербайджана зависит от прямых иностранных инвестиций из стран Персидского залива. Предпочтения потребителей в отношении возобновляемых источников энергии также невелики, а азербайджанская общественность по-прежнему плохо информирована о возможностях отказа от ископаемого топлива (Bayramov, 2021). Для расширения использования возобновляемых источников энергии необходимо повысить осведомленность населения (Bayramov, 2021).

Мы сформулировали теоретическую основу исследования, опираясь на работы (Ahmad et al., 2022; Bourcet, 2020; Omri, Nguyen, 2014; Przychodzen, Przychodzen, 2020). Методологический подход к выбору переменных в контексте исследования представлен на *рисунке 1*. Мы разделили переменные на три категории: экономические, институциональные и политические детерминанты, в совокупности представляющие основные каналы, через которые происходит воздействие на производство возобновляемой энергии. Эта классификация справедлива не только для Азербайджана, но и в более широких международных рамках. В сфере экономических детерминант такие переменные, как ВВП на душу населения, спрос на энергию и открытость торговли, считаются основными факторами, влияющими на производство возобновляемой энергии. Аналогичным образом, институциональные детерминанты включают качество регулирования, эффективность правительства и агрегированный показатель качества институтов, основанный на

Рис. 1. Теоретическая основа исследования



Источник: составлено авторами на основе анализа литературы.

совокупности соответствующих показателей управления Всемирного банка, таких как верховенство закона, право голоса и подотчетность, контроль над коррупцией и политическая стабильность. Наконец, исследование политических аспектов производства возобновляемой энергии было основано на всестороннем анализе реализации Киотского протокола и выделения ресурсов на исследования и разработки.

Данные и методология

В исследовании используется методика DOLS, которая является более предпочтительным подходом по сравнению с традиционным методом OLS. Выбор обусловлен эффективностью DOLS в плане смягчения проблем, возникающих в связи с автокорреляцией и эндогенностью, о чем говорилось ранее. Ниже приводится общее функциональное представление эмпирических моделей:

$$Y_t = F(E_t, I_t, P_t), \quad (1)$$

где Y_t – производство электроэнергии из возобновляемых источников на душу населения в момент времени t ; E_t – возможные экономические детерминанты в тот же момент времени (например, ВВП на душу населения, цены на нефть, потребление энергии); I_t – институциональные детерминанты, охватывающие такие аспекты, как качество регулирования, эффективность правительства и среднее качество институтов, включающее дополнительные компоненты (например, контроль над коррупцией, законность); P_t – переменные в области политики, включающие такие факторы, как расходы на исследования и разработки, реализация Киотского протокола и т. д. Эта функциональная взаимосвязь оценивается с помощью различных переменных, отобранных в соответствии с теоретическими рамками исследования. Затем были рассчитаны модели DOLS в рамках подхода, разработанного Stock и Watson (Stock, Watson,

1993). Таким образом, наш расчет модели DOLS представлен следующим образом:

$$RenElec_t = C_0 + \beta_i X_{i,t} + \sum_{r=-k}^{r=k} \Phi_i \Delta X_{i,t+r} + \varepsilon_{i,t}, \quad (2)$$

где *RenElec* – производство электроэнергии из возобновляемых источников на душу населения в момент времени *t*; C_0 – вектор коэффициентов перехвата; $X_{i,t}$ – вектор интегрированных регрессоров в их уровневой форме, за которыми следуют их дифференцированная, лаговая и опережающая формы $\Delta X_{i,t+r}$; Δ – оператор разности, относящийся к вектору объясняющих переменных, входящих в состав *X*; *k* – количество лагов и опережений; Φ – вектор коэффициентов, полученных из лаговых и опережающих объясняющих переменных; β_i – вектор долгосрочных коэффициентов; ε_i – случайные условия ошибки в момент времени *t*. Решение установить значение *k*, равное «1», обусловлено ограничениями, накладываемыми ограниченным объемом выборки, основанной на годовых данных.

Нами проанализированы работы, в которых использовались модели DOLS для оценки данных временных рядов (Murshed, Saadat, 2008; Loganathan, Subramaniam, 2010; Mahadea, Kaseeram, 2018; Ahmet, 2021). Эти исследования были направлены на выяснение разумного выбора переменных в рамках одной модели с учетом ограничений, накладываемых объемом выборки. Анализ выявил устойчивую тенденцию, согласно которой обычно две-три, максимум четыре объясняющие переменные, включая параметр перехвата, считаются подходящими для оценки модели DOLS. В свете этого наблюдения наши усилия были направлены на использование от двух до трех объясняющих переменных в оценках, что способствовало получению существенных и несмещенных долгосрочных коэффициентов.

Для оценок OLS корректировка степеней свободы и изменение масштаба членов ошибки OLS являются стандартными процедурами в эконометрическом программном обеспечении EViews. Однако в контексте DOLS переоценка этого стандартного подхода становится необходимой из-за сложной природы модели, включающей лаги и опережения дифференцированных объясняющих переменных в сочетании с

их соответствующими уровневыми формами. В качестве корректирующей меры мы применили метод DOLS в эконометрическом программном обеспечении EViews. Примечательно, что ковариационная матрица коэффициентов строится по методу HAV, а опция корректировки степеней свободы остается не отмеченной, как и подобает методу DOLS. Для повышения робастности нашего анализа каждая модель прошла диагностические тесты, включая тест на нормальность Харке – Бера и тест Вальда. Кроме того, значения R-квадрата в сочетании со стандартной ошибкой регрессии дают представление о качестве линейных оценок.

В *таблице 1* представлен полный обзор рассматриваемых переменных. Примечательно, что временной охват переменных в наборе данных оказался разным. Например, такие показатели, как доля первичной энергии, получаемой из возобновляемых источников, преобладающие цены на нефть, темпы роста населения, выбросы CO₂ на душу населения и потребление первичной энергии на душу населения, отслеживались с 1990 по 2021 год. С другой стороны, показатели, включающие производство электроэнергии на душу населения из возобновляемых источников, ВВП на душу населения и степень открытости торговли, рассматривались за период с 1990 по 2021 год, а расходы на научные исследования и разработки (НИОКР) и институциональные переменные (например, качество регулирования, эффективность правительства) – с 1996 по 2021 год.

Для трех переменных наблюдались выпадающие значения. В частности, для переменной RegQ значение выброса было ограничено 2004 годом, а для переменных TrOpp и PrEnCon значения выброса распространялись на несколько лет (*табл. 2*). Для решения этой проблемы была применена стратегия, включающая ограничения на значения, в соответствии с которой выпадающие значения RegQ и TrOpp были заменены максимальными или минимальными значениями, извлеченными из соответствующих временных рядов, не затронутых выпадающими значениями. В отличие от этого, переменная PrEnCon оставалась неизменной с точки зрения значений выбросов, в первую очередь из-за сложностей, связанных с потенциальной потерей данных.

Таблица 1. Характеристика переменных, использованных в моделировании методом DOLS

№	Переменная	Сокращение	Определение	Источник
1.	Производство электроэнергии из возобновляемых источников на душу населения	RenElec	В киловатт-часах; общий объем электроэнергии из таких источников, как солнечная энергия, ветер, гидроэнергия, геотермальная энергия и т. д.	Our World in Data
2.	Выбросы CO ₂ на душу населения	CO2Emm	В тоннах; выбросы углекислого газа (CO ₂) в результате использования ископаемого топлива и промышленности, за исключением землепользования	
3.	Потребление первичной энергии на душу населения	PrEnCon	В киловатт-часах на человека	
4.	Цены на нефть	OilP	В долларах США за баррель; денежная стоимость одного барреля нефти	U.S. Energy Information Administration
5.	Открытость торговли	TrOpp	В %; процентная доля торговли (экспорт – импорт) в ВВП страны	The World Bank
6.	ВВП на душу населения	GDPPerCap	В текущих долларах США; ВВП на душу населения является результатом деления валового внутреннего продукта на численность населения в середине года	
7.	Расходы на НИОКР	R&DExp	В %; процент ВВП, выделяемый на расходы на исследования и разработки	
8.	Эффективность правительства	GovEff	В оценочном значении (-2,5 – самый низкий показатель; +2,5 – самый высокий); эффективность государственного управления охватывает восприятие качества государственных услуг, результативность государственной службы, ее независимость от политических влияний, качество разработки и реализации политики, а также доверие к приверженности правительства этой политике	
9.	Качество регулирования	RegQ	В оценочном значении (-2,5 – самый низкий показатель; +2,5 – самый высокий); качество регулирования относится к предполагаемой способности правительства разрабатывать и осуществлять эффективную политику и нормативные акты, которые поощряют и поддерживают рост и развитие частного сектора	
10.	Качество институтов	InsQ	Среднее значение всех доступных показателей World Bank Governance	
11.	Темпы роста населения	PopGr	В %; ежегодный прирост общей численности населения страны	
12.	Реализация Киотского протокола	KyotoPr	Фиктивная переменная за период 2000–2021 гг. = 1	Составлено авторами на основе данных Министерства энергетики
13.	Периоды экономических кризисов	Crises	Фиктивная переменная для кризисных периодов 1989–1994 = 2009–2010 = 2014–2015 = 2020 = 1	
Источник: составлено авторами.				

Перед проведением оценок DOLS все переменные были стандартизированы с помощью Z-коэффициентов, что способствовало достижению сопоставимости коэффициентов. Таким образом, в таблице 2 представлены описательная статистика, информация о точках выброса (годы их возникновения) и корреляции на основе непараметрического коэффициента корреляции Спирмена для каждой переменной с зависимой переменной, а именно RenElec.

Принимая во внимание работы (Azizi et al., 2022; Nordin et al., 2014; Sharif et al., 2017), мы используем фундаментальные статистические процедуры, чтобы убедиться в совместимости нашего набора данных с системой DOLS. Проводится расширенный тест Дики – Фуллера (ADF) для оценки единичного корня и коинтеграционный анализ Йохансена – Юселиуса для изучения закономерностей коинтеграции.

Существование коинтеграционной связи между интересующими нас переменными является обязательным условием для последующего применения DOLS. Это фундаментальное понимание стационарности и коинтеграции подтверждает устойчивость последующего линейного моделирования, согласуясь с устоявшейся практикой в области экономики, о чем свидетельствуют фундаментальные работы (Lim et al., 2003; Zhong, Lei, 2008; Herve, Shen, 2011).

Согласно тесту ADF (табл. 3), все переменные являются стационарными в форме первой разности на основе информационного критерия Акаике. Когда переменные стационарны по первой разности, зачастую проще оценить взаимосвязь между ними с помощью эконометрических методов, таких как регрессия или коинтеграция. Стационарность упрощает процесс моделирования и повышает надежность результатов.

Таблица 2. Описательная статистика переменных

Переменная	Мин.	Макс.	Среднее	Ст.откл.	Выбросы	Корреляция
RenElec	118.62	369.16	222.42	62.50	—	—
CO ₂ Emm	3.32	7.61	4.53	1.50	—	0.26*
PrEnCon	14,165.33	36,072.15	20,617.52	7,234.66	1991	0.04
OilP	14.42	99.67	44.31	27.83		-0.06
TrOpp	55.35	115.84	86.41	15.31	1992–93, 2004	0.54**
GDPPerCap	60.24	7,890.84	3,007.71	2,650.32	—	-0.22
R&DExp	0.17	0.42	0.25	0.07	—	0.06
GovEff	-0.71	0.81	0.07	0.53	—	-0.43*
RegQ	-0.88	-0.48	-0.67	0.10	2004	0.27
InsQ	-1.06	0.42	-0.19	0.52	—	-0.43*
PopGr	0.44	2.12	1.18	0.36	—	0.31*

Примечания. Описательная статистика была основана на наборе данных, который не содержал каких-либо выбросов
* Корреляция значима на уровне 0,01 (с двумя хвостами);
** Корреляция значима на уровне 0,05 (с двумя хвостами).
Источник: расчеты авторов на основе полученного набора данных.

Таблица 3. Расширенный тест Дики – Фуллера на единичный корень для переменных

	RenElec	CO ₂ Emm	PrEnCon	OilP	TrOpp	PopGR
На уровне	-2.38	-1.52	-0.70	-2.37	-2.91	-1.98
1 разница	-5.19***	-3.41*	-4.19**	-6.29***	-6.23***	-5.66***
	GDPPerCap	R&DExp	GovEff	RegQ	InsQ	
На уровне	-2.28	-2.75	-2.30	-2.26	-0.93	
1 разница	-3.44*	-5.04***	-5.55***	-3.65**	-4.42***	

Цифры были округлены до второго знака после запятой для краткости. Символы *, ** и *** указывают на статистическую значимость на уровнях 10%, 5% и 1% соответственно.
Источник: расчеты авторов.

Учитывая различие в объемах выборки по количеству наблюдений и относительно короткой временной промежуток, наша аналитическая стратегия включала проведение трех различных коинтеграционных анализов Йохансена – Юселиуса. Эти исследования были основаны на объединении различных подмножеств интересующих нас переменных с абсолютным включением зависимой переменной, обозначаемой как производство электроэнергии из возобновляемых источников (RenElec). Результаты анализа представлены в *таблице 4*. Примечательно, что результаты, полученные в ходе трех аналитических итераций, постоянно подчеркивают существование как минимум одного коинтеграционного уравнения между оцениваемыми переменными. Такие результаты фактически подтверждают предположение о том, что рассматриваемые переменные демонстрируют коинтеграцию, что подразумевает наличие устойчивого долгосрочного равновесия между ними. По сути, это означает действие объединяющего механизма, который согласовывает траектории движения интересу-

ющих нас переменных. Следовательно, есть все основания для получения теоретически значимых результатов, имеющих существенное эмпирическое значение.

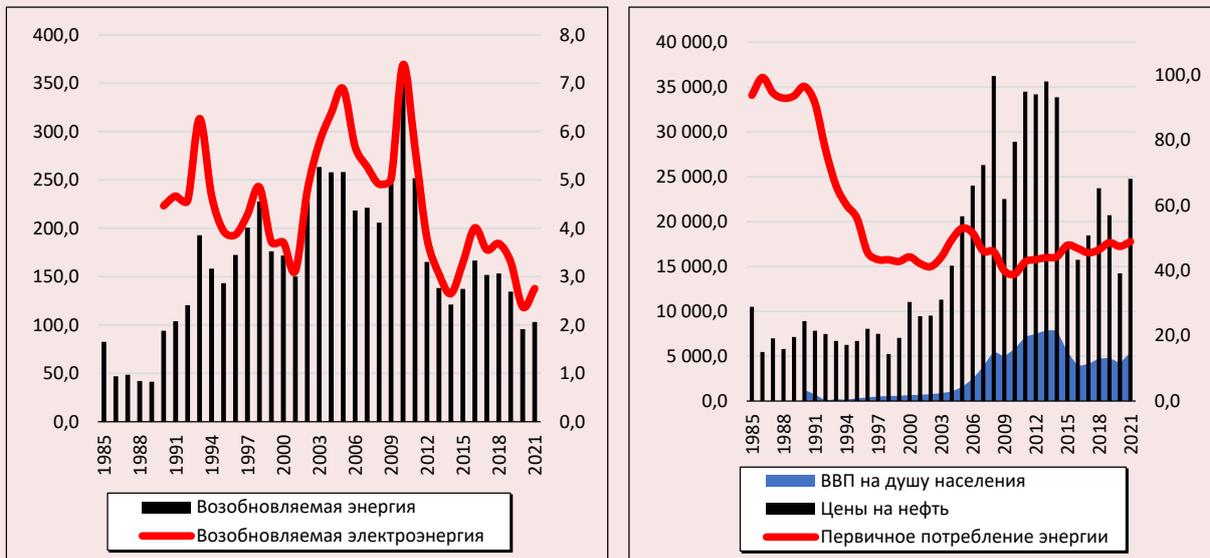
Результаты

Начнем анализ с того, что траектория производства возобновляемой энергии в Азербайджане, выраженная как доля от общего объема производства энергии, имела тенденцию к росту с 1985 года, достигнув 7,4% в 2010 году (см. *рис. 2, панель а*). Однако с 2010 года наметился сдвиг, характеризующийся незначительными подъемами показателя в 2016 и 2022 годах. Это отклонение становится заметным при рассмотрении процентных показателей в 1,9% в 2020 году и 2,1% в 2021 году, которые не позволяют использовать истинный потенциал и возможности, заложенные в азербайджанской экономике для производства возобновляемой энергии. Аналогичным образом при анализе производства электроэнергии из возобновляемых источников на душу населения прослеживается заметная положительная корреляция с производством возобновляемой энергии.

Таблица 4. Неограниченный ранговый тест на коинтеграцию (след)

Включенные переменные: RenElec, CO ₂ Emm, GDPPerCap, R&DExp, PopGr				
Гипотетическое число CE(s)	Собственное значение	Статистика следа	0.05 Критическое значение	Вероятность **
Нет*	0.836459	103.3124	69.81889	0.0000
Максимум 1*	0.696716	59.85577	47.85613	0.0025
Максимум 2*	0.568655	31.22172	29.79707	0.0341
Максимум 3	0.289956	11.04140	15.49471	0.2090
Максимум 4	0.110975	2.823131	3.841466	0.0929
Включенные переменные: RenElec, InsQ, PrEnCon, TrOpp, PopGR				
Нет*	0.813482	89.72712	69.81889	0.0006
Максимум 1*	0.676744	49.42562	47.85613	0.0353
Максимум 2	0.440283	22.32214	29.79707	0.2809
Максимум 3	0.201426	8.394374	15.49471	0.4242
Максимум 4	0.117360	2.996116	3.841466	0.0835
Включенные переменные: RenElec, OilP, GovEff, RegQ, GDPPerCap				
Нет*	0.722904	77.72665	69.81889	0.0102
Максимум 1	0.559890	46.92528	47.85613	0.0610
Максимум 2	0.472954	27.22774	29.79707	0.0962
Максимум 3	0.347316	11.85654	15.49471	0.1639
Максимум 4	0.065142	1.616664	3.841466	0.2036
Примечания: Включенные наблюдения: 24 после корректировок; интервал запаздывания (при первых различиях): 1 к 1. Предположение о тренде: линейный детерминированный тренд; тест следа показывает 3 коинтегрирующих уравнения на уровне 0,05; * отклонение гипотезы на уровне 0,05; ** MacKinnon – Haug – Michelis (1999) p-значения. Источник: расчеты авторов.				

Рис. 2. Сектор возобновляемой энергетики и отдельные ключевые переменные в экономике Азербайджана, 1985–2021 гг.



а) Процентная доля возобновляемых источников энергии в общем объеме производства энергии (правая ось) и производство электроэнергии из возобновляемых источников на душу населения (киловатт-часы)

б) ВВП на душу населения (текущие доллары США), цены на нефть (доллары США за баррель, правая ось) и потребление первичной энергии на человека (киловатт-часы) в азербайджанской экономике

Источники: данные Our World in Data; World Bank.

Эта корреляция достигла своего пика в 2010 году, составив 369,2 киловатт-часа, а затем продемонстрировала нисходящую траекторию вплоть до 2021 года. Примечательно, что только 2016 и 2021 годы являются важными точками в недавней временной области, касающейся производства электроэнергии из возобновляемых источников на душу населения.

На рисунке 2, панель б, также отражены основные экономические показатели, связанные с экономикой Азербайджана, в частности динамика ВВП на душу населения, цен на нефть и потребления первичной энергии на душу населения. Траектория цен на нефть сыграла решающую роль в влиянии на ВВП и ВВП на душу населения Азербайджана, особенно в период с конца 2000-х годов до 2014–2015 годов, отмеченный обвалом цен на нефть на международных товарных рынках. Сырьевой суперцикл

наступил в 2004 году и достиг пика в 2015 году. В период с 2004 по 2015 год среднегодовая цена на нефть составляла 78 долларов США, а в 2015 году резко упала до 48 долларов США, что привело к волатильности и колебаниям. Они препятствовали быстрому восстановлению ВВП Азербайджана, тем самым понижая снижающее влияние на ВВП на душу населения. Нестабильность привела к снижению ВВП на душу населения до 3 880,7 доллара США в 2016 году, что соответствует уровню 2007 года. Одновременно с этим объем потребления первичной энергии на душу населения в Азербайджане снизился с 34 094,6 киловатт-часа в 1985 году до 14 981,9 киловатт-часа в 2022 году. Хотя с 2010 года наметилась тенденция к росту потребления первичной энергии на душу населения, показатель потребления остается ниже, чем в конце 1980-х и 1990-х годов.

Таблица 5. Результаты анализа DOLS

Уравнение:	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Период:	1990–2021	1996–2021	1996–2021	1996–2021	1990–2021	1990–2021	1996–2021	1990–2021
Константа	-0.46*** (0.14) [-3.28]	0.00 (0.17) [0.02]	-0.53*** (0.16) [-3.39]	-0.44 (0.26) [-1.71]	0.40 (0.27) [1.45]	-0.27 (0.28) [-0.97]	-0.02 (0.12) [-0.18]	-0.26 (0.18) [-1.46]
OilP	3.40*** (0.65) [5.24]		0.45 (0.43) [1.03]					
PopGr	0.34** (0.15) [2.30]							
GDPперсар	-3.38*** (0.60) [-5.64]			0.89** (0.37) [2.44]		-0.28 (0.27) [-1.04]	-0.24 (0.24) [-1.00]	-0.23 (0.14) [-1.60]
TrOpp		1.11*** (0.19) [5.78]						
R&DExp		-0.05 (0.22) [-0.23]						
InsQ			-0.51* (0.27) [-1.88]					
GovEff				-1.15*** (0.31) [-3.72]				
CO2Emm					4.76*** (1.47) [3.25]	0.68** (0.32) [2.16]		
PrEnCon					-4.24*** (1.41) [-2.99]			
Kyoto						0.74* (0.41) [1.82]		
RegQ							0.16 (0.24) [0.69]	
Crises								0.65* (0.36) [1.82]
Наблюдения	29	23	23	23	31	29	23	29
R-квадрат	0.71	0.62	0.61	0.58	0.30	0.42	0.53	0.39
Скорректированный R-квадрат	0.50	0.41	0.38	0.34	0.04	0.14	0.25	0.26
Стандартная ошибка регрессии	0.72	0.84	0.87	0.89	0.96	0.94	0.95	0.87
Значение Харке – Бера	1.06	2.23	1.03	1.53	1.17	0.01	1.22	0.12
Вероятность Харке – Бера	0.59	0.33	0.60	0.46	0.57	0.99	0.54	0.93
Тест Вальда1	12.59***	15.62***	16.88***	6.71***	4.07**	2.59*	0.39	12.08***
Тест Вальда2	50.35***	46.87***	50.63***	20.14***	12.21***	10.38**	1.17	36.25***

Примечания. «М» – модель; стандартные ошибки указаны в круглых скобках; Т-статистика приведена в квадратных скобках. Символы *, ** и *** указывают на статистическую значимость на уровнях 10%, 5% и 1% соответственно. Все цифры округлены до второго знака после точки для компактности; «Тест Вальда1» представляет результаты теста Вальда, основанные на F-статистике, «Тест Вальда2» представляет собой значение хи-квадрат.
Источник: расчеты авторов.

В таблице 5 представлены результаты анализа DOLS относительно зависимой переменной RenElec. Из восьми рассмотренных моделей, а именно с M1 по M8, две модели, а именно M1 и M3, дали статистически значимые коэффициенты (оба отрицательные). Эти модели также были направлены на изучение потенциальной прогностической способности OilP в отношении RenElec. Примечательно, что только в контексте M1 цены на нефть продемонстрировали положительно значимую связь с RenElec. PopGr и TrOpp демонстрируют положительную и статистически значимую связь с RenElec, как показано в M1 и M2, хотя и с разной статистической значимостью. С другой стороны, GDPregсар преимущественно демонстрировал отрицательную корреляцию с RenElec. Эта отрицательная корреляция была статистически значимой в M1, но оказалась статистически незначимой в M6, M7 и M8. Более того, выбросы углерода оказались положительно и статистически значимо связаны с RenElec в моделях M5 и M6. И наоборот, PrEnCon продемонстрировал заметную отрицательную и статистически значимую связь с RenElec. Этот комплексный анализ завершает изучение экономических детерминант, влияющих на RenElec в рамках азербайджанского экономического ландшафта в период с 1990 по 2021 год.

Что касается детерминант институционального качества, то RegQ не имеет статистически значимой связи с RenElec, имея положительный коэффициент. Напротив, переменные GovEff и InsQ оказывают заметное отрицательное статистически значимое влияние на переменную RenElec.

Среди политических детерминант RenElec R&DExp не была статистически значимой, но такие фиктивные переменные, как Crises и Kyoto, были положительно и статистически значимо связаны с RenElec. Обе фиктивные переменные были разработаны для того, чтобы выяснить, оказывают ли периоды экономического кризиса и присоединения к Киотскому протоколу в 2000 году влияние на производство электроэнергии из возобновляемых источников на душу населения.

Для оценки надежности расчетных моделей DOLS использовались различные показатели оценки качества, включая R-квадрат, стандарт-

ную ошибку регрессии, тест на нормальность Харке – Бера и тест Вальда. Примечательно, что самые низкие значения R-квадрата и скорректированного R-квадрата наблюдались в модели M5 (0,30 и 0,04 соответственно), а в модели M1 наоборот (0,71 и 0,50 соответственно). В то время как значения R-квадрата дают представление о качестве подгонки, стандартная ошибка регрессии помогает понять превосходство модели, количественно определяя среднее расхождение между наблюдаемыми значениями и линией регрессии. В целом стандартная ошибка регрессии варьируется в разных моделях: от 0,71 в M1 (самая низкая) до 0,96 в M5 (самая высокая). Это свидетельствует о минимальных отклонениях от средней стандартной ошибки регрессии, равной примерно 0,88. Важно отметить, что тест Харке – Бера не выявил признаков гетероскедастичности во всех моделях. Примечательно, что модель M7 была единственным случаем, когда тест Вальда не соответствовал критериям. Таким образом, результаты M5 и M7 следует интерпретировать с осторожностью, в то время как остальные модели предлагают более надежные и устойчивые оценки коэффициентов.

Обсуждение

Цель работы заключалась в выявлении основных экономических, институциональных и политических переменных, влияющих на производство электроэнергии из возобновляемых источников в той или иной стране. Для этого был сформулирован следующий вопрос, которым мы руководствовались при проведении исследования и получении количественных данных: как экономические, институциональные и политические факторы повлияли на производство возобновляемой электроэнергии на душу населения в Азербайджане в период с 1990 по 2021 год? Полученные эмпирические результаты помогают определить долгосрочное влияние экономических, институциональных и политических факторов в Азербайджане, которые ранее не подвергались глубокому анализу. Мы сформулировали три гипотезы и принимаем все альтернативные гипотезы, основываясь на статистически значимых результатах: существует по крайней мере один экономический показатель, который играет роль среди трех основных каналов влияния (т. е. экономических, инсти-

туциональных и политических) на генерацию возобновляемой электроэнергии в Азербайджане.

Результаты, полученные с помощью метода DOLS для Азербайджана, выявили несколько значимых связей между ключевыми экономическими переменными и выработкой возобновляемой электроэнергии на душу населения. В первую очередь, цены на нефть, темпы роста населения и открытость торговли демонстрируют положительную и статистически значимую связь с выработкой возобновляемой электроэнергии на душу населения. Это говорит о том, что по мере роста цен на нефть, увеличения численности населения и открытости торговли в Азербайджане одновременно повышается производство возобновляемой электроэнергии на душу населения. Причин, по которым этот эмпирический результат соответствует экономическим и политическим предпочтениям Азербайджана, может быть несколько.

Несомненно, всесторонняя оценка экономических реалий в Азербайджане как нефтедобывающей стране и стране-экспортере в сочетании с ее статусом малой открытой экономики выявляет очевидную связь между ростом цен на нефть и ростом национального благосостояния. Рост благосостояния служит стимулом для направления ресурсов на развитие технологий возобновляемой энергетики, чему часто способствуют государственные субсидии или трансфер технологического опыта. Отсюда можно сделать вывод, что снижение цен на нефть может свидетельствовать о сокращении выработки возобновляемой электроэнергии на душу населения в Азербайджане. Однако в этом анализе необходимо проявлять осторожность. При ближайшем рассмотрении становится очевидным, что важная переменная экономических кризисов подчеркивает, что такая корреляция может быть не столь выраженной. Следует отметить, что переменная периодов экономического кризиса учитывает такие события, как рецессия в начале 1990-х годов и мировой финансовый кризис, вызванные факторами, выходящими за рамки динамики товарных рынков.

Понимание структуры потребления первичной энергии имеет решающее значение для оценки перехода на возобновляемое электричество, отражая зависимость от источников

энергии, что позволяет выстраивать политику и направлять инвестиции в инфраструктуру. Изменения в структуре потребления указывают на сдвиги в сторону более чистых источников, что влияет на энергетическую устойчивость, экологические цели и экономические соображения. Однако на примере Азербайджана, рассмотренном в ходе нашего исследования, связь с потреблением первичной энергии отрицательная и статистически значимая. Это означает, что по мере роста потребления первичной энергии производство электроэнергии из возобновляемых источников на душу населения имеет тенденцию к снижению по сравнению с потреблением. Более высокое потребление энергии из невозобновляемых источников может оказывать демпфирующее воздействие на развитие возобновляемых источников энергии в Азербайджане.

Одним из интересных и неожиданных выводов стала отрицательная и, в некоторых случаях, статистически значимая связь между ВВП на душу населения в Азербайджане и выработкой возобновляемой электроэнергии. Поскольку ВВП на душу населения является одной из наиболее важных экономических переменных, она заслуживает особого внимания. Например, при более высоком ВВП на душу населения может увеличиться спрос на энергию, что приведет к большей зависимости от традиционных, невозобновляемых источников энергии, которые зачастую более доступны и используются более широко. Аналогичным образом, по мере роста экономики основное внимание может быть уделено быстрому созданию инфраструктуры для поддержки индустриализации и урбанизации. Это может привести к использованию традиционных источников энергии, способным обеспечить более оперативное энергоснабжение. Однако недавнее исследование Mukhtarov и Mikayilov (Mukhtarov, Mikayilov, 2023) показало, что экономический рост благоприятствует развитию сектора возобновляемых источников энергии и помогает сократить энергетическую бедность при наличии финансирования. Более того, экономический рост иногда может привести к принятию политических решений, в которых экономическое развитие ставится на первое место по сравнению с экологическими проблемами. Азербайджан — страна, богатая

нефтью и природным газом, где производство энергии из ископаемого топлива всегда было дешевле, чем производство возобновляемой зеленой энергии. Это способствует снижению стимулов для инвестирования в возобновляемые источники энергии, поскольку быстрый экономический рост может привести к более быстрому внедрению традиционных энергетических технологий в силу их известности и налаженных цепочек поставок.

Мы обнаружили, что выбросы CO₂ отрицательно связаны с производством электроэнергии из возобновляемых источников. Это означает, что общее производство энергии, а также производство энергии из возобновляемых источников, ухудшает состояние окружающей среды. Этот вывод в чем-то схож с наблюдениями Achuo и Ojon (Achuo, Ojon, 2023) для стран с низким и ниже среднего уровнем дохода; авторы утверждают, что потребление возобновляемой энергии увеличивает загрязнение окружающей среды. Кроме того, выявленная нами статистически значимая и отрицательная связь между выработкой электроэнергии из возобновляемых источников и потреблением первичной энергии может свидетельствовать, что, хотя страна увеличила производство и повышению энергии, это не привело к повышению выработки электроэнергии из возобновляемых источников. По мнению Fang и соавторов (Fang et al., 2022), здесь следует учитывать уровень урбанизации, человеческого капитала и глобализации.

Еще одним неожиданным результатом стала отрицательная связь между качеством институтов и выработкой возобновляемой электроэнергии на душу населения. Как в научных кругах, так и в средствах массовой информации широко обсуждалось, что производство и потребление зеленой энергии в Азербайджане не получило достаточного развития до 2022 и 2023 годов, когда правительство инвестировало значительные средства в устойчивые источники энергии. Полученные нами результаты в определенной степени совпадают с опасениями общества относительно развития зеленой энергетики в Азербайджане.

Отсутствие статистически значимой связи между качеством регулирования и выработкой электроэнергии из возобновляемых источников

позволяет предположить, что конкретные аспекты, связанные с разработкой и внедрением нормативных актов, могут не оказывать существенного влияния на уровень производства электроэнергии из возобновляемых источников. Другие факторы, такие как технологический прогресс, доступность ресурсов и экономические стимулы, могут оказывать более существенное влияние на внедрение возобновляемых источников энергии. Также отрицательная связь между эффективностью правительства и объемом производства электроэнергии из возобновляемых источников может указывать на то, что при более высоком уровне эффективности правительство может проводить политику или принимать нормативные акты, непреднамеренно препятствующие развитию возобновляемой энергетики. Важно изучить причины этой отрицательной связи, например бюрократические препятствия, непоследовательное проведение политики или нормативные барьеры, которые могут сдерживать направление инвестиций в проекты возобновляемой энергетики. Кроме того, отрицательная и статистически значимая связь между более обобщенной переменной качества институтов в нашем исследовании (включая контроль коррупции, верховенство закона и т. д.) и производством электроэнергии из возобновляемых источников вызывает озабоченность по поводу общей бизнес-среды и инвестиционного климата в контексте возобновляемой энергетики. Это позволяет предположить, что более низкое общее качество институтов также препятствует развитию и внедрению технологий возобновляемой энергетики.

Две переменные — расходы на НИОКР и присоединение к Киотскому протоколу — были использованы для оценки политической деятельности, связанной с производством электроэнергии из возобновляемых источников. Отсутствие статистически значимой связи между расходами на НИОКР и выработкой электроэнергии из возобновляемых источников позволяет предположить, что в условиях Азербайджана инвестиции в НИОКР, связанные с возобновляемыми источниками энергии, возможно, не способствуют значительному увеличению производства электроэнергии из возобновляемых источников. Тот факт, что

присоединение к Киотскому протоколу в 2000 году привело к увеличению производства электроэнергии из возобновляемых источников, может свидетельствовать, что международные соглашения и обязательства играют определенную роль в формировании политики страны в сфере возобновляемой энергетики. Акцент протокола на сокращении выбросов парниковых газов и содействии устойчивому развитию мог побудить власти Азербайджана к принятию политики и инициатив, поддерживающих возобновляемые источники энергии. Следовательно, международные соглашения могут влиять на усилия страны по переходу на новые источники энергии.

Несмотря на большой вклад, наше исследование имеет ряд важных ограничений, о которых следует помнить, прежде чем делать какие-либо выводы на основе эмпирических оценок. Во-первых, моделирование ограничено только подушевым производством возобновляемой электроэнергии. Во-вторых, еще одним ограничением является моделирование DOLS на основе годовых данных. Моделирование DOLS требует тщательного рассмотрения характеристик данных и соответствующих спецификаций модели, и на результаты может повлиять выбор эндогенных и экзогенных переменных. Кроме того, решающую роль может сыграть чувствительность к длине лага. В-третьих, переменные, касающиеся технологических изменений и качества институтов, должны быть более детально проработанными. Мы стремились к более компактному и в то же время целостному анализу, но такие важные вещи, как рентоориентированное поведение в азербайджанском энергетическом секторе, также должны быть учтены в линейных моделях. Наконец, другие количественные методы, такие как полностью модифицированные методы обыкновенных наименьших квадратов, классическая коинтеграция или авторегрессия с распределенным лагом, могли бы послужить основой для продуктивной эмпирической проверки наших результатов.

Заключение

Многочисленные исследования показывают, что Азербайджан располагает экологически чистыми источниками энергии, такими

как гидроэнергия, энергия ветра и геотермальная энергия, что делает страну идеальным местом для производства возобновляемой энергии (Rzayeva et al., 2021). Однако на пути развития возобновляемой энергетики стоят такие проблемы, как субсидии на ископаемое топливо, институциональные проблемы и вопросы управления. В результате в англоязычной литературе появляется все больше отчетов об энергетическом переходе в Азербайджане, но более полные отчеты пока единичны. Наша цель – дать долгосрочную эмпирическую оценку ключевых экономических, институциональных и политических факторов, определяющих производство электроэнергии из возобновляемых источников на душу населения в период с 1990 по 2021 год, используя метод DOLS.

В целом результаты исследования свидетельствуют о том, что на производство электроэнергии из возобновляемых источников на душу населения в Азербайджане положительно влияют такие факторы, как благоприятные цены на нефть, рост населения и открытость торговли. Однако для дальнейшего роста возобновляемых источников энергии в стране необходимо устранить отрицательную связь с потреблением первичной энергии. Отсутствие негативного влияния в периоды экономических кризисов является положительным фактором для стабильности и потенциального роста сектора возобновляемой энергетики в Азербайджане, однако некоторые переменные институционального качества, например эффективность правительства и совокупное качество институтов, отрицательно связаны с производством электроэнергии из возобновляемых источников.

Включение таких переменных, как расходы на НИОКР и присоединение к Киотскому протоколу, в качестве косвенных индикаторов политических аспектов энергетического перехода отражает предположение о том, что эти факторы выделяют элементы государственной политики в сфере возобновляемой энергетики. Хотя расходы на НИОКР не показали значимого эффекта, положительное влияние присоединения к Киотскому протоколу предполагает, что политические обязательства, принятые на междуна-

родном уровне, могут повлиять на подход страны к развитию возобновляемой энергетики. В то же время положительная и статистически значимая связь между производством электроэнергии из возобновляемых источников и выбросами CO₂ может означать, что зеленая энергетика все еще не может помочь достижению устойчивых целей для успешного энергетического перехода.

Основываясь на полученных результатах, мы предлагаем следующие рекомендации: 1) необходимо сделать стратегический акцент на согласовании национальной экономической динамики с быстрым переходом от производства энергии на основе традиционных видов топлива к устойчивой парадигме производства зеленой энергии; эта трансформация, отражающаяся в более широких экономических показателях, таких как ВВП и ВВП на душу населения, подчеркивает необходимость разработки согласованных политических решений; 2) в связи с постоянным увеличением численности населения возрастает потребление энергии, что требует создания надежных механизмов поддержки трансфера технологий и внутренних инициатив в области НИОКР; национальная политика, ориентированная на исследования и технологический прогресс, должна охватывать не только сектор возобнов-

ляемых источников энергии, но и более широкий экономический спектр, способствуя тем самым развитию отечественного производства оборудования для возобновляемых источников энергии и облегчая фискальное бремя, связанное с импортом; 3) важно укреплять международные соглашения и развивать совместные предприятия, учитывая обоснованные выводы об их благоприятном влиянии на производство электроэнергии из возобновляемых источников на душу населения; 4) создание всеобъемлющей институциональной базы и специальных нормативных актов для сектора возобновляемых источников энергии по-прежнему является необходимостью; в отсутствие прочной правовой основы, продуманной концепции и долгосрочных стратегий развитие производства возобновляемых источников энергии в условиях небольшого и богатого ресурсами Азербайджана находится под угрозой; 5) наступил благоприятный момент для гармонизации политики сохранения окружающей среды и развития производства возобновляемой энергии. В частности, согласованность стратегий сокращения выбросов CO₂ и развития сектора возобновляемых источников энергии требует целенаправленного изучения для создания динамичной и взаимосвязанной перспективы по этим жизненно важным темам.

Литература

- Abbasov E. (2015). Sustainable solution for increasing the share of solar photovoltaic usages on residential houses in Azerbaijan. *Environmental Research, Engineering and Management*, 71(4), 11–18. DOI: 10.5755/j01. erem.71.4.12070
- Achuo E.D., Ojon N. (2023). Energy transition and pollution emissions in developing countries: Are renewable energies guilty? *International Journal of Development Issues*. DOI: 10.1108/IJDI-05-2023-0114
- Ahmad U.S., Usman M., Hussain S., Jahanger A., Abrar M. (2022). Determinants of renewable energy sources in Pakistan: An overview. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(19), 29183–29201. DOI: 10.1007/s11356-022-18502-w
- Ahmadov E., Khalilov T. (2019). Azerbaijan from inclusive and innovative governance to green economy. In: *37th International Scientific Conference on Economic and Social Development – “Socio Economic Problems of Sustainable Development”*. Baku, Azerbaijan, February 14–15.
- Ahmet U. (2021). Is fueling the economy with too much finance good? *Anadolu İktisat ve İşletme Dergisi*, 5(1), 1–13.
- Aliyev F.G., Khalilova H.K., Aliyev F.F. (2006). The use of alternative energy sources – the best approach to improving environmental situation in Azerbaijan. In: *16th World Hydrogen Energy Conference 2006, WHEC 2006*. Lyon, France, June 13–16, 2006.
- Azizi J., Zarei N., Ali S. (2022). The short-and long-term impacts of climate change on the irrigated barley yield in Iran: An application of dynamic ordinary least squares approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(26), 40169–40177. DOI: 10.1007/s11356-022-19046-9

- Azizov S.G., Mammadova G.S. (2022). The importance of using alternative energy sources in the protection of the atmosphere in Azerbaijan. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: Географічні науки*, 17, 50–54.
- Bayramov A. (2021). Azerbaijan's Renewable energy policy: Opportunities, drivers and challenges. *Caucasus Analytical Digest*, 120, 2–7.
- Bayulgen O. (2003). Facing the dilemma of global capitalism: The case of Azerbaijan. *Central Asian Survey*, 22(2–3), 209–220. DOI: 10.1080/0263493032000157735
- Bourcet C. (2020). Empirical determinants of renewable energy deployment: A systematic literature review. *Energy Economics*, 85, 104563. DOI: 10.1016/j.eneco.2019.104563
- Cholewa M., Mammadov F., Nowaczek A. (2022). The obstacles and challenges of transition towards a renewable and sustainable energy system in Azerbaijan and Poland. *Mineral Economics*, 35(1), 155–169. DOI: 10.1007/s13563-021-00288-x
- Fang J., Gozgor G., Mahalik M.K., Mallick H., Padhan H. (2022). Does urbanisation induce renewable energy consumption in emerging economies? The role of education in energy switching policies. *Energy Economics*, 111, 106081. DOI: 10.1016/j.eneco.2022.106081
- Galandarova U. (2023). The place and role of Europe's energy security in Azerbaijan's economic interests. *Наукowi перспективи (Naukovi perspektivi)*, 1(31). DOI: 10.52058/2708-7530-2023-1(31)-229-241
- Gulaliyev M., Mustafayev E., Mehdiyeva G. (2020). Assessment of solar energy potential and its ecological-economic efficiency: Azerbaijan case. *Sustainability*, 12(3), 1116. DOI: 10.3390/su12031116
- Guliyev F. (2023). Renewable energy targets and policies in traditional oil-producing countries: A comparison of Azerbaijan and Kazakhstan. *Journal of Eurasian Studies*, 18793665231177720. DOI: 10.1177/18793665231177720
- Hajizada O. (2021). Issues of integration into the green economy in the republic of Azerbaijan. *Piretc*, 17(7), 16–22.
- Hamidova L., Huseynov A., Samedova E. (2022). Challenges in Implementing renewable energy sources in Azerbaijan. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 12(6), 441–446. DOI: 10.32479/ijeep.13636
- Hasanov F. (2013). Dutch disease and the Azerbaijan economy. *Communist and Post-Communist Studies*, 46(4), 463–480. DOI: 10.1016/j.postcomstud.2013.09.001
- Hasanov F.J., Mukhtarov S., Suleymanov E. (2023). The role of renewable energy and total factor productivity in reducing CO₂ emissions in Azerbaijan. Fresh insights from a new theoretical framework coupled with Autometrics. *Energy Strategy Reviews*, 47, 101079. DOI: 10.1016/j.esr.2023.101079
- Hasanov R. (2023). Promoting sustainability in Azerbaijan's energy sector: A green policy evaluation and future outlook. *Green Economics*, 1(1), 62–69.
- Herve D.B.G., Shen Y. (2011). The demand for money in cote D'ivoire: Evidence from the cointegration test. *International Journal of Economics and Finance*, 3(1), 188.
- Humbatova S.I. (2020). The relationship between electricity consumption and economic growth: Evidence from Azerbaijan. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(1), 436–455. DOI: 10.32479/ijeep.8642
- Huseynli B., Huseynli N. (2022). Econometric analysis of the relationship between renewable energy production, traditional energy production and unemployment: The case of Azerbaijan. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 12(4), 379–384. DOI: 10.32479/ijeep.13233
- Huseynli N. (2022). Effect of renewable energy and traditional energy production on economic growth: The case of Turkey and Azerbaijan. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 12(3), 257–261. DOI: 10.32479/ijeep.12943
- Ibadoghlu G. (2022). Problems and prospects of transition to alternative energy in Azerbaijan. *SSRN Electronic Journal*. DOI: 10.2139/ssrn.4249068
- Isiaka A. (2020). Inequality within the EU-15 countries: Have social benefits been pro-poor, pro-middle class or pro-rich? *International Journal of Social Science Research*, 8(2), 169–199. DOI: 10.5296/ijssr.v8i2.16571
- Kalyoncu H., Gürsoy F., Göcen H. (2013). Causality relationship between GDP and energy consumption in Georgia, Azerbaijan and Armenia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 3(1), 111–117.
- Lim K., Lee H., Liew K. (2003). *International Diversification Benefits in ASEAN Stock Markets: A Revisit*. Labuan School of International Business and Finance, University Malaysia, University Putra Malaysia.
- Loganathan N., Subramaniam T. (2010). Dynamic cointegration link between energy consumption and economic performance: Empirical evidence from Malaysia. *International Journal of Trade, Economics and Finance*, 1(3), 261–267.

- Mahadea D., Kaseeram I. (2018). Impact of unemployment and income on entrepreneurship in post-apartheid South Africa: 1994–2015. *The Southern African Journal of Entrepreneurship and Small Business Management*, 10(1), 1–9. DOI: 10.4102/sajesbm.v10i1.115
- Mehdialiyevev A., Mazanova O. (2013). On some problems of the creation and development of green technologies in Azerbaijan. In: *7th International Conference on Application of Information and Communication Technologies, IEEE, October 23–25, 2013, Baku, Azerbaijan*. DOI: 10.1109/ICAICT.2013.6722804
- Moriarty P., Honnery D. (2016). Can renewable energy power the future? *Energy Policy*, 93, 3–7. DOI: 10.1016/j.enpol.2016.02.051
- Mukhtarov S. (2022). The relationship between renewable energy consumption and economic growth in Azerbaijan. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 12(1), 416. DOI: 10.32479/ijeep.11948
- Mukhtarov S., Humbatova S., Hajiyevev N.G.O., Aliyevev S. (2020). The financial development-renewable energy consumption nexus in the case of Azerbaijan. *Energies*, 13(23), 6265. DOI: 10.3390/en13236265
- Mukhtarov S., Mikayilov J.I. (2023). Could financial development eliminate energy poverty through renewable energy in Poland? *Energy Policy*, 182, 113747. DOI: 10.1016/j.enpol.2023.113747
- Murshed M., Saadat S.Y. (2008). The impacts of corruption on the efficacy of public expenditure on health: Evidence from Bangladesh. In: *Proceedings of the 2nd International Conference on Sustainable Development, February 17–18, 2018, Dhaka, Bangladesh*.
- Musayeva-Gurbanova A., Hajiyevev N. (2022). *The Application of “Green Economy” Policy of Switzerland and Sweden to the Karabakh Region of Azerbaijan: Review and Appraisal*. The University of St. Gallen.
- Mustafayev F., Kulawczuk P., Orobello C. (2022). Renewable energy status in Azerbaijan: Solar and wind potentials for future development. *Energies*, 15(2), 401. DOI: 10.3390/en15020401
- Nordin N., Nordin N., Zainudin N. (2014). Role of economic freedom in the R&D-TFP growth nexus: Panel dynamic ordinary least square (OLS) evidence. In: *Proceedings of the 1st International Conference on Management and Muamalah, November 13–14, 2014, Kajang, Malaysia*.
- Nuriyevev M.N., Mammadov J., Mammadov J. (2021). Renewable energy sources development risk analysis and evaluation: The case of Azerbaijan. *European Journal of Economics and Business Studies*, 5(3), 11–20. DOI: 10.26417/ejes.v5i3.p11-20
- Omri A., Nguyen D.K. (2014). On the determinants of renewable energy consumption: International evidence. *Energy*, 72, 554–560. DOI: 10.1016/j.energy.2014.05.081
- Østergaard P.A., Duic N., Noorollahi Y., Kalogirou S.A. (2021). Recent advances in renewable energy technology for the energy transition. *Renewable Energy*, 179, 877–884. DOI: 10.1016/j.renene.2021.07.111
- Przychodzen W., Przychodzen, J. (2020). Determinants of renewable energy production in transition economies: A panel data approach. *Energy*, 191, 116583. DOI: 10.1016/j.energy.2019.116583
- Rzayeva Z., Guliyeva A., Miriyeva A. (2021). Natural and economic effects of renewable energy sources in the developing countries: A case of Azerbaijan. *E3S Web of Conferences*, 250, EDP Sciences. DOI: 10.1051/e3sconf/202125003007
- Saikkonen P. (1991). Estimation and testing of cointegrated systems by an autoregressive approximation. *Econometric Theory*, 8, 1–27. DOI: 10.1017/S026646660010720
- Sharif A., Afshan S., Nisha N. (2017). Impact of tourism on CO₂ emission: Evidence from Pakistan. *Asia Pacific Journal of Tourism Research*, 22(4), 408–421.
- Singh A., Syal M., Grady S.C., Korkmaz S. (2010). Effects of green buildings on employee health and productivity. *American Journal of Public Health*, 100(9), 1665–1668. DOI: 10.2105/AJPH.2009.180687
- Stock J.H., Watson M.W. (1993). A Simple estimator of cointegrating vectors in higher order integrated systems. *Econometrica*, 61(4), 783–820. DOI: 10.2307/2951763
- Vidadili N., Suleymanov E., Bulut C., Mahmudlu C. (2017). Transition to renewable energy and sustainable energy development in Azerbaijan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 1153–1161. DOI: 10.1016/j.rser.2017.05.168
- Wolch J.R., Byrne J., Newell J.P. (2014). Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities ‘just green enough’. *Landscape and Urban Planning*, 125, 234–244. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2014.01.017
- Zhong Z.W., Lei Q.L. (2008). Some notes on Johansen and Juselius cointegration test. *Statistics & Information Forum*, 23, 80–85.

Сведения об авторах

Ибрагим М. Нифтиев – PhD in Economics, преподаватель/инструктор, Азербайджанский государственный экономический университет (ул. Истиглалият, 6, AZ 1001, Баку, Азербайджан; e-mail: ibrahim.niftiyev@unec.edu.az)

Эмин Ф. Рустамли – степень бакалавра по управлению бизнесом, младший специалист по налогообложению, UHY LLC (пр-т Гейдара Алиева, 152, AZ 1029, Чинар Плаза, Баку, Азербайджан; e-mail: emin.f.rustamli@gmail.com)

Раван М. Маммадли – степень бакалавра по управлению бизнесом, студент, Азербайджанский государственный экономический университет (ул. Истиглалият, 6, AZ 1001, Баку, Азербайджан; e-mail: ravan.m.mammadli@gmail.com)

Niftiyev I.M., Rustamli E.F., Mammadli R.M.

Modeling Renewable Electricity Production in Azerbaijan

Abstract. Azerbaijan is an oil-rich country in the South Caucasus with great potential for developing the renewable energy sector, which currently accounts for only a small share of total energy production. Increased electricity generation from renewables can bring various economic and environmental benefits, such as greater energy security, sustainability and resource conservation, decentralized power generation, technological innovation, and climate change mitigation. Although there are a growing number of studies on Azerbaijan's green energy or energy transition, the dynamics of its relatively longitudinal per capita renewable electricity generation have not been fully explored. Moreover, most studies ignore the role of technological change and profound institutional and policy variables in the energy transition. Our study fills this gap by applying dynamic ordinary least squares modeling (DOLS) on annual data to identify the key economic, institutional, and policy determinants in the period from 1990 to 2021. We reveal that economic variables such as oil prices, trade openness, CO₂ emissions, accession to the Kyoto Protocol, and crisis periods were positively and statistically significantly associated with renewable electricity production in Azerbaijan. However, institutional quality variables (e.g., government effectiveness), GDP per capita, and primary energy consumption were negatively and statistically significantly associated with renewable electricity. Our findings hold the potential to furnish essential insights into enhancing renewable energy production across both short- and long-term horizons. Consequently, policymakers, decision-makers, and scholars stand to gain valuable insights from the outcomes of our research.

Key words: Azerbaijan economy, electricity production, dynamic ordinary least squares, green economy, renewable energy.

Information about the Authors

Ibrahim M. Niftiyev – PhD in Economics, Lecturer/Instructor, Azerbaijan State University of Economics (6, Istiglaliyyet Street, Baku, AZ 1001, Azerbaijan; e-mail: ibrahim.niftiyev@unec.edu.az)

Emin F. Rustamli – Bachelor of business administration, junior tax specialist, UHY LLC (152, Heydar Aliyev Avenue, Chinar plaza, Baku, AZ1029, Azerbaijan; e-mail: emin.f.rustamli@gmail.com)

Ravan M. Mammadli – Bachelor of business administration, student, Azerbaijan State University of Economics (6, Istiglaliyyet Street, Baku, AZ 1001, Azerbaijan; e-mail: ravan.m.mammadli@gmail.com)

Статья поступила 08.12.2023.