

**Рудненский индустриальный университет
Уральский Федеральный университет им. первого Президента России Б.Н.
Ельцина
Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации**

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «КОМПЛЕКСНОЕ РАЗВИТИЕ ТЕРРИТОРИЙ ПРИГРАНИЧНЫХ РЕГИОНОВ КАЗАХСТАНА И РОССИИ: НОВЫЕ ВЫЗОВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ»

*в рамках исследований Рудненского индустриального университета по проекту
АР19679796 «Исследование факторов развития регионов с учетом
межрегиональных связей и государственного регулирования».*

Рудный, 2025

УДК 338
ББК 65.9
К63

«Комплексное развитие территорий приграничных регионов Казахстана и России: новые вызовы и возможности»: Сборник материалов Международной научно-практической конференции / Гл. ред. Л.Л. Божко, - Рудный: Рудненский индустриальный университет, 2025, 150 с.

ISBN 978-601-7994-86-0

В сборнике материалов представлены доклады участников Международной научно-практической конференции, проведённой в рамках исследований Рудненского индустриального университета по проекту АР19679796 «Исследование факторов развития регионов с учетом межрегиональных связей и государственного регулирования». Сборник материалов представляет интерес для научных работников, преподавателей, студентов и магистрантов, а также для читателей, интересующихся проблемами устойчивого развития.

Рекомендовано к изданию Ученым Советом Рудненского индустриального университета.

УДК 338
ББК 65.9
К63

Главный редактор – кандидат экономических наук, и.о. доцента Л.Л. Божко

Редакционная коллегия: А.Д. Жуковский (ответ.редактор), О.А.Акмалова, А.К. Абжатова, М.А. Афанасьев.

ISBN 978-01-7994-86-0

© Рудненский индустриальный университет, 2025



ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО

Қурметті конференция мүшелері!

Уважаемые участники Международной научно-практической конференции «Комплексное развитие территорий приграничных регионов Казахстана и России: новые вызовы и возможности»! Примите искренние приветствия от Парламента Республики Казахстан и от меня благодарность за приглашение принять участие в работе конференции.

Особо рад приветствовать представителей Финансового университета при Правительстве Российской Федерации и Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. Как выпускник Рудненского индустриального университета, считаю своим долгом и честью поддерживать «Альма-Матер», в том числе участвуя в проводимых научно-практических мероприятиях.

Сегодняшняя конференция проходит в период, когда перед нашими странами стоят задачи по обеспечению устойчивого роста, технологической модернизации и подготовки кадров, способных реализовать стратегию экономической самодостаточности.

Хочу положительно отметить сотрудничество наших университетов по актуальной тематике, обозначенной в повестке дня конференции. Это чрезвычайно важно, поскольку проблематика экономического развития, диверсификации экономики и решения социальных вопросов во многом схожа для Казахстана и России. При этом накопленный научный потенциал и практический опыт научного сообщества представляет большую ценность для взаимного обмена знаниями и идеями.

Эти задачи напрямую связаны с достижением Целей устойчивого развития, которые становятся все более значимым ориентиром для государственной политики.

Наши страны - большие, разнообразные по географии, плотности населения и уровню доходов. Поэтому особенно важно, чтобы программно-целевой подход позволял видеть различия между регионами и формировать региональную политику.

Большое внимание уделяется вкладу университетов и научного сообщества в продвижение ЦУР. Вузы становятся центрами компетенций, способными не только обучать специалистов, но и предоставлять экспертно-аналитическую поддержку регионам. Рудненский индустриальный университет активно участвует в таких инициативах, создавая площадку для взаимодействия науки, бизнеса и власти.

Говоря о приграничном сотрудничестве, отмечу, что значительная часть товарооборота между Казахстаном и Россией приходится именно на приграничные регионы. Геополитические обстоятельства, включая санкционные ограничения, вносят свои коррективы. Например, такие предприятия, как АО «ССГПО», временно приостановили поставки железорудного концентрата российским металлургическим предприятиям из-за опасений вторичных санкций, несмотря на более чем 60-летнюю историю взаимовыгодного сотрудничества.

Но необходимо отметить, что любой кризис - это и новые возможности. Он заставляет нас мобилизовать ресурсы, научный и технологический потенциал. Большое значение имеет развитие логистических направлений, в частности, международного транспортного коридора «Север — Юг», а также региональных инфраструктурных проектов. Один из таких проектов является строительство моста между Челябинской и Костанайской областями.

К перспективным направлениям необходимо отнести и глубокую переработку зерна, о чём говорил Президент Казахстана, предлагая активизировать сотрудничество с Россией. Наши страны входят в число мировых лидеров по производству зерна, и именно в этом секторе имеется большой потенциал для создания добавленной стоимости.

Перспективным вижу также проекты по переработке техногенных минеральных образований. В Казахстане и России их накоплено несколько миллиардов тонн. Это перспективное направление для сотрудничества вузовской науки и промышленных предприятий.

Убеждён, что, объединяя усилия науки, бизнеса и власти, мы сможем реализовать потенциал регионов Казахстана и России, как центров устойчивого роста. Пусть результаты конференции станут вкладом в укрепление сотрудничества и развитие человеческого капитала, как главного ресурса XXI века.

Желаю всем участникам конференции плодотворных дискуссий, новых открытий и успешных проектов, которые принесут практическую пользу нашим регионам и странам.

*С уважением, Альберт Рау,
депутат Мажилиса Парламента
Республики Казахстан, доктор
экономических наук*

ИМПЛЕМЕНТАЦИЯ ЦУР В РЕГИОНАЛЬНУЮ ПОЛИТИКУ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

д.э.н. Рау А.П.

заместитель Председателя Мажилиса Парламента Республики Казахстан
г. Астана, Республика Казахстан

Цели устойчивого развития как тема исследования всегда была одной из актуальной. Например, группа учёных из Китая провели библиометрический анализ всех статей на английском языке, написанных за последние 40 лет через базу данных SCI/SSCI Web of Science с тегами «ЦУР». Окончательный поиск дал 1402 документа на английском языке, найденных в основной базе данных WOS с 1981г. по 2020г. Установлено, что после реализации ЦУР ООН в 2015 году количество статей по теме быстро выросло с 49 статей в 2014 году до 147 статей в 2020 году [1].

Идея оценки стран на основе множества критериев впервые появилась в 1992 году в документе "Повестка дня на XXI век". В 1995 году Комиссия ООН по устойчивому развитию представила первый комплекс показателей устойчивого развития, после чего ряд стран разработали собственный набор показателей [2].

Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года и её цели должны использоваться как основа для определения политики и действий, направленных на достижение устойчивого развития во всём мире к 2030 году. Основная черта Повестки в области устойчивого развития на период до 2030 года состоит в том, что она может применяться универсально с учётом региональной, национальной и местной специфики, возможностей, уровней развития и конкретных вызовов.

Анализ международного опыта локализации и внедрения Целей устойчивого развития странами – лидерами индекса ЦУР, составленного SDSN и Bertelsmann Stiftung, показывает, что даже эта узкая группа стран имеет очень разный опыт как по переходу к устойчивому развитию, так и непосредственно по внедрению ЦУР. Одни страны приняли национальную стратегию устойчивого развития ещё в 1997 г., другие – только в начале 2000-х годов. Также страны находятся на совершенно разных этапах внедрения ЦУР в стратегические документы – от отсутствия такой работы до локализации всех 17 Целей устойчивого развития.

В рамках ЦУР ООН для региона СНГ особое внимание уделяется интеграции факторов социально-демографической структуры в процесс разработки и реализации политических и экономических стратегий. Это свидетельствует о признании важности данных факторов для достижения устойчивого развития и улучшения качества жизни населения.

Исследование социально-демографических детерминант доходов населения является неотъемлемой частью более широкой проблематики, связанной с анализом социальной мобильности, неравенства и экономической динамики. В условиях глобализации и цифровизации эти факторы приобретают

особую актуальность, требуя от исследователей междисциплинарного подхода и применения современных методов анализа данных [3].

Причины страновых различий во многом связаны с особенностями управления процессом внедрения, сложившимися моделями governmental organization [4,5]. Однако именно эти вопросы пока не стали предметом активных научных дискуссий. Пока наибольшее внимание уделяется вопросам институционализации ЦУР на национальном уровне, оценке эффективности управления конкретными проектами.

Концепция регионального развития Республики Казахстан на 2025 – 2030 годы направлена на решение данных проблем с учетом новых вызовов и использования возможностей для устойчивого роста.

Приоритеты долгосрочного территориально-пространственного развития Республики Казахстан (до 2050 года) изложены в Генеральной схеме организации территории Республики Казахстан.

Национальный план развития Республики Казахстан до 2030 года ставит перед регионами две ключевые задачи – недопущение критических разрывов в обеспеченности социальными благами и услугами в соответствии с Системой региональных стандартов и содействие двукратному росту экономики.

Индикаторы достижения ЦУР закреплены за каждым центральным государственным органом, что обеспечивает координацию на уровне министерств. Перед государственными органами поставлена задача подчинить бюджетный процесс достижению ЦУР.

По оценке программы ООН, в Казахстане доля бюджета, соотнесённого с ЦУР, составляет в среднем 81% республиканского бюджета, при этом финансирование получили 58,6% целей (таргетов) ЦУР. Это не означает, что 81% расходов были исключительно направлены на достижение ЦУР. В данном случае бюджетные программы соотнесены с ЦУР по методологии кодирования (SDG budget tagging) (рис. 1).

Согласно обобщённым результатам маркировки по всем функциональным группам охват задач ЦУР бюджетными программами составляют 46% (77 из 167 национальных задач ЦУР). Анализ показал, что наивысший уровень соответствия бюджетных программ с ЦУР 16. «Мир, правосудие и эффективные институты» (92%), ЦУР 11. «Устойчивые города и населенные пункты» (80%), ЦУР 9. «Индустриализация, инновации и инфраструктура» (75%), ЦУР 4. «Качественное образование» (70%), ЦУР 3. «Хорошее здоровье и благополучие» (69%) и ЦУР 13. «Борьба с изменением климата» (67%). Средний уровень соответствия бюджетных программ наблюдается к ЦУР 7. «Недорогостоящая и чистая энергия» (60%), ЦУР 8. «Достойная работа и экономический рост» (50%), ЦУР 12. «Ответственное потребление и производство» (45%), ЦУР 1. «Ликвидация нищеты» (43%) и ЦУР 10. «Снижение неравенства» (40%). Выявлен низкий уровень соответствия бюджетных программ к ЦУР 17. «Партнёрство» (37%), ЦУР 15. «Сохранение экосистемы суши» (33%) и ЦУР 2. «Ликвидация голода» (25%).

Межпалатная комиссия Республики Казахстан регулярно рассматривает отчёты регионов и вырабатывает предложения по корректировке индикаторов,

чтобы повысить их реалистичность и практическую применимость. В отдельных регионах Казахстана уже реализуются пилотные проекты по внедрению принципов устойчивого развития в региональные программы.

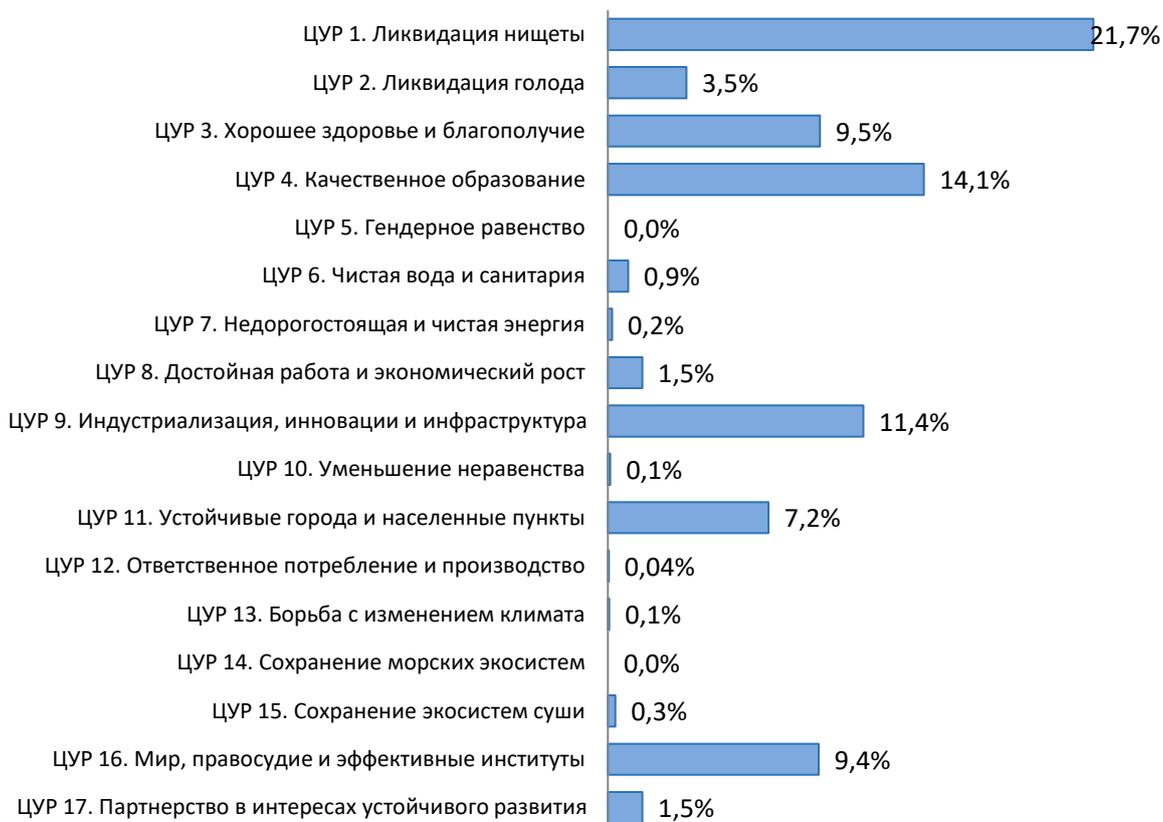


Рисунок 1 - Бюджетное финансирование ЦУР в Республике Казахстан

В Восточно-Казахстанской области формируется система «зелёных бюджетов» с акцентом на энергоэффективность и охрану водных ресурсов. В Костанайской области в фокусе — рациональное землепользование и переработка сельхозпродукции, что напрямую связано с ЦУР 2 и 12 («ликвидация голода» и «ответственное потребление и производство»). Вышеприведенные практики показывают, что интеграция ЦУР в региональную политику возможна при наличии координации и аналитической поддержки.

Большое значение отводится вкладу цифровизации в достижение ЦУР. Цифровизация и ИИ в Казахстане развиваются достаточно успешно. Этому вопросу посвящено Послание Главы государства Касым-Жомарта Токаева народу Казахстана «Казахстан в эпоху искусственного интеллекта: актуальные задачи и их решения через цифровую трансформацию».

У каждого государственного органа выработаны цифровые решения, которые облегчают гражданам доступ к государственным услугам, дают объективную оценку индикаторам ЦУР. Все это, безусловно, должно способствовать более успешной реализации ЦУР. Например, водные ресурсы - система учета и прогнозов; здоровье населения - мониторинг расходования средств на здравоохранение и обеспечение лекарствами; борьба с бедностью -

использование «больших данных», проактивное предоставление социальной поддержки, не допущение необоснованных выплат.

В настоящее время серьёзным вызовом остаётся внедрение ЦУР на региональном уровне. Местные исполнительные органы нередко сталкиваются с нехваткой аналитических данных, методических инструментов и кадров, способных интегрировать цели устойчивого развития в систему бюджетного планирования.

С будущего бюджетного периода Казахстан внедряет новую систему межбюджетных трансфертов. Отдельные программы будут объединены в общий пул средств, предоставляемый регионам в виде трансфертов общего характера. Это создаёт больше самостоятельности для местных органов власти и позволяет формировать инвестиционные планы, ориентированные на конкретные ЦУР. В то же время возрастает и ответственность акимов регионов за распределение имеющихся финансовых ресурсов. Это потребует новых подходов к принятию управленческих решений на основе оценки регионального развития.

Принятие решений в соответствии с алгоритмом достижения ЦУР позволяет повысить эффективность регионального менеджмента. Кроме того, в Казахстане уже несколько лет действует система региональных стандартов, которые полностью коррелируют с ЦУР. Например, Костанайская область оказалась на последнем месте в стране по обеспеченности жителей сельских населенных пунктов чистой питьевой водой. Это пример неправильного определения приоритетов. В то время, как обеспечение водой - один из важнейших показателей ЦУР. В настоящее время ситуация исправляется и проблема будет практически решена.

Таким образом, нормативно-правовая база ЦУР на общенациональном уровне представлена широким спектром документов, включающим стратегии и концепции развития, но глубина проникновения ЦУР на региональный уровень также возрастает. Результаты проведенного опроса показали, что в Республике Казахстан 31,2% опрошенных считают, что местные и региональные органы власти должны в большей степени способствовать достижению «Целей устойчивого развития» и только 27,3% респондентов отметили, что это прерогатива республиканских органов власти. 14,4% опрошенных отдали предпочтение специальным НПО, экологическим объединениям и правозащитникам (рис. 2).

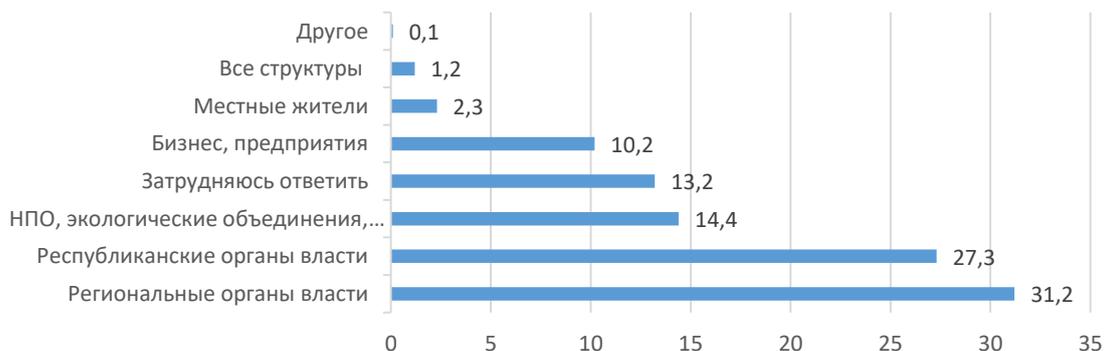


Рисунок 2 – Результаты оценки респондентами глубины проникновения ЦУР

В целом можно условно выделить несколько основных направлений внедрения принципов устойчивого развития на региональном уровне:

учет принципов устойчивого развития в стратегическом планировании;

мониторинг достижения и составление отчетов о вкладе в достижение ЦУР;

вовлечение бизнеса и других заинтересованных сторон в повестку устойчивого развития, расширение взаимодействия в этой сфере с крупными банками и институтами развития.

Важными целевыми установками продвижения повестки устойчивого развития для регионов Казахстана являются повышение качества жизни населения и рост уровня конкурентоспособности регионов.

Для оценки достижения целей устойчивого развития на уровне регионов ключевыми являются наличие качественных и доступных инструментов оценки и мониторинга, выстраивание эффективных форматов взаимодействия со всеми стейкхолдерами, прежде всего с бизнесом. При этом качество управления оценивается на основе оценки степени отражения повестки устойчивого развития в программных документах развития регионов

Список литературы:

1. Russia: a Spatial-Econometric Approach // Economy of Region. 2018, no. 14(4), pp. 1383-1398.

2. Cheng Y., Liu H., Wang S., Cui X., Li, Q. Global Action on SDGs: Policy Review and Outlook in a Post-Pandemic Era // Review. Sustainability. 2021, no. 13, pp. 1-25. URL: <https://doi.org/10.3390/su13116461>

3. Вагина В.Е., Кислицына Ю.А. Экономико-статистический анализ неравенства населения по доходу // Материалы XV Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» URL: <https://scienceforum.ru/2023/article/2018033367>

4. Бобылев С.Н. Устойчивое развитие: методология и методики измерения: учеб. пособие / С. Н. Бобылев, Н. В. Зубаревич, С. В. Соловьева, Ю.С. Власов. - М.: Экономика, 2011. - С. 339-346.

5. Turgel I.D., Panzabekova A.Zh., Symaniuk N. V. Development of regulatory impact institute under digitization process: experience of Russia and Kazakhstan // Bulletin of the National academy of sciences of Republic of Kazakhstan. 2019, no. 5(381), pp. 97-104

MEASURING FINTECH ADOPTION USING MACHINE LEARNING: IMPLICATIONS FOR BANK RISK

Faheem Ur Rehman*

King Fahd University of Petroleum and Minerals, KSA

Indira Bayazitova

*Graduate School of Economics and Construction, Rudny Industrial University,
Rudny, Kazakhstan*

Abstract

This project will investigate the impact of FinTech adoption on upside and downside risk (financial market risk) using a global FinTech index. This project will significantly contribute to a machine learning-based method to measure FinTech adoption within the banking industry. We will use the firm's FinTech adoption index and upside and downside risk from banks across 67 countries worldwide from 2009 to 2023. Our results will highlight the importance of FinTech adoption by exploring whether banks adopting FinTech in their operations are less exposed to the financial market risk than other banks. Furthermore, this project will explore potential channels (such as asymmetric information) through which FinTech adoption impacts the financial market risk. This project will have important implications for government regulations, customers, and banking industry stakeholders.

Key words: Fintech adoption, upside and downside risk, banking sector, machine learning

Introduction

To the best of our knowledge, this will be the first study to examine the relationship between FinTech adoption and the bank's upside and downside risk. This project aligns with the center's focus area, which is related to FinTech. As banks increasingly integrate FinTech solutions into their operations, it becomes essential to systematically analyse the consequences of such adoption on their performance, risk management, and broader financial stability. A lack of proper measurement tools to assess FinTech adoption in the banking sector leads to significant academic and practical gaps in this phenomenon. This, in turn, leads to critical questions about FinTech adoption and its implications unanswered. Without proper measurement, FinTech adoption in banks may introduce vulnerabilities, increasing the potential for systemic financial crises.

One of the key implications of this research lies in its potential to enhance the understanding of how FinTech adoption impacts banks' financial market risk. While the benefits of adopting FinTech are essential, without proper assessment, the actual effects of fintech on bank performance and potential risks remain unclear, which could lead to unforeseen challenges, including financial instability or crisis. This can provide crucial insights for policymakers, regulators, and industry stakeholders seeking to mitigate these risks and maximise the benefits of fintech integration in banking operations. This also aligns with the Kingdom 2030 goals, and our results will help the Saudi Arabian banking sector properly understand and evaluate the impact of FinTech adoption on financial risk. After completing this project, I plan to conduct a workshop

for undergraduate and graduate students to learn more about textual analysis in accounting and finance.

The banking industry has increasingly integrated advanced technologies into its operations, presenting unprecedented opportunities and significant challenges. This rapid evolution of financial technology (hereafter, FinTech) has transformed the sector and spurred a growing body of research on its impact on bank performance, efficiency, and risk in the industry. Though still being debated among researchers, FinTech is defined as "the use of technology to provide new and improved financial services.

This study will aim to quantify the level of FinTech adoption in the banking sector around the globe by creating a novel measurement of banks' FinTech adoption. We will focus on the banking sector due to the intrinsic link between FinTech innovation and the financial services banks offer. To measure FinTech adoption, we will make use of earnings calls. An earnings call conference is where a company's management team discusses and answers questions about its performance, vision, and future outlook with several stakeholders. Hence, earnings calls provide "soft" information (e.g., information exchange between firm managers and analysts) with insights beyond those derived from existing firm-level measures based on "hard" information (e.g., financial measures). We will use over 15 thousand quarterly earning call transcripts of 687 banks across 67 countries globally from 2009 to 2023. Leveraging the Word2Vec machine learning model, this paper will study the content of the calls to construct the FinTech adoption index at the bank level. With a list of seed words as input, the model expands them to form a dictionary by selecting the top synonyms of these seed words discussed in the earning conference calls. Subsequently, each bank will be scored according to the six dimensions of FinTech. A composite index will be created using the Principal Component Analysis of the six dimensions.

In the next step, we will examine the influence of FinTech adoption on upside and downside risk using a global FinTech index. Upside and downside risk represent abnormal returns in the positive and negative domain respectively. Knowing some of the factors that cause these anomalies is very important for investors and managers when evaluating a company. Past studies have given particular attention to firm downside risk because of the tendency for investors to be loss averse, as well as the impact that crash risk can have on financial products, markets and investor wealth. Downside (crash) risk represents the likelihood of an abnormal negative return in a stock. This often occurs when negative information, that the company managers have hidden from the public, is leaked or released suddenly, causing a significant drop in price.

This project has the following objective:

1. Using the textual analysis of the earnings calls we will assess the extent to which banks are adopting FinTech.
2. Measure how effectively banks are leveraging FinTech innovations.

FinTech adoption and its impact on the upside and downside risk
Research Methodology

Two variations of value at risk (VaR) and conditional VaR will be used to measure downside risk. The first of the VaR estimates used is historical VaR (HVaR). HVaR takes the 5th percentile value of daily returns as VaR at 95% confidence level for each firm in each year. This method assumes history repeats itself, ordering returns from worst losses to greatest gains. The second method for calculating VaR is the variance-covariance or parametric method (PVaR). This method assumes a normal distribution of returns. It is constructed by calculating the mean and standard deviation of daily returns to obtain VaR for each firm in each year. So, to be consistent with the HVaR method, the critical value is taken at the worst, at 5%, on the curve: 95% confidence = -1.645. This is calculated according to: $mean - (1.645 \times std. dev)$. We will use conditional VaR (CVaR) to capture the tail risk beyond VaR. This metric does not suffer from potential subadditivity as VaR methods can do, and is a substantial downside measure. We have taken VaR at the 95% confidence interval, so CVaR is calculated as the mean of the lowest 5% returns. It is the average loss of the worst cases for each firm each year.

$$CVaR = \left| \sum_{j=1}^n \frac{R_{i,j}}{n} \right| \text{ if } R_{i,j} < HVaR_{it}$$

In the above equation, $R_{i,j}$ is the daily returns for firm i in year t , n is the number of daily returns below $HVaR_{it}$. For a better understanding of the variables, the values of VaR and CVaR are taken as positive in the empirical analysis.

Upside risk is measured similarly to downside risk. As opposed to taking values at the lowest 5% of returns, they are taken at the highest 5%. This measures potential gains at the same 95% confidence interval. The first variable created is upside potential (UP). The 95th percentile of daily returns for each stock is taken using the same method as for HVaR. Conditional upside potential (CuP) is the other upside risk variable used, representing the average of the highest 5% daily stock returns for the year. This variable is formed by creating 20 quantiles of daily returns for each firm in each year, and taking the mean value of the 20th quantile. CuP represents the average gain from the best days over the given year.

$$CuP = \left| \sum_{j=1}^n \frac{R_{i,j}}{n} \right| \text{ if } R_{i,j} > UP_{it}$$

Where $R_{i,j}$ is the daily returns for firm i in year t , n is the number of daily returns above UP_{it} .

We will also include the control variables, including profitability (ROA), liquidity (LIQ), leverage (LEV), price-to-earnings (PE), stock turnover (STO) and size (SIZE). Further, we will also include country-level variables such as gross domestic product (GDP) and consumer price index (CPI) economic variables.

To test the objective that FinTech adoption will have a different impact on upside and downside risk, will run the following regression model:

$$Risk_{i,ct} = \alpha_0 + \beta_1 FA_{i,c,t} + \beta_2 ROA_{i,c,t} + \beta_3 LIQ_{i,c,t} + \beta_4 LEV_{i,c,t} + \beta_5 PE_{i,c,t} \\ + \beta_6 STO_{i,c,t} + \beta_7 SIZE_{i,c,t} + \beta_8 GDP_{c,t} + \beta_9 CPI_{c,t} + \varepsilon_{i,c,t}$$

Subscript i refers to the firms, c refers to the country, and t refers to the individual year.

Conclusion and Policy Recommendations

This project aims to advance the understanding of how FinTech adoption influences banks' exposure to financial market risk by distinguishing between upside and downside risk. By developing a novel, machine learning–based index of FinTech adoption using textual analysis of earnings call transcripts, the study addresses a critical gap in the existing literature regarding the measurement of FinTech integration within the banking sector. The proposed methodology enables a more nuanced and dynamic assessment of banks' engagement with FinTech innovations compared to traditional, static proxies.

By employing a comprehensive global dataset of banks across multiple countries and years, this research is expected to provide robust empirical evidence on whether and how FinTech adoption mitigates downside risk while enhancing upside potential. The analysis of both value-at-risk and conditional value-at-risk measures allows for a deeper understanding of tail risks, which are of particular importance to investors, regulators, and policymakers concerned with financial stability. Furthermore, examining potential transmission channels—such as reductions in asymmetric information—will offer valuable insights into the mechanisms through which FinTech adoption affects risk-taking behavior in banks.

The findings of this study are anticipated to have significant practical and policy implications. For regulators and policymakers, the results will help inform the design of regulatory frameworks that encourage responsible FinTech adoption while safeguarding financial stability. For banking practitioners, the study will provide guidance on how strategic investment in FinTech can enhance risk management and performance. More broadly, this research contributes to the growing body of knowledge on digital transformation in finance and supports evidence-based decision-making in an increasingly technology-driven financial system. Ultimately, the project aligns with broader development goals by promoting a more resilient, efficient, and innovative banking sector.

References

Loughran, T., & McDonald, B. (2011). When is a liability not a liability? Textual analysis, dictionaries, and 10-Ks. *Journal of Finance*, 66(1), 35–65.

Tetlock, P. C. (2007). Giving content to investor sentiment: The role of media in the stock market. *Journal of Finance*, 62(3), 1139–1168.

Fuster, A., Plosser, M., Schnabl, P., & Vickery, J. (2019). The role of technology in mortgage lending. *Review of Financial Studies*, 32(5), 1854–1899.

Rockafellar, R. T., & Uryasev, S. (2000). Optimization of conditional value-at-risk. *Journal of Risk*, 2(3), 21–41.

Goldstein, I. (2019). To FinTech and beyond. *Review of Financial Studies*, 32(5), 1647–1661.

Nguyen, Q. K. (2022). The effect of FinTech development on financial stability. *Finance Research Letters*, 47, 102726.

Elekdag, S., Emrullahu, D., & Naceur, S. B. (2025). Does FinTech increase bank risk-taking? *Journal of Financial Stability*, forthcoming.

Tian, M., Liu, Y., & Chen, Y. (2022). Downside and upside risk spillovers from commercial banks to the financial system. *Journal of Financial Stability*, 60, 100995.

Fuster, A., Goldsmith-Pinkham, P., Ramadorai, T., & Walther, A. (2022). Predictably unequal? The effects of machine learning on credit markets. *Journal of Finance*, 77(1), 5–47.

Buchak, G., Matvos, G., Piskorski, T., & Seru, A. (2018). FinTech, regulatory arbitrage, and the rise of shadow banks. *Journal of Financial Economics*, 130(3), 453–483.

Santos Silva, J. M. C., & Tenreyro, S. (2006). The log of gravity. *Review of Economics and Statistics*, 88(4), 641–658.

БЕТОНЫ ВАРИАТРОПНОЙ СТРУКТУРЫ ДЛЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ: АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

д.т.н., профессор Мирюк О. А.

НАО «Рудненский индустриальный университет»

г. Рудный, Казахстан

к.т.н., профессор Рахимов М.А.

НАО «Карагандинский технический университет»

г. Караганда, Казахстан

PhD, ассоциированный профессор Rozana Binti Zakaria

«Малазийский технический университет»

г. Куалу - Лумпур, Малайзия

докторант Майкотова К.К.

НАО «Карагандинский технический университет»

г. Караганда, Казахстан

Annotation. The article presents an analytical review of modern research on the development and application of variotropic and multilayer concrete structures for building enclosing structures. The relevance of the work is due to the need to improve the energy efficiency of buildings while maintaining the required strength and performance characteristics. The main approaches to the formation of the heterogeneous structure of concrete are systematized and their influence on the physico-mechanical and thermophysical properties is considered. It is shown that the use of variotropic concretes makes it possible to effectively combine load-bearing and thermal insulation functions in one material. The results of the review can be used in the development of modern wall products and enclosing structures.

Key words: variotropic structure, multilayer concrete, enclosing structures, thermophysical properties, energy efficiency.

Введение. В условиях повышения требований современного строительства к энергоэффективности, надежности и долговечности зданий и сооружений особое значение приобретает качество строительных материалов и конструктивных решений. Одну из ключевых ролей в обеспечении теплового комфорта и защиты внутренних помещений от внешних воздействий играют ограждающие конструкции зданий.

Данная проблема приобретает особую актуальность в условиях климата Республики Казахстан, характеризующегося продолжительными холодными зимними периодами и значительными затратами энергии на отопление зданий. В связи с этим возрастает потребность в конструкционных материалах, способных сочетать высокие прочностные характеристики с пониженными теплофизическими показателями.

Традиционные однородные бетоны, обладая высокой прочностью и долговечностью, в ряде случаев не обеспечивают требуемый уровень теплоизоляционных свойств, что ограничивает их эффективность при

использовании в ограждающих конструкциях. Для решения данной проблемы актуальным является поиск и разработка материалов с управляемой структурой, позволяющей рационально распределять функциональные свойства по сечению элемента.

Одним из перспективных направлений в этой области являются бетоны вариатропной структуры, характеризующиеся неоднородным распределением плотности, пористости и физико-механических свойств по толщине изделия. Применение таких бетонов целесообразно при производстве стеновых панелей, плит покрытий и перекрытий, где требуется сочетание несущей способности и повышенных теплоизоляционных характеристик.

Целью настоящей статьи является анализ и обобщение современных исследований, посвящённых разработке и применению бетонов вариатропной структуры для ограждающих конструкций зданий.

Методология. Настоящее исследование выполнено в форме аналитического обзора отечественных и зарубежных научных публикаций, посвящённых разработке и применению бетонов вариатропной и многослойной структуры для ограждающих конструкций зданий. В качестве источников информации использованы статьи из международных баз данных Scopus и Web of Science, материалы профильных научных журналов и конференций, а также труды отечественных исследователей.

Анализ охватывал публикации, выпущенные преимущественно за последние 10–15 лет. Отбор источников осуществлялся с учётом их научной значимости, тематической направленности и релевантности рассматриваемой проблеме. В рамках обзора применялись методы системного, сравнительного и аналитического анализа, что позволило обобщить существующие подходы к формированию вариатропной структуры бетонов, выявить основные тенденции развития данного направления и определить перспективные области применения таких материалов в ограждающих конструкциях зданий.

Результаты. В результате анализа отечественных и зарубежных научных публикаций установлено, что в последние годы наблюдается устойчивый рост интереса к разработке бетонов с неоднородной, в том числе вариатропной, структурой, предназначенных для использования в ограждающих конструкциях зданий. Это обусловлено необходимостью повышения энергоэффективности зданий при сохранении требуемых прочностных характеристик.

Установлено, что формирование вариатропной структуры бетонов осуществляется преимущественно за счёт создания слоистых или градиентных композиций, отличающихся по плотности, пористости и составу. В ряде исследований показана эффективность сочетания плотных конструктивных слоёв с облегчёнными или поризованными слоями, выполняющими теплоизоляционную функцию [1, 2, 10].

Рассмотренные работы свидетельствуют о том, что вариатропная структура бетона оказывает существенное влияние на его физико-механические свойства. При рациональном подборе состава и толщины слоёв возможно достижение прочностных показателей, сопоставимых с однородными бетонами, при одновременном снижении средней плотности материала.

Значительное внимание в исследованиях уделяется теплофизическим и эксплуатационным характеристикам бетонов вариатропной структуры. Показано, что снижение плотности отдельных слоёв приводит к уменьшению коэффициента теплопроводности, что особенно важно для условий холодного климата. Кроме того, отмечается повышение морозостойкости и долговечности ограждающих конструкций [3-5, 7].

Анализ технологических аспектов показывает, что бетоны вариатропной структуры могут быть реализованы с использованием различных производственных приёмов, включая послойное формование и модификацию состава на стадии укладки. Наиболее перспективной областью применения таких материалов являются стеновые панели и другие элементы ограждающих конструкций зданий [6, 8, 9].

Совместно с учеными из Рудного и зарубежными учеными ведутся работы по разработке вариотропных бетонов для условий Центрального и Северного Казахстана на основе следующих сырьевых материалов: керамзит, керамзитовый песок, доменный гранулированный шлак, пенополистирол.

В таблице 1 представлены сравнительные характеристики материалов.

Таблица 1 - Сравнительная характеристика материалов

Показатель	Керамзит	Керамзитовый песок	Доменный гранулированный шлак	Пенополистирол
Происхождение	Искусственный пористый наполнитель	Продукт дробления/отсева керамзита	Побочный продукт металлургии	Полимерный теплоизоляционный материал
Фракция, мм	5–10; 10–20; 20–40	0–5	0–5	Плиты (толщина 20–200 мм)
Насыпная плотность, кг/м ³	250–600	600–1000	900–1200	10–35
Истинная плотность, кг/м ³	1200–1600	1200–1600	2700–3000	15–40
Прочность зерен, МПа	0,3–3,5	1,0–5,0	20–80	—
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	0,10–0,18	0,18–0,30	0,25–0,35	0,032–0,045
Водопоглощение, % по массе	15–25	10–20	1–3	2–4
Морозостойкость, циклы	F25–F100	F25–F75	F200–F300	F25–F50
Огнестойкость	Негорючий	Негорючий	Негорючий	Горючий (Г1–Г4)
Химическая стойкость	Высокая	Высокая	Очень высокая	Средняя
Экологичность	Высокая	Высокая	Высокая	Условная

Заключение. Проведённый аналитический обзор отечественных и зарубежных научных публикаций показал, что бетоны вариатропной структуры являются перспективным направлением развития строительных материалов для ограждающих конструкций зданий. Их применение обусловлено возможностью целенаправленного формирования неоднородной структуры по сечению элемента, что позволяет рационально сочетать несущие и теплоизоляционные функции в одном материале.

Установлено, что использование слоистых и градиентных композиций способствует снижению средней плотности и коэффициента теплопроводности бетона при сохранении требуемых физико-механических характеристик. При этом вариатропная структура оказывает положительное влияние на эксплуатационные свойства ограждающих конструкций, включая долговечность и морозостойкость, что особенно важно для условий холодного климата.

Анализ современных исследований показал, что, несмотря на значительный научный интерес к бетонам вариатропной структуры, ряд вопросов, связанных с оптимизацией составов, технологией производства и обеспечением стабильности свойств изделий, остаётся недостаточно изученным. Это определяет целесообразность дальнейших исследований, направленных на разработку рациональных составов и совершенствование технологий получения многослойных бетонов для ограждающих конструкций зданий.

Источник финансирования. Финансирование исследования осуществлялось в рамках проекта АР26199493 «Разработка многослойных бетонов с улучшенными технологическими и эксплуатационными свойствами для стеновых изделий».

Список литературы:

1. Бегляров А.Э. Эффективные стеновые монолитно-слоистые изделия объемного прессования: дис. ... канд. тех. наук: 05.23.05. Москва, 2011. 134 с.
2. Мирюк О.А. Формирование магниезиального ячеистого композита с переменной плотностью // Материалы III Международной научно-практической конференции «21 век: фундаментальная наука и технологии». М., 2014. С. 167-169.
3. Банцорова О.Л., Жуйсинь Ли. Конструктивные решения теплозащиты наружных стен для монолитных многоэтажных жилых зданий центральных районов Китая // Вестник МГСУ // Архитектура и градостроительство. Реконструкция и реставрация. 2012. №12. с. 7-15.
4. Пак А.А., Сухорукова Р.Н., Николаев А.И. Повышение энергоэффективности ограждающих конструкций зданий и контроль качества строительных материалов и изделий // Вестник Томского государственного университета. Химия. 2019. №14. с. 53-64.
5. Фаррахова Е.О. и Ибрагимов Р.А. Разработка эффективных энергосберегающих стеновых блоков из пенополистиролбетона // Известия КГСУ // Технология и организация строительства. – 2018. №2 (44). С. 255-262.

6. Сандан А.С. Технология бетонирования при устройстве ограждающих конструкций путем внесения тепла в керамзитопенобетонную смесь // Строительство. Архитектура // Инновации и инвестиции. 2019. №4. с. 331-334.
7. Кисляк С.М., Сеначин П.К. Исследование теплозащитных свойств теплоизоляционного покрытия Re-therm // Ползуновский вестник. 2014. №1. с. 64-67.
8. Левещенко М.В. Теплотехнические свойства стеновых ограждающих конструкций из стальных тонкостенных профилей и полистиролбетона // Инженерно-строительный журнал. 2015. №8. с. 44-55.
9. Федюк Р.С. Несущие монолитные железобетонные стены с применением несъемной опалубки из пенополистирола // Вестник РУДН, серия Инженерные исследования. 2013. №4. с. 105-144.
10. Дьяченко Л.Ю. и др. Выбор оптимального решения тепловой изоляции наружных ограждающих конструкций // Вісник ПДАБА. 2014. №3. с. 43-50.

РЕТРОСПЕКЦИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИИ В УСЛОВИЯХ НЕУРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

к.э.н., Жуковский А.Д.

*Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации
Москва, Россия*

Аннотация. Дальний Восток всегда, исторически являлся составным геоэкономическим фундаментом Российского государства в Азиатско-Тихоокеанском регионе, и во многом сегодня предопределяет внешнеполитические контуры Российской Федерации в текущем периоде международной напряжённости. Одними из самых серьёзных и значимых вызовов, существенно ограничивающих рост экономики регионов Дальнего Востока, остаётся малая заселённость территорий и дороговизна внедрения в промышленных масштабах передовых научных достижений и инновационных разработок во все сферы народного хозяйства с учётом уникальных пространственно-географических характеристик Дальнего Востока.

Ключевые слова: Дальний Восток, инновации, комплексное развитие территорий, неурбанизированные территории, народное хозяйство

Введение. Территории Дальневосточного федерального округа во все времена представляли собой одни из самых слабо заселённых во всей стране, и даже на сегодняшний день, неурбанизированные территории Дальнего Востока остаются крайне малозаселёнными и их плотность населения в современный период составляет приблизительно 1,2 человека на 1 квадратный километр. Данный факт серьёзно обостряется ускорившейся за последние 30-50 лет урбанизацией населения и внушительным оттоком трудоспособного населения из сельской местности в большие городские агломерации: Якутск, Хабаровск, Владивосток, Улан-Удэ, Благовещенск и др.

В условиях таких параметров, крайне затруднительно вести комплексное развитие неурбанизированных территорий и отраслей народного хозяйства с акцентом на инновации, а также их повседневное научно-технологическое внедрение в реальную жизнь на земле на Дальнем Востоке.

Истории известно несколько этапов инновационного развития отраслей и сфер народного хозяйства в условиях обширных пространственных характеристик Дальневосточных регионов Российского государства, их можно разделить на 4 этапа:

Этап 1: Аграрное освоение (конец XIX — начало XX века).

Данный этап инновационных преобразований связан в основном с переселенческой политикой Российской империи 19 века.

Это было не просто миграцией, а масштабным проектом заселения обширных территорий, сопровождавшимся:

1. внедрением новых агротехник (например, севооборотов, адаптированных к местным чернозёмам);

2. созданием земледельческих станций (первая — в Хабаровске, 1890-е гг.), где изучали местные культуры и почвы;

3. развитием кооперативного движения — сельхозартелей и потребсоюзов.

Инновационность этого периода заключалась не в технологиях, а в институциональных решениях: государство брало на себя логистику, кредитование и научное сопровождение освоения новых земель. Однако масштабные проекты были прерваны Первой мировой войной и революцией.

1. Научно-агрономическое сопровождение.

Уже в 1880-е годы создавались земледельческие станции, где изучали местные климатические условия, почвы и культуры. Учёные-агрономы вели селекционную работу, тестируя сорта пшеницы, ячменя, гречихи, картофеля и даже сои

2. Инфраструктурное развитие.

Строились сельские школы, фельдшерские пункты, почтовые станции, а главное — дороги и паромные переправы. Состоялся запуск Транссибирской магистрали

3. Институциональные новации.

На Дальнем Востоке активно развивалось кооперативное движение. Уже к 1910 году в Приморье и Амурской области действовало более 200 сельскохозяйственных артелей и потребительских обществ.

Этап 2: Индустриализация и коллективизация (1920–1950-е гг.)

Советский период ознаменовался радикальной трансформацией сельского хозяйства. Коллективизация привела к масштабной механизации: в 1930-е гг. на Дальнем Востоке появились первые МТС. Параллельно развивалось опытное земледелие: создавались селекционные станции.

Особую роль сыграло трудовое участие заключённых ГУЛАГа: они строили дороги, ирригационные системы и фермы

В 1950-е гг. началось освоение целинных и залежных земель, что дало краткосрочный рост производства, но привело к эрозии почв и истощению ресурсов.

Этап 3: Научно-технический прогресс и агропромышленная интеграция (1960–1980-е гг.).

Это было время наиболее системного внедрения инноваций в сельское хозяйство Дальнего Востока.

1. Дальневосточный НИИ сельского хозяйства (Хабаровск, 1962 г.);

2. опытные тепличные комплексы с искусственным климатом;

3. питомники по разведению пушного зверя и северного оленя;

4. системы мелиорации в Амурской и Еврейской АО.

Особое внимание уделялось соевому направлению: СССР стремился к импортозамещению растительного белка, и Дальний Восток стал «соевой республикой». Внедрялись поточные линии переработки, комбикормовые заводы, что формировало агропромышленный кластер.

Этап 4: Кризис и адаптация (1990–2000-е гг.)

Распад СССР и переход к рыночной экономике обрушили сельское хозяйство Дальнего Востока. Финансирование НИИ сократилось на 80 %,

колхозы развалились, площади под сою упали в 5 раз. Однако именно в этот период начались новые формы инновационной активности «снизу»:

1. появление фермерских хозяйств (по закону о фермерстве, 1990 г.);
2. развитие личных подсобных хозяйств (ЛПХ) как основного источника продовольствия;
3. первые кооперативы переработчиков молока и мяса;
4. эксперименты с органическим земледелием (Приморье, Сахалин).

Инновации носили выживательский, а не масштабный характер, но заложили основу для будущего частного сектора.

Этап 5: Государственная модернизация и цифровизация (2010–2020-е гг.).

С 2010-х годов Дальний Восток стал приоритетом государственной политики. Запущены программы:

Дальневосточная гектарная программа (с 2016 г.) — привлекла более 100 тыс. заявителей, из них ~15 % занялись сельским хозяйством; национальный проект «Международное сотрудничество и экспорт» субсидии на создание агломераций и технопарков в АПК.

Инновации стали технологическими: дроны для мониторинга полей, GPS-навигация техники, блокчейн для прослеживаемости продукции.

Появились цифровые платформы (например, «АгроДВ»), объединяющие фермеров, логистов и покупателей.

Особое внимание — устойчивому развитию: проекты по производству органической сои, морской капусты, молока коз, выращиванию ягод на Камчатке.

Заключение. Ретроспектива показывает: инновационные преобразования в сельской местности Дальнего Востока всегда были тесно связаны с государственной волей, но их устойчивость зависела от вовлечения местных сообществ. Успешные периоды — 1930-е, 1970-е, 2020-е — характеризовались сочетанием инфраструктурных инвестиций, научного сопровождения и мотивации производителей

Сегодня ключевые векторы будущего определяются следующими направлениями:

1. локальные продовольственные системы («от поля к столу»);
2. экспорт-ориентированные ниши (органика, морепродукты, соя);
3. цифровизация «последней мили» — доставка, мобильные кооперативы, дистанционное обучение фермеров;

Источник финансирования (Данная научная работа подготовлена по результатам исследования, проведенного в рамках выполнения государственного задания Финансового университета при Правительстве Российской Федерации).

A RETROSPECT OF THE INNOVATIVE TRANSFORMATIONS OF THE RUSSIAN NATIONAL ECONOMY IN THE CONDITIONS OF THE NON-URBANIZED TERRITORIES OF THE FAR EAST

Candidate of Economic Sciences, Zhukovskii A.D. Financial University under
the Government of the Russian Federation
Moscow, Russia

Annotation. Historically, the Far East has always been an integral geo-economic foundation of the Russian state in the Asia-Pacific region, and today it largely determines the foreign policy contours of the Russian Federation in the current period of international tension. One of the most serious and significant challenges significantly limiting the economic growth of the regions of the Far East remains the low population of territories and the high cost of introducing advanced scientific achievements and innovative developments on an industrial scale in all spheres of the national economy, taking into account the unique spatial and geographical characteristics of the Far East.

Keywords: Far East, innovations, integrated development of territories, non-urbanized territories, national economy

Список использованных источников

1. Баран Д.С., Бережной А.В., Сафонов Н.С. Формирование и развитие инвестиционного потенциала региона // Тенденции развития науки и образования. 2024. № 106-4. С. 75-78.

2. Жуковский А.Д. Вызовы и возможности реализации экспортного потенциала неурбанизированных территорий Дальнего Востока: сценарные прогнозы // Экономика сельского хозяйства России. 2024. №9. С.95-107.

3. Колесник Д.А., Рябошапка К.В. Пути развития сельских территорий // Экономика и управление в условиях современной России: материалы X национальной научно-практической конференции, Краснодар, 15 марта 2025 года. Краснодар: ФГБУ "Российское энергетическое агентство", 2025. С. 197-203.

4. Каруна Д.С., Меренкова И.Н. Инфраструктурное обеспечение сельских территорий: пространственно-трансформационный аспект // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2025. № 2. С. 54-60.

5. Стратегическая устойчивость сельских территорий как социальных систем и производственно-экономических комплексов с точки зрения системного подхода к гармоничному пространственному развитию. М.: Издание Государственной Думы, 2023. 80 с.

6. Яшкова Н.В., Архаров Е.В. Факторы развития сельских территорий // Вестник НГИЭИ. 2025. № 3(166). С. 123-136.

ОТ ЗВОНКА К СДЕЛКЕ: ПРЕОДОЛЕНИЕ БАРЬЕРА НЕДОВЕРИЯ В ТЕЛЕМАРКЕТИНГЕ ПРИ ВЫКУПЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ПРОБЕГОМ

Титова Е.Р., студентка

*Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации
Москва, Россия*

Аннотация. В исследовании рассматривается критический разрыв между ожиданиями клиентов и возможностями операторов в процессе выкупа подержанных автомобилей в «Авилоне», крупном российском автомобильном дилере. Используя фреймворки Customer Development и Jobs-to-Done (JTBD), исследование показало, что основной барьер для конверсии - отсутствие предварительного ценового предложения - вызывает недоверие в течение первых 30 секунд после звонка. В статье предлагаются улучшения на системном уровне, включая интеграцию данных и прозрачную предварительную оценку, для приведения операций на переднем крае в соответствие с потребностями клиентов и повышения коэффициента конверсии посещений.

Ключевые слова: телемаркетинг, доверие клиентов, выкуп подержанных автомобилей, JTBD, оптимизация процессов.

Введение. В условиях санкционного давления и дефицита новых автомобилей на российском рынке выкуп автомобилей с пробегом стал стратегически важным направлением для крупных дилеров, таких как АО «Авилон Автомобильная Группа». Однако эффективность этого канала напрямую зависит от первого контакта - телемаркетингового звонка. Практика показывает, что именно на этом этапе формируется основной барьер: недоверие со стороны клиентов, вызванное отсутствием прозрачности в ценообразовании и негативным опытом взаимодействия с другими автосалонами. Цель данного исследования - выявить ключевые точки разрыва в коммуникации между оператором и клиентом и предложить решения для их устранения.

Методология. Исследование выполнено в рамках методологий Customer Development (CustDev) и Jobs-to-be-Done (JTBD). Проведено 7 глубинных интервью: с 5 операторами телемаркетинга (входящий и исходящий трафик) и 2 клиентами, отказавшимися от визита в салон после звонка. Средняя длительность интервью составила 26 минут. На основе полученных данных построены: Customer Journey Map (CJM), карта эмпатии, JTBD-таймлайны, диаграммы эмоций и Job Stories. Анализ фокусировался на выявлении «работы, которую нужно выполнить» (Job to Be Done) как со стороны клиента, так и со стороны оператора.

Таблица 1 - CJM Персона 1 - Екатерина, 28 лет (Клиент-продавец)

Стадия ЖЦ	Триггер / Осознание потребности	Поиск решения / Выбор способа	Предпринимает действие (использование продукта)	После выполнения
Действия	Размещает объявление о продаже авто на Avito/Drom. Осознаёт необходимость избавиться от машины.	Получает звонок от «Авилон». Слушает представление оператора, сравнивает с другими вариантами (CarPrice, частники).	Принимает решение: согласиться на визит или отказаться. Если согласен - едет в салон, если нет - продолжает поиск.	Отказался от визита. Ищет альтернативы (другие салоны, частные покупатели).
Точки контакта	Объявление на Avito/Drom.	Телефонный звонок от оператора.	Личный визит в салон «Авилон» (если согласился) или решение не приезжать.	Решение не сотрудничать с «Авилон».
Цели и ожидания	- Продать авто быстро и без стресса. - Получить деньги.	- Узнать реальную цену выкупа. - Понять, стоит ли тратить время на поездку.	- Получить конкретное предложение до визита. - Убедиться в справедливости оценки.	- Найти надежного покупателя, который не будет тратить время впустую.
Эмоции (положительная – 10; отрицательная – 0)				
10				
9				
8				
7				
6				
5				
4				
3				
2				
1				
0				
Важность				
Высокая				
Средняя				
Низкая				
Боли и инсайты	- Нужно продать как можно быстрее. - Не хочет тратить время на переговоры.	- Звонок сразу вызывает подозрение. - Ключевой триггер: «не назвали сумму, а сказали - приезжайте».	- Главная боль: «Ехать ради оценки» воспринимается как пустая трата ресурсов. - Хочет слышать предложение, а не описание этапов осмотра.	- Отказ от «Авилон» - это не конец, а начало поиска лучшего варианта. - Негативный опыт закрепляется и влияет на будущие решения.
Примечание - Составлено автором по полученным данным с интервью				

Таблица 2 - CJM Персона 2 – Екатерина, 23 года (оператор телемаркетинга исходящего трафика в «Авилон»)

Стадия ЖЦ	Подготовка к звонку (до набора номера)	Набор номера и первые 30 секунд	Диагностика и сбор информации	Предложение и работа с возражениями	Принятие решения	После звонка - фиксация	Рефлексия и подготовка к следующему звонку
Действия	Открывает CRM, проверяет VIN, историю авто, формирует карточку машины.	Набирает номер, представляет компанию, пытается снять сопротивление клиента.	Задаёт вопросы по состоянию авто, адаптирует тон под настроение клиента.	Обозначает выгоды («Выезд за один визит», «Деньги из кассы»), избегает назвать цену.	Фиксирует договорённость или отказ в CRM, отправляет данные оценщику.	Создаёт заявку, отправляет данные в чат, ставит напоминание.	Анализирует звонок, делает паузу, переключается на следующего клиента.
Точки контакта	CRM, 1С, «Автотека», Excel-базы, внутренний чат.	Телефонный звонок.	Диалог по телефону.	Телефонный разговор, эмоциональное сопровождение.	CRM, чат с оценщиками, календарь.	CRM, чат с оценщиками, календарь напоминаний.	Внутренний диалог, поддержка коллег, руководителя.
Цели и ожидания	Убедиться, что авто подходит под критерии выкупа; не тратить время впустую.	Снять сопротивление, вызвать доверие, избежать восприятия как «навязчивого обзвона».	Понять мотивацию клиента, оценить реальную готовность продать, выявить скрытые риски.	Договориться о встрече - без давления, но с созданием срочности и выгоды.	Зафиксировать всё чётко, чтобы оценщик понял контекст; не потерять «тёплый» лид.	Убедиться, что информация передана корректно, чтобы процесс пошел дальше.	Восстановить эмоциональные ресурсы, сохранить мотивацию, несмотря на отказы.
Эмоции (положительная – 10; отрицательная – 0)							
10							
9							
8							
7							
6							
5							
4							
3							
2							
1							
0							
Важность							
Высокая							
Средняя							
Низкая							

Стадия ЖЦ	Подготовка к звонку (до набора номера)	Набор номера и первые 30 секунд	Диагностика и сбор информации	Предложение и работа с возражениями	Принятие решения	После звонка - фиксация	Рефлексия и подготовка к следующему звонку
Боли и инсайты	<ul style="list-style-type: none"> - Нет единой системы: приходится переключаться между 1С, CRM, Excel. - Проверка «Автотеки» занимает 5–10 минут - клиент может уйти. 	<ul style="list-style-type: none"> - Клиент сразу насторожен: «опять обзвон». - Первые 30 сек решают. - Доверие или отказ. 	<ul style="list-style-type: none"> - Приходится «угадывать» мотивацию клиента без чётких сигналов. - Детальные вопросы от клиентов замедляют процесс. 	<ul style="list-style-type: none"> - Главный стресс: клиент требует сумму, а оператор не может её назвать. - Агрессивные клиенты усиливают выгорание. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ручная фиксация данных - риск ошибок и потерь. - Нет автоматического уведомления оценщику - может быть задержка. 	<ul style="list-style-type: none"> - Информация должна быть передана точно, иначе весь процесс «захлебнется». 	<ul style="list-style-type: none"> - Отказы воспринимаются как личная неудача (особенно новичками). - Поддержка команды - единственный ресурс устойчивости.
Примечание - Составлено автором по полученным данным с интервью							

Результаты. Выявлен фундаментальный дисбаланс между ожиданиями клиента и возможностями оператора:

Клиент ожидает конкретную или ориентировочную сумму до визита, чтобы избежать «пустой поездки». Для него время — ценный ресурс, а «оценка на месте» воспринимается как манипуляция.

Оператор, в свою очередь, не может назвать цену без осмотра, так как рыночные данные разрознены (1С, CRM, Excel), а внутренние правила запрещают фиксировать сумму до визита.

Главные боли клиентов:

1. Отказ назвать даже диапазон цены;
2. Штампные фразы без фактической поддержки;
3. Ощущение, что «втягивают в пустую поездку».

Главные боли операторов:

1. Невозможность предоставить ориентировочную оценку;
2. Ручная проверка данных (например, отчёт «Автотека» занимает 5–10 минут);
3. Высокая нагрузка по количеству звонков, снижающая качество общения.

На основе анализа сформулированы пять рекомендаций:

1. Внедрение предварительной оценки по VIN/фото через интеграцию с Autodoc/Eurotax.
2. Автоматизация проверки данных и интеграция всех систем в единую CRM.
3. Создание кнопки «Передать звонок» для поддержки в сложных диалогах.
4. Переход KPI с количества звонков на конверсию в визиты (CVR).
5. Персонализация общения через хранение предпочтений клиентов в CRM.

В качестве приоритетного направления выбрана автоматизация проверки данных, поскольку она устраняет ключевой операционный барьер и создаёт техническую основу для остальных улучшений. Ожидаемый эффект: сокращение среднего времени на звонок с 7 до 5 минут и рост CVR с 15% до 25% за 6 месяцев.

Заключение. Низкая конверсия звонков в визиты — не проблема мотивации операторов, а следствие системных ограничений на «линии фронта». Преодоление барьера недоверия требует не усиления давления, а построения прозрачного, быстрого и клиентоориентированного процесса. Предложенные меры позволяют синхронизировать ожидания клиента (результат) и возможности оператора (инструменты), делая «честность и прозрачность» измеримыми показателями эффективности.

FROM CALL TO DEAL: OVERCOMING THE BARRIER OF DISTRUST IN TELEMARKETING WHEN BUYING USED CARS

Student, Titova E.R.

*Financial University under the Government of the Russian Federation
Moscow, Russia*

Abstract. The study explores the critical gap between client expectations and operator capabilities in the used car buyback process at Avilon, a major Russian automotive dealer. Using Customer Development and Jobs-to-be-Done (JTBD) frameworks, the research identifies that the main barrier to conversion - the lack of a preliminary price quote-triggers distrust within the first 30 seconds of a call. The article proposes system - level improvements, including data integration and transparent pre-assessment, to align frontline operations with customer needs and increase visit conversion rates.

Keywords: telemarketing, customer trust, used car buyback, JTBD, process optimization.

Список использованных источников

1. АВТОСТАТ, Рынок легковых автомобилей с пробегом в России в 2023 году и в декабре. URL: <https://www.autostat.ru/press-releases/56620/> (дата обращения: 05.12.2025)
2. Дмитрий Савостьянич, Подержанные машины стали продаваться быстрее, но цены стабильно растут: исследование. URL: <https://auto.ru/mag/article/research-cme-apr-2023/> (дата обращения: 01.12.2025)
3. Christensen C., Hall T., Dillon K., Duncan R. *Competing Against Luck: The Story of Innovation and Customer Choice.* – Harper Business, 2016.
4. Blank S. *The Startup Owner's Manual.* – K&S Ranch, 2012.

ИНКЛЮЗИВНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ - СОЗДАНИЯ БЛАГОПРИЯТНОЙ СРЕДЫ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Ассоциированный профессор, PhD Кажгалиева Ажар Муратовна
ст.преподаватель, магистр Кенжитаева Жанагул Лукмановна

Казахский национальный университет спорта

Казахский агротехнический исследовательский

университет им. С. Сейфуллина

г. Астана. Казахстан

Annotation. Abstract In the article we consider the main tasks of psychological and pedagogical work in organizations, and also consider the system of work of a teacher-psychologist and the plan of his work with students. Inclusive education in Kazakhstan: programs for solving the problems of learning and socialization of students with disabilities are inclusive education. Individual approach to children with disabilities. People must accept special children for who they are, go beyond the stereotypes artificially created by society.

Key words. Inclusive, education, mastering, full-fledged learning, motivationswords.

Введение, цель и задачи исследования. В переводе с французского языка «includre» означает «включать в себя». Инклюзивным (или включенным) называют образование, которое предлагает детям с нарушенным здоровьем условия для освоения общей программы вуза в коллективе здоровых сверстников. Главным принципом инклюзии является равноценность и равноправие студентов, вне зависимости от диагностированных нарушений и состояния здоровья. Инклюзивное образование дало детям с инвалидностью право на полноценное обучение, а педагогам – мотивацию улучшить свои компетенции, чтобы приспособить образовательную среду к нуждам всех детей. Но проблем в этой сфере до сих пор остается много. Условия инклюзивной школы позволяют детям, страдающим комплексными расстройствами, задержкой развития, имеющим дисфункции поведения, зрения, слуха, речи, интеллекта, опорно-двигательного аппарата: посещать место, в которой обучаются здоровые дети; находиться в классе со своими сверстниками; иметь индивидуальные учебные цели, которые соответствуют их потребностям и возможностям по здоровью; рассчитывать на необходимую поддержку. Дети-инвалиды включаются в группы профессиональные и высшие учебные заведения, которые способны придерживаться инклюзивного принципа. Это большое достижение, поскольку именно инклюзия является единственной возможностью для таких ребят получить образование и профессиональную подготовку. В инклюзивной аудитории не только учатся вместе, но и трудятся, общаются, развлекаются.

Система образования в нашей стране долгое время разделяла детей на больных и здоровых. Инвалиды не могли воплотить свои желания учиться и работать наравне со здоровыми людьми, страдали от дискриминации и изоляции.

Основная цель инклюзивного образования – предоставить всем детям равный доступ к получению образования и профессии, создав для этого нужные условия и доброжелательную атмосферу.

Следующие принципы инклюзивный подход в образовании: человек ценен вне зависимости от своих способностей и успехов; любой из нас может мыслить и ощущать; все люди нужны друг другу; качественное образование можно получить только в реальном общении.

Основная часть теоретических и практических исследования - вселить у учащихся смелость, вдохновение, решительность, воспитать в окружающих чувства сопереживания, этику гуманизма... Люди должны принять особенных детей такими, какие они есть, выйти за пределы стереотипов, искусственно созданных обществом рамок. Словом, обучаясь вместе, ребята учатся самостоятельности через оказание поддержки друг другу, у них развивается терпение и гуманность, стираются границы между болезнями и нормой, а потому у здоровых школьников отсутствует чувство превосходства, а у детей с особенностями не развивается комплекс неполноценности.

Актуальные проблемы инклюзивного образования?

В наши дни существует много нерешенных проблем и сложностей, которые обязательно нужно преодолевать, чтобы организовать полноценное и комфортное обучение всех детей. Перечислим основные вопросы, которые особо актуальны в современной системе включенного образования.

1. Инклюзивные учебные заведения есть только в больших городах.
2. Несовершенство образовательной системы.
3. Острый дефицит квалифицированных специалистов в области коррекционной педагогики.
4. Неподготовленность социума к принятию детей-инвалидов.
5. Несоответствие учебных планов. Чтобы обучать детей с особенностями развития в специальных и общих школах, нужно вносить изменения в учебный план [1].
6. Отсутствие достаточного финансирования инклюзивных образовательных учреждений. Для этого потребуются: качественные акустические приспособления для глухих и слабослышащих; пандусы, лифты и инвалидные коляски для малышей с нарушениями опорно-двигательной системы; инновационные средства для слепых и слабовидящих.

Формировать толерантность и эмпатию; внеклассные занятия и досуговые мероприятия проводить; необходимо развивать систему онлайн-образования. Получить специальное образование и научиться качественно осуществлять психолого-педагогическое сопровождение лиц с ОВЗ можно дистанционном курсе профпереподготовки. Может быть, это не решит всех проблем инклюзивного образования, но грамотных, подготовленных к работе с особенными детьми педагогов станет больше – а это уже большой шаг к тому, чтобы сделать общество более здоровым.

Инклюзивное образование основывается на убеждении, что доступ к обучению является фундаментальным правом каждого человека и ключом к построению более справедливого общества. Казахстан активно внедряет

инклюзивные практики в образовательную систему. Для создания безбарьерной среды для детей с особыми образовательными потребностями, 88% школ страны уже адаптировали свои помещения и инфраструктуру. Впервые вводится трехуровневая модель психолого-педагогического сопровождения, которая обеспечит более индивидуальный и комплексный подход к работе с детьми с особыми потребностями. Также, разработаны новые требования к кабинетам поддержки, которые должны быть оснащены соответствующим оборудованием и материалами, а также к индивидуальным программам, обеспечивающим эффективное обучение и развитие каждого учащегося [1].

В статье рассматриваем основные задачи психолого-педагогической работы в организациях, а также рассмотрим систему работы педагога-психолога и план его работы. Инклюзивное образование в Казахстане: программы решения проблем обучения и социализации детей с ограниченными возможностями – это инклюзивное образование. Задача внедрения инклюзивного образования состоит в том, чтобы все дети уже на этапе жизни приобретали опыт совместного общения и взаимодействия, согласования своих интересов с интересами других людей, независимо от их социального положения, нации, состояния здоровья и др. Особенности адаптации и обучения детей с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) в Казахстане имеют право на обучение в дошкольных и школьных образовательных учреждениях.

Поведение – интегральный внешний показатель внутреннего состояния личности учащихся (адаптация-дезадаптация, настроение, мотивационная или нравственная цель). Как происходит развитие инклюзивного образования на современном этапе, обучение слабослышащих детей. Обучение слабослышащих детей звуковой речи является сложной, но осуществимой задачей. В остальном слабослышащие дети по своим способностям и потенциалу ничем не отличаются от обычных. Обучение слабослышащих детей требует принципиально иных методик, чем при нормальном слухе. Инклюзивное образование - это принципиально новый подход к обучению. Уроки пения с синдромом тяжелых нарушений речи, почему слушают много музыки, но редко поют? Рекомендации по организации интегрированного образования детей с ОВР, для своевременного выявления трудностей в обучении и оказания коррекционно-педагогической поддержки учащимся с ограниченными возможностями, а также информирования учащихся и родителей о достигнутом уровне усвоения знаний ведется психолого-педагогический мониторинг. Сегодняшний день система образования пока ещё слабо приспособлена к нуждам детей-инвалидов, общество не совсем готово принять инвалида как равноправного члена социума, не готовы все: дети, педагоги, родители.

В связи с переходом значительного количества организаций образования в разряд инклюзивных в настоящее время ведется серьезная целенаправленная работа по модернизации их учебной и материально-технической базы. В обществе развитие проявляется общее и особенное. Общее свойственно всем людям определенного возраста, особенное – отличает отдельного человека. Воспитание и обучение детей с ограниченными возможностями развития требует методологических подходов и создания комплекса дополнительных

условий. Музыкальное искусство является незаменимым средством эстетического воспитания и их художественного развития, которое способно глубоко воздействовать на духовный мир ребенка.

«Инклюзивное образование - образование без барьеров: создание социально-образовательной среды в образовательном учреждении» [2].

Психолого-медико-педагогическое сопровождение будут обеспечивать педагог - психолог, учитель-логопед, медицинский работник. Функции сопровождения возложены на социально-психолого-педагогический консилиум, который участвует в разработке индивидуальных образовательных программ, отслеживает динамику развития ребенка, оценивает успешность в освоении программ. Для всех адаптивная образовательная среда, обеспечивающая полноценную интеграцию и личностную самореализацию детей с ограниченными возможностями здоровья: устранение архитектурных барьеров (устройство пандусов на основном и запасном выходах и входах в), благоустройство входа (установка тепловой завесы), ресурсное обеспечение (создание тренажерного зала, пополнение спортивного инвентаря и оборудования, реорганизация библиотек в информационно-библиотечный центр); разработка индивидуальных образовательных программ и планов; изменение методических приемов;

В педагогических технологиях, которые используются в инклюзивном образовательном процессе, наиболее эффективными являются следующие: проблемно-поисковый метод, основанный на интенсификации социального взаимодействия, позволил перейти от системы, в центре которой находится учитель, к системе, ориентированной на обучающегося.

Считаем важным круговое расположение учебных мест в группе, подбор стимулирующего раздаточного материала, выбор интересного задания для участников группы, применение индивидуальных критериев к заданию и оцениванию результатов учебной деятельности - основные пути технологии сотрудничества при использовании проблемно-поискового метода. Таким образом, качественно новая форма сотрудничества в инклюзивном классе - сотрудничество не только по линии «взрослый - ребенок», но и по линии «ребенок - ребенок». Думаю, что это обеспечит развитие и здорового ребенка, и ребенка с ограниченными возможностями здоровья.

Эффективной формой является совместная поэтапная работа специалистов и родителей в рамках консилиума. Организационная форма сотрудничества закрепляется в индивидуальной программе обучения, в которой всеми специалистами прописываются те реальные действия, которые осуществляются каждым из них для достижения единой цели обучения и воспитания конкретного обучающегося. Индивидуальная программа обучения утверждается на заседании консилиума учреждения, ее исполнение является обязательным для всех участников образовательного процесса.

Условием, а также результатом успешного применения интерактивных методов обучения является способность к коллективной работе и партнерскому общению учащихся между собой и с педагогом. Данный метод интересен еще и тем, что при проведении занятия, а также зависимости от целей и временных

возможностей, можно ограничиться использованием его отдельных элементов (этапов). Примером могут служить:

- ролевые игры;
- групповая работа (мелкими группами);
- анализ конкретных ситуаций.

Научно-методическая поддержка педагогов, это: курсы повышения квалификации;

обучающие семинары для педагогов и руководителей совместная разработка методических рекомендаций по вопросам организации коррекционно-развивающей работы с обучающимися с особыми образовательными потребностями [3].

Проблемно-творческие группы по отдельным образовательным направлениям («Интерактивная доска как ресурс повышения эффективности образования»).

Практика показала, что изменение организационно-педагогических условий обучения обучающихся с ОВЗ в общеобразовательном учреждении возможно только при повышении квалификации и обучении на рабочем месте всего педагогического коллектива учреждения.

Обосновать и экспериментально проверить этапы, содержание, формы и методы инклюзивных подходов в обучении обучающихся с ограниченными возможностями здоровья. Один из интерактивных методов, используемых, является метод конкретных ситуаций, который позволяет ученику научиться: объективно оценивать реальную обстановку, оперативно ориентироваться в различных обстоятельствах, учитывать интересы и возможности других людей, устанавливать с ними контакты, влиять на их деятельность.

В основе метода конкретных ситуаций лежит описание конкретной учебной деятельности или эмоционально-поведенческих аспектов взаимодействия учащихся. При изучении конкретной ситуации и анализе конкретного примера ученик должен вжиться в конкретные обстоятельства, понять ситуацию, оценить обстановку. Метод конкретных ситуаций можно разбить на этапы: этап подготовки; этап ознакомительный; этап аналитический; итоговый этап [4].

Заключение и выводы, соответствующие цели исследования. Интерактивные приемы и методы обучения используют для создания доброжелательно-оптимистической атмосферы, а также для активизации внутренних ресурсов и развития коммуникативных навыков учащихся. Одним из эффективных интерактивных форм обучения является работа с интерактивной доской. Она даёт возможность осознания ребенком с ОВЗ того, что ему становятся доступны неведомые раньше знания, умения, формы общения, игры, даёт ему веру в свои силы.

Спектр использования возможностей интерактивной доски в образовательном процессе достаточно широк. Использование презентаций уместно на любом этапе изучения темы и на любом этапе урока. Применение компьютера на уроках развивает учащегося: повышает интерес к учебному процессу, ставит перед ребенком познавательные и творческие задачи,

воспитывает самостоятельность, учит работать с разными источниками информации.

При этом большое значение приобретает формирование психологически комфортной учебной среды, где ребенок может быстро преодолеть неуверенность в своих действиях, где создаются доверительные отношения между всеми участниками процесса, и активизируется творческая учебно-познавательная деятельность.

Но в то же время применение интерактивной доски на уроках должно носить шадающий характер. Планируя урок (работу), тщательно продумывать цель, место и способ использования ИКТ.

Интерактивная доска – это сенсорный экран, работающий как часть системы, в которую входит компьютер и проектор. Интерактивная доска – еще один инструмент, данный в продолжение коррекционной работы по развитию пальцевой моторики, тактильного восприятия, по преодолению моторной неловкости, неточности движений.

Какие возможности ИКТ помогают создавать комфортные условия на уроке и можно выделить из них основные

- создание и подготовка дидактических материалов (варианты заданий, таблицы, памятки, схемы, чертежи, демонстрационные таблицы и т. д.);
- создание презентаций на определённую тему по учебному материалу;
- использование готовых программных продуктов;
- поиск и использование Интернет-ресурсов при подготовке урока, внеклассного мероприятия, самообразования;
- создание мониторингов по отслеживанию результатов обучения и воспитания;
- создание тестовых работ;
- обобщение методического опыта в электронном виде [5].

Процесс становится не скучным, однообразным, а творческим. А эмоциональный фон урока становится более благоприятным, что очень важно для учебной деятельности. Применение информационных технологий позволяет сделать урок ярким, насыщенным, запоминающимся.

Можно сделать вывод о том, что интерактивные формы обучения способствуют созданию доброжелательно-оптимистической атмосферы, подавлению внутренней агрессии, развитию самоуважения учащихся, выявлению и укреплению в ребенке положительного, приобщению к разнообразной деятельности на основе добровольности и сотрудничества.

У образования нет и не может быть границ: чем больше человек узнает, тем больше у него возможностей к развитию. Образование выше всех существующих барьеров, ведь именно оно способствует их преодолению.

Список литературы

1.Ахметова Б.З. Characteristics of Social-Cultural Vitality of Modern Russian Settlements of the Former Gorky Line of Kazakhstan Mediterranean Journal of Social Science. Scopus. Vol 6, No3, S4, Italy Rome, IF-1,4 (Scopus)

2. Баранов М. Т. Русский язык и современные технологии обучения. - Санкт Петербург: Речь, 2020.
3. Кудрявцев В. Н. Инновационные технологии в образовании. - Москва: Просвещение, 2021.
4. Петров В. А. Цифровая дидактика: новые горизонты в обучении русскому языку. - Астана: Атамұра, 2023. - С. 45-58.
5. Сидорова Н. И. Инновационные методы преподавания филологических дисциплин: учебное пособие. - Москва: Просвещение, 2022. - С. 112–120.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК ИННОВАЦИОННЫЙ МЕТОД В ПРЕПОДАВАНИИ РУССКОГО ЯЗЫКА

ст.преподаватель, магистр Кенжитаева Жанагул Лукмановна
студент 1 курса Сейфулла Мөлдір Нурланқызы
*Казахский агротехнический исследовательский
университет им. С. Сейфуллина
г. Астана. Казахстан*

Annotation. This research is important because it is necessary to integrate promising AI technologies into linguodidactics. Due to the fact that the Russian language is a system-forming component of the humanities cycle, continuous improvements in teaching methods aimed at developing literacy, communication skills and critical thinking skills are needed. The subject of the research is innovative methods and technologies.

Key words: educational space, technologies, intelligence, innovation, an individualized approach.

Введение. В настоящее время цифровизация и внедрение инновационных технологий ускоряются, что заставляет педагогические науки и практики переосмыслить традиционные методы обучения. Искусственный интеллект (ИИ) занимает особое место в условиях глобального технологического прорыва. Однако его возможности в области гуманитарного образования, в частности, в преподавании русского языка и литературы, остаются неясными.

ИИ меняет не только технологии, но и подходы к усвоению знаний, предоставляя инструменты для глубокой автоматизации и персонализации учебных процессов. Это исследование важно, потому что необходимо интегрировать перспективные ИИ-технологии в лингводидактику. В связи с тем, что русский язык является системообразующим компонентом гуманитарного цикла, необходимы постоянные улучшения методов обучения, направленных на развитие грамотности, коммуникативных навыков и навыков критического мышления. ИИ-инструменты, такие как системы обработки естественного языка (NLP), способны обеспечить мгновенную обратную связь адаптировать учебные материалы под индивидуальные потребности учащихся и автоматизировать рутинные процессы проверки работ. Внедрение ИИ становится ключевым условием для создания современного, эффективного и мотивирующего образовательного пространства.

Основная часть исследования. Цель настоящего исследования заключается в определении роли, возможностей и перспектив использования технологий искусственного интеллекта как инновационного метода в преподавании русского языка и литературы.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– рассмотреть основные теоретические аспекты и принципы функционирования ИИ в контексте лингводидактики;

– проанализировать практические инструменты и области применения ИИ на уроках русского языка (проверка грамотности, адаптивное обучение, развитие речи);

– выявить преимущества и потенциальные риски (вызовы) использования ИИ в образовательном процессе;

– обозначить новую роль учителя-филолога в условиях цифровой образовательной среды.

Объектом исследования выступает процесс преподавания русского языка и литературы.

Предметом исследования являются инновационные методы и технологии, основанные на искусственном интеллекте, применяемые в этом процессе.

Теоретической базой послужили труды отечественных и зарубежных исследователей в области цифровой дидактики, методики преподавания русского языка, а также работы, посвященные развитию и применению искусственного интеллекта в образовании.

1. Теоретические основы применения ИИ в обучении русскому языку

Применение искусственного интеллекта в лингводидактике базируется на двух ключевых технологических направлениях: машинном обучении (Machine Learning, ML) и обработке естественного языка (Natural Language Processing, NLP). NLP позволяет машинам «понимать», интерпретировать и генерировать человеческий язык. В контексте русского языка это имеет критическое значение, поскольку языковая система отличается сложной морфологией, синтаксисом и богатой лексикой. ИИ использует алгоритмы для анализа больших объемов текстовых данных, что позволяет ему формировать паттерны грамматики, лексики и стиля, которые затем используются для обучения учащихся.

Центральной концепцией, реализуемой ИИ, является адаптивное обучение (Adaptive Learning). В отличие от традиционных, унифицированных методов, адаптивные системы на базе ИИ способны динамически изменять содержание, темп и сложность учебного материала в зависимости от текущего прогресса и индивидуальных особенностей каждого учащегося. Если ученик демонстрирует пробелы, например, в склонении числительных, система мгновенно генерирует дополнительные упражнения, фокусируясь именно на этой проблемной зоне. Напротив, при успешном освоении материала ИИ предлагает задания повышенной сложности или переходит к следующей теме.

Такая персонализация позволяет создать максимально комфортную и эффективную траекторию обучения, что особенно важно при работе с разноуровневыми классами или в условиях инклюзивного образования. Исследования показывают, что индивидуализированный подход, реализуемый ИИ, значительно повышает усвоение материала и мотивацию учащихся, поскольку они работают в зоне своего ближайшего развития [1].

2. Практические возможности ИИ на уроках русского языка и литературы

Практическое внедрение ИИ затрагивает все этапы учебного процесса – от диагностики до контроля знаний, и проявляется в следующих ключевых направлениях.

2.1. Автоматизация проверки и предоставление мгновенной обратной связи.

Наиболее очевидное и уже широко используемое преимущество ИИ – это возможность мгновенной проверки письменных работ. ИИ-инструменты (такие как продвинутые редакторы и специализированные платформы) могут не просто выявлять орфографические и пунктуационные ошибки, но и проводить сложный грамматический анализ, оценивая:

- соответствие синтаксических конструкций нормам русского языка;
- правильность словоупотребления и лексической сочетаемости;
- стилевые недочеты и тавтологию.

Получая обратную связь немедленно, ученик может сразу же исправить ошибку и понять ее причину, что способствует более быстрому формированию навыка саморедактирования. В сфере литературы ИИ может использоваться для выявления плагиата и даже для первичного анализа структуры и аргументации в сочинениях, экономя время учителя для более глубокой и творческой работы с текстом.

2.2. Развитие коммуникативных навыков и устной речи

Для развития навыков устной речи, особенно в преподавании русского языка как иностранного или неродного, ИИ создает уникальную среду – виртуальных говорящих партнеров (чат-ботов). Эти программы способны вести диалог с учащимся, имитируя естественное общение. Преимущества таких партнеров:

- доступность 24/7: ученик может практиковаться в любое время, преодолевая психологический барьер страха ошибки перед реальным собеседником;
- мгновенный анализ речи: ИИ анализирует произношение (фонетику), интонацию, грамматику и лексику, предлагая целенаправленные корректирующие упражнения.

2.3. Использование ИИ для генерации творческих и дидактических материалов

Искусственный интеллект становится мощным инструментом в руках учителя для быстрого создания дидактических материалов, адаптированных под текущий урок:

- Генерация упражнений: создание наборов тестовых заданий, карточек, диктантов, ориентированных на конкретное правило или лексический пласт;
- Креативные задания: ИИ может выступать соавтором или «провокатором» в творческих заданиях. Например, генерация текста с намеренными ошибками, которые ученик должен найти и исправить, или создание стилизации под определенный литературный жанр;
- Визуализация в литературе: нейросети (например, Kandinsky) позволяют мгновенно генерировать иллюстрации по текстовому описанию (портреты героев, сцены из произведений), что углубляет погружение в текст и способствует развитию воображения.

3. Роль педагога и вызовы цифровой среды

Широкое внедрение ИИ не означает вытеснение учителя из образовательного процесса; напротив, оно трансформирует его роль, делая ее более стратегической и творческой. Учитель перестает быть единственным

источником информации и контролером, становясь модератором, наставником и тьютором в персонализированной образовательной траектории.

3.1. Новая роль учителя: наставник и архитектор учебного процесса

В условиях ИИ-среды учитель сосредотачивается на:

- формировании критического мышления — обучении учащихся анализу и проверке информации, генерируемой ИИ;

- развитию soft skills — эмпатия, коммуникация, командная работа;

- эмоционально-ценностном наполнении — только человек может передать культурное значение и эмоциональную глубину русского языка и литературы.

3.2. Вызовы и риски использования ИИ

Несмотря на все преимущества, внедрение ИИ сопряжено с рядом серьезных вызовов:

- Проблема этики и плагиата: использование ИИ для генерации готовых сочинений ставит вопрос о подлинности авторства и объективности оценки.

- Цифровое неравенство: неравный доступ к интернету и современным гаджетам может углубить разрыв между учащимися.

- Качество обратной связи: алгоритмы пока не всегда способны уловить контекст и стилистические тонкости, особенно при анализе художественного текста, что требует проверки со стороны педагога. Компании все чаще используют нейронные сети для быстрого анализа рыночных изменений и адаптации контента под запросы аудитории. В этом контексте важна грамотная интеграция. Руководителям стоит заранее прорабатывать вопросы безопасности данных и прав на интеллектуальную собственность.

Еще один тренд - это появление все более самостоятельных систем, которые могут выполнять сложные задачи без непосредственного контроля человека. Такие технологии особенно востребованы в сфере логистики, производства и обслуживания клиентов. Кроме того, ИИ используется в образовании, правоохранительных органах, науке и других сферах. Интеллектуальные системы могут помочь ученикам и студентам в обучении, а также улучшить качество научных исследований. Однако искусственный интеллект может стать полезным для письменности. Искусственный интеллект также может быть инструментом развития письменной речи. Он помогает находить ошибки в текстах, правильно формулировать предложения и расширяет словарный запас. Искусственный интеллект может помогать тем людям, кто сталкивался с трудностями при написании работ, помогая правильно изложить мысли и исправить ошибки. Так, люди научатся структурированно писать и соблюдать все нормы языка. Искусственный интеллект – это всего лишь инструмент в руках людей. Он также может быть полезным, как и нести вред; главное то, как вы им пользуетесь. Многие научные статьи, доклады, литературные произведения пишутся с помощью искусственного интеллекта. Когда мы стараемся заменить письменную культуру искусственным интеллектом – это ведет к деградации. Но если использовать новые технологии в виде вспомогательного ресурса, это может привести к развитию письменности. Стоит помнить, что искусственный интеллект не является прямой угрозой для письменной культуры. Он лишь создает новые возможности для нас. Использование новых технологии

правильно может стать новым началом для письменности. Искусственный интеллект - это зеркало человеческой культуры.

Результаты. Таким образом, проведенный анализ показал, что искусственный интеллект является не просто очередным техническим средством, а мощным инновационным методом, способным кардинально изменить процесс преподавания русского языка и литературы. ИИ обеспечивает высокий уровень персонализации обучения, автоматизирует рутинные задачи и открывает новые возможности для развития коммуникативных и творческих компетенций учащихся. Развитие искусственного интеллекта должно происходить в тесной связи с этическими, правовыми и социальными нормами. Важно выработать четкие правила и механизмы контроля, которые будут обеспечивать прозрачность, ответственность и безопасность при создании и использовании интеллектуальных систем. Только при таком подходе искусственный интеллект сможет служить во благо человечества, способствуя улучшению качества жизни, устойчивому развитию и сохранению человеческих ценностей.

Главный вывод заключается в том, что максимальная эффективность достигается не при замене учителя машиной, а при их взаимодействии. ИИ берет на себя функции диагностики и адаптации, освобождая педагога для выполнения его главной миссии — вдохновлять, формировать ценности, развивать критическое мышление и передавать любовь к языку и литературе.

Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой интегрированных платформ, которые позволят учителю легко конструировать образовательный контент, основанный на данных ИИ-диагностики, а также с созданием этических рамок и методических рекомендаций для безопасного использования генеративных моделей в гуманитарном образовании. В конечном счете, ИИ должен служить инструментом формирования грамотной, мыслящей и творческой личности, свободно владеющей русским языком.

Список литературы

1. Иванов П. С. Применение искусственного интеллекта на уроках русского языка и литературы // Учитель.kz. – 2024. – [Электронный ресурс].
2. Петров В. А. Цифровая дидактика: новые горизонты в обучении русскому языку. - Астана: Атамұра, 2023.- С. 45-58.
3. Сидорова Н. И. Инновационные методы преподавания филологических дисциплин: учебное пособие. - Москва: Просвещение, 2022. - С. 112-120.
4. Смирнов А. О. Искусственный интеллект и естественный язык: вызовы для современной школы // Журнал «Образование в цифре». - 2024. - № 5.

РАЗРАБОТКА АЛЮМИНИЕВОГО ПОРОШКА ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КАК ЭЛЕМЕНТ СТИМУЛИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ В ПРИГРАНИЧНЫХ РЕГИОНАХ

Агеева Ирина Александровна

*Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации
Москва, Россия*

Аннотация: Статья рассматривает разработку и производство алюминиевых порошков для аддитивных технологий (3D-печати металлом) в контексте стимулирования инновационного развития и экологической политики в приграничных регионах России и Казахстана. Обосновывается, что создание совместного научно-производственного кластера в этой сфере способно стать драйвером технологического суверенитета, обеспечить импортозамещение критических материалов и создать основу для «зелёной» трансформации промышленности в макрорегионе. Анализируются существующие предпосылки, технологические и экономические вызовы, а также предлагаются конкретные пути реализации данной инициативы.

1. Потенциал приграничья как платформы для технологического рывка

Российско-казахстанская граница, протяжённостью около 7598,6 км, является самой длинной непрерывной сухопутной границей в мире. По обе её стороны расположены десятки регионов, образующих обширное экономическое и культурное пространство. В условиях глобальных вызовов, включающих необходимость технологической независимости и перехода к устойчивому развитию, это приграничье из периферии может трансформироваться в мощный инновационный полигон.

Аддитивные технологии (АТ), или промышленная 3D-печать металлами, признаны одним из ключевых направлений новой промышленной революции. Они позволяют создавать детали сложнейших геометрических форм, недоступные для традиционного производства, что приводит к снижению материалоёмкости, веса изделий и сокращению производственных циклов. Сердцем этого процесса являются металлические порошки, качество которых определяет свойства конечной продукции. Среди них алюминиевые порошки, благодаря сочетанию лёгкости, прочности и коррозионной стойкости, занимают ведущее место в таких отраслях, как аэрокосмическая, автомобильная и энергетическая промышленность.

Однако российский рынок АТ исторически зависел от импорта оборудования и материалов. Ещё несколько лет назад до 67% потребляемых металлопорошков ввозилось из-за рубежа, в основном из Германии и Великобритании. В этих условиях развитие собственного производства алюминиевых порошков, отвечающих строгим требованиям 3D-печати (сферическая форма, определённый фракционный состав), становится не просто экономической задачей, а элементом стратегической безопасности и технологического суверенитета.

Цель данной статьи — показать, как концентрация усилий России и Казахстана на создании полного цикла производства алюминиевых порошков для АТ в приграничных регионах может стать катализатором комплексного инновационного и экологического развития всей приграничной зоны.

2. Современное состояние и предпосылки для сотрудничества

2.1. Российский рынок аддитивных технологий и металлических порошков: движение к импортозамещению

Российский рынок АТ динамично развивается, его объём оценивается в порядке 6 млрд рублей. Наблюдается устойчивый тренд на снижение зависимости от импорта. Если в 2017 году доля импортных порошков составляла около 67%, то к настоящему времени она снижается благодаря активизации отечественных производителей

Ключевыми игроками являются госкорпорации (Росатом, Ростех) и крупные промышленные холдинги. Так, РУСАЛ разработал и вывел на рынок линейку алюминиевых порошков под брендом РС, предлагая не только материалы, но и комплексные технологические решения для печати деталей. Росатом через свои предприятия (например, «Центротех», Чепецкий механический завод) активно наращивает производство титановых, жаропрочных и других металлических порошков, планируя увеличить ёмкость рынка до 2 млрд рублей к 2030 году. Важным научным достижением стала разработка первой партии алюминиевого порошка для 3D-печати в Уральском федеральном университете (УрФУ), показавшая конкурентоспособность с зарубежными аналогами

2.2. Потенциал казахстанской стороны и логистические преимущества приграничья

Казахстан обладает значительными сырьевыми ресурсами, развитой металлургической базой и растущим интересом к цифровизации промышленности. Создание производства высокотехнологичных алюминиевых порошков станет логичным шагом вверх по цепочке добавленной стоимости для казахстанской цветной металлургии.

Инфраструктура приграничья создаёт уникальные условия для кооперации:

Густая сеть транспортных коридоров: На границе функционирует 51 пункт пропуска (20 железнодорожных и 30 автомобильных), что обеспечивает возможности для налаживания устойчивых производственно-логистических цепочек.

Наличие научных и образовательных центров: Ключевую роль могут сыграть приграничные российские университеты (в регионах, граничащих с Казахстаном) и их казахстанские партнёры.

Согласованная правовая база: Действие договоров в рамках ЕАЭС упрощает движение товаров, капитала и рабочей силы, что критически важно для создания совместных предприятий.

Таким образом, складывается ситуация, когда российский опыт в разработке АТ и порошков встречается с казахстанским ресурсным и промышленным потенциалом на территории, обладающей необходимой инфраструктурой для глубокой интеграции.

3. Инновационный и экологический синергетический эффект

Развитие кластера по производству алюминиевых порошков для АТ даст мультипликативный эффект в двух ключевых сферах.

3.1. Стимулирование инновационной экосистемы:

1. Технологический суверенитет: Совместное производство критически важных материалов снизит зависимость от недружественных поставок и создаст основу для развития собственного парка промышленных 3D-принтеров.

2. Создание высокотехнологичных рабочих мест: Возникнут новые требования к инженерам-материаловедам, технологам АТ, специалистам по цифровому проектированию (CAD/CAM), что стимулирует модернизацию образовательных программ в региональных вузах.

3. Развитие смежных отраслей: Спрос на конечные изделия из алюминиевых порошков подстегнёт инновации в авиастроении (лёгкие компоненты), автомобилестроении, медицине (биосовместимые имплантаты) и энергетике.

3.2. Реализация принципов «зелёной» экономики:

1. Снижение углеродного следа: Аддитивное производство по своей сути является менее отходным (материал используется практически на 100% в цикле печати), чем субтрактивные методы (фрезерование, точение). Лёгкие алюминиевые детали в транспортном секторе ведут к экономии топлива и снижению выбросов.

2. Эффективное использование ресурсов: Производство порошков может быть построено на принципах циркулярной экономики с использованием алюминиевого лома и отходов традиционных производств.

3. Экология приграничных территорий: Внедрение чистых, малоотходных аддитивных производств будет способствовать улучшению экологической обстановки в регионах, где зачастую сосредоточены традиционные добывающие и перерабатывающие предприятия с высокой антропогенной нагрузкой.

4. Практические шаги и механизмы реализации

Для перевода данной концепции в практическую плоскость необходима последовательная реализация следующих мер:

1. Формирование консорциума. Инициацию проекта должны взять на себя ведущие игроки: с российской стороны — РУСАЛ, Росатом, УрФУ; с казахстанской — национальные компании цветной металлургии и технопарки. Цель — создание совместного предприятия (СП) с распределёнными компетенциями.

2. Определение локации и создание инфраструктуры. Оптимальным представляется размещение производственных мощностей в непосредственной близости от границы, например, в одной из специальных экономических зон (Оренбургская, Челябинская, Костанайская, Северо-Казахстанская области), с доступом к железнодорожным узлам и пунктам пропуска (например, «Троицк-Кайрак» или «Петухово-Жана Жол»).

3. Финансирование и поддержка. Проект может претендовать на софинансирование из межгосударственных фондов ЕАЭС, российских программ развития передовых технологий, а также институтов развития обеих стран (ВЭБ.РФ, «Казахстанский инновационный фонд»).

4. Развитие кадрового потенциала. На базе приграничных университетов (ЮУрГУ, Оренбургский госуниверситет, Костанайский региональный университет и др.) необходимо создать сетевые образовательные программы по аддитивным технологиям и материаловедению, ориентированные на конкретные потребности кластера.

5. Разработка единых стандартов. В рамках технических комитетов ЕАЭС необходимо ускорить разработку и гармонизацию стандартов на металлические порошки для АТ, что упростит выход продукции на общий рынок.

Разработка и производство алюминиевых порошков для аддитивных технологий в российско-казахстанском приграничье — это не узкоотраслевая задача, а комплексная межгосударственная инициатива, находящаяся на стыке стратегических интересов двух стран. Она напрямую отвечает целям технологической независимости, импортозамещения и создания высокотехнологичного экспорта. Одновременно она предлагает модель «зелёной» индустриализации для обширных приграничных территорий, способную стать примером устойчивого развития. Реализация этого проекта потребует политической воли, скоординированных инвестиций и тесной научно-промышленной кооперации. Однако потенциальная отдача — формирование нового конкурентоспособного технологического кластера в самом центре Евразии — с лихвой оправдывает прилагаемые усилия и знаменует переход от сырьевой модели экономического взаимодействия к партнёрству, основанному на знаниях и инновациях.

Список литературы

1. Основные тенденции российского рынка металлических порошков для аддитивных технологий / [Электронный ресурс] // журнал "Аддитивные технологии" № 4-2025 : [сайт]. — URL: <https://additiv-tech.ru/publications/osnovnye-tendencii-rossiyskogo-rynka-metallicheskih-poroshkov-dlya-additivnyh>
2. Аддитивные технологии / [Электронный ресурс] // РУСАЛ : [сайт]. — URL: <https://rusal.ru/innovation/technology/additive/>
3. Ирина Дорохова На пути к выращиванию реакторов / Ирина Дорохова [Электронный ресурс] // Вестник Атомпрома : [сайт]. — URL: <https://atomvestnik.ru/2023/06/29/na-puti-k-vyrashhivaniju-reaktorov/>
4. В УрФУ создали первый в России алюминиевый порошок для 3D-принтеров / [Электронный ресурс] // ТАСС : [сайт]. — URL: <https://tass.ru/nauka/6818701>
5. Алюминиевые порошки в аддитивном производстве / [Электронный ресурс] // Навимакс Групп : [сайт]. — URL: <https://navimaks.com/stati/rol-alyuminievykh-poroshkov-v-additivnom-proizvodstve/>

MODERN APPROACHES TO FORMING A FAVORABLE INDOOR MICROCLIMATE THROUGH ENERGY-EFFICIENT WALL ENVELOPE STRUCTURES

PhD doctoral student, Oner Arukhan Karzhankyzy^{1*}

Candidate of Technical Sciences, Professor, Rahimov M.A.¹.

Candidate of Technical Sciences, Professor, Zhangabay N.Zh.²

Doctor of Philosophy, Associate Professor Zakaria R.B.³.

¹*Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan*

²*M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan*

³*Malaysia Technical University (MTU), Malaysia*

Abstract. This study examines contemporary methods for enhancing indoor environmental comfort using energy-efficient wall envelope systems. External wall structures are treated as dynamic components influencing both heat transfer and thermal stability inside buildings. Special attention is devoted to adaptive solutions featuring air layers, which enable partial regulation of thermal behavior under varying climatic conditions. Recent international research, together with Kazakhstan's regulatory requirements, is analyzed to identify gaps and opportunities. Findings highlight the importance of region-specific adaptive wall systems for sharply continental climates and outline directions for future research in energy-efficient building design.

Key words: indoor microclimate, energy efficiency, wall envelope structures, air layers, thermal insulation.

1. Introduction

In the pursuit of sustainable construction, enhancing energy efficiency in buildings has become a top priority. External wall envelope systems play a crucial role in regulating indoor thermal conditions, influencing both comfort and energy consumption [1]. Traditionally perceived as static barriers, modern walls now integrate multifunctional roles, including heat regulation, moisture control, and interaction with adaptive systems [2]. Indoor microclimate characteristics—air temperature, relative humidity, and ventilation—are directly affected by the thermal performance of wall structures [3]. Inadequate thermal insulation can lead to increased energy usage, discomfort, and moisture accumulation within walls. These issues are particularly significant in sharply continental climates, such as those found in Kazakhstan, where temperature fluctuations can be extreme and seasonal heating demand accounts for up to 60–70% of annual energy consumption [13]. As a response, research has shifted toward adaptive, energy-efficient wall envelope systems capable of adjusting thermal performance in accordance with external conditions. Air layers embedded in wall assemblies have emerged as an effective method for controlling heat transfer and enhancing indoor thermal comfort [10]. This paper aims to review these modern approaches, emphasizing solutions suitable for Kazakhstan's climate and highlighting regulatory considerations.

2. Methodology

The research methodology is based on a systematic review of both domestic and international scientific publications, covering thermal performance of building

envelopes, adaptive wall solutions, and energy-efficient construction materials. A comparative analysis of relevant regulatory documents, including national and international standards, was conducted to identify gaps and best practices. Key analytical methods included synthesis of experimental data, evaluation of dynamic thermal performance, and assessment of air-layer functionality in wall systems.

Table 1 – Comparative Analysis of Wall Systems Including Seasonal and Economic Data

Wall Type	Material	Thickness (mm)	λ (W/m·K)	R (m ² ·K/W)	Heating Energy kWh/m ² /yr	Cost Savings (%)	CO ₂ Reduction (%)
Solid brick wall	Clay brick	510	0.81	0.63	210	0	0
Insulated brick wall	Brick + mineral wool	510+100	0.32	1.97	120	43	42
Adaptive wall	Brick + air gap + insulation	510+50+80	0.28	2.09	102	51	50
Adaptive + PCM	Brick + air gap + insulation + PCM	510+50+80+20	0.25	2.20	95	55	53
High-performance composite	Brick + insulation + ventilated cavity + PCM	510+50+80+20	0.22	2.30	90	57	56

3. Role of Wall Envelope Structures in Indoor Microclimate Formation

External wall envelope systems function not only as protective barriers but also as active components influencing heat flow, moisture transfer, and thermal inertia [4]. Walls with inadequate thermal resistance often result in higher heat losses, lower internal surface temperatures, and risk of condensation, negatively affecting both occupant comfort and material longevity [5].

Energy-efficient walls mitigate these issues by stabilizing indoor temperatures and reducing heating and cooling loads. They contribute to creating a more comfortable and healthy indoor environment while optimizing energy performance. In continental climates, walls must also account for rapid temperature fluctuations and long heating seasons, making thermal inertia and adaptive features particularly valuable [13].

4. Adaptive Wall Systems with Air Layers

Adaptive wall systems incorporate features such as air cavities to enhance thermal performance. These air layers act as additional insulation, reducing heat transfer through both conduction and convection. Depending on design, air layers can be non-ventilated, slightly ventilated, or fully ventilated [6]. Fully ventilated cavities, commonly used in curtain-wall and façade systems, allow controlled airflow, which aids in moisture removal and temperature regulation [11].

Recent research highlights the effectiveness of adaptive systems in maintaining thermal stability under fluctuating external temperatures. Combining air layers with reflective or phase-change materials further enhances energy efficiency and comfort

[12]. However, most designs are optimized for temperate climates, and adaptations are needed for regions like Kazakhstan, where climate conditions are more extreme.

5. Regulatory Framework

In Kazakhstan, thermal protection and indoor comfort requirements are established by national building codes (SNiP and SP RK standards) [14], [15]. These regulations define minimum thermal resistance and indoor temperature/humidity ranges. However, they predominantly address static conditions and do not fully account for adaptive wall systems.

International standards, including EN ISO 6946 and EN ISO 13790, increasingly consider dynamic thermal performance and life-cycle energy evaluation [6], [7]. Integrating these approaches into national codes would support broader adoption of adaptive energy-efficient walls and improve building performance in sharply continental climates.

6. Results

Analysis indicates that energy-efficient and adaptive wall systems significantly enhance indoor thermal comfort. Walls with air layers reduce heat losses, stabilize indoor temperatures, and improve energy efficiency [8], [9]. Adaptive walls also offer flexibility for climate-responsive building design, enabling adjustment to seasonal variations and extreme temperature events.

Despite technological advances, regulatory frameworks lag behind current research. There is a need for region-specific adaptations and experimental validation to ensure that adaptive wall systems deliver optimal performance in Kazakhstan's climate.

7. Conclusion

Modern approaches to indoor microclimate management emphasize adaptive energy-efficient wall envelope systems. For sharply continental regions such as Kazakhstan, walls with air layers provide significant benefits in terms of energy savings and thermal comfort. The integration of these systems into building design, supported by updated regulatory standards and experimental validation, can substantially enhance indoor environmental quality. Future research should focus on optimization of adaptive features, material selection, and dynamic performance analysis under local climatic conditions.

This study was supported by grant funding from the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (AP26199493).

References

1. Ilyin V.A. Thermal Protection of Buildings. Moscow: Stroyizdat 2018.
2. Fokin K.F. Building Thermal Engineering of Envelope Structures. Moscow: ASV.2019
3. Bogoslovsky V.N. *Building Physics*. Moscow: Vysshaya Shkola, 2017.
4. Gagarin V.G., Kuznetsov G.V. Energy efficiency of building envelopes in cold climates. *Building Physics*, 2020, No.3, pp. 5–12.
5. Krivoshein A.A. Modern ventilated façade systems. *Industrial and Civil Engineering*, 2019, No.6, pp. 34–39.

6. EN ISO 6946:2017. *Building components and building elements — Thermal resistance and thermal transmittance*.
7. EN ISO 13790:2017. *Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling*.
8. ASHRAE Handbook. *Fundamentals*. Atlanta: ASHRAE, 2021.
9. Ozel M. Thermal performance of building walls with different materials. *Applied Thermal Engineering*, 2018, Vol.131, pp. 123–134.
10. Zhou Y., Zhang X., Lin K. Energy-efficient building envelopes with air cavities: A review. *Energy and Buildings*, 2019, Vol.183, pp. 231–245.
11. Cabeza L.F. et al. Thermal performance of building envelopes with air layers. *Renewable Energy*, 2018, Vol.118, pp. 722–731.
12. Kalamees T., Korpi M. Hygrothermal performance of envelope structures with air gaps. *Building and Environment*, 2020, Vol.168.
13. CH PK 2.04-01-2017. *Building climatology*.
14. CII PK 2.04-02-2018. *Thermal protection of buildings*.
Technical Regulation of the Republic of Kazakhstan. *Energy efficiency requirements for buildings and structures*, 2020

A PROBABILITY -BASED GENERATION CAPACITY EXPANSION MODEL

FOR PLANNING ELECTRIC POWER SYSTEMS

PhD, Amir Abdel Menaem

Electrical Engineering Department

Mansoura University, Mansoura, Egypt

Masters, Starcheus A.N.

Rudny Industrial University, Rudny, Kazakhstan.

Abstract. Resource adequacy evaluation and the decision-making process of generation capacity expansion (GCE) are closely related and important for power system planning. Without improved representations of the formulation of how the adequacy metrics will be evaluated, the planning and investment models are limited in their ability to assess power system performance under high intermittent renewable penetration. This paper proposes a probabilistic GCE model with an analytical formulation of adequacy indices evaluation to combine both probabilistic and optimization techniques for optimizing installed generation reserve required to meet ongoing resource adequacy standards. The analytical formulation relating adequacy indices is constructed based on the cumulants and Gram-Charlier expansion. The proposed method is validated by a case study. The proposed model possesses high computation efficiency with desirable solution accuracy, and thus it can significantly enhance the practicability of the GCE planning model in real power systems.

Key words. Capacity Valuation, Generation expansion planning, Renewable energy integration, Resource adequacy, Power system reliability, Probabilistic evaluation.

INTRODUCTION

Generation capacity valuation of electric power systems (EPSs) has become a common framework for ensuring there is sufficient investment in new generation capacity to meet ongoing resource adequacy (RA) standards [1-2]. It provides a tool to keep pace with technological and economic changes in the electrical power system without problems of oversupply of costly peaking capacity or the high economic and political costs of load shedding. Targets of capacity to procure for future years by the system planner are informed by the results of risk estimates of generation capacity shortage [3-4]. The risk of shortages in generation can be reduced by increasing the investment in generation and the operating cost of keeping installed capacity available. However, overinvestment and high operating costs would be ultimately reflected in the bill paid by the customer. On the other hand, underinvestment and low generation reserve margins would lead to a low reliability offered to customers. Economic efficiency generally necessitates balancing the benefits of reliability improvements against the costs of providing additional reliability [5]. It is essential that generation capacity expansion (GCE) models be configured to consider those variables that shape the decision in sufficient detail to accurately decide which type of new generation is best suited to the system for investment and construction with a predetermined level of reliability [6-7].

Assessing and ensuring RA is an important component of power system planning, because the level of RA indicates long-term system reliability [8]. A power system is considered to be resource adequate if it has sufficient resources to ensure that the system runs at a sufficiently low risk of load-shedding events due to resource unavailability or deliverability constraints. There are several adequacy metrics that have been used historically to support generation capacity investment planning [9-10]. Most adequacy metrics start from considering potential loss of load—when does it occur, how long does it last, and what is the magnitude of impact? Loss of load probability has been in use for a long time. A commonly accepted indicator for generation system reliability is Loss of Load Probability (LOLP) in p.u. over a given time duration, or Loss of Load Expectation (LOLE) in days over a year. Both LOLP and LOLE have been widely used to quantify the amount of time that a load exceeds generation capacity and, consequently, indicate the generation system's reliability [11]. These are the fundamental indicators for which the constraint is imposed in generation development planning. Numerous research projects have been carried out to develop the evaluation tools and models with LOLP and LOLE as the main planning criterion [3,5,12]. On the other hand, to assess the financial damage to customers due to supply interruption, another reliability indicator is used. This is the Expected Energy Not Served (EENS), which gives non-delivered energy in MWh/year. Specific unreliability costs, often called Value of Lost Load (VOLL) in \$/kWh, are then used to calculate reliability (or outage) costs in \$/year. Another common metric to indicate system reliability level is planning reserve margin (PRM), which is often calculated as the difference between total system resource capacity and expected annual peak load, divided by the expected annual peak load. While the PRM metric does not inherently have a direct linkage with probabilistic-based system load-shedding events, the PRM value can be informed by probabilistic RA assessments.

Numerous factors influence the evolution of the system's adequacy. First, which are RA metrics that have been used to support generation capacity investment planning and the estimates of capacity to adequate? Second, appropriate statistical modelling methodology for both available supply and demand statistics of the corresponding stochastic process of capacity surplus/deficit (defining it as available supply minus demand across time) is employed for evaluating the metrics. With the integration of low-carbon generation technologies like wind and solar power in the system's generation mix, the inherent uncertainties have introduced new challenges in system adequacy modelling or made existing challenges more pressing. The past practice for assessing RA indices is based on the state model of generating units (GUs); a recursive algorithm [10] can be used to create a capacity outage probability table (COPT). The variation of electricity demand is usually modeled by either the daily peak load variation curve (DPLVC) or the load duration curve (LDC). In renewable-integrated EPSs, residual load duration curves (RLDC) can be used in which the hourly generation of renewable technologies is deducted from the hourly power demand. Then, the COPT is incorporated with a LDC, RLDC, or DPLVC load model to assess the adequacy indices. The outage of components and renewable power uncertainty results in a huge number of system states, which significantly increases the computation complexity. As the number of variables and constraints grows, this practice becomes impractical.

This paper presents a probabilistic GCE model with an analytical expression of RA indices evaluation for reducing the computation burden associated with power system capacity planning studies. The model allows us to consider renewable energy resources such as solar and wind farms as options for expansion planning rather than negative loads. The adequacy indices are expressed based on the cumulants and Gram-Charlier expansion in Section III, after Section II, where the mathematical formulation of the GCE model is presented. Section IV presents an example case study, and the results are analyzed to address the objectives of the work. In Section V, conclusions are drawn.

MATHEMATICAL FORMULATION OF THE GENERATION CAPACITY EXPANSION MODEL

The GCE planning model provides a tool for ensuring there is sufficient investment in new generation capacity to meet ongoing RA standards for future years despite changes in demand patterns, the composition of the generation mix, and other factors. Risk estimates of capacity shortage are dependent on the generating reserve capacity above that needed for maximum load demand. The determination of the required amount of the installed capacity reserve (ICR) to keep the risk of power shortages below an acceptable level is an important aspect of power system planning. The installed capacity considers the capacity that must be planned and constructed in advance to provide for uncertainties in the forecast of demand growth, overhaul of generating equipment and plant maintenance, and generation outages that are not planned or scheduled. Therefore, the ICR requirement needs to be sized appropriately by the cost/benefit analysis. There is a trade-off between reliability (i.e., sufficient reserve margin) and economics. The objective is minimizing the costs for the installation and maintenance of the reserve R and cost of lost load. The total costs should be penalized by the resulting cost of the energy not served. The objective of optimization problem for sizing the generation reserve R is expressed as follows:

$$\text{Min } (3(R) = cR + T(VOLL)EPNS_T(R)) \square\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square$$

where $EPNS_T(R)$ – expected of power not served on the time interval T for example, a year, depending on the power reserve $R = G - L_{peak}$, determined at a given yearly peak load L_{peak} ; G - the value of the total installed generating capacity. $VOLL$ is a constant reflecting the value of loss of load cost and the c for the installation and maintenance of the reserve R . Most often, the problem of choosing a reserve capacity is considered when assessing options for the development of EPS, where, in order to improve the reliability of power supply to consumers, the optimal number of candidate generation units n_{cand} is determined in addition (to the existing generation units n_{exist}) of installed power units. In expansion stage, several feasible configurations of existing and new units are established. Each feasible configuration has technical and non-technical constraints, such as limitations on the number and capacity of new units, and is characterized by the total investment costs of new units. Each possible expansion plan satisfying the constraints is evaluated by means of a cost function that is composed of capital investment costs (V), fuel costs (F), operation and maintenance costs (O), and the cost of the energy not served. The optimal expansion plan is defined by: Minimum 3_i among all expansion plans $i \in \Omega_I$. The problem can be states as follows: Finding

the optimal expansion plan ($n_{T,cand}$) for a power generating system satisfying the least cost over the study period (e.g., 10 or 20 years), within constraints given by the planner.

The GCE analysis requires as a starting point the determination of alternative expansion policies for the power system. If \mathbf{n}_T is a vector containing the number of all generating units which are in operation in year $T \in \Omega_T$ for a given expansion plan, then \mathbf{n}_T must satisfy the following relationship: This year's units must be last year's units plus certain additions less certain retirements, plus number of candidate units added.

$$\square \mathbf{n}_T = \mathbf{n}_{T-1} + \mathbf{n}_{T,exist} - \mathbf{n}_{T,retired} + \mathbf{n}_{T,cand} \square \forall i \in \Omega_I$$

where $\mathbf{n}_{T,exist}$, $\mathbf{n}_{T,retired}$, and $\mathbf{n}_{T,cand}$ are the vectors of committed additions of existing units, committed retirements of units, candidate generating units added to the system in year T for each configuration i . The $\mathbf{n}_{T,exist}$ and $\mathbf{n}_{T,retired}$ are given data, and $\mathbf{n}_{T,cand}$ is the unknown variable to be determined which is called the system configuration vector.

The optimum is evaluated in terms of minimum discounted total costs on the length of the study period (total number of years). When the interval T is discrete (for example, in the form of a set of hourly subintervals, the cost function is transformed to this form:

$$\begin{aligned} Min (3_i = & \sum_{T \in \Omega_T} (V_T + F_T + O_T) \\ & + \sum_{T \in \Omega_T} (VOLL_T) \sum_{t \in T} \tau_t EPNS_t(\mathbf{n}_T)), \quad \forall i \in \Omega_I \end{aligned} \quad (2)$$

where τ_t is the duration of the sub-interval t , and Ω_I and Ω_T are the set of configurations and years, respectively. Tunnel constraints on the configuration vector $\mathbf{n}_{T,cand}$ is imposed so that every acceptable configuration must respect:

$$\mathbf{n}_{T,cand}^0 \leq \mathbf{n}_{T,cand} \leq \mathbf{n}_{T,cand}^0 + \Delta \mathbf{n}_{T,cand}$$

where $\mathbf{n}_{T,cand}^0$ is the smallest value permitted to the configuration vector $\mathbf{n}_{T,cand}$ and $\Delta \mathbf{n}_{T,cand}$ is the tunnel constraint or tunnel width.

The peak reserve margin constraint attributes a certain amount of capacity to each resource that is assumed to be available for meeting the yearly peak load. The difference between the yearly peak load and the installed generating capacity expresses the smallest value of reserve margin, and if $G(\mathbf{n}_T)$ is the installed capacity of the system in the critical period of year T , the following constraint should be met by every acceptable configuration:

$$(1 + b_T)L_{T,peak} \geq G(\mathbf{n}_T) \geq (1 + a_T)L_{T,peak}$$

which simply states that the installed capacity in the critical period must lie between the given minimum and maximum reserve margins, a_T and b_T respectively, above the peak demand $L_{T,peak}$ in the critical period of the year T .

The reliability of the system configuration is evaluated by the GCE model in terms of the LOLP index. This index is calculated for each period of the year and on an annual basis. The average yearly LOLP is calculated as the sum of the periods' LOLP divided by the number of periods. If $LOLP_T$ and $LOLP_t$ are the yearly and the periods LOLP, respectively, every acceptable configuration must respect the following constraints:

$$\begin{aligned}
& LOLP_T(\mathbf{n}_T) \leq LOLP_T^{max}, \\
& \quad \forall T \in \Omega_T \\
& LOLP_t(\mathbf{n}_T) \leq LOLP_t^{max} \quad \forall t \in T
\end{aligned} \tag{5}$$

where $LOLP_t^{max}$ and $LOLP_T^{max}$ are the maximum allowable LOLP limit during period t and year T , respectively.

The LOLP and EPNS indices are dependent on the generation by each plant for each period of the year, which is estimated based on the availability of the plants/units, maintenance requirements, and planning reserve requirements. The calculation of indices is a major impediment to the optimization process. New methods need to be developed to compute the LOLP and EPNS indices efficiently.

ADEQUACY INDICES ASSESSMENT PROCEDURE

In the problem of adequacy indices assessment, the system's LOLP and EPNS/EENS are usually calculated for a future expansion plans, and are usually measured using statistics of the stochastic process of capacity surplus/deficit (defining it as available supply minus demand across time). The $LOLP_T$ is defined as the probability that the required load exceed the generation capacity at any arbitrary time point t within the considered interval $[0, T]$. While $EENS_T$ expresses the expected value of capacity shortfalls within the considered interval $[0, T]$. Mathematically, $LOLP_T$ and $EENS_T$ can be expressed as follows:

$$\begin{aligned}
& LOLP_T \\
& = \mathcal{P}\{Z(t) < 0 \quad \forall t \in [0, T]\} \\
& = \frac{1}{T} \int_0^T \int_{Z(t) < 0} f_Z(z(t)) dz(t) dt
\end{aligned} \tag{6}$$

$$EENS_T = \mathbb{E}\{Z(t) | Z(t) < 0 \quad \forall t \in [0, T]\} = \frac{1}{T} \int_0^T \int_{Z(t) < 0} z(t) f_Z(z(t)) dz(t) dt$$

where \mathcal{P} denotes the probability of the event in the brackets, $Z(t)$ is the power balance function at time point t , and $f_Z(z(t))$ is the PDF of $Z(t)$. Most of the complexity in this problem come from devising appropriate statistical modelling for power balance function.

Probabilistic generation capacity model

The power balance between generation and load observed at an arbitrary time or period $t \in [0, T]$ can be expressed as follows: $Z(t) = G_C(t) + G_R(t) - L(t) \quad \forall t \in [0, T]$ where $G_C(t)$, $G_R(t)$, $L(t)$ are random variables (RVs) representing available conventional generation, renewable generation, and required load, respectively. $G_C(t) = G_{inst,c} - G_{pl}(t) - G_{emg}(t)$, $G_R(t) = G_{inst,R} - \Delta G_R(t) - \delta G_R(t)$, and $L(t) = L_{T,peak} - \Delta L(t) \pm \delta L(t)$, where G_{inst} and R_{inst} — installed capacity of conventional and renewable generating system, respectively; $G_{pl}(t)$ and $G_{emg}(t)$ — planned and unplanned outage capacity of generating units, respectively; $L_{T,peak}$ — annual peak load of year T ; $\delta L(t)$ and $\delta R(t)$ — load and renewable powers forecast errors, respectively; $\Delta L(t)$ — the load power deviation from the annual peak value; and $\Delta R(t)$ — the renewable power deviation from the installed value.

The EPS load is considered as a random process and is represented by graphs reflecting the cyclical nature of its changes (cycles: daily, weekly, monthly, and annual).

Each of the graphs represents a sequence of relative power maxima of the next cycle in the hierarchy (day = 24 hours, week = 7 days, month = 4 weeks, year = 12 months). Other structures of load schedules are possible (maximum load schedules: a monthly schedule consists of 30 daily maximum loads, or an annual schedule of 52-week maximums; equivalent schedules: a day is represented by two or more load steps of different durations). Based on the presented graphs, a load graph of maximum detail can be constructed – the annual one consists of $T = 52 \cdot 7 \cdot 24$ hourly capacities. The lower-level interval can be different, for example: 15 minutes, 30 minutes, an hour, a day, etc. The load $L(t)$, which is a function of time, represents a random process [12], where there is daily (ΔL_d), weekly (ΔL_w), seasonal (monthly, ΔL_m) and periodic cycles of deviation of the load from the peak value $L_{T,peak}$ in the considered year T . In practical calculations, it is assumed that these deviations are deterministic and proportional to $L_{T,peak}$ as follows:

$$\begin{aligned}\Gamma^Y &= \{k_w^Y = L_w^{max} / L_{Y,max}, w = 1, \dots, 52\} \square \square \square \\ \Gamma^w &= \{k_d^w = L_{w,d}^{max} / L_w^{max}, d = 1, \dots, 7\} \square \square \square \square \square \\ \Gamma^{wd} &= \{k_h^{wd} = L_{w,d,h} / L_{w,d}^{max}, d = 1, \dots, 24\} \square \square \square \\ L_{T,peak} &= \max_{\forall w} (L_w^{max}); \quad L_w^{max} = \max_{\forall d} (L_{w,d}^{max}); \quad L_{w,d}^{max} = \max_{\forall h} (L_{w,d,h}) \square\end{aligned}$$

In this case, the resulting hourly load schedule ($52 \cdot 7 \cdot 24$ hour) is represented by load factors $\{k_t\}$:

$$\begin{aligned}L(t) &= \{k_t L_{T,peak}, t = 1, \dots, T\} \\ &= L_{T,peak} \bigcup_{w=1}^{52} \bigcup_{d=1}^7 \bigcup_{h=1}^{24} (\Gamma^Y \Gamma^w \Gamma^{wd}) \quad \square \square \square\end{aligned}$$

The presentation of the daily load schedule can be represented in the form of additional generation, with a probability series $\{\Delta G_s^{wd} = L_{w,d}^{max} (1 - k_s^{wd}), p_s^{wd}\}$, $p_s^{wd} = \tau_s^{wd} / 24$, where $s = 1, \dots, S$ – is the number of the load invariance interval on the daily schedule. The central moments can be obtained as follows: $m_{\Delta G}^{wd} = \sum \Delta G_s^{wd} p_s^{wd}$; $\mu_r = \sum (\Delta G_s^{wd} - m_{\Delta G}^{wd})^r p_s^{wd}$; $r = 1, \dots, 4$, and, consequently, the cumulants $\{k_{\Delta G,1} - k_{\Delta G,4}\}$ are calculated.

Planned maintenance schedule. The planned component of the power outage $G_{pl}(t)$ is one of the main factors that make us consider a random change in load and conventional generation as a dependent random process, since, firstly, derived in repair of the power unit cannot be put into operation until the end of repair work, that is, it determines the composition of the generating system for the subsequent period, and secondly, $G_{pl}(t)$ is determined depending on the load schedule (repair work is planned for the minimum load period). The chronological dependence of scheduled repairs of generating units on the annual load schedule determines the dependence on the time of available generation. The output of power units for scheduled repairs is carried out deterministically at a certain time, for example, at the beginning of the day. Hence, we can assume that under the condition of determinism of $G_{pl}(t)$ on such a subinterval, only the load is random. To this end, the power $G_{pl}(t)$ can be considered as an additional deterministic load, consistent with the main load schedule. Therefore, the

calculated (total) load $\tilde{L}(t) = L(t) + G_{pl}(t)$ is considered instead of $L(t)$. The central moments of \tilde{L} has mean $m_{\tilde{L}}(t) = m_L(t) + G_{pl}(t)$ and unchanged standard deviation $\sigma_{\tilde{L}}(t) = \sigma_L(t)$.

Outage power generation. The EPS includes a mixed fleet of conventional and renewable generation fleets. The conventional generation fleet (CGF) consists of different types of generators. The CGF is considered a set of groups of homogeneous generators (equal capacity and forced outage probability (FOR)). In the case of a two-state generation model, the available capacity states can be defined by either rated capacity (operation state) or zero capacity (failure state) based on the generator FOR. Therefore, the availability state model of these groups can be represented using a binomial distribution. The number of available generators in each group is described by a binomial distribution function $\{k_g, \mathcal{B}(k_g; n_g, p_g); k_g = 0, \dots, n_g\}$, where n_g is the number of generators in the group, k_g is the available state of generators, i.e., the number of generators in the operation state. The probability of the available capacity of the generator group, which is equal to the sum of the capacity of the available generators, is written as follows:

$$\mathcal{B}(k_g; n_g, p) = C_{n_g}^{k_g} p^{k_g} (1 - p)^{n_g - k_g}$$

where $C_{n_g}^{k_g} = n_g! / (k_g! (n_g - k_g)!)$ is the binomial coefficient, and $p = 1 - FOR$ is the availability factor of n_g generators. The outage conventional power generation $G_{emg}(t)$ is written as a vector of random variables $[G_1 \dots \dots G_{N_g}]^T$ in which N_g is the number of generator groups of the CGF provided that the FOR of generators is independent of time. Therefore, $G_{emg}(t)$ is the same for all time intervals.

Currently, wind and solar energy generation resources represent a major portion of the generation mix in many EPS, and their share is expected to expand in the future due to their advantages [2]. The model of a wind energy conversion system includes two aspects that influence electrical power generation. Firstly, the probabilistic modelling of wind speed is established. Secondly, the speed-to-power conversion function is identified based on the wind turbine and tower design specifications. The probabilistic model of wind speed is often represented in literature using the Weibull PDF [10,13] After the Weibull scale and shape parameters of the wind speed PDF are calculated, the PDF of P_w can be derived as follows [10],

$$f_R(P_w) = \begin{cases} [1 - (F_v(v_{co}) - F_v(v_{ci}))] \delta(P_w), & \text{for } P_w = 0 \\ \frac{k}{d} \left(\frac{P_w - h}{d}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{P_w - h}{d}\right)^k\right], & \text{for } 0 < P_w < P_{w,rated} \\ \left[(F_v(v_{co}) - F_v(v_{w,rated})) \right] \delta(P_w - P_{w,rated}), & \text{for } P_w = P_{w,rated} \\ 0, & \text{for } P_w > P_{w,rated} \end{cases}$$

where $f_v(v_w) = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{v_w}{c}\right)^{k-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{v_w}{c}\right)^k\right]$, $d = \frac{P_{rated} m_w}{(v_{rated} - v_{ci}) \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)}$, $h = -\frac{P_{rated} v_{ci}}{v_{rated} - v_{ci}}$, $k = (\sigma_w / m_w)^{-1.086}$, and $c = \frac{m_w}{\Gamma(1 + 1/k)}$. The v_{rated} , v_{ci} , and v_{co} are the

rated, cut-in, and the cut-out speeds, respectively, and $P_{w, rated}$ is the rated power of a WTG. $\Gamma(\cdot)$ is the Gamma function; k is the shape parameter ($k > 0$); c is the scale parameter ($c > 0$); and m_w , and σ_w be the mean value and the standard deviation of the wind speed, respectively. For a solar power station, uncertainty associated with fluctuations in solar radiation is reasonably well represented by a Beta distribution [10,14]. From the recorded hourly solar irradiance dataset during a period, after excluding the night-time data, the mean (m_s) and standard deviation (σ_s) of the Beta distribution are calculated. Then, the PDF of PV power generation can be described as follows:

$$f_R(P_s) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha) \cdot \Gamma(\beta)} \cdot (P_s)^{\alpha-1} \cdot (1 - P_s)^{\beta-1}$$

where a and b are the shape parameters.

The method of combined cumulants and Gram-Charlier expansion

The use of cumulants and the approximation of a PDF by Gram Charlier expansion series is presented. The main objective of using the cumulant method is to replace the complicated convolution of the PDFs of input variables with a simple arithmetic process [14]. The cumulants have properties superior to moments. The additive property of cumulant (not moments) is particularly useful in power systems. By determining the cumulant of available power of generator groups, the cumulants of the load and generator groups can be easily added and so the cumulants of the $Z(t)$ are computed. Then, Gram Charlier approximate series in getting the distribution of the output variable (power deficit) from its cumulants is used by approximating it with a normal distribution.

Let Y_1, Y_2, \dots , and Y_m be m random variables with known cumulants, and X has a linear relationship with these variables $X = k_1 Y_1 + k_2 Y_2 + \dots + k_m Y_m$, k_1, k_2, \dots , and k_m are coefficients for X . The n -th order cumulant of X can be calculated as follow:

$$\gamma_X^{(n)} = k_1^n \gamma_{Y_1}^{(n)} + k_2^n \gamma_{Y_2}^{(n)} + \dots + k_m^n \gamma_{Y_m}^{(n)}$$

where $\gamma_{Y_1}^{(n)}, \gamma_{Y_2}^{(n)}, \dots$, and $\gamma_{Y_m}^{(n)}$ are the n -th order cumulant for random variables Y_1, Y_2, \dots , and Y_m . For example, the first cumulant of X which is expected value μ_X and the second cumulant (variance σ_X^2) of X are calculated as,

$$\mu_X = \sum_{i=1}^m k_i \mu_{Y_i}, \quad \sigma_X^2 = \sum_{i=1}^m k_i^2 \sigma_{Y_i}^2$$

By knowing the cumulants of the load, the available power of renewable generators, and the available power of conventional generator groups, the cumulants of the power balance Z can be computed. Then, the Gram Charlier series approximates the distribution of the $f_Z(x)$ based on its cumulants with a normal distribution as shown in (8).

$$F(x) = \Phi(x) + \sum_{j=3}^r \frac{c_j}{j!} \varphi^{(j-1)}(x)$$

where $\Phi(x), \varphi^{(i)}(x)$ – are, respectively, the function and the i^{th} derivative of the density of the standard normal distribution $\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2}$; $\{c_i\}$ – Gram-Charlier

series coefficients; r – is the order of the Gram-Charlier series (usually $r = 4$). The Gram-Charlier series coefficients are determined as follows:

$$c_0 = 1; c_1 = c_2 = 0; c_3 = -\frac{M_3}{\sigma^3} = -\frac{\mathcal{K}_3}{\sigma^3}; c_4 = \frac{M_4}{\sigma^4} - 3 = \frac{\mathcal{K}_4}{\sigma^4}$$

where M_j, \mathcal{K}_j are the central moment and the cumulants of the j -th order of the Gram-Charlier series. The first six derivatives of the density of the standard normal distribution can be written as follows:

$$\begin{aligned}\varphi^{(1)}(x) &= -x\varphi(x); \\ \varphi^{(2)}(x) &= (x^2 - 1)\varphi(x); \\ \varphi^{(3)}(x) &= (3x - x^3)\varphi(x); \\ \varphi^{(4)}(x) &= (x^4 - 6x^2 + 3)\varphi(x);\end{aligned}$$

Gram-Charlier series in representing the distribution of the $f_Z(x)$ from its cumulants is described by (8). Replacing the distribution function $f_Z(x, m_Z, \sigma_Z)$ in the (6) by the Gram-Charlier series makes it possible to obtain a fairly accurate solution and can be recommended for practical use with a large variety of generating units, as well as in the presence of generation from renewable energy sources.

COMPUTATIONAL RESULTS

A numerical study is performed to validate the proposed GCE model. It is used to generate the long-term generation expansion plan up to 2044 with renewable and conventional power plants. The study years are from 2025 to 2044. The characteristic parameters of existing and candidate conventional/renewable power plants taken as inputs in the case study [5,11] are provided in Tables I and II.

EXISTING CONVENTIONAL POWER PLANTS

Type		CC	LG1	LG2	COA	NUCL
Base capacity (MW)		300	150	150	400	300
FOR (%)		10	10	10	8	10
Max capacity (MW)		600	280	280	580	600
Maintenance days		28	56	56	48	42
Fixed O&M (\$/kW-month)		2.10	2.70	2.70	2.92	2.50
Variable O&M (\$/MWh)		4.00	6.00	6.00	5.00	0.50
Fuel cost (cent/million kcals)		1200	710	1100	800	194
Plan	Number of units	[[0,2], [1,2], [2,2]]	[[0,2], [1,2], [2,2], [3,2]]	[[0,2], [1,2], [2,2], [3,2], [4,2], [5,2]]	[[0,2], [1,2], [2,2], [3,2], [4,2], [5,2], [6,2], [7,2], [8,2]]	[[0,1], [0,2], [1,2], [2,2]]

Type	CC	LG1	LG2	COA	NUCL
Years	[2028, 2030, 2031]	[2029, 2032, 2040, 2043]	[2034, 2037, 2038, 2040, 2041, 2044]	[2029, 2033, 2034, 2036, 2037, 2039, 2040, 2041, 2043]	[2033, 2038, 2042, 2044]

There are five types of existing conventional power plants as follows: lignite (LG), coal (COA), oil, gas turbine (GT), and combined-cycle gas turbine (CCGT). A generating station consisting of 5 groups of generators (type, number, rated power (MW), and the failure probability of a generating unit):

$\{i, n_G; P_G; q_G\} = \{[LG1; 4; 270; 0.1]; [LG2; 9; 276; 0.089]; [COA; 1; 580; 0.08]; [Oil; 7; 145; 0.073]; [GT; 4; 50; 0.06]; [CCGT; 1; 174; 0.15]\}$ is considered.

Seven types of candidate conventional power plants are as follows: LG, CC, COA, nuclear (NUCL), solar, and wind. Tables I and II also summarize, during the study period between 2025 and 2044, the unit retirement and addition of the existing plants (represented by -1/+1), as well as the tunnel width of the candidate plants (represented by numbers in brackets). Tunnel width $[n_{t,cand}^0; \Delta n_{t,cnad}]$ is used to restrict the minimum ($n_{t,cand}^0$) and maximum ($n_{t,cand}^0 + \Delta n_{t,cnad}$) number of units allowed to be installed each year. The tunnel width remains the same as that in the previous year if not explicitly specified.

CANDIDATE CONVENTIONAL POWER PLANTS

Type	LG1	LG2	COA	OIL	GT	CCGT	
No. of units	4	9	1	7	4	1	
Base capacity (MW)	150	150	400	80	50	87	
FOR (%)	10.0	8.9	8.0	7.3	6.0	15.0	
Max capacity (MW)	270	276	580	145	50	174	
Maintenance days	56	56	48	42	42	28	
Fixed cost (\$/kW-month)	4.06	1.91	2.92	4.57	8.35	2.10	
Variable cost (\$/MWh)	4.90	2.00	5.00	1.60	1.60	5.00	
Fuel cost (cent/million kcals)	600	495	800	833	420	1266	
Plan	Number of units	[-1, -1]	[-1, -1, -1]	+1	[-1, -1]	-1	[+1, +1]
	Years	[2030, 2041]	[2033, 2036, 2041]	2026	[2039, 2040]	2036	[2027, 2028]

To account for yearly and weekly variations of electric load, the weekly process of load variation as a proportion of the annual peak load can be represented as follows:

$$L(t, \varepsilon) = 0.82 + 0.15 \cos\left(\frac{2\pi t}{52} + \varepsilon\right) \square$$

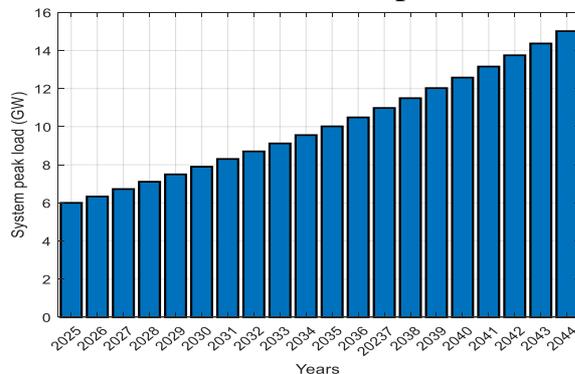
where ε is a uniformly distributed RV in the interval $(0, 2\pi)$. Daily load as a proportion of weekly load is considered as follows: $\{0.9, 0.95, 1, 1, 1, 0.7, 0.4\}$. Hourly load curve as a proportion of daily load and duration time is considered as follows: $\{0.5, 6; 0.8, 2; 1, 4; 0.8, 4; 0.9, 6; 0.7, 2\}$.

This normalized hourly demand profile is invariant for the period of study. The 2025 system peak load is considered 6000 MW. According to the long-term plan, the yearly system peak load is expected to reach 15000 MW [11]. Fig. 1 shows the evolution of the peak load from 2025 to 2044. To account for renewable generation profiles, the annual wind/solar data were obtained from the U.S. National Renewable Energy Laboratory (NREL) [15]. Their cost characteristics are summarized in Table III. Reserve margins (%) are considered [20, 40]. The cut-in, the rated, and the cut-out speeds are set to 3 m/s, 10 m/s, and 25 m/s, respectively.

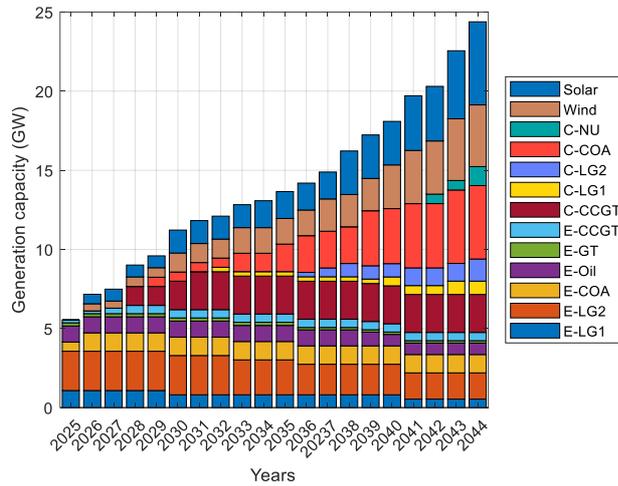
RENEWABLE POWER PLANTS.

		Wind	Solar
Capacity (MW)		30	50
FOR (%)		5	5
Plant life (years)		20	25
Constructions cost (\$/MW)		1094	1400
Fixed O&M (\$/kW-month)		3.67	0
Variable O&M (\$/MWh)		4	0
Plan	Number of units	[[15,0],[20,0],[40,0],[54,0],[68,0],[92,0],[112,0],[130,0]]	[[12,0],[15,0],[29,0],[34,0],[55,0],[69,0],[86,0],[105,0]],
	Years	[2026,2028,2030,2033,2037,2040,2041,2043]	[2026,2027,2030,2034,2038,2041,2043,2044]

The results of the proposed GCE model are validated with those of [5] under the same case study dealing with power system expansion planning with renewable and conventional power plants. Fig. 2 shows the projected development in the installed generation capacity up to 2044, according to the optimal generation expansion evolution path. The results indicate that the proposed model gives the same results but with significantly lower computational time (300 sec compared to 712 sec in [5]).

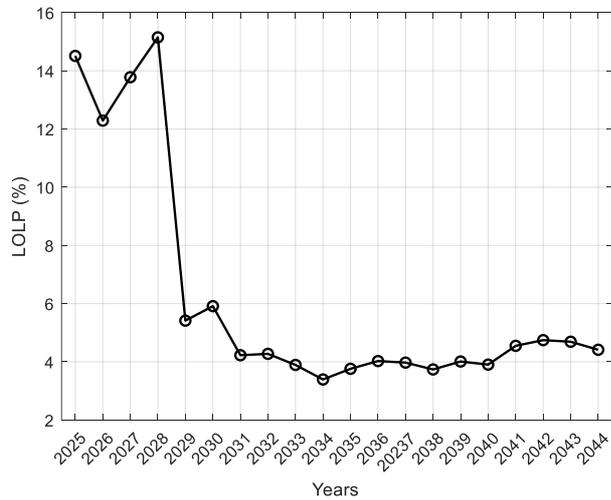


System peak load.



Generation capacity mix for each year.

It is observed that renewable energy generators were incorporated into the expansion plan in early years due to their economic advantage of low maintenance cost, less capital investment, and no fuel cost. Renewable's capacity penetration has increased from zero in 2025 to 40% in 2044. Due to the high penetration of renewables in the power system, measures are taken to ensure grid stability with such high renewables share. The conventional fleet of the power system is crucial for grid stability. The highest capacity share of the conventional fleet in 2044 is coal power plants with a capacity of 4000 MW. In 2044, the capacity share of the conventional fleet will drop from 100% in 2025 to 60% in 2044 due to the increased penetration of renewables. We can also observe in Fig. 3 that even if the penetration rate of renewable energy increases in all the study years, the model can generate an optimal expansion plan while keeping the LOLP values within a certain threshold.



Yearly LOLP variations.

CONCLUSION

In this paper, a probabilistic GCE model with an analytical expression of adequacy indices evaluation has been proposed for reducing the computation burden associated with power system capacity planning studies. The mathematical formulation of the model was presented in detail. In addition, adequacy indices were written based on the cumulants and Gram-Charlier expansion. The model allows us to consider renewable energy resources such as solar and wind farms as options for expansion planning. From the reported results, the proposed model can generate an optimal expansion plan that

keeps the LOLP values within a certain threshold. possesses high computation efficiency with desirable solution accuracy, and thus it can significantly enhance the practicability of the GCE planning model in real power systems.

REFERENCES

Bothwell, Cynthia D. *Optimizing Electricity Resource Investment with Large Penetrations of Wind and Solar Capacity Considering System Cost and Reliability*. Diss. The Johns Hopkins University, 2018.

V. Oree, S.Z.S. Hassen, P.J. Fleming, Generation expansion planning optimisation with renewable energy integration: a review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 69 (2017) 790e803.

Rashidaee, Seyyed A., Turaj Amraee, and Mahmud Fotuhi-Firuzabad. A linear model for dynamic generation expansion planning considering loss of load probability. *IEEE Transactions on Power Systems* 33, no. 6 (2018): 6924-6934.

Amir Abdel Menaem, Vladislav Oboskalov, Anatolijs Mahnitko, and Renata Varfolomejeva. "Optimal integration of renewable power into distribution network based probabilistic bus voltage-feeder current uncertainty analysis." In *2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, pp. 1-6. IEEE, 2019.

Chen, Tao, Manisa Pipattanasomporn, Imran Rahman, Zejia Jing, and Saifur Rahman. "MATPLAN: A probability-based planning tool for cost-effective grid integration of renewable energy." *Renewable Energy* 156 (2020): 1089-1099.

X. Zhang, M. Pippattanasomporn, S. Rahman, A comprehensive analysis of renewable energy representations in power system generation expansion planning, in: *Int'l Conf. And Utility Exhibition on Green Energy for Sust. Development (ICUE)*, IEEE, 2018, 2018, pp. 1e6.

Murphy, S., Apt, J., Moura, J., and Sowell, F. (2018). Resource adequacy risks to the bulk power system in North America. *Applied Energy*, 212:1360–1376.

C. Dent, N. Sanchez, A. Shevni, J. Q. Smith, A. L. Wilson, and X. Yu. "Resource Adequacy and Capacity Procurement: Metrics and Decision Support Analysis." *arXiv preprint arXiv:2309.06119* (2023).

Amir Abdel Menaem, Rustam Valiev, Vladislav Oboskalov, Taher S. Hassan, Hegazy Rezk, and Mohamed N. Ibrahim. "An efficient framework for adequacy evaluation through extraction of rare load curtailment events in composite power systems." *Mathematics* 8, no. 11 (2020): 2021.

Amir Abdel Menaem, Vladislav Oboskalov, Mahmoud Hamouda, and Mohamed Elgamal. "Reliability assessment of generation capacity in modern power systems via analytical methodologies." *Sustainable Energy, Grids and Networks* 40 (2024): 101509.

R.T. Jenkins, D. Joy, Wein Automatic System Planning Package (Wasp): an Electric Utility Optimal Generation Expansion Planning Computer Code, Tech. Rep., Oak Ridge National Lab., Tenn.(USA), 1974.

Amir Abdel Menaem, Mohamed Elgamal, Anatolijs Mahnitko, Roman Petrichenko, and Vladislav Oboskalov. "Impact of Sampling of Load Stochastic Process on Probabilistic Loss of Load Assessment for a Power System." In *2024 IEEE*

65th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), pp. 1-5. IEEE, 2024.

M.Elgamal, Nikolay Korovkin, A. Abdel Menaem, and Akram Elmitwally. "An algorithm for power flow analysis in isolated hybrid energy microgrid considering DG droop model and virtual impedance control loop." *Sustainable Energy, Grids and Networks* 32 (2022): 100875.

Amir Abdel Menaem and Vladislav Oboskalov. Integration of renewable energy sources into microgrid considering operational and planning uncertainties. In *International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2018: Volume 1*, pp. 225-241. Springer International Publishing, 2020.

NREL's integration data sets. <https://www.nrel.gov/grid/wind-integration-data.html> accessed: 2019-05-30.

ENERGY MANAGEMENT SYSTEM FOR ISLANDED MICROGRIDS CONSID ERING DROOP CONTROL SETTINGS AND UNCERTAINTY IN RENEWABLE ENERGY AND LOAD

PhD, Amir Abdel Menaem
Electrical Engineering Department
Mansoura University, Mansoura, Egypt
Arman M. Aidarkhanov
Rudny Industrial University, Rudny, Kazakhstan

Abstract. Effective operational management of islanded microgrids (MGs) is essential for achieving both economic efficiency and environmental sustainability. This paper presents a day-ahead energy management system aimed at minimizing the total operational costs of distributed generators (DGs) and reducing power losses in an islanded MG, while accounting for droop control settings and uncertainties in renewable energy generation and load demand. The MG comprises solar generation units, wind turbines, microturbines, a fuel cell unit, and an energy storage system. The proposed optimization framework determines the optimal active and reactive power setpoints for dispatchable DGs, alongside the charge/discharge scheduling of energy storage systems, while maintaining voltage quality and system reliability. In addition to these state variables, the active and reactive power droop coefficients and the reference voltage settings of droop-controlled DGs are treated as tunable control variables. Uncertainties associated with renewable generation and load profiles are modeled using Monte Carlo Simulation. The effectiveness of the proposed approach is demonstrated using a modified 33-bus islanded MG test system.

Key words. Droop-control, islanded microgrid, Particle Swarm optimization, Monte Carlo simulations, renewable energy, stochastic optimization, droop-control, economic operation.

INTRODUCTION

A microgrid (MG) is a low- or medium voltage distribution network controlled as a single entity with respect to the main grid [1]. It can provide a platform for coordinating renewable and non-renewable/dispatchable energy based distributed generation units, controllable and uncontrollable loads, and storage devices to make its operation more reliable, economic, and environment-friendly for supplying local electric demand and contributing to the day-ahead energy market [2–3].

A MG can operate either in grid-connected mode or in islanded/autonomous mode, with the possibility of seamless transfer between the two modes. In recent times, operating an MG in islanded mode has become popular with grid operators because, in remote locations, providing power supply from the main grid involves a huge length of transmission and distribution lines [4]. Therefore, for such an autonomous operation, several attempts to provide a secured control operating strategy and an optimal scheduling plan for an islanded or autonomous MG have been reported in the literature to make the service financially feasible and environmentally sustainable [5–23].

Cost minimization and reliability maximization were accomplished by the majority of MG operational schedules available in the literature [5–12]. A cost-effective and reliable islanded MG operation was achieved in Refs. [5–6]. An optimal operational schedule was formulated based on robust optimization in Ref. [7]. The economic operation of islanded MG was also proposed using a “hierarchical bi-level control scheme” [8], “artificial bee colony optimization” with a “Markov chain” [9], and “multi-layer ant colony optimization” [10]. An economic-emission dispatch strategy for an islanded MG in the presence of renewable generation and load demand uncertainties was discussed in [11]. In [12], a multi-objective chaotic binary PSO (CBPSO) algorithm was proposed to minimize total economic costs, including pollutant emission conversion costs and network losses, for an island microgrid. However, the authors did not consider the uncertainties inherent in load demand and renewable generation.

An islanded MG is said to operate satisfactorily if all the active and reactive power loads of the system are properly shared by the distributed generators (DGs) present in that islanded MG. By appropriate operation of islanded MG, it can be ensured that the frequency and node voltage magnitudes of the system always remain within acceptable ranges, and at the same time, line flow constraints are maintained [13–15]. Droop control strategies are usually employed for autonomous power sharing among the DGs. Besides stable operation, the optimal operation of islanded MG is now getting research attention. The authors [16–17] have evaluated the necessity of having storage devices and strategic load-shedding procedures to implement control strategies for microgrid operation in islanded mode. An amalgamation of harmony search and genetic algorithms was harnessed for multi-objective optimization of the DG droop coefficients in Ref. [18]. In [19], the authors have proposed a strategy for probabilistic optimal selection of droop parameters of the dispatchable DG units to minimize customer interruption due to voltage regulation issues and to maximize the loadability for enhancing the voltage security margin for a droop-controlled islanded MG with renewable units. In [20–21], a stochastic risk-constrained structure has been proposed for the most economical joint energy and reserve scheduling of autonomous microgrids to evaluate the influence of demand response programs on reliability and economic issues simultaneously. The problem’s objective function has been solved using mixed-integer programming in conjunction with an AC security-constrained optimal power flow framework to consider the frequency and voltage security constraints.

Stochastic droop optimization in an islanded microgrid was implemented in Refs. [22–23] with the objectives of reducing the cost and emissions and augmenting the loadability of the system. In [22], the authors suggested a multi-objective particle swarm optimization (MOPSO)-based probabilistic bi-objective optimal operation framework for dispatching cheap and clean power in a droop-controlled islanded microgrid. Jithendranath and Das [23] suggested a multi-objective optimization strategy for minimizing cost and emissions and maximizing loadability using the multi-objective antlion optimization (MALO) algorithm. Rezaei and Kalantar [24] reported an operation strategy to minimize the steady-state frequency deviation while keeping the cost and emissions within acceptable limits. Load and renewable generation uncertainties were modeled using a combination of “Roulette wheel mechanism” and “Monte Carlo simulation (MCS).” The authors in [25] and [26] investigated a non-linear

droop control feature for the economic operation of an islanded MG test system. However, the eco-friendly objective, load demand, and renewable generation uncertainties were not taken into account.

In this paper, a day-ahead probabilistic operation management system (OMS) is proposed for optimal operation of a droop-regulated islanded MG. It satisfies voltage quality and grid security constraints. The consumer demand response is addressed in the OMS. Moreover, the OMS considers the uncertainties in the predicted powers of renewable DG and load. The islanded MG has various types of DG units, such as photovoltaic (PV) generators, wind turbine (WT) generators, battery-bank ESS, a fuel cell-based DG (FCG), and a microturbine-based DG (MTG). The proposed OMS is developed for optimal allocation of both active and reactive power among dispatchable DG units (FCG-MTG) as well as the optimal discharging and charging schedules of the ESS present in a droop-controlled islanded microgrid. The objectives considered for optimal active and reactive power allocation are to minimize the total operating cost of DGs and the total power loss in the islanded microgrid network. Particle swarm optimization is used to solve the multi-interval constrained mixed-integer optimization problem. Active and reactive power static droop coefficients and frequency and voltage reference settings of the dispatchable DG units are considered the control variables for optimal dispatching of active power. The uncertainty of renewable resources and load is analyzed in the OMS by Monte-Carlo simulation (MCS), while a scenario-reduction approach is used to reduce the computational burden. The efficacy of the proposed framework is validated on a 33-node droop-controlled islanded MG test system.

The rest of the paper is organized as follows: Section II provides details about the modeling of uncertainties associated with load demand and renewable generation. Section III presents the modeling of droop-controlled distributed generation units. The formulation of power flow in droop-coordinated islanded MG is explained in Section IV. In Section V, the problem of operation energy management and the solution strategy for the stated problem are discussed. Section VI provides simulation results to validate the efficacy of the suggested approach. The section concludes with the paper and summarizes the main findings of the work.

MODELING OF MICROGRID UNCERTAINTIES

The existing sources of uncertainties in the islanded MG operation include forecasts of load demands and renewable DG output arising from intermittent weather conditions. These uncertainties are modeled mathematically and integrated with the optimal load flow problem to reduce the risk involved with the load dispatch strategy of MGs. A probabilistic approach is most commonly adopted to model the uncertainties accompanied by load demand and renewable generation. Probabilistic methods can be broadly classified into two categories: (a) numerical approaches and (b) analytical approaches. The numerical approach (i.e., MCS) is supposed to be the most accurate one, but it introduces a huge computational burden on the system [27]. The uncertainty of renewable resources and load is analyzed in the OMS by MCS, while a scenario-reduction approach is used to reduce the computational burden. A scenario-based strategy is utilized to represent the forecasting errors of renewable DG power and load power [14]. Initially, day-ahead hourly predictions of demand power, wind speed, and solar radiation are taken as average values. Besides, the analysis of the variance of these

predicted variables is determined based on their historical records [14]. Then, MCS is used to produce ample scenarios that characterize the uncertainty of forecasted load power and renewable DG input variables (i.e., solar radiation, wind speed) depending on their probability distribution functions (PDFs) [27].

Probabilistic PV power generation model

Beta distribution is often used to describe solar radiation (S). Therefore, the PDF of S is given as [1]:

$$f(R_t) = \begin{cases} \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} R_t^{(a-1)} (1-R_t)^{(b-1)}, & \text{for } 0 \leq R_t \leq 1; a \geq 0; b \geq 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

where, the two parameters a and b are defined as:

$$a = \frac{\mu_R \beta}{1 - \mu_R} \quad (2)$$

$$b = (1 - \mu_R) \left(\frac{\mu_R(1 + \mu_R)}{\sigma_R^2} - 1 \right) \quad (3)$$

where, μ_R and σ_R are mean and standard deviation of solar radiation at the t^{th} time period, respectively.

The output-power of the PVG depends on the average solar radiation (R_t) and ambient temperature of the site [28]. The output power of PVG at the t^{th} time period and for the c^{th} scenario ($P_{PV,t}^c$) is calculated as [14]:

$$P_{PV,t}^c = P_{PV,r} \left(\frac{R_t^c}{R_{stc}} \right) (1 + K_{PV} [T_{A,t} - T_{ref}]) \quad (4)$$

where, $P_{PV,r}$ is the rated power of the PVG; R_t is the mean solar radiation (W/m^2) at the t^{th} time period and the c^{th} scenario; R_{stc} is the solar radiation at standard test condition (W/m^2); K_{PV} is the air temperature factor of the maximum power ($1/^\circ\text{C}$); $T_{A,t}$ is ambient temperature ($^\circ\text{C}$) at the t^{th} time period; T_{ref} is the reference temperature of PV cell ($^\circ\text{C}$), typically 25°C . The value of K_{PV} depends on the PVG design. It is taken as $-0.0037/^\circ\text{C}$ in this paper.

Probabilistic wind power generation model

The wind speed at the t^{th} period (v_t) has a Weibull PDF as [1, 27]:

$$f(v_t) = \frac{k}{c} \left(\frac{v_t}{c} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{v_t}{c} \right)^k \right] \quad (5)$$

where, c and k are parameters of Weibull PDF and are defined as [1]:

$$c = \frac{\mu_v}{\Gamma(1+1/k)} \quad (6)$$

$$k = (\sigma_v / \mu_v)^{-1.086} \quad (7)$$

where, μ_v and σ_v are mean and standard deviation of the wind speed at the t^{th} period, respectively.

The relationship between output power of WTG and the wind speed (v_t) for the c^{th} scenario at the t^{th} period ($P_{WT,t}^c$) is expressed as [14]:

$$P_{WT,t}^c = \begin{cases} P_{WT,r} (v_t^c - v_{\min}) / (v_r - v_{\min}) & v_{\min} \leq v_t^c < v_r \\ P_{WT,r} & v_r \leq v_t^c \leq v_{\max} \\ 0 & \text{others} \end{cases} \quad (8)$$

where, $P_{WT,r}$ is the rated power of WTG; v_{min} , v_{max} , and v_r are the cut-in wind speed, cut-off wind speed, and rated wind speed, respectively.

Probabilistic Load Model

In this paper, the load power is represented as a normally distributed random variable. Its PDF is expressed as [27]:

$$f(S_{L,t}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{L,t}^2}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{S_{L,t}-\mu_{L,t}}{\sigma_{L,t}}\right)^2\right] \quad (9)$$

$$S_{L,t} = P_{L,t} + jQ_{L,t} \quad (10)$$

where $\mu_{L,t}$ and $\sigma_{L,t}$ are the complex values of the mean and standard deviation of the load apparent power at the t^{th} time period.

POWER FLOW ANALYSIS

It must be observed that in the isolated mode of MG operation, slack bus is no longer available; thereby, one or more of controllable DGs must operate in the V/F droop control mode in order to ensure the stability of MG frequency and keep the MG frequency within the stable boundary by tracking the power swing and compensating for active and reactive (P&Q) losses, and the other controllable DGs operate in the PQ control mode.

- *Modelling of DG units*

In this paper, ESS units are modelled as dispatchable sources that operate in the PQ control mode. Droop-controlled DGs share P&Q in isolated MGs by the droop characteristics, the following equations represent the modelling of DG based on droop control at time t as follows:

$$f_t = f_{\text{ref}} - m_p (P_{DG,t} - P_{DG,o}) \quad (11)$$

$$|V_{i,t}| = |V_{i,\text{ref}}| - n_q (Q_{DG,t} - Q_{DG,o}) \quad (12)$$

Where, f_t and f_{ref} are the per unit frequency at time t and reference frequency of DG unit, respectively. $P_{DG,o}$ and m_p , are the set-point of active power and the frequency droop coefficient of the DG, respectively. $V_{i,t}$ and $V_{i,\text{ref}}$ are the per unit bus voltage of DG unit i at time t and reference voltage of DG unit i , respectively. $Q_{DG,o}$ and n_q , are the set point of reactive power and the voltage droop coefficient of the DG, respectively. $P_{DG,o}$ and $Q_{DG,o}$ are usually inputted as zero [29].

Equations (11)-(12) simulate the operation manner of a synchronous generator. The power flow equations for a DG unit working in droop control can be presented from (11)-(12) as follows:

$$P_{DG,t} = \frac{1}{m_p} (f_o - f_t) \quad (13)$$

$$Q_{DG,t} = \frac{1}{n_q} (|V_{io}| - |V_{i,t}|) \quad (14)$$

It is clear that P&Q sharing of DG unit relies on the MG frequency and DG terminal voltage, which are some of the state variables in the power flow algorithm.

- *Modelling of load*

A general voltage-dependent and frequency-dependent load model is represented in the paper, as reported in [15, 29, 30]. The power flow equations of the load depend on the local voltage and MG frequency as follows:

$$P_{L,t}^i = P_{L,o}^i \left(\frac{|V_{i,t}|}{|V_{i,o}|} \right)^{K_{pv}} (1 + K_{pf} (f_t - f_o)) \quad (15)$$

$$Q_{L,t}^i = Q_{L,o}^i \left(\frac{|V_{i,t}|}{|V_{i,o}|} \right)^{K_{qv}} (1 + K_{qf} (f_t - f_o)) \quad (16)$$

$P_{L,o}$, K_{pv} , and K_{pf} are the per unit nominal power, power exponent, and frequency sensitivity value of the active load at bus i and at time t respectively. $Q_{L,o}$, K_{qv} , and K_{qf} are the per unit nominal power, power exponent, and frequency sensitivity value of the reactive load at bus k and at time t respectively.

Several load types can be formulated using the different coefficients of power exponents and frequency dependency values. When both exponents of P&Q equal two, one, and zero, the load power act as constant impedance, constant current and constant power, respectively. For typical exponent coefficients and frequency sensitivity values that reported in ref. [31], voltage-dependent and frequency-dependent commercial, industrial, and residential load models can be presented.

- *Modelling of line*

As the MG frequency is no longer constant value and reactance's of MG lines depend on the MG frequency, it must be considered when calculating the line impedance or admittance. Hence, the bus admittance matrix will be a function of the MG frequency.

$$Z_{ij,t}(f_t) = R_{ij} + jX_{ij}(f_t) \quad (17)$$

Where R_{ij} , $X_{ij,t}$, and $Z_{ij,t}$ are the per unit resistance, reactance, and impedance of line $l-k$ at time t , respectively.

In this study, the power flow analysis algorithm presented in [15] is adopted as the power flow solver. The algorithm is based on a modified Newton Raphson method (MNRM). In this algorithm, the initial values of load bus voltages as well as the frequency of 1 pu are assumed. The voltage magnitude of bus 1 ($|V_1|$) is unknown variable in MNRM (as there is no slack bus). The unknown variables vector (U_m) at any iteration m is represented by (18). Therefore, at iteration m in the power flow algorithm, the mismatch matrix of injected powers (Δ_m) at buses of all unknown variables in (18) can be formed by (19).

$$U_m = [\delta_i^m; |V_i|^m; |V_1|_m], \quad i = 2, 3, \dots, N_{bus} \quad (18)$$

$$\Delta_m = [dP_i^m; dQ_i^m; dQ_{sb}^m], \quad i = 2, 3, \dots, N_{bus} \quad (19)$$

Where, δ and $|V|$ are the angles and magnitudes vectors of voltages for all buses except the slack bus (assuming that bus number 1 is the slack bus) at iteration m , respectively. dP_i and dQ_i are the mismatch injected P&Q at all buses except bus 1, they are determined by comparing the planned values of injected powers at all buses except bus 1 with the calculated values of injected powers at all buses except bus 1, their equations are formulated as reported in the conventional Newton-Raphson method in [32]. dQ_{sb} is the total mismatch injected reactive power at all buses in MG, it is determined by difference between the summation of the total reactive powers of all loads (using (16)) and the total reactive power loss, and the total reactive powers generated by all sources in MG, as shown in (20). The calculation of $Q_{DG,t,m}$ in (20) for

the droop-controlled DGs is determined using (14). The calculation of $Q_{Loss,t}$ in (20) is presented in [32].

$$dQ_{sb}^m = \left(\sum_{i=1}^{N_{bus}} Q_{L,t,m}^i + Q_{Loss,t}^m \right) - \left(Q_{DG,t,m}^{Dt} + \sum_{a=1}^{N_a} Q_{DG,t,m}^a \right) \quad (20)$$

$$Q_{DG,t,m}^{Dt} = \sum_{d=1}^{N_d} \frac{1}{n_{q,d}} (|V_{io,m}^d| - |V_{i,t,m}^d|) \quad (21)$$

Where, d , N_d , a , and N_a are the droop-controlled DG index, the total number of droop-controlled DGs, an index for other DGs which operate in other control mode such as PQ control or maximum power point tracking (MPPT) control, and the total number of other DGs or non-droop-controlled DGs, respectively.

Likewise, the total mismatch injected active power at all buses in MG at iteration m can be determined as next:

$$dP_{sb}^m = \left(\sum_{i=1}^{N_{bus}} P_{L,t,m}^i + P_{Loss,t}^m \right) - \left(P_{DG,t,m}^{Dt} + \sum_{a=1}^{N_a} P_{DG,t,m}^a \right) \quad (22)$$

$$P_{DG,t,m}^{Dt} = \sum_{d=1}^{N_d} \frac{1}{m_{p,d}} (f_o^d - f_{t,m}) \quad (23)$$

$$f_{t,m} = \frac{\sum_{d=1}^{N_d} \frac{1}{m_{p,d}} f_o^d - P_{DG,t,m}^{Dt}}{m_{pt}} \quad (24)$$

$$m_{pt} = \sum_{d=1}^{N_d} \frac{1}{m_{p,d}} \quad (25)$$

Using equations (11), (22), and (24), the MG frequency at iteration m and time t can be determined by the next proposed equation:

$$f_t^m = f_t^{m-1} + df_t^m = f_t^{m-1} + \frac{\partial f}{\partial P} dP_{sb}^m \quad (26)$$

By substituting from (22) and (24) in (26),

$$f_t^m = f_t^{m-1} - \frac{1}{m_{pt}} dP_{sb}^m \quad (27)$$

The Jacobian matrix (J_m) obtained by differentiating the injected P&Q equations in ref. [32] with respect to δ , $|V|$ and $|V_I|$. So, the Jacobian matrix at iteration m can be presented as next

$$J_m = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} & J_{13} \\ J_{21} & J_{22} & J_{23} \\ J_{31} & J_{32} & J_{33} \end{bmatrix} \quad (28)$$

The Jacobian submatrices J_{11} , J_{12} , J_{21} , and J_{22} are the same as the Jacobian of the conventional Newton-Raphson method, as reported in [32]. J_{13} , J_{31} , J_{23} , J_{32} , and J_{33} are the associated Jacobian submatrices with voltage magnitude of bus 1 and can be determined as in [15].

After formulating the mismatch matrix of injected powers (Δ_m) and the Jacobian matrix (J_m) at iteration m , the unknown variables in (18) at iteration m can be calculated as follows:

$$U_m = U_{m-1} + J_m^{-1} \Delta_m \quad (29)$$

$$Dx = \max(|f_m - f_{m-1}|; |U_m - U_{m-1}|) \quad (30)$$

If $Dx < \text{maximum error}$, then the criteria for stopping the power flow algorithm will be met.

ENERGY MANAGEMENT SYSTEM

Energy supply in the microgrid comes from WT and PV generators as renewable DGs. Meanwhile, there are two microturbine units and a fuel cell unit as dispatched DGs. Also, an ESS is integrated. The microgrid supplies residential, commercial, and industrial loads with different electrical models. An OMS is presented for next-day complex power planning in a hybrid-energy islanded MG. The OMS is formulated as a stochastic mixed integer constrained nonlinear optimization problem. It aims to minimize the total operation cost, the amount of unmet load, and the curtailed renewable energy maintaining all technical constraints. Meanwhile, the OMS takes the random variation of solar power, wind power and load into account by scenario-based probabilistic modeling. The OMS determines the hourly active and reactive shares of dispatchable DGs. Furthermore, it decides the power and operation mode of the ESS, and the optimal demand response structure.

Formulation of optimization problem and constraints

P&Q are considered in the objective function of the islanded MG energy management problem. The objective function is to minimize the total day-ahead operation cost of an islanded MG (TC_{MG}). It is obtained as:

$$\min TC_{MG} = \sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^{N_c} \rho_t^c (C_{OM,t}^c + C_{PL,t}^c) \quad (31)$$

in which ρ_t^c is the probability of the c^{th} scenario, T and N_c are the total number of time periods in the day and the total number of picked scenarios, respectively. $C_{OM,t}$ is the total operation and maintenance cost of DGs for scenario c and time period t . It can be expressed by (32). $C_{PL,t}$ is the cost of P&Q losses, it is presented in (33).

$$C_{OM,t} = \sum_{h=1}^H \sum_{g=1}^{G_h} x_{DG,t}^{g,h} (C_{DG,t}^{g,h} + \lambda_{M,DG}^{g,h} P_{DG,max}^{g,h}) + \sum_{e=1}^E y_{BESS,t}^e (C_{BESS,t}^e + \lambda_{M,BESS}^{g,h} S_{BESS,max}^e) \quad (32)$$

$$C_{PL,t} = \lambda_{PL,t}^P P_{Loss,t} + \lambda_{PL,t}^Q Q_{Loss,t} \quad (33)$$

where, $x_{DG,t}^{g,h}$ is the binary state of the g^{th} DG of the h^{th} DG category ($x = 1$ for on and 0 for off). $C_{DG,t}^{g,h}$ is the operating cost of the g^{th} DG of the h^{th} DG category. $P_{DG,max}^{g,h}$ is the rated maximum power of the g^{th} DG of the h^{th} DG category. $\lambda_{M,DG}^{g,h}$ is the maintenance cost of the g^{th} DG of the h^{th} DG category. H and G_h are the number of DG categories in the MG and the number of DGs of the h^{th} category, respectively. $y_{BESS,t}^e$ is the binary state of the e^{th} ESS (i.e. $y = 1$ or 0). $C_{BESS,t}^e$ is the operating cost of the e^{th} ESS. $S_{BESS,max}^e$ is the rated maximum power of the e^{th} ESS. $\lambda_{M,BESS}^{g,h}$ is the maintenance cost of the e^{th} ESS. E is the number of installed ESSs. $\lambda_{PL,t}^P$ and $\lambda_{PL,t}^Q$ are costs of P&Q losses. $P_{Loss,t}$ and $Q_{Loss,t}$ are the total P&Q losses in MG at time t .

$C_{DG,t}^{g,h}$ of a dispatchable DG is provided as [13, 14]:

$$C_{DG,t} = \lambda_{DG,t}^P P_{DG,t} + \lambda_{DG,t}^Q Q_{DG,t} \quad (27)$$

$C_{BESS,t}^e$ is given as [13, 14]:

$$C_{BESS,t} = \begin{cases} \lambda_{BESS,t}^{ch}(P_{BESS,t} - \eta_{ch}P_{BESS,t}) & \text{if } P_{BESS,t} > 0 \\ \lambda_{BESS,t}^{dis}(P_{BESS,t} - P_{BESS,t}/\eta_{dis}) & \text{if } P_{BESS,t} < 0 \end{cases} \quad (28)$$

where, $P_{DG,t}$ and $Q_{DG,t}$ are the output P&Q of dispatched DG at the t^{th} time. $\lambda_{DG,t}^P$ and $\lambda_{DG,t}^Q$ are the P&Q production costs of dispatched DG. $\lambda_{BESS,t}^{ch}$, $\lambda_{BESS,t}^{dis}$, and $P_{BESS,t}$ are the energy price during ESS charging, the energy price during ESS discharging, and the ESS charging/discharging power, respectively. Energy time-of-use price (TOUP) governs the charging/discharging decision of the ESS. η_{ch} and η_{dis} are the charging/discharging efficiencies of the ESS, respectively.

To guarantee the stable operation of the IMG, a set of constraints must be imposed and satisfied as [13, 14]:

- a) Power constraints of DG units
- b) ESS restrictions
- c) Supply-demand restrictions
- d) Bus voltage, IMG frequency, line current restrictions

Proposed solution strategy of the energy management problem

The day-ahead OMS for an islanded MG is modeled as a probabilistic optimization problem subject to various constraints. In this strategy, the ESS is programmed to charge using excess energy from renewable DGs during low and medium TOUP periods, and to discharge during high TOUP periods. For each scheduled time slot—typically one hour—the OMS optimally determines the active and reactive power outputs of controllable DGs, sets the ESS's charge/discharge mode and power level, tunes the frequency and voltage droop coefficients (i.e., m_p and n_q) for droop-controlled DG units, and adjusts their reference voltage. The proposed solution approach is built upon the Particle Swarm Optimization (PSO) technique and is outlined through the following sequential steps:

1. For each time interval t on the following day, a large number of random scenarios for wind speed, solar irradiance, and load demand are generated, as described in Section II. Subsequently, a scenario reduction technique is applied, as proposed in [32]. The number of PSO iterations and population size are specified. The algorithm proceeds by initializing the state variables, including the active and reactive power outputs of controllable DG units, the frequency and voltage droop coefficients for droop-controlled DGs, their reference frequency and voltage, and the stored energy of the ESS.
2. For each uncertainty scenario, perform power flow analysis using the method outlined in Section III. Next, evaluate the objective function defined in equation (31) for each particle.
3. If all MG constraints are satisfied with all uncertainty scenarios, proceed to the subsequent step. Otherwise, the solution is considered infeasible and is penalized by assigning a large penalty value to the objective function.
4. For each feasible particle, compare its current position with its personal best solution (P_{best}), which represents the best fitness value achieved by this particle to date. If the current position yields a better fitness value than the existing P_{best} , update P_{best} with the current position and corresponding state variable values.

5. Identify the particle with the highest fitness among all feasible particles. Assign its P_{best} as the global best solution (G_{best}).

6. Update the velocity and position of each particle according to the equations presented in [34, 35]. Then, perform power flow analysis using the method outlined in Section III. Next, evaluate the objective function defined in equation (31) for each particle across all uncertainty scenarios.

7. Check if any stopping criteria—such as the maximum number of iterations or the maximum allowable computational time—has been met. If so, proceed to Step 8; otherwise, return to Step 6.

8. Record the optimal value of the objective function and the corresponding best state variable values for the current hour t of the next day. Then, return to Step 1 to repeat the process for the next hourly interval.

SIMULATION STUDIES AND RESULTS

An isolated MG is modeled using a modified 33-bus medium-voltage system, as illustrated in Fig. 1.

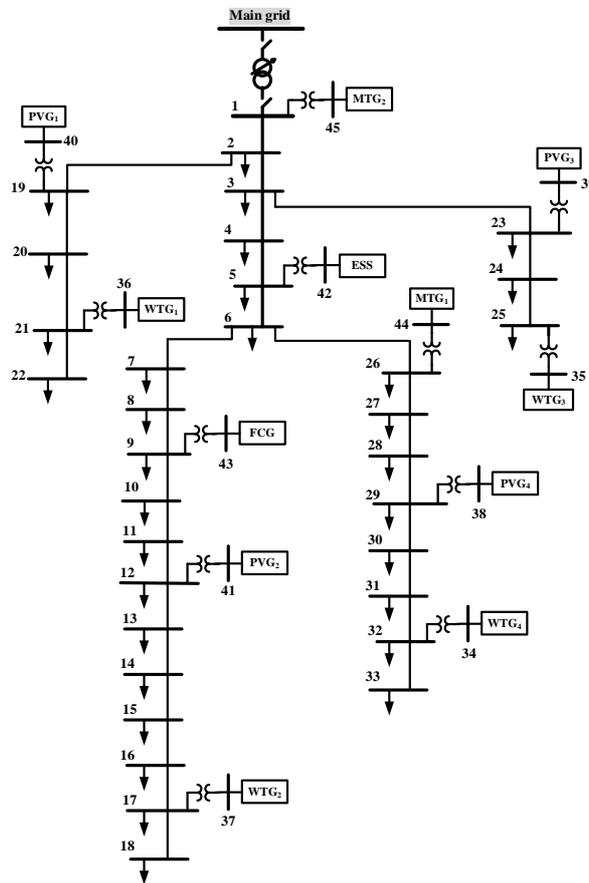


Fig. 1. Isolated MG diagram

The system is supplied by a mix of DG sources, including both dispatchable and non-dispatchable units: four WT generators (WTGs), four PV generators (PVGs), two MTGs, one ESS, and one FCG. The placement and capacities of these generation units are adopted from [14], [15]. All PVGs and WTGs operate under MPPT mode with a unity power factor. The ESS, FCG, and MTG_1 function in PQ control mode, while MTG_2 operates using droop control. Table I summarizes the location, rated power, and control mode of each DG unit considered in this study. It also includes operational

limits, P–f and Q–V droop gains, and the reference voltage setting for the droop-controlled DG. Technical specifications and annual maintenance costs of the FCG, MTGs, ESS, WTGs, and PVGs are provided in [14], [15].

The mean and standard deviation values for demand load, wind speed, and solar irradiance during a typical spring day are derived from recorded data presented in [36]. To capture the associated uncertainties, 3000 random scenarios are generated each hour using the MCS method. These scenarios are then reduced to 15 representative cases through a backward scenario reduction technique [33]. The PDFs of load demand, wind speed, and solar radiation at the 14th hour are illustrated in Fig. 2. The selected wind speed and solar radiation scenarios are translated into power outputs for WTGs and PVGs using equations (4) and (8), respectively. Figure 3 displays the average hourly values of the total active and reactive power demand of the MG load, along with the total power generated by the installed WTGs and PVGs.

Table I. locations, power capacities, and control types for DGs

Unit	Bus	Control type	P_{\max} (p.u)	Q_{\max} (p.u)
WTG ₁	36	MPPT	1.25	0
WTG ₂	37	MPPT	0.55	0
WTG ₃	35	MPPT	0.65	0
WTG ₄	34	MPPT	0.55	0
PVG ₁	40	MPPT	0.45	0
PVG ₂	41	MPPT	0.35	0
PVG ₃	39	MPPT	0.35	0
PVG ₄	34	MPPT	0.40	0
ESS	42	PQ	± 1.50	0
FCG	43	PQ	1.00	0.75
MTG ₁	44	PQ	0.75	0.52
MTG ₂	45	Droop	1.50	1
MTG ₂ data	m_p (p.u.)	n_q (p.u.)	$ V_{\text{ref}} $ (p.u.)	f_{ref} (p.u.)
	1.559×10^{-3}	0.0342	1.01	1

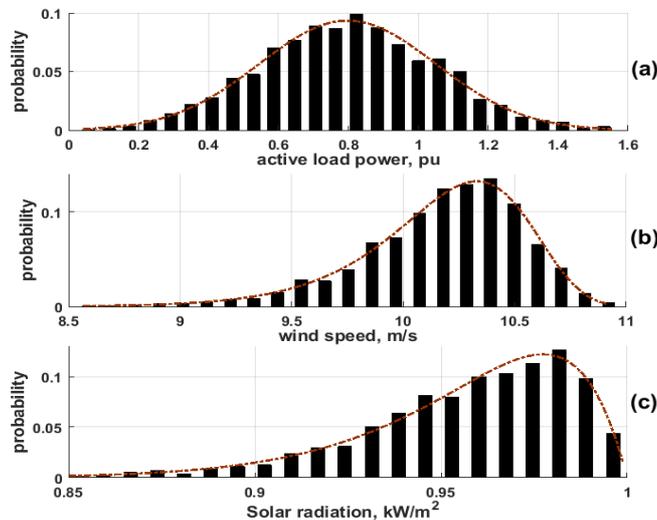


Fig.2. PDFs at the 14th hour for: (a) MG load, (b) WT speed, and (c) PV solar radiation

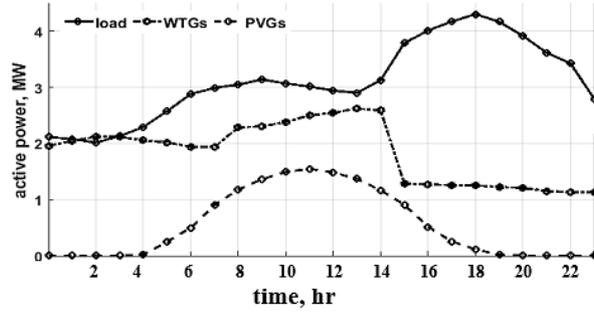


Fig.3. Mean forecasted active power of MG load, all WT units, and all PV units.

A. Simulation results

The nonlinear constrained optimization problem outlined in Section IV.A is addressed using the PSO-based solution algorithm detailed in Section IV.B. The resulting average active and reactive power setpoints for all controllable DG units within the MG are presented in Fig. 4. It should be noted that the ESS charges using surplus power generated from the renewable energy sources. Charging is initiated during two main periods: from approximately 01:00 to 06:00, coinciding with off-peak hours or low TOU pricing, and again from 09:00 to around 15:00, corresponding to mid-peak load conditions or medium TOU pricing, as illustrated in Fig. 4(a). The total mean daily operational cost of the MG is calculated to be \$890. Figure 5 presents the optimal mean settings, obtained using the proposed solution method, for the droop gains and reference voltage of the droop-controlled DG (i.e., MT₂).

To evaluate the performance of the proposed solution algorithm and assess the impact of tuning droop gains and reference voltage for the droop-controlled DG, a comparison is made against the method presented in [14], which does not consider such tuning. The comparative results are presented in Table II. It is evident that tuning the droop gains and reference voltage of the droop-controlled DG results in a significant reduction in both the total operating cost and power losses of the islanded MG.

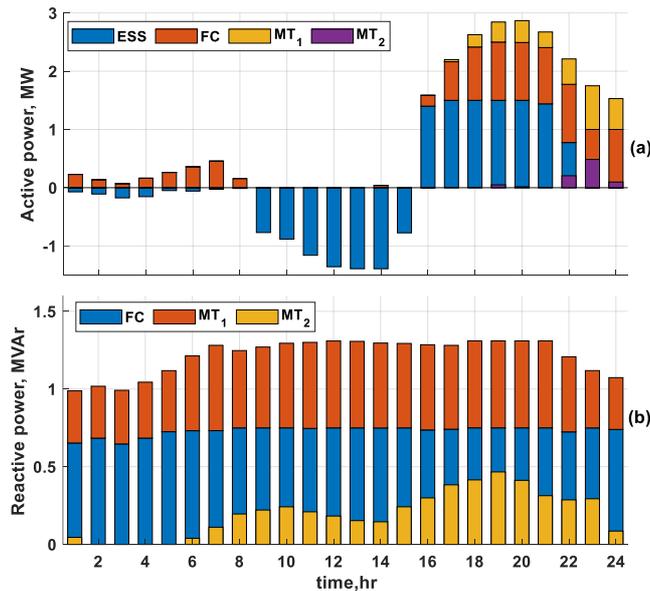


Fig.4. Mean active and reactive power setpoints of ESS, FC unit, MT1 unit, and MT2 unit using the proposed method: (a) active power, (b) reactive power

Regarding the technical constraints, the proposed solution ensures that the hourly voltage levels at all buses within the microgrid remain within the allowable limits, ranging from 0.95 to 1.05 p.u., across all selected scenarios, as shown in Table II. Additionally, the solution algorithm maintains all line currents below their respective maximum allowable limits.

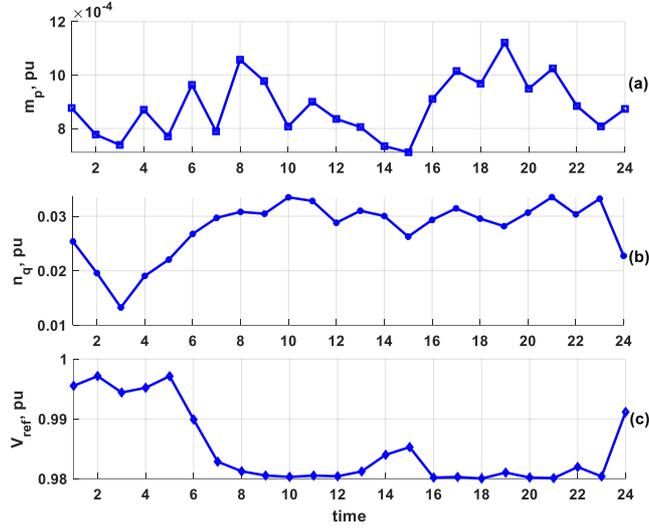


Fig.5. Mean settings of the droop gains and reference voltage for the droop-controlled DG (MT₂): (a) frequency droop coefficient (m_p), (b) voltage droop coefficient (n_q), and (c) reference voltage of MT₂

Table II. Daily performance comparison of the proposed solution method with existing literature

Item	Proposed method	Method in [14]
Mean daily MG cost, \$	890	966
Mean daily power loss, kW	30.1	38.6
Highest mean bus voltage, pu	1	1.01
Lowest mean bus voltage, pu	0.952	0.95
Droop gains for droop-controlled DG	Tuned	Constant
V_{ref} setting of droop-controlled DG	Tuned	Constant

CONCLUSION

In this paper, a day-ahead energy management system is proposed to minimize the total operating cost of an islanded microgrid (MG), while accounting for droop control settings and uncertainties in renewable energy generation and load demand. The MG consists of hybrid energy sources, including PVGs, WTGs, MTGs, a FCG, and an ESS. The proposed optimization framework determines the optimal active and reactive power setpoints for the controllable DGs, along with the charge/discharge schedule of the ESS, while ensuring all MG operational constraints are satisfied. Additionally, the active and reactive power droop coefficients and the reference voltage settings of droop-controlled DGs are incorporated as tunable control variables. Uncertainties associated with renewable generation and load profiles are modeled using MCS, and a

scenario reduction technique is applied to select the most representative scenarios. The effectiveness of the proposed approach is validated using a modified 33-bus islanded MG test system. The results confirm the efficiency and effectiveness of the proposed optimization framework, and a comparative analysis with existing literature further highlights its advantages.

REFERENCES

- [1] A. Abdel Menaem and V. Oboskalov, "Integration of renewable energy sources into microgrid considering operational and planning uncertainties," *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 982, pp. 225-241, 2020.
- [2] Elgamal, M., Korovkin, N., Elmitwally, A., Menaem, A.A. and Chen, Z., 2020. A framework for profit maximization in a grid-connected microgrid with hybrid resources using a novel rule base-bat algorithm. *IEEE Access*, 8, pp.71460-71474.
- [3] Elgamal, M., Elmitwally, A. and Guerrero, J.M., 2022. An adaptive multiagent control system for autonomous economic operation and resilience assurance in a hybrid-energy islanded microgrid. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 140, p.108070.
- [4] Abulkheir, B., Gouda, E., Hegazi, A.A. and Menaem, A.A., 2023, December. Optimal capacity configuration of PV water pumping system for off-grid rural communities. In *2023 24th International Middle East Power System Conference (MEPCON)* (pp. 1-6). IEEE.
- [5] Karimi Hamid, Jadid Shahram. Optimal microgrid operation scheduling by a novel hybrid multi-objective and multi-attribute decision-making framework. *Energy* 2019;186:115912.
- [6] Peker Meltem, Kocaman Ayse Selin, Kara Bahar Yetis. A two-stage stochastic programming approach for reliability constrained power system expansion planning. *Int J Electr Power Energy Syst* 2018;103:458 e 69.
- [7] Ebrahimi Mohammad Reza, Amjady Nima. Adaptive robust optimization framework for day-ahead microgrid scheduling. *Int J Electr Power Energy Syst* 2019;107:213 e 23.
- [8] M. Marzband, N. Parhizi, M. Savaghebi, J.M. Guerrero, Distributed smart decision-making for a multimicrogrid system based on a hierarchical interactive architecture, *IEEE Trans. Energy Convers.* 31 (2) (2015) 637–648.
- [9] Marzband M, Azarnejadian F, Savaghebi M, Guerrero JM. An optimal energy management system for islanded microgrids based on multiperiod artificial bee colony combined with Markov chain. *IEEE Syst J* Sept. 2017;11(3): 1712 e 22.
- [10] M. Marzband, E. Yousefnejad, A. Sumper, J.L. Domínguez-García, Real time experimental implementation of optimum energy management system in standalone microgrid by using multi-layer ant colony optimization, *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 75 (2016) 265–274.
- [11] A. Maulik, D. Das, Optimal operation of droop-controlled islanded microgrids, *IEEE Trans. Sustain. Energy* 9 (3) (2017) 1337–1348.
- [12] P. Li, D. Xu, Z. Zhou, W.J. Lee, B. Zhao, Stochastic optimal operation of microgrid based on chaotic binary particle swarm optimization, *IEEE Trans Smart Grid* 7 (1) (Jan. 2016) 66–73, <https://doi.org/10.1109/TSG.2015.2431072>.

- [13] Chen F, et al. Cost-based droop schemes for economic dispatch in islanded microgrids. *IEEE Trans Smart Grid* Jan. 2017;8(1):63 e 74.
- [14] Elgamal, M., Korovkin, N., Menaem, A.A. and Elmitwally, A., Day-ahead complex power scheduling in a reconfigurable hybrid-energy islanded microgrid with responsive demand considering uncertainty and different load models. *Applied Energy*, 309, p.118416, 2022.
- [15] Elgamal, M., Korovkin, N., Menaem, A.A. and Elmitwally, A., 2022. An algorithm for power flow analysis in isolated hybrid energy microgrid considering DG droop model and virtual impedance control loop. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 32, p.100875.
- [16] J.A. Pecas Lopes, C.L. Moreira, A.G. Madureira, Defining control strategies for analysing microgrids islanded operation, in: 2005 IEEE Russia Power Tech, 2005, pp. 1–7, <http://dx.doi.org/10.1109/PTC.2005.4524548>.
- [17] J.A.P. Lopes, C.L. Moreira, A.G. Madureira, Defining control strategies for microgrids islanded operation, *IEEE Trans. Power Syst.* 21 (2) (2006) 916–924.
- [18] Moradi MH, Abedini Mohammad, Hosseinian S Mahdi. Optimal operation of autonomous microgrid using HS-GA. *Int J Electr Power Energy Syst* 2016;77: 210 e 20.
- [19] Abdelaziz MMA, Farag HE, El-Saadany EF. Optimum droop parameter settings of islanded microgrids with renewable energy resources. *IEEE Trans Sustain Energy* Apr. 2014;5(2):434 e 45.
- [20] M. Vahedipour-Dahraie, H. Rashidizadeh-Kermani, A. Anvari-Moghaddam, J.M. Guerrero, Stochastic risk-constrained scheduling of renewable-powered autonomous microgrids with demand response actions: Reliability and economic implications, *IEEE Trans. Ind. Appl.* 56 (2) (2020) 1882–1895, <http://dx.doi.org/10.1109/TIA.2019.2959549>.
- [21] Harsh, P. and Das, D., 2024. A multi-objective energy scheduling of the reconfigurable off-grid microgrid with electric vehicles using demand response program. *Computers and Electrical Engineering*, 117, p.109275.
- [22] Maulik Avirup, Das Debapriya. Optimal operation of droop-controlled islanded microgrids. *IEEE Trans Sustain Energy* 2018;9(3):1337 e 48.
- [23] Jithendranath J, Das Debapriya. Scenario-based multi-objective optimization with loadability in islanded microgrids considering load and renewable generation uncertainties. *IET Renew Power Gener* 2019;13(5):785 e 800.
- [24] N. Rezaei, M. Kalantar, Economic–environmental hierarchical frequency management of a droop-controlled islanded microgrid, *Energy Convers. Manage.* 88 (2014) 498–515.
- [25] F. Cingoz, A. Elrayyah, Y. Sozer, Plug-and-play nonlinear droop construction scheme to optimize islanded microgrid operations, *IEEE Trans. Power Electron.* 32 (4) (2016) 2743–2756.
- [26] A. Elrayyah, F. Cingoz, Y. Sozer, Construction of nonlinear droop relations to optimize islanded microgrid operation, *IEEE Trans. Ind. Appl.* 51 (4) (2015) 3404–3413.

- [27] A. Adel Menaem, V. Oboskalov, M. Hamouda, M. Elgamal, "Reliability Assessment of Generation Capacity in Modern Power Systems via Analytical Methodologies", *Sustainable Energy, Grids and Networks*, vol. 40, pp. 101509, 2024
- [28] A. Refaat, A. A. Shehata, M. Elgamal and N. V. Korovkin, "Current Collector Optimizer Topology with Reconfiguration Algorithm to Harvest Optimal Power from Nonuniform Aged PV Arrays," *2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)*, Vladivostok, Russia, 2020, pp. 1-7.
- [29] M. M. A. Abdelaziz, H. E. Farag, E. F. El-Saadany, and Y. A. R. I. Mohamed, "A novel and generalized three-phase power flow algorithm for islanded microgrids using a newton trust region method," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 28, no. 1, pp. 190–201, 2013.
- [30] A. Elmitwally, M. Elsaid, M. Elgamal, "Multi-agent-based voltage stabilization scheme considering load model effect", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 55, pp. 225-237, 2014.
- [31] W. W. Price et al., "Bibliography on load models for power flow and dynamic performance simulation," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 10, no. 1, pp. 523–538, 1995.
- [32] J. J. Grainger and W. D. Stevenson, *Power System Analysis*. McGraw-Hill, 1994.
- [33] N. Gröwe-Kuska, H. Heitsch, and W. Römisch, "Scenario reduction and scenario tree construction for power management problems," in *2003 IEEE Bologna PowerTech - Conference Proceedings*, 2003, pp. 152–158.
- [34] R. C. Eberhart and Y. Shi, "Particle Swarm Optimization: Developments , Applications and Resources," *Proc. 2001 Congr. Evol. Comput.* (IEEE Cat. No.01TH8546), pp. 1–6, 2001
- [35] M. Elgamal, N. V. Korovkin, A. Refaat and A. Elmitwally, "An Optimal Day-Ahead Operation Strategy for Hybrid Energy Microgrid," *2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)*, Saint Petersburg and Moscow, Russia, 2019, pp. 489-494, doi: 10.1109/EIConRus.2019.8657280.
- [36] NASA POWER, "POWER Data Access Viewer - Prediction of Worldwide Energy Resources," Applied Sciences Program, 2020. [Online]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ПРИГРАНИЧНЫХ РЕГИОНОВ КАЗАХСТАНА И ИМПЛЕМЕНТАЦИЯ ЦУР В КОНТЕКСТЕ РЫНКА ТРУДА

магистр экономики Абжатова А.К.
Рудненский индустриальный университет
г.Рудный, Республика Казахстан

Аннотация. Статья посвящена вопросам устойчивого развития приграничных регионов Казахстана в контексте имплементации Целей устойчивого развития (ЦУР), с особым акцентом на рынок труда. Рассматриваются теоретические основы устойчивого развития, региональные диспропорции, влияние ЦУР на формирование политики занятости. Проведен аналитический обзор приграничных областей, включая Костанайскую, с использованием реальных статистических данных 2019 - 2025 гг. Сделаны выводы и даны рекомендации для органов государственной власти и образовательных учреждений.

Ключевые слова: устойчивое развитие, приграничные регионы, ЦУР, рынок труда, Костанайская область.

Abstract. The article explores the sustainable development of Kazakhstan's border regions in the context of implementing the Sustainable Development Goals (SDGs), with a focus on the labor market. Theoretical foundations of sustainable development, regional disparities, and the impact of SDGs on employment policy are analyzed. An analytical review of border regions, including Kostanay, is conducted using real statistical data from 2019 - 2025. Conclusions and recommendations for public authorities and educational institutions are provided.

Keywords: sustainable development, border regions, SDGs, labor market, Kostanay region.

Введение. Приграничные регионы Казахстана обладают стратегическим значением для экономики страны, обеспечения национальной безопасности и формирования внешнеэкономических связей. Эти территории характеризуются разнообразной экономической структурой, различным уровнем урбанизации и неоднородной социальной инфраструктурой [1]. В современных условиях особое внимание уделяется устойчивому развитию, включающему экономические, социальные и экологические аспекты, а также имплементацию Целей устойчивого развития (ЦУР) на региональном уровне [2].

ЦУР ООН, принятые в 2015 году, становятся ключевым ориентиром для государственных и муниципальных органов, особенно в области занятости, выравнивания доходов и развития инфраструктуры. В контексте рынка труда важными являются ЦУР 8 («Достойная работа и экономический рост»), 10 («Сокращение неравенства») и 11 («Устойчивые города и населенные пункты») [2, 3].

Методология. Методологическую основу исследования составляют положения теории устойчивого развития, концепции достойного труда МОТ, теории регионального развития и пространственной экономики, а также институциональный подход к анализу рынка труда [3]. В работе устойчивое развитие приграничных регионов Казахстана рассматривается через призму имплементации Целей устойчивого развития (ЦУР), прежде всего ЦУР 8 «Достойная работа и экономический рост», ЦУР 10 «Сокращение неравенства» и 11 («Устойчивые города и населенные пункты»).

Эмпирическую базу исследования составили:

- официальные статистические данные Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам РК;
- данные Министерства труда и социальной защиты населения РК;
- материалы международных организаций (ООН, ПРООН, МОТ, Всемирный банк), касающиеся мониторинга достижения ЦУР и состояния рынков труда;
- нормативно-правовые акты Республики Казахстан в сфере занятости, регионального развития и устойчивого развития;
- аналитические отчёты и стратегические документы по развитию приграничных территорий;
- результаты научных исследований отечественных и зарубежных авторов.

В качестве объекта анализа выбраны приграничные регионы Республики Казахстан, характеризующиеся различной социально-экономической специализацией, демографической динамикой и уровнем вовлечённости в трансграничные экономические процессы.

В процессе исследования использовалась совокупность общенаучных, экономических и специальных методов анализа: анализ и синтез; сравнительный анализ; статистические методы; контент-анализ.

1. Теоретико-методологические основы устойчивого развития приграничных регионов.

Устойчивое развитие представляет собой комплексную концепцию, направленную на гармонизацию экономического роста, социальной справедливости и охраны окружающей среды. В контексте приграничных регионов оно приобретает особое значение, поскольку эти территории обладают стратегической важностью для экономики страны, внешнеэкономических связей и региональной безопасности.

Теоретическая база устойчивого развития базируется на ряде ключевых принципов:

- интеграция экономических, социальных и экологических аспектов;
- сбалансированное распределение ресурсов и доходов между регионами;
- учёт специфики приграничных территорий в государственной и региональной политике;
- долгосрочная ориентация на качество жизни населения и сохранение экосистем.

Важнейшим элементом концепции является имплементация Целей устойчивого развития (ЦУР), принятых Организацией Объединенных наций. Особое внимание в рамках анализа приграничных регионов Казахстана уделяется следующим:

- ЦУР 8 – достойная работа и экономический рост, поскольку занятость напрямую влияет на социальную стабильность и демографическую динамику;

- ЦУР 10 – сокращение неравенства, отражающему необходимость выравнивания уровня жизни между регионами;

- ЦУР 11 – устойчивые города и населенные пункты, что важно для планирования инфраструктуры и экономической активности в приграничных зонах.

2. Аналитическая часть: рынок труда и устойчивое развитие приграничных регионов Казахстана (2019 - 2025 гг.)

Приграничные регионы Казахстана демонстрируют разнонаправленные тенденции развития рынка труда, что связано с экономической спецификой территорий, уровнем урбанизации и промышленной структурой. Особое внимание уделено Костанайской области, где развито сельское хозяйство, средний промышленный сектор и МСП.

Таблица 1 - Общие показатели рынка труда

Год	Уровень занятости, %	Уровень безработицы, %	Доля молодежи NEET, %	Средняя зарплата, тыс. тенге
2019	65,3	4,9	6,5	280,1
2020	64,7	5,0	6,7	292,5
2021	65,0	4,8	6,6	310,3
2022	65,3	4,9	6,5	332,7
2023	64,9	4,7	6,5	356,4
2024	65,2	4,6	6,4	372,0
2025	64,4	4,6	6,2	381,1

Примечание - Составлено автором по данным stat.gov.kz [1]

Анализ динамики ключевых показателей рынка труда за 2019 - 2025 гг. позволяет выявить ряд устойчивых тенденций, характеризующих текущее состояние и направления его трансформации в контексте реализации целей устойчивого развития.

Во-первых, уровень занятости в рассматриваемый период демонстрирует относительную стабильность, колеблясь в пределах 64,4 - 65,3 %. Наиболее заметное снижение зафиксировано в 2020 году, что связано с последствиями пандемии COVID-19 и временным сокращением экономической активности. В последующие годы наблюдается восстановление показателя, однако в 2025 году его значение вновь незначительно снижается до 64,4 %, что может свидетельствовать о сохраняющихся структурных дисбалансах на рынке труда и ограниченной способности экономики создавать устойчивые рабочие места.

Во-вторых, уровень безработицы имеет тенденцию к постепенному снижению: с 4,9 % в 2019 году до 4,6 % в 2024 - 2025 гг. Это указывает на относительную стабилизацию ситуации на рынке труда и результативность мер государственной политики занятости. Вместе с тем низкий уровень безработицы не всегда отражает качественные характеристики занятости, поскольку может сопровождаться ростом нестандартных и низкопроизводительных форм труда.

В-третьих, доля молодежи категории NEET демонстрирует умеренное, но устойчивое сокращение - с 6,7 % в 2020 году до 6,2 % в 2025 году. Положительная динамика свидетельствует об определённом прогрессе в сфере молодежной занятости, расширении охвата программами образования, профессиональной подготовки и активной политики на рынке труда. Однако сохраняющийся уровень NEET указывает на наличие структурных барьеров при переходе молодежи от системы образования к рынку труда, особенно в региональном и приграничном разрезе.

В-четвёртых, среднемесячная номинальная заработная плата демонстрирует устойчивый рост на протяжении всего анализируемого периода - с 280,1 тыс. тенге в 2019 году до 381,1 тыс. тенге в 2025 году. Данная динамика обусловлена как инфляционными процессами, так и постепенным ростом доходов населения. Однако рост номинальной заработной платы не всегда сопровождается адекватным увеличением реальных доходов и производительности труда, что подчёркивается в аналитических обзорах Всемирного банка [4].

В целом представленные данные показывают, что рынок труда характеризуется относительной макроустойчивостью, умеренным снижением безработицы и позитивной динамикой заработной платы. Однако сохранение колебаний уровня занятости и наличие группы молодежи NEET свидетельствуют о необходимости дальнейшего совершенствования политики занятости, ориентированной на создание качественных рабочих мест, развитие человеческого капитала и реализацию Целей устойчивого развития, прежде всего ЦУР 8 «Достойная работа и экономический рост».

Для более углублённого анализа особенностей функционирования рынка труда и реализации принципов устойчивого развития целесообразно рассмотреть социально-экономические характеристики приграничных областей Республики Казахстан. Пространственная специфика данных территорий обусловлена их участием в трансграничных экономических процессах, различиями в уровне хозяйственного развития, демографической структуре и инфраструктурной обеспеченности, что напрямую отражается на параметрах занятости и качестве трудовых ресурсов.

В таблице 2 представлены ключевые социально-экономические показатели приграничных областей Казахстана за 2025 год, позволяющие оценить их потенциал и ограничения с точки зрения формирования устойчивого и инклюзивного рынка труда. Анализ данных показателей дает возможность выявить межрегиональные различия, определить зоны социально-экономической уязвимости, а также проследить степень готовности отдельных территорий к имплементации Целей устойчивого развития, прежде всего в части

обеспечения достойной занятости, повышения уровня доходов населения и сокращения территориальных диспропорций.

Полученные результаты служат аналитической базой для последующего выявления проблемных аспектов развития приграничных рынков труда и обоснования направлений совершенствования государственной региональной и социальной политики в контексте устойчивого развития.

Таблица 2 - Социально-экономические показатели приграничных областей (2025 г.)

Область	Население, тыс. чел.	Урбанизация, %	Доля МСП в занятости, %	Средняя зарплата, тыс. тенге	Безработица, %
Костанайская	823,1	63,5	28,4	381,1	4,6
Восточно-Казахстанская	1 350	58,2	31,0	398,5	4,4
Северо-Казахстанская	600	55,0	26,8	368,0	4,7
Западно-Казахстанская	650	62,0	33,2	410,2	4,3
Атырауская	650	75,0	35,0	620,0	3,8
Мангистауская	550	72,0	34,5	610,0	4,0
Жамбылская	1 200	47,0	27,5	355,0	4,9

Примечание - Составлено автором по данным stat.gov.kz, UNDP, ILO [1, 2, 3].

Анализ данных показывает значительные территориальные различия в уровне социально-экономического развития приграничных регионов Казахстана.

Лидирующие позиции занимают Атырауская и Мангистауская области, что объясняется высокой концентрацией нефтегазового сектора.

Эти регионы имеют высокий уровень урбанизации (75% и 72%) и наиболее высокие средние заработные платы (620,0 и 610,0 тыс. тенге).

Уровень безработицы - ниже среднего по выборке (3,8 - 4,0%), что свидетельствует о стабильной занятости.

Среднюю позицию занимают Западно-Казахстанская и Восточно-Казахстанская области, где наблюдается сбалансированное развитие МСП (31 - 33%) и умеренные показатели по зарплате (398 - 410 тыс. тенге).

Урбанизация находится на уровне 58 - 62%, безработица - 4,3 - 4,4%.

Эти регионы демонстрируют устойчивую структуру занятости и значительный потенциал роста.

Костанайская область характеризуется умеренными показателями:

уровень урбанизации - 63,5%,

средняя заработная плата - 381,1 тыс. тенге,

безработица - 4,6%.

Это отражает стабильное, но менее динамичное развитие, основанное на промышленно-аграрной структуре и активности МСП.

Отстающие регионы - Северо-Казахстанская и Жамбылская области.

Низкий уровень урбанизации (55% и 47%) и сравнительно низкие зарплаты (368,0 и 355,0 тыс. тенге).

Безработица - выше среднего уровня (4,7 - 4,9%).

Это указывает на структурные проблемы рынка труда, ограниченные инвестиции и недостаточную диверсификацию экономики.

Уровень социально-экономического развития приграничных регионов Казахстана демонстрирует чёткую зависимость между урбанизацией, активностью МСП и уровнем заработной платы.

Чем выше концентрация промышленного и сервисного сектора (Атырауская, Мангистауская, ЗКО), тем выше доходы и занятость.

Регионы с аграрной специализацией (Жамбылская, СКО) нуждаются в дополнительных мерах поддержки МСП, создании новых рабочих мест и развитии инфраструктуры.

Результаты. Обоснованные рекомендации по модернизации региональной политики развития.

I. Модуль: Активизация региональной политики занятости (Парадигма: Устойчивость и инклюзивность)

Целевое стимулирование сектора МСП в приграничных кластерах:

Мера: Внедрение системы целевых микро-грантовых программ и льготного финансирования для малых и средних предприятий (МСП), специализирующихся на «зелёных» технологиях (эко-инновации, устойчивое сельское хозяйство, возобновляемая энергетика, экотуризм) в приграничных территориях.

Обоснование: Это обеспечит диверсификацию экономической базы региона и формирование устойчивых, высокодоходных рабочих мест, минимизируя экологические риски и используя потенциал приграничного сотрудничества.

Интеграция молодежи NEET посредством цифровых платформ:

Мера: Разработка и имплементация интенсивных программ профессиональной реквалификации для молодежи категории NEET (Not in Education, Employment, or Training), сфокусированных на компетенциях цифровой экономики (Big Data, ИИ, кибербезопасность). Сопровождение программ созданием цифровых фриланс-хабов для обеспечения удаленного трудоустройства.

Обоснование: Позволяет снизить уровень структурной безработицы среди молодежи, устранить «цифровой разрыв» и обеспечить приток квалифицированных кадров в сектора, критически важные для развития.

II. Модуль: Институционализация Целей устойчивого развития (ЦУР)

Формирование системы мониторинга ЦУР на субнациональном уровне:

Мера: Создание интерактивных аналитических «ЦУР-панелей» (Dashboards) в аппаратах областных акиматов, обеспечивающих верифицированный мониторинг в реальном времени индикаторов ЦУР 8, 10 и

11. Предусмотреть интеграцию открытых данных и механизмов гражданского краудсорсинга.

Обоснование: Обеспечивает прозрачность, подотчетность и научную обоснованность принимаемых управленческих решений, трансформируя ЦУР из декларативной повестки в практический инструмент регионального планирования.

Развитие экосистемы «зелёных» рабочих мест:

Мера: Инициирование сети Эко-инкубаторов/Акселераторов в аграрных и периферийных зонах, ориентированных на поддержку проектов в области органики, ресурсосбережения и агро-биотехнологий.

Обоснование: Способствует реализации концепции циркулярной экономики, создает новую волну предпринимательства и повышает экологическую устойчивость сельскохозяйственного сектора.

III. Модуль: Кадровая политика и трансформация образования (Принцип: Прогнозирование и практико-ориентированность)

Институционализация прогнозирования рынка труда:

Мера: Создание на базе ведущих образовательных учреждений «Центров компетенций будущего» (Future Skills Hubs), которые будут применять методы прогнозного моделирования (Big Data, ИИ) для долгосрочного (5-10 лет) определения потребностей локального рынка труда. Внедрение модульных микро-квалификаций (micro-credentials).

Обоснование: Обеспечивает проактивную адаптацию образовательных программ к меняющимся экономическим реалиям, минимизируя риск дисбаланса спроса и предложения рабочей силы.

Укрепление связей «Образование-Бизнес» через партнерства:

Мера: Разработка модели Сетевых Корпоративных Университетов (СКУ) – центров, создаваемых на основе государственно-частного партнерства между консорциумом предприятий и вузами/колледжами для целевой подготовки кадров, гарантированных стажировок и последующего трудоустройства.

Обоснование: Увеличивает релевантность выпускаемых специалистов, сокращает период адаптации выпускников и повышает их конкурентоспособность.

IV. Модуль: Инфраструктурное и инвестиционное развитие (Вектор: Интеллектуальный рост)

Создание «Умных» приграничных логистических и социальных хабов:

Мера: Реализация проектов по модернизации транспортной и социальной инфраструктуры в приграничных районах с использованием IoT-технологий (Интернет вещей) для оптимизации логистики, управления ресурсами и предоставления цифровых государственных услуг.

Обоснование: Повышает экономическую привлекательность приграничных зон, снижает операционные издержки и улучшает качество человеческого капитала за счет повышения комфортности проживания.

Привлечение ESG-ориентированных прямых иностранных инвестиций (ПИИ):

Мера: Создание «Инвестиционных регуляторных песочниц» (англ. Regulatory Sandbox) для ПИИ, предусматривающих преференции для проектов, строго соответствующих международным ESG-стандартам (Environmental, Social, Governance), с особым фокусом на обрабатывающую промышленность и устойчивый АПК.

Обоснование: Обеспечивает приток качественного капитала, который не только создает рабочие места, но и способствует экологически и социально ответственному росту региональной экономики.

Заключение. Анализ приграничных регионов Казахстана показывает, что устойчивое развитие напрямую связано с состоянием рынка труда, уровнем урбанизации и поддержкой малого и среднего бизнеса. Костанайская область демонстрирует стабильный уровень занятости и умеренный уровень безработицы, при этом рост средней заработной платы свидетельствует о положительной динамике экономической активности.

В настоящее время в Республике Казахстан ЦУР интегрированы в стратегические планы страны, а также утвержден перечень национальных индикаторов ЦУР. С 2021 г. действует новая система государственного планирования, которая отражает основной тезис, что документы Системы государственного планирования должны содержать индикаторы ЦУР ООН. Для этих целей в 2021 г. также утверждены национальные индикаторы ЦУР [5].

Имплементация ЦУР на региональном уровне способствует выравниванию доходов, сокращению доли молодежи NEET и улучшению инфраструктуры. Практические рекомендации включают поддержку МСП, внедрение профессиональных программ для молодежи, развитие «зелёных» рабочих мест, адаптацию образовательных программ под потребности рынка труда и привлечение инвестиций в инфраструктуру приграничных областей.

Таким образом, комплексный подход к устойчивому развитию, основанный на статистическом анализе, мониторинге ЦУР и региональных особенностях, позволит повысить эффективность политики занятости, создать дополнительные возможности для молодежи и укрепить экономическую стабильность приграничных регионов Казахстана.

Список использованных источников

1. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. Официальный сайт. – URL: <https://stat.gov.kz> (дата обращения: 2025).

2. United Nations Development Programme (UNDP). *Sustainable Development Goals in Kazakhstan*. – URL: <https://www.undp.org> (дата обращения: 2025).

3. International Labour Organization (ILO). *Labour Market Statistics and Indicators*. – URL: <https://www.ilo.org> (дата обращения: 2025).

4. World Bank. *Kazakhstan Economic Overview*. – URL: <https://www.worldbank.org> (дата обращения: 2025).

5. Божко Л.Л., Сейтхамзина Г.Ж., Джунусова С.С., Челетти Д. Имплементация ЦУР на региональном уровне: опыт Казахстана и России. Вестник университета «Туран». 2024; (1):99-114. <https://doi.org/10.46914/1562-2959-2024-1-1-99-114>.

MICROALGAE AS AN ACTIVE STAGE IN BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT

Shtykova I.V., Kuzmina N.A.,
Rudny Industrial University

Scientific supervisor:

Dr. Ph.D., Hossam Eldean Ahmed Awad
Cairo University, Giza, Egypt

Annotation. This article examines an innovative approach to biological wastewater treatment using the microalgae *Chlorella vulgaris* to intensify aerobic oxidation and nitrification processes, reduce hydrogen sulfide and biogenic pollutant concentrations, and improve the hydrochemical and hydrobiological parameters of water. The article discusses the technological and environmental aspects of *Chlorella*'s use, its interaction with filter-feeding zooplankton, and the economic benefits achieved. The results of water quality monitoring and the dynamics of biochemical parameters after the technology's implementation are presented.

Keywords: biological wastewater treatment, chlorella microalgae, photosynthetic aeration, oxygen regime, zooplankton, hydrogen sulfide, hydrochemical indicators, storage reservoir, environmental efficiency.

Introduction. Industrial and domestic wastewater is a source of hazardous chemical compounds, heavy metals, and microorganisms. Disposing of such waste without prior treatment causes significant environmental harm. Physical and chemical wastewater treatment methods make it environmentally safe. Comprehensive wastewater treatment is required to remove biological, mechanical, chemical, and other contaminants. This complex measures are necessary to make the water as safe as possible for people.

Untreated wastewater discharge leads to severe pollution of soil, water, and the atmosphere. This often leads to the destruction of entire biotopes.

Due to habitat destruction, many species are now on the brink of extinction. Even untreated sewage discharged into a body of water can kill fish, amphibians, and mollusks.

According tonational report "On the state of the environment and the use of natural resources of the Republic of Kazakhstan" for 2022 in the Kostanay region. There is a need to build a biological wastewater treatment plant in the city of Kostanay[1]. However, the high cost of constructing such a facility necessitated a review of the proposed solutions. At meetings of the Technical Council of the Kostanay Region Akimat, alternative treatment methods capable of achieving the required level of environmental safety at a lower cost are being considered. Selecting the optimal option is crucial, as the health of the Tobyl River, the quality of drinking water, and the environmental sustainability of the urban environment directly depend on the effectiveness of wastewater treatment.

The use of chlorella microalgae has been proposed as an effective and cost-effective alternative. This method enables natural self-purification processes in water bodies and ensures biological stabilization of wastewater, reduces the content of biogenic pollutants, heavy metals, and hydrogen sulfide, and increases the concentration of dissolved oxygen [2].

Methodology. The technology is based on the green microalgae *Chlorella vulgaris*. Certain strains are able to distribute evenly throughout the water and concentrate in the upper layer, ensuring priority access to sunlight and enabling operation in early spring when the ice melts.

The technology is based on activating the natural food chain. *Chlorella*, when released into the water, begins actively producing oxygen. This provides a powerful boost to the development of bacteria that digest bottom sediments and zooplankton. [3].

Living chlorella cells assimilate significant amounts of biogenic elements (nitrogen, phosphorus), using them to synthesize proteins, nucleic acids, and phospholipids (up to 60% of dry biomass), and release oxygen, which intensifies natural nitrification processes. *Chlorella* accumulates heavy metals through physical adsorption, ion exchange, chemisorption, covalent bonding, oxidation-reduction reactions, and crystallization on the cell surface. Active absorption and binding of metal ions by cells is also possible. *Chlorella* secretes metabolites that chelate metal ions, converting them into a less toxic form. Alkalization of the environment due to biomass growth also promotes the precipitation of heavy metals. Biological treatment processes include:

- photosynthetic aeration with the release of up to 1.8 kg O₂/m³day, absorption of CO₂ up to 2.5 kg/m³day;
- activation of filter zooplankton (*Daphnia*, *Rotifera*, *Vorticella*), processing of bottom sediments and organic pollutants;
- maintaining an aerobic regime even when the reservoir is covered with ice due to the high supply of dissolved oxygen.

The technology allows for year-round use, including the application of the suspension under ice, within an operating temperature range of 1–42°C. The operating salinity of the reservoir is no more than 18 ppm, water hardness is ≤25 mmol/L, and pH is 5.6–10 [3].

Results. The introduction of *Chlorella vulgaris* SKO A RKM-0870 into the Bioprud storage pond and the Burzharsky storage pond showed:

- increasing the concentration of dissolved oxygen to 10–14 mg/l;
- increase in the number of filter-feeding zooplankton;
- reduction of COD and BOD, precipitation of phosphates and binding of heavy metals;
- suppression of unpleasant odor and hydrogen sulfide;
- improvement of hydrochemical and hydrobiological parameters of water;
- reduction of greenhouse gas emissions[4].

Table 1 – Dynamics of changes in the main water indicators at the stages of biological treatment

Item No.	Indicator	Annual pond regulation	Algae ponds				Crayfish ponds		Bioplateau	
			1st stage		2nd stage		Entrance	Exit	Entrance	Exit
			Entrance	Exit	Entrance	Exit				
1	BPK5, mg O ₂ /l	1650	1650	650	650	200	200	50	50	6
2	COD, mg O ₂ /l	4160	4161	800	800	300	300	100	100	30
3	Ammonium nitrogen, mg/l	30	30	16	16	4	4	3	3	2
4	Phosphates, mg/l	121	121	50	50	30	30	15	15	3.5
5	Oxygen, mg/l	<1	<1	4-6	4-6	7-12	7-12	6-7	6-7	6-7
6	Nitrites, mg/l	1	1	0.5	0.5	0.3	0.3	0.2	0.2	0.15
7	Nitrates, mg/l	0.1	0.1	10	10	25	25	30	30	45
8	Coli titer, ml	10-6	10-6	10-3	10-3	10-2	10-2	10-1	10-1	10

Note: Compiled based on data from [5]

Project economics: for a 350-hectare reservoir with a daily inflow of 40,000 m³ and a city population of 250,000 people, three-year costs amounted to 117,518,688 thousand tenge, ensuring the creation of an active biological treatment stage [5].

Conclusion. The use of chlorella microalgae in storage ponds allows:

- launch water self-purification processes;
- stabilize the aerobic regime;
- reduce the nutrient load and toxicity of water;
- increase the concentration of dissolved oxygen and the number of beneficial zooplankton;
- use the reservoir as an independent active stage of biological purification.

The technology can be used at local treatment facilities, in urban wastewater treatment plants, in emergency discharges, to improve fish farming productivity and achieve carbon neutrality for organizations.

List of references

1. Министерство экологии и природных ресурсов республики Казахстан «национальный доклад о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов республики Казахстан за 2022 год» Астана, 2023 г. <https://www.ecogofond.kz/wp-content/uploads/2024/01/ND-na-rus.jaz..pdf>

2. Юницкий А.Э., Синчук О.В. Использование хлореллы для производства кислорода и очистки сточных вод в замкнутых экосистемах.

3. Карпов М. В., Жиздюк А.А., Перспективы использования культивируемых водорослей хлореллы при доочистке и обеззараживании

сточных вод на очистных сооружениях <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i1pp150-154>.

4.Сточные воды Шымкента очищают хлореллой - Научно-технологический центр воды <https://ntcv.pro/stochnie-vodi-shimkenta/>.

5.Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан Справочник по наилучшим доступным техникам «Очистка сточных вод централизованных систем водоотведения населенных пунктов» (проект).

INCREASING THE ECOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL EFFICIENCY OF COARSE CRUSHING ASPIRATION SYSTEMS OF JSC «SSMPA»

Shtykova I.V., Kuzmina N.A.,
Rudny Industrial University

Scientific supervisor:

Dr. Ph.D., Hossam Eldean Ahmed Awad
Cairo University, Giza, Egypt

Annotation. This article examines ways to improve the efficiency of dust and gas emission aspiration and purification in the coarse crushing plant at JSC SSGPO. The ore preparation complex equipment was analyzed, identifying the main sources of inorganic dust emissions with SiO₂ content below 20%. The technical condition of the ATU-1 and ATU-2 aspiration systems with wet gas cleaning units was assessed, and their operational and environmental deficiencies were identified. A transition to dry cleaning using pulse-regenerative bag filters was justified. Aspiration system calculations were performed, and the FRU-1000 filter was selected. It was demonstrated that the implementation of the proposed solutions reduces dust emissions and environmental charges with a short payback period.

Keywords: aspiration, dust and gas cleaning, bag filter, coarse crushing body, inorganic dust, SiO₂, best available technologies, dry gas cleaning, environmental efficiency, mining and processing industry

Introduction. Sokolovsko-Sarbaykoye Mining and Processing Production Association (SSGPO) is one of the largest mining and metallurgical enterprises in the Republic of Kazakhstan. SSGPO is a complex and multi-faceted production facility. Its structure includes numerous divisions that provide the full cycle of ore mining and processing.

Crushing and screening facilities ensure the grinding and preparation of ore for subsequent production stages. Transport and logistics units are in place to ensure the efficient organization of freight shipments and deliver products to customers. A key element of the company's infrastructure are the repair and support shops, including power, mechanical, and storage areas, which ensure the smooth operation of the main production facility.

The feedstock ore, with a maximum particle size of up to 1200 mm, is transported by rail to the receiving bins of the coarse crushing unit, where the first stage of crushing is carried out by KKD-1500/180 cone crushers. The crushed product is fed by plate feeders to the second stage of crushing, after which it is conveyed by conveyor to the bins of the medium and fine crushing units.

Further ore processing takes place in the cascades of the KSMD building, which include screening and crushing operations for medium and fine sizes. Depending on the cascade number, various equipment configurations are used, including grizzly and inertial screens, as well as cone crushers. During the screening process, the material is classified by size, separating oversize and undersize products, which are sent to subsequent crushing stages or to dry and wet magnetic separation units.

In the dry magnetic separation unit, additional material classification is performed, followed by separation into middlings and tailings. Tailings are sent to the final tailings yard, while middlings are sent to the wet magnetic separation section and stage 5 crushing. The final stages of processing include screening, with coarse material returned for additional crushing and fine material sent for further enrichment.

The release of inorganic dust ($\text{SiO}_2 < 20\%$) during the reception of ore into the bunkers of the coarse crushing unit occurs through an unorganized source.

In the primary crushing unit DOF-2, ore is fed from the receiving hopper into the primary cone crusher KKD1500. Coarsely crushed ore (300 mm in size) is unloaded through an intermediate hopper (21BN02), an apron feeder (21FE01), and then transported by belt conveyors (21CV01, 21CV02) to the distribution bin of the secondary crushing unit. The primary crushing unit is equipped with an ATU-21-01 with a dry cyclone SIOT No. 8 and a high-speed washer SIOT No. 7 [1].

Methodology. The methodological basis of the study is the analysis of the existing aspiration systems ATU-1 and ATU-2 of the large crushing building of the ore preparation and enrichment shop of JSC SSGPO [2].

Currently, the operation of aspiration systems is associated with certain difficulties and problems, both in terms of the efficiency of aspiration flow purification and in terms of uninterrupted operation. For example, dust deposits accumulate intensively on the inner walls of gas cleaning equipment, pipelines, and chimneys. To eliminate this, aspiration systems must be shut down and the surfaces must be manually cleaned [2].

The coarse crushing unit (hereinafter referred to as the CHU) includes process equipment whose operation is accompanied by dusting (crushing units KKD 1500/180, KKD-900/100 (operating simultaneously), plate feeders, belt conveyors). ATU1 and ATU2 aspiration and process units are used to localize and organize emission sources [2].

Each aspiration system consists of three crushing units, two plate feeders and a tail section of a belt conveyor.

After inspecting the process line, it was established that the main sources of dust are not equipped with the necessary covers and gas sampling hoods, and the evacuation of flue gases is carried out through round gas ducts, the cut of which is located in close proximity to the place of dust formation (emissions) [2].

Given the partial absence and deterioration of existing covers for unloading and transfer units, dust emission containment is incomplete, with dust-laden air streams escaping into the workshop space. Furthermore, the aspiration points are not equipped with adjustment dampers. While this is generally acceptable given the limited system complexity, it does not allow for flexible adjustment of the automated control system during setup.

The aspirated air is supplied for preliminary cleaning to the collection chamber (which is also in an unsatisfactory condition), after which it is sent for cleaning to the wet type coagulation dust collector KTсMP-6.3 [2].

According to instrumental measurements of the dust-air mixture parameters, the cleaning efficiency is low—the final dust content exceeds the standards of the Environmental Code of the Republic of Kazakhstan. Additionally, problems arise with

intense dust deposits inside the flues and on the inner walls of the ATU equipment, including the exhaust stack—wet dust is indeed prone to "sticking" to metal surfaces. Thus, in the winter season elements of aspiration systems, For example, chimney, are subject to icing, which can lead to the destruction of structures (the water turns into a solid state and expands)[2].

Disadvantages of gas cleaning equipment«wet»This type also includes the need for clarified water-Recirculating water supply systems are characterized by significant capital expenditures for maintenance. Given the overall service life of the coagulation dust collector, it becomes necessary to increase the irrigation water flow rate (compared to the rated values) to improve treatment efficiency. This problem is typical for any treatment facility.«wet»type, since over the years the efficiency of water spraying and, consequently, the degree of purification, decreases due to wear of key components (for example:«clogging»or«overgrowth»nozzles, associated with the presence of mechanical impurities in the water of the circulation cycle) [3].

It can be noted that the operation of the ATU-1, ATU-2 KKD aspiration systems is associated with a number of difficulties and problems that cause a decrease in the efficiency of gas sampling and the degree of purification at the outlet.

The most effective solution for increasing gas extraction efficiency and dust content at the outlet of treatment facilities is to convert aspiration systems to a "dry" cleaning system. This eliminates the need for maintaining water management systems (including clarified water and sludge sections) and facilitates disposal of collected dust.[4].

Let's consider existing dry cleaning equipment: cyclones, bag filters, and electrostatic precipitators. A comparison of dry cleaning methods is provided in Table 1.

Table 1 – Comparison of dry cleaning methods

Method	Degree of purification	Size of captured particles	Gas temperature	Key Benefits	Flaws
Cyclones	70–90%	>10 μm	Up to 400°C	Simple design	Do not retain small particles
Bag filters	99–99.9%	0.1–10 μm	Up to 250°C (with heat-resistant hoses - up to 400°C)	High efficiency	High resistance, filter replacement
Electrostatic precipitators	95–99%	<1 μm	Up to 450°C	Low resistance	High capital costs

Based on Table 1, cyclones are not suitable for industrial applications due to their technical specifications and particle size capture. For environments with high dust levels, variable gas composition, and the need to minimize dust emissions, bag filters are preferable, as they provide a higher degree of purification (up to 99.9%) and lower residual dust concentrations. Electrostatic precipitators are suitable for large gas

volumes and stable process parameters, but they are inferior to bag filters in terms of purification efficiency and versatility.

Results. Dust sources are contained through the use of exhaust hoods and covers, enabling efficient collection of dust-laden air. Aspiration emissions are purified in bag filters with pulsed regeneration of filter elements using compressed air. The collected material is transported to a collecting silo with a dust-free unloading system. The gas sampling volumes and filtration parameters were calculated using empirical and standard relationships, taking into account the concentration, particle size distribution, and temperature of the dust. The obtained aerodynamic drag values confirm the feasibility of using existing smoke exhausters. Based on the calculation results, two FRU-1000 bag filters with a calculated filter surface area of approximately 660 m² were selected for the coarse crushing unit.

Basic flow chart of the KKD with using bag filters shown in Figure 1.

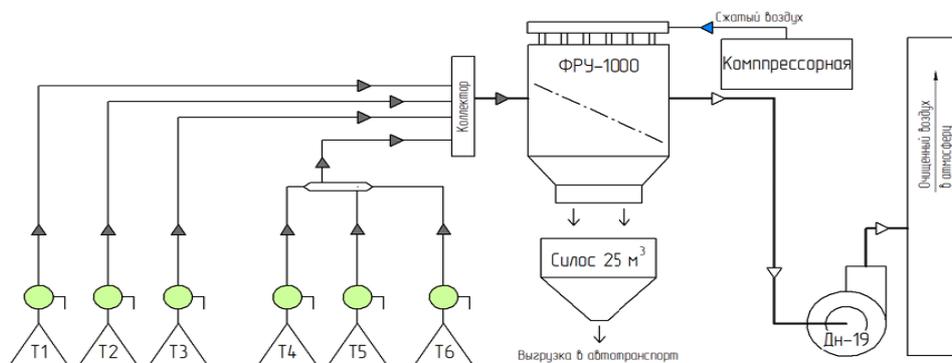


Figure 1 – Aspiration diagram of the KKD, ATU-1 (-2) system with cleaning on a bag filter

Table 2 shows the main parameters of the calculated filter.

Table 2 – Bag filter parameters

Parameter	Bag filter FRU-1000
Performance	65...70 thousand m ³ /h
Filtration surface area	1000 m ²
Number-in filter bags	336 pcs.
Length filter-sleeves	7050 mm
Sleeve frame type	wire
Type of regeneration system	pulsed
Compressed air consumption for regeneration	3.2 m ³ /min
Recommended pressure in the compressed air network	0.4...0.6 bar
Bunker volume-dust collector	10.5 m ²
Unloading device for collected material	screw conveyor
Cost of equipment per unit, tenge	63,000,000

The economic impact of environmental protection measures stems from the prevention of environmental damage by reducing pollutant emissions into the atmosphere, lowering emissions fees, and eliminating penalties for exceeding emissions limits. The effectiveness of dust and gas emission control measures is assessed based on the calculation of emissions fees for the operation of existing

treatment facilities in accordance with permissible emission standards. The calculation is performed in accordance with the Tax Code of the Republic of Kazakhstan, using rates set as multiples of the monthly calculation indicator.[5, 6]In accordance with the draft MPE standards for the facilities of JSC SSGPO, the average annual emission of inorganic dust ($\text{SiO}_2 < 20\%$) from the coarse crushing facility is 19.88 t/year.

Based on preliminary calculations, the fee for environmental emissions will amount to 781,681.6 tenge per year.

In the Republic of Kazakhstan, measures are being implemented at the state level to stimulate the introduction of best available technologies (BAT)[7], including the establishment of a zero coefficient for environmental impact fee rates for enterprises applying BAT, which creates a significant economic incentive. At the same time, for Group I enterprises that have not implemented BAT, a gradual increase in fee rates is envisaged: by 2 times from 2025, by 4 times from 2028, and by 8 times from 2031. According to the draft permissible emission standards, total pollutant emissions for 2021–2030 amount to 85,742.67 tons/year, and payments for air emissions for 2021 amount to 3.95 billion tenge. Under these conditions, the implementation of BAT[8]for the Rudny industrial site of JSC SSGPO is economically justified.

If these payments are applied as an economic effect, the payback period for the equipment used will be:

$$\text{Current} = \frac{126\,000\,000}{3\,945\,941\,508} = 0,03 \text{ years}$$

Conclusion. The study revealed that the existing aspiration systems in the coarse crushing plant at JSC SSGPO do not provide the required level of dust and gas emission purification and are characterized by a number of operational deficiencies. Converting the ATU-1 and ATU-2 systems to a dry cleaning system using FRU-1000 bag filters significantly improves gas purification efficiency, reduces residual dust concentrations, and eliminates problems associated with the operation of wet dust collectors. Calculating the economic impact of implementing the BAT demonstrates that, using the achieved savings instead of increased environmental fees, the equipment payback period will be 0.03 years, making this project highly effective and cost-effective.

List of references

- 1 Внутренняя документация АО «ССГПО» Проект ПДВ
- 2 Основные технические решения 02/08/24 – ОТР.1 АО «ССГПО» Цех рудо-подготовки и обогащения корпус крупного дробления.
- 3 Кормина, Л. А. Технологии очистки газовых выбросов [Электронный ресурс]: учебное пособие / Л. А. Кормина, Ю. С. Лазуткина. – Электрон. текстовые дан. (1 файл: 2.9 МБ). – Барнаул, Изд-во АлтГТУ, 2019
- 4 Мифтахов М.Н., Процессы и аппараты защиты биосферы. Защита атмосферы: Учебное пособие для магистрантов, обучающихся по направлению

подготовки 20.04.01 «Техносферная безопасность». Составитель: М.Н. Мифтахов. Набережные Челны: НЧИ К(П)ФУ, 2018, 99 с.

5 Приказ Министра экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан от 10 марта 2021 года № 63 «Об утверждении Методики определения нормативов эмиссий в окружающую среду»

6 Кодекс Республики Казахстан от 25 декабря 2017 года № 120-VI ЗРК «О налогах и других обязательных платежах в бюджет (Налоговый кодекс)»

7 Основные технические решения 02/08/24 – ОТР.3 АО «ССГПО» Цех рудо-подготовки и обогащения корпус сухой электромагнитной сепарации

8 Справочник по наилучшим доступным техникам "Добыча и обогащение железных руд (включая прочие руды черных металлов)" утвержден постановлением Правительства Республики Казахстан от 29 декабря 2023 года № 1251

DOES OUTWARD FOREIGN DIRECT INVESTMENT IS CONDUCTIVE TO BILATERAL EXPORT SOPHISTICATION OF HOME AND HOST COUNTRIES? A CASE STUDY OF KAZAKHSTAN AND CHINA AS A HOME COUNTRY

Faheem Ur Rehman*

King Fahd University of Petroleum and Minerals, KSA

Larissa Bozhko

Acting Associate professor, Vice-Rector for Academic Work,
Rudny Industrial University

Abstract. This study investigates whether outward foreign direct investment (OFDI) contributes to bilateral export sophistication of both home and host countries, using a panel data framework. Motivated by the rapid expansion of OFDI and its potential role in transmitting technology, skills, and managerial know-how across borders, the study examines the mechanisms through which international investment linkages influence the quality and productivity embodied in export baskets. Export sophistication is conceptualized as a measure of export productivity, reflecting the income level associated with a country's export structure.

The analysis focuses on the period 2003–2024 and employs bilateral data to construct an index of export sophistication following the methodology proposed by Hausmann et al. (2007). To capture the bilateral dimension, the export sophistication indices of partner countries are combined to form a bilateral export sophistication measure. The empirical framework is based on an augmented gravity model, estimated using the Poisson Pseudo Maximum Likelihood (PPML) technique to address issues of heteroskedasticity, zero trade values, and potential model misspecification. Key explanatory variables include outward foreign direct investment, economic size, distance, human capital, infrastructure, institutional quality, population, and trade openness.

The study is expected to provide empirical evidence on whether OFDI enhances export sophistication through channels such as technology spillovers, access to advanced production networks, and improved international connectivity. By extending the existing literature—which has largely focused on inward FDI—this research contributes to a deeper understanding of the role of outward investment in shaping export quality and structural transformation. The findings are anticipated to offer important policy implications regarding investment strategies, export upgrading, and long-term economic development.

Key words: OFDI; Export sophistication; Econometric Methods; China and Kazakhstan

Introduction

Since its opening with the world three decades ago, China sustained a steady growth due to comparative advantage in export and became the world major exporter which led researchers to consider China as highly sophisticated country regarding export (Lectard and Rougier 2018). The isolated position of China since it

the opening, with export of even less than 10, changed to a more integrated one with export of approximately 39 Percent of Gross Domestic Product (GDP) (Fan, et al., 2018).

Export sophistication captures “the aggregate productivity of an economy’s export basket where each commodity is recognized by a certain productivity level”. A nation is considered as more sophisticated exporter if its export basket contains additional commodities with improved productivity. In orthodox models, an economy’s sophistication of export is determined by its economic essentials (like market size, natural resources, physical and human capital) (Fan, et al., 2018; Rehman and Ding 2019).

Hausmann et al., (2007) called export sophistication index as a measure of export productivity and is weighted average income associated with export bundle. If a country export is sophisticated it means that the country is capital intensive where producer has comparative advantage earning high profit and labours are highly productive receiving high wages, Weiss and Zhang (2005). As the structure of Chinese economy shifted to capital intensive economy, its exports is expected to be remarkable sophisticated and thus contribute to the growth rate (Xu, 2010).

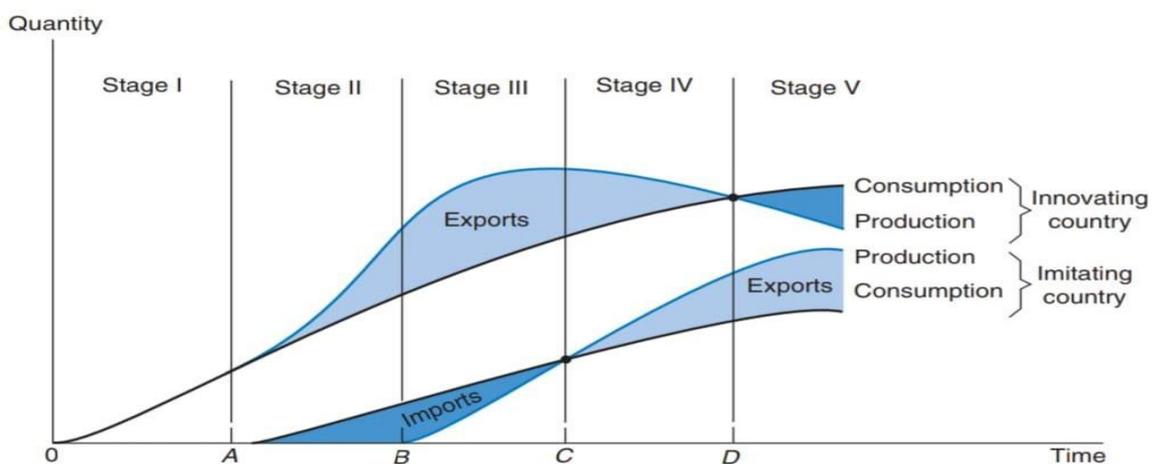
Export sophistication is highly associated with per capita income as Xu and Lu (2009), applying the export similarity index (ESI) of Finger and Kreinin (1979), investigated that China export bundle is highly overlapped with OECD and income gap between china and OECD countries is shrinking overtime. Sophisticated export bundle plays the role of catalyst in encouraging growth of Chinese economy as sectors detected with adopting advance technologies and thus high sophistication ensured high growth rates, (Jarreau and Poncet 2012). China OFDI considerably increased and proved as a source of FDI for the world by increasing OFDI from \$26.7 billion in 2007 to a remarkable high level of 196.2 billion in 2016 (UNCTAD 2017). Rehman and Ding (2019) argue that one can expect that such progress of Chinese OFDI will bring greater connectivity of the domestic firm with the globe and can assist these domestic firms to achieve confidence and competitiveness. The economic literature for example the work of Naughton, (2007); Xu and Lu, (2009); Amiti and Freund, (2010) and Li & Lu (2017) linked export sophistication with the determinants like human capital, gross capital formation and foreign direct investment inflow but none of the studies has explored the role of outward foreign direct investment in making export more sophisticated.

1. Does OFDI Really enhance Export Sophistication? A Theoretical Background

When an industry or firm has a substantial enhancement in exports, it is more likely to invest in marketing, distribution and managerial framework around the world. Production without such sound framework is deficient to sustain comparative advantage, satisfy requirements of customers and deliver best services in host markets (Krautheim 2013; Kellman and Shachmurove, 2011). Digital, financial and physical connectivity among economies increases as a result of investing in foreign countries which have further bilateral technological spill over effect for, both, the host country and partner country. The spill over effect of technology enhance productivity as more innovative business model, efficient production process can be copied and low

cost labor can diffuse in the economies (Rehman and Ding 2019;).

The classical international trade theories have discussed how linkage of economies affects the flow of capital and how it influences the production process of the economies. Vernon (1966) proposed the product life cycle theory which state that invention and innovation requires high skill labor and higher cost and the comparative advantage sustained with the innovative country in the initial stages and then shifts to other country as production of the product becomes common and transfers the country with low factor prices. Such transfer of production process from the innovative country to the host country has aggregate economic consequences for example, it has influences on export of both innovative and the host country, relative factor price differences in both countries and comparative advantage. All this mechanism is the result of foreign investment when economies are linked together and the linkage itself is determined by foreign investment.



Source: Salvatore (1995)

The specialization just starts in stage I where the innovative country is as much sufficient as to fulfil domestic demand only. Specialization becomes perfect with the passage of time which enables the innovative country to sustain comparative advantage and become leading exporter of the product. Stage III is characterized by a period where the technology and skill required for producing the product becomes standardized and the production process shifts from innovative country to imitating country because now the product requires less skill labors and the skilled labors and technology of the innovative country will be diverted to other innovations. The comparative advantage shifts to the imitating country in stage IV and further standardization of technology and skills reverse the trade pattern in stage V where the imitating country becomes exporter and innovative country becomes importer of the product. Such transfer of comparative advantage is the result of foreign investment by innovative country in the imitative country to seek low cost and keep the comparative advantage with itself or investment by imitating country in the innovative country to get the skill and technology for producing the product (Lin et al., 2010).

Schmitz and Helmberger (1970) advocated that when capital intensified country

invests in the labor abundant and or natural resource abundant country in order to take advantage of relative low factor cost, it enhance the flow of capital goods to the host country making the host country efficient as a result. The host country get the benefit of spill over effect of technology and the home country get the benefit of low cost and enhanced export varieties. Modern production process involves different production stages performed in different region of the world because of low factor cost or the technology may be specific to that region. Such process diffuses technology among the regions and requires foreign investment.

However, some international trade theories postulate that most of the gain in the form of improved term of trade from investing in the low skilled labor abundant economy goes to the advanced and capital intensive economy as less developed economies export basic raw materials and traditional commodities to the developed economies (Zhang and Zhang, 2016).

Heckscher-Ohlin (HO) model of international advocates that relative differences in factor endowment and factor price is the base for trade and that trade equalizes factor price in the trading countries. It means that a country will specialize and thus will have comparative advantage in the production of the commodity intensive in its abundant and cheap factors. In this regard foreign investment performs the role of catalyst in taking advantage of differences in relative factor price but decision of whether to investment in the home country or to invest the foreign depends on the relative differences in the interest of home and foreign country. Mundell-Fleming (1957) advocated that the home country will invest in the foreign country when the rate of interest in foreign country is higher than that of the home country's interest rate. Foreign investment will bring interest rate parity which stabilizes production and causes spill over effect regarding technology and innovation.

In a nut shell, different factors whether these are difference in relative factor cost, factor endowment of resources, technology and interest rate are the base of foreign investment which, in return, causes diffusion of technology, low cost factors, copying of innovative models among the regions and bring efficiency in both countries (Sekkat and Veganzones-Varoudakis, 2007).

2. Data description and methodology

To access the impact of OFDI on bilateral export sophistication, this study uses the time span during 2003 – 2024. The data on Chinese OFDI, measured in million US dollar, will be taken from statistical bulletin of china's outward foreign direct investment (2017). The data on other control variables like human capital (HC), population (POP), Gross Domestic Product (GDP) and trade openness (TO) will be collected from World Development Indicators (WDI). HC is secondary school enrolment and measured as HC of china divided by HC of partner country to capture factor endowment differences. Population and infrastructure are scaled likewise for the same reason as HC. The data of infrastructure is the composite index of telecommunication, energy, transport and financial infrastructure which was constructed by Donaubaauer et al. (2015). Trade openness is the ratio of the sum of export and import of country i to their GDP. Furthermore, we use the composite index of institutional quality and the data on indicators of institutional quality is taken from international country risk guide (ICRG). The detail about this index is found in Rehman

and Ding (2019). Finally, for the dependent variable of the study which is export sophistication we rely on method of Hausmann et al. (2007) who devised the index of export sophistication

2.1. Construction of Bilateral Export Sophistication Index

Export sophistication index represents the exports quality of an economy and is the weighted average income associated with the export bundle of the country. Exporting quality product leads to comparative edge and brings more income to home country.

We rely on the method of Hausmann et al. (2007) who devised the index of export sophistication as a weighted average of PRODY, where PRODY is.

$$PRODY_k = \sum_i \frac{(x_{ki}/X)_i}{\sum_i (jk/X_i)} Y_i \quad (Equation 1)$$

Where $(x_{ki}/X)_i$ is share of the value of the product “k” to the value of aggregate export of i country i and Y_i is the Per Capita GDP. $PRODY_k$, in equation 1, reflects the comparative advantage of a country i in exporting product ‘k’ and is the weighted average of GDP per capita. The variable of PRODY is then incorporated in calculation of the following index of export sophistication.

$$Exsi = \sum_k [(\frac{X_i^k}{X_i}) PRODY^k] \quad (Equation 2)$$

Here $Exsi$ is Export Sophistication Index which is the weighted average of the PRODY where the weight is the value share of product ‘k’ in the country i aggregate value of exports. The export sophistication of partner country can be calculated in a similar manner and then the values of indices of both countries are simply added to devise bilateral export sophistication index.

2.2. Gravity Model and Econometric Methodology

Tinbergen (1962) and Pöyhönen (1963) were the initiators using augmented gravity model to empirically investigate international trade flows, afterward the model gained popularity in empirical analysis of flows of economic variables such as foreign direct investment, migration and trade flows. The general form of gravity model is given below.

$$T_{ij} = \alpha \frac{GDP_i GDP_j}{D_{ij}}$$

T_{ij} is the total bilateral trade flow between country “I” and “j”, GDP_iGDP_j is the product of gross domestic product of country “I” and “j”, D_{ij} is the distance between them and α is constant of proportionality.

Traditional gravity model had lack of theoretical support and was confined to the trade flows as a function of economies sizes, usually taken as GDP, and distance, but in 1970s theoretical development supported this model. Examples of such theories are the work of Berstrand (1985), Helpman (1987), Wei, (1996), Soloaga and Winters (1999) who modified the model by incorporating the bilateral variable other than trade flow. Based on modified form of gravity model, to evaluate the impact of China’s ODI on the bilateral exports sophistication of china and its corresponding partner country, this article will construct across-countries panel-data by using Gravity model.

$$EXS_{ci} = \alpha \frac{GDP_c GDP_i}{P_i}, OFDI_{ci}, INFRA_{ci}, HC_{ci}, IQ_c, IQ_i, POP_{ci}, TO_i$$

$$\frac{D_{ci}}{D_{ci}}$$

EXS_{ci} is bilateral export sophistication of China (c) and its partner country (i), $OFDI_{ci}$ is outward foreign direct investment from china to country i , TO_{ci} is trade openness of country i . While, GDP_cGDP_i is the product of Gross Domestic Product of China and partner country, D_{ci} is the distance between capital cities of the pair country and IQ_c , IQ_i is the institutional quality of China and country i respectively. $INFRA_{ci}$, HC_{ci} , POP_{ci} is infrastructure, human capital and population, all these are ratio of the i country values to the values of these variables for china.

Approach with the estimation of poisson psedue maximum likelihood (PPML). The PPML, very popular recently, is a log-linear estimation technique of the original non-linear Gravity model. It is used by Santos Silva and Tenreyro (2006) and Babecká et al. (2012) in case of trade and other types of spatial bilateral flows. There are several advantages of using PPML in gravity model. Firstly, it can tackle biasness which arise in the case when the gravity model is in logarithmic form and error term is heteroskedastic. Secondly, as tested by Santos Silva & Tenreyro (2006), it gives satisfactory results even when the dependent variable is suffering from measurement error or having missing values. Thirdly, as suggested by Gourieroux et al. (1984), it is robust to misspecification and allow for continuous variable to use as dependent variable. Lastly, as we deal with pseudo- maximum likelihood estimator, it is not mandatory that the data must follow Poisson distribution.

References

- 1.Amiti, M., & Freund, C. (2008). The anatomy of China's export growth. *Policy Research Working Papers*. doi:10.1596/1813-9450-4628
- 2.Branstetter, L., & Lardy, N. (2006). China's Embrace of Globalization. doi:10.3386/w12373
- Fan, Z., Anwar, S., & Huang, S. (2018). Cultural diversity and export sophistication. *International Review of Economics & Finance*, 58, 508-522. doi:10.1016/j.iref.2018.05.008
- 3.Finger, J. M., & Kreinin, M. E. (1979). A Measure of 'Export Similarity' and Its Possible Uses. *The Economic Journal*, 89(356), 905. doi:10.2307/2231506
- 4.Gözgör, G., & Can, M. (2016). Causal Linkages among the Product Diversification of Exports, Economic Globalization and Economic Growth. *Review of Development Economics*, 21(3), 888–908. doi:10.1111/rode.12301
- 5.Helpman, E. (1984). The Factor Content of Foreign Trade. *The Economic Journal*, 94(373), 84. doi:10.2307/2232217
- 6.Jarreau, J., & Poncet, S. (2012). Export sophistication and economic growth: Evidence from China. *Journal of Development Economics*, 97(2), 281-292. doi:10.1016/j.jdeveco.2011.04.001
- 7.Krauthaim, F. (2018). Das öffentliche Auftreten des Christentums im spätantiken Antiochia. doi:10.1628/978-3-16-155774-3
- 8.Kellman, M., & Shachmurove, Y. (2011). *Diversification and Specialization Paradox in Developing Country Trade*. *Review of Development Economics*, 15(2), 212–222. doi:10.1111/j.1467-9361.2011.00603.x
- 9.Lectard, P., & Rougier, E. (2018). Can Developing Countries Gain from Defying Comparative Advantage? Distance to Comparative Advantage, Export Diversification and Sophistication, and the Dynamics of Specialization. *World Development*, 102, 90-

110. doi:10.1016/j.worlddev.2017.09.012

10.Lin, C.-C., Chen, K.-M., & Rau, H.-H. (2010). Exchange Rate Volatility and the Timing of Foreign Direct Investment: Market-Seeking versus Export-Substituting. *Review of Development Economics*, 14(3), 466–486. doi:10.1111/j.1467-9361.2010.00565.x

11.Maddala, G. S., & Wu, S. (1999). A Comparative Study of Unit Root Tests with Panel Data and a New Simple Test. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61(S1), 631-652. doi:10.1111/1468-0084.0610s1631

12.Phinney, R. A., & Helmberger, D. V. (1970). Research in Seismology. doi:10.21236/ad0716619

13.Rodrik, D. (2006). The Social Cost of Foreign Exchange Reserves. doi:10.3386/w11952

Schott, J. J. (2008). Economic Sanctions. *The New Palgrave Dictionary of Economics*, 1-3.doi:10.1057/978-1-349-95121-5_2328-1

14.Silva, J. M., & Tenreyro, S. (2006). The Log of Gravity. *Review of Economics and Statistics*, 88(4), 641-658. doi:10.1162/rest.88.4.641

15.Soloaga, I., & Winters, L. A. (1999). How Has Regionalism in the 1990s Affected Trade? *Policy Research Working Papers*. doi:10.1596/1813-9450-2156

16.Salvatore D. (1995). International Economics. McGraw Hill Companies, 4th Edition. Tinbergen, J., & Dobb, M. (1962). An Essay on Economic Growth and Planning. *Econometrica*, 30(2), 399. doi:10.2307/1910240

17.Tingvall, P. G., & Ljungwall, C. (2012). Is China different? A meta-analysis of export-led growth. *Economics Letters*, 115(2), 177-179. doi:10.1016/j.econlet.2011.11.028

18.Fan, Z., Anwar, S., & Huang, S. (2018). Cultural diversity and export sophistication. *International Review of Economics & Finance*, 58, 508-522. doi:10.1016/j.iref.2018.05.008

19.Lectard, P., & Rougier, E. (2018). Can Developing Countries Gain from Defying Comparative Advantage? Distance to Comparative Advantage, Export Diversification and Sophistication, and the Dynamics of Specialization. *World Development*, 102, 90-110. doi:10.1016/j.worlddev.2017.09.012

20.XU, B. & LU, J. (2009). Foreign direct investment, processing trade, and the sophistication of China's exports. *China Economic Review* 20 (2009) 425–439 doi:10.1016/j.chieco.2009.01.004

21.Rehman F. U and Ding Y., (2019). The nexus between outward foreign direct investment and export sophistication: new evidence from China, *Applied Economics Letters*, DOI: 10.1080/13504851.2019.1616056

22.Lichtenberg, F. 2001. “Does Foreign Direct Investment Transfer Technology Across Borders?” *Review of Economics & Statistics*, 83, 490-497. doi:10.1162/00346530152480135 Hong, E., and L. Sun. (2006). “Dynamics of Internationalisation and Outward Investment: Chinese Corporations’ Strategies.” *China Quarterly* 187(Sept):610–34.

23.Kolstad I. and Wiig A. (2012). What determines Chinese Outward FDI? *Journal of World Business* 47(2012) 26 – 34. doi:10.1016/j.jwb.2010.10.017

24.Ramasamy, B., M. Yeung, and S. Laforet. (2012). “China’s Outward Foreign Direct Investment: Location Choice and Firm Ownership.” *Journal of World Business*

47(1):17–25. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jwb.2010.10.016>.

25.Sutherland, D., and L. Ning. (2011). “Exploring ‘Onward- Journey’ ODI Strategies in China’s Private Sector Businesses.” *Journal of Chinese Economic and Business Studies* 9(1):43–65. <http://dx.doi.org/10.1080/14765284.2011.542885>.

26.Sekkat, K., & Veganzones-Varoudakis, M.-A. (2007). *Openness, Investment Climate, and FDI in Developing Countries. Review of Development Economics*, 11(4), 607–620. doi:10.1111/j.1467-9361.2007.00426.x

27.Zhang, R., & Zhang, X. (2016). *Capital Structure Premium in Multinational SOEs: Evidence from China. Review of Development Economics*, 20(1), 283–293. doi:10.1111/rode.12221

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В ОТДЕЛЬНЫХ РЕГИОНАХ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

к.э.н., и.о. доцента Божко Л.Л.
к.ф.-м.н., старший преподаватель Шалдыкова Б.А.
преподаватель Афанасьев М.А.
*НАО «Рудненский индустриальный университет»
г. Рудный, Казахстан*

Аннотация. Целью исследования является определение скорости достижения целей устойчивого развития в отдельных регионах Республики Казахстан с учетом межрегиональных связей и особенностью государственного управления. Методы исследования: методы ретроспективного анализа, логического и сравнительного анализа, аналогий и обобщений, экономической статистики, индексный, метод экспертных оценок, модифицированный метод главных компонентов, агенто-базируемое моделирование.

Существующий массив литературы по проблемам исследования моделей governmental organization при имплементации ЦУР на региональном уровне можно разбить на три группы.

Первая группа — это работы, посвящённые проблемным вопросам оценки реализации ЦУР на региональном уровне

М. Стаффорд-Смит, Д. Григс, О. Гафни акцентируют внимание на существующие взаимосвязи в трех областях (крупное предпринимательство, государственный сектор и гражданского общества), а также косвенное соприкосновения интересов стран с низким, средним и высоким уровнем дохода. По итогам исследования были разработаны рекомендации, направленные на совершенствование выявленных взаимосвязей, как на глобальном, так и на национальном уровнях [1].

Ф. Бирмэн считает, что цифровые технологии стремятся к универсальному применению и, следовательно, имеют глобальный характер. Однако ожидается, что они будут адаптированы к национальному и местному контексту, учитывая уровень развития и действующую национальную и местную политику в области устойчивого развития [2].

В публикации «Publication: SustainableDevelopmentGoalDiagnostics: The CaseoftheArabRepublicofEgypt» авторы предлагают аналитическую рамку для помощи странам в приоритизации ЦУР и оценке доступности данных для их мониторинга, где именно регрессионный анализ используется для сравнения текущих результатов страны с другими странами по ЦУР относительно ВНД на душу населения, и проекции уровней ЦУР к 2030 году. Пример применения этой рамки приведён на основе данных по реализации ЦУР в Египте, где анализируется прогресс по ЦУР с 2000 года и прогнозируется достижение ЦУР к 2030 году [3].

Результаты исследования, приведённые в международном журнале «SustainableDevelopment», показывают, что из-за сложности оценки индекса устойчивого развития был разработан метод для измерения SD с использованием регрессионного анализа и данных, доступных в других глобальных отчётах. В рамках исследования были выбраны глобальные отчёты по каждому аспекту SD (социальному, экономическому и экологическому), и данные отчётов за 2016 год были использованы для построения регрессионных моделей. Достоверность полученных результатов для данных 2016 и 2018 годов составляла примерно 95% и 90%, соответственно, а также был сделан вывод, что наиболее важным аспектом в SD является социальный аспект [4].

В публикации «Evaluation and Analysis of Poverty-Stricken Counties under the Framework of the UN SustainableDevelopmentGoals: A CaseStudyofHunanProvince, China» также применяется регрессионный анализ для построения моделей оценки бедности в рамках Целей устойчивого развития ООН для провинции Хуань (Китай). Авторы используют множественные линейные модели для анализа различных социально-экономических факторов. Результаты показывают, что коэффициент детерминации и относительная ошибка модели, включающей все факторы, составляет 0,76 и 19,12%, соответственно [5].

Савруков А. Н. выделяется ряд недостатков оценки государственного управления в регионах, что можно частично перенести и на оценки достижения целей устойчивого развития. Например, перечень показателей может быть неполным, т.е. учитывать не в полной мере те или иные аспекты, влияющие в одном из трех направлений (экономический, экологический, социальный), или не учитывать вовсе, что может быть связано с особенностями странового аспекта. Некорректными могут быть исследования, где сравниваются различные по площади или по численности населения регионы без нормирования данных. В этом случае корректнее использовать удельные показатели [6].

В работе Антонова М. А. представлен примерный список показателей, которые могут относиться к одной из трёх групп факторов (экономические, экологические и социальные) [7].

В работе Тюренкова Е. Н. предложено создание паспорта региона, в котором были бы собраны стандартные характеристики каждого региона, начиная с геополитического расположения (описание границ, климатического пояса, размер территорий, описание природных ресурсов), заканчивая экономическими (ВРП, инфляция, индекс промышленного производства и пр.). Индикаторы могут быть относительными и абсолютными [8].

Работа Бобылева С.Н. является ярким примером исследований, проводимых российскими авторами по организации оценки устойчивого развития в России, тщательного анализа предлагаемых международными организациями индикаторов. Данная работа объясняет столь пристальное внимание многих авторов к экологическим аспектам устойчивого развития в начале внедрения концепции в России. Законодательная власть не уделяла должного внимания этому направлению. Все индикаторы рассчитываются с одной целью — понять, насколько проводимые меры эффективны [9].

Вторая группа источников – это рейтинги и рэнкинги устойчивого развития, которые могут быть отнесены к инструментам мониторинга и взаимодействия заинтересованных сторон по вопросам имплементации ЦУР.

Например, рэнкинг устойчивого развития регионов России (ООО «Агентство Эс Джи Эм»). Рэнкинг устойчивого развития регионов РФ за 2021 год составлен во второй раз и является универсальным инструментом оценки всех основных направлений устойчивого развития территорий, ориентированным на широкий круг заинтересованных сторон. Рэнкинг представляет собой ранжирование регионов РФ по уровню устойчивости развития на основе 51 показателя. За методологическую основу построения Рэнкинга была принята концепция устойчивого развития, которая предполагает обеспечение баланса между экономическими, социальными и экологическими целями с учётом эффективности управления.

ESG-Рейтинг регионов и городов Евразийского экономического (ООО «Национальное Рейтинговое Агентство»), который составлен для 23 регионов и крупнейших городов стран ЕАЭС. Выборка включает 6 регионов России, 7 регионов Беларуси, 7 регионов Казахстана, 2 региона Кыргызстана и 1 регион Армении. Сформированный для каждой из стран набор территориальных образований включает в себя в том числе столичные города – Москву, Минск, Астану, Бишкек и Ереван. Регионы и города оцениваются в Рейтинге на основе 45 релевантных показателей, сгруппированных в три тематических блока: Environmental (окружающая среда) – 14 показателей, Social (социальная политика) – 18 показателей, Governance (качество управления) – 13 показателей. Набор показателей сформирован прежде всего исходя из возможности получения данных из открытых официальных источников. 42 из 45 показателей основаны на статистических данных, 3 показателя оцениваются на основе анализа опубликованных документов стратегического планирования.

Третья группа источников – работы, посвящённые вопросам сравнительного анализа реализации ЦУР на региональном уровне в Казахстане и России. Здесь научное сообщество пока только формирует подходы к осмыслению данной проблематики.

Однако, сравнительные исследования governmental organization в различных сферах экономики Казахстана и России пока находятся на начальной стадии [10,11]. Таким образом, остаётся открытым вопрос, каковы характеристики модели governmental organization, используемой при реализации ЦУР на региональном уровне в Казахстане и России. Можно ли её рассматривать как частный случай одной из сложившихся на сегодня моделей или же внедряемая концепция обладает ярко выраженной спецификой как в Казахстан, так и в России?

Для ответа на этот вопрос был проведён сравнительный анализ моделей governmental organization реализации ЦУР на основе выработанных критериев. Выбор критериев расширяет существующие подходы к анализу исследуемой проблематики за счёт сравнения formalinstitutional practices and structures, содержательных приоритетов государственной политики, сопоставления

центров принятия управленческих решений и центров концентрации финансовых ресурсов.

При анализе субъективного благополучия населения и оценке влияния социальных факторов особое внимание следует уделить социально-экономическим исследованиям, направленным на оценку качества жизни и материального благосостояния, как индивида в частности, так и региона в целом [12]. Ключевым аспектом анализа является исследование взаимосвязи между социально-экономическими показателями и уровнем удовлетворённости жизнью, что является актуальной темой в исследованиях факторов благополучия.

Современные социологические исследования активно занимаются изучением структуры, методологии измерения параметров социального благополучия и их влияния на региональное развитие. В социологических интерпретациях субъективного благополучия удовлетворённость экономическими, психологическими, юридическими, политическими и экологическими аспектами жизни дополняется социально-ролевым элементом, который отражает оценку индивидом своего взаимодействия с обществом. Особое внимание уделяется работам российских учёных из Высшей школы экономики, таких как М.А. Шабанова, которые вносят значительный вклад в развитие данной области [13].

Развитие этого направления связано с исследованиями Амитаи Этциони и его последователей в университетах США и Европы. М.А. Буссери, С.У. Садава и другие авторы рассматривают субъективное благополучие как многомерный феномен, что проявляется в многообразии его определений и методологических подходов к его изучению [14].

В настоящее время существует значительное количество исследований, как зарубежных, так и отечественных, которые изучают взаимосвязь между темпами экономического роста и конкретными индикаторами развития региональных экономических систем.

Исследователи И. Надири, Дж. Фагерберг, Дж. Доси, К. Павитт, Ф. Монтоббио и Л. Сютте, работавшие в период 1980–1990-х годов, анализировали влияние инновационной активности на динамику и структуру внешней торговли. Они также оценивали воздействие импортируемых инновационных технологий на рост национальных экономик. Работы Н. Сакураи, Дж. Бернштайна, Д. Коу, Д. Геллека и П. Монена установили устойчивую положительную корреляцию между темпами прироста производительности труда и импортом технологий в экономике [15].

Работа Е. А. Хромова посвящена анализу факторов, влияющих на экономический рост регионов в условиях инновационной экономики [16]. Автор выделяет три основных элемента:

1. Инвестиции в основные производственные фонды.
2. Уровень человеческого капитала, который измеряется с помощью индекса развития человеческого потенциала (ИРЧП).
3. Инновационные процессы.

Другие исследователи, такие как S. N. Durlauf, P. A. Johnson и J. R. W. Temple, определили более ста параметров, которые оказывают влияние на экономический рост. Однако современные научные исследования всё чаще акцентируют внимание на динамике уровня благосостояния отдельных индивидов и общества в целом, вместо того чтобы сосредотачиваться исключительно на измерении экономического роста и национального богатства [17].

Исследования в области теории регионального развития по большей части ведутся в экономике, однако, часть исследований находится и в междисциплинарной области.

Для понимания основ регионального развития следует выделить следующие группы теорий:

– теории модернизации, которая объясняет развитие региона путём естественных изменений в обществе, к ним относятся урбанистические и экономико-географические теории (Э. Г. Кочетов, П. Н. Савицкий, Н. С. Трубецкой), социологические и политические теории (П. Сорокин), социоприродные или антропоэкологические теории (Г. Спенсер, Дж. Хаксли);

– неоклассические теории, которые основаны на выявлении производственного потенциала региона (Дж. Бортс, Р. Солоу, Т. Сван, Х. Зиберт, Р. Холл, Ч. Джонсон);

– теории кумулятивного роста, основанные на развитии периферийных регионов, формировании и развитии «точек роста» (Г. Мюрдаль, Х. Ричардсон, А. Вебер, Дж. Фридман, Ж.-Р. Будвиль);

– новые теории, базирующиеся на отдаче от масштаба производства и несовершенстве конкуренции, к которым можно отнести модели «потенциал рынка» Дж. Харриса, базового мультипликатора А. Преда, циклического движения Э. Венаблеса, теорию агломераций - модель экономики двух регионов Р. Фианм, модели «ядро-периферия», теорию случайного роста, эконометрическую модель пространственных лагов Л. Инна;

– другие теории, которые объясняют частные вопросы регионального роста: теория экспортной базы, теория экономической базы П. Л. Курта, В. Сонбарта, сырьевая теория Х. А. Инниса, теория секторов А. Фишера, теория гибкой специализации Д. Цетлинга, модель «затраты и выпуск», модель размещения производства Х. Боса; теория конкурентных преимуществ, основанная на максимально эффективном использовании регионом своих производственных, интеллектуальных, технологических, природных или иных преимуществ (М. Портер) [18].

Современные парадигмы регионального развития акцентируют внимание на экономических аспектах, таких как производственный потенциал, механизмы трансформации и инновационная инфраструктура. Однако роль социокультурных факторов, за исключением концепции конкурентных преимуществ Майкла Портера, остаётся недостаточно исследованной.

Теория Майкла Портера, известная как "Национальный ромб", представляет собой многоуровневую модель, которая анализирует

детерминанты конкурентоспособности региона или страны [20]. Одним из ключевых компонентов данной модели является человеческий капитал, который играет фундаментальную роль в формировании и реализации конкурентных преимуществ.

Человеческий капитал, определяемый как совокупность знаний, навыков, опыта и иных качественных характеристик рабочей силы, значительно влияет на экономическое развитие региона. Исследования в данной области являются актуальными и перспективными, поскольку они способствуют более глубокому пониманию взаимодействия социокультурных и экономических факторов в контексте регионального развития.

Интеграция социокультурного и экономического анализа позволяет более комплексно оценить механизмы регионального развития и разработать эффективные стратегии для повышения конкурентоспособности территориальных образований. Подобные исследования находятся на стыке нескольких научных дисциплин, включая экономику, социологию, менеджмент и культурологию, и проводятся учёными, представляющими различные научные школы и направления.

Для формирования базовых моделей регионов рассматриваются технологии макроэкономического моделирования: моделирование в классе вычислимых моделей общего равновесия (CGE-модель представляет собой систему уравнений поведения экономических агентов, решением которой является общее экономическое равновесие, как правило, сводящееся к уравновешиванию спроса и предложения на рынках товаров и услуг, рассматриваемых в модели. Равновесие достигается численными методами; моделирование в классе динамических стохастических моделей общего равновесия (DSGE-модели используются в качестве инструмента изучения экономических систем и разработки экономической политики центральными банками. На сегодняшний день DSGE-модели считаются стандартом для макроэкономического финансового моделирования; агент-ориентированное моделирование (Agent-based modeling или Agent-based Computation Economics (ACE) modeling) - имитационное моделирование, основанное на индивидуальном поведении агентов. Агент-ориентированное моделирование особенно подходит для создания территориально-распределённых моделей экономических и социальных систем.

При формировании базовых моделей регионов используются следующие методы: дескриптивный анализ, корреляционный анализ, кластерный анализ, факторный анализ, анализ временных рядов, регрессионный анализ и др. Регрессионный анализ представляет собой мощный инструмент для анализа данных, связанных с ЦУР, из-за его способности определить причинно-следственные связи, что позволяет установить не только взаимосвязь между различными факторами и достижениями ЦУР, но и оценить, насколько сильно одна переменная может влиять на другую, учитывая при этом все остальные факторы.

Важно учитывать специфику каждого региона и адаптировать подходы в зависимости от местных условий и потребностей.

Одним из направлений внедрения принципов устойчивого развития на региональном уровне является вовлечение бизнеса и других заинтересованных сторон в повестку устойчивого развития. С целью определения приоритетных направлений расширения взаимодействия с бизнес-структурами в исследовании сделана попытка определить зависимость между объемом инвестиций, направляемых регионами на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов, на душу населения и показателями, характеризующими экологическую ситуацию в регионах.

С помощью регрессионного анализа по четырем регионам Республики Казахстан (Костанайская область, Алматинская область, Восточно-Казахстанская область, Западно-Казахстанская область) составлены модели, описывающие зависимость объема инвестиций на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов на душу населения от следующих показателей:

- объем выбросов в атмосферу загрязняющих веществ без очистки на душу населения,
- объем вывезенных твердых бытовых отходов на душу населения,
- объем утилизированных загрязняющих веществ,
- доступ к чистой воде (доля населения, обеспеченного питьевой водой из децентрализованных источников водоснабжения) (таблица 1).

Таблица 1 - Базовые модели, описывающие зависимость объема инвестиций на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов на душу населения от выбранных показателей

№	Регион	Базовая модель	Экономическая интерпретация параметров модели
1	Костанайская область	$Y = 1507780421,35 - 7670508,11X_1 - 2738663,61X_2 + 1428741,19X_3,$ <p>где у - объем инвестиций на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов на душу населения (тыс. тенге);</p> <p>x_1 - объем выбросов в атмосферу загрязняющих веществ без очистки на душу населения (кг);</p> <p>x_2 - объем вывезенных твердых бытовых отходов на душу населения (тонн);</p> <p>x_3 - объем утилизированных загрязняющих веществ (тонн);</p> <p>x_4 - доступ к чистой воде (доля населения, обеспеченного питьевой водой из децентрализованных источников водоснабжения) (%).</p>	<p>– увеличение объема выбросов в атмосферу загрязняющих веществ без очистки на душу населения на 1 кг приводит при прочих равных условиях к уменьшению объема инвестиций на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов на душу населения в среднем на 7670508,106 тыс. тенге;</p> <p>– увеличение объем вывезенных твердых бытовых отходов на душу населения на 1 тонну приводит к уменьшению объема инвестиций в среднем на 2738663,613 тыс. тенге;</p> <p>– увеличение объем утилизированных загрязняющих веществ на 1 тонну приводит к увеличению объема инвестиций в среднем на 1428741,186 тыс. тенге.</p> <p>Наибольшее влияние на объем инвестиций оказывает фактор x_3 ($r = 0.2612$), значит, при построении модели он войдет в регрессионное уравнение первым</p>

№	Регион	Базовая модель	Экономическая интерпретация параметров модели
2	Восточно-Казахстанская область	$Y = -49969923,6595 + 81406,3582X_1 + 37884,9474X_2 + 32997,7145X_3,$ <p>где y - объем инвестиций на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов на душу населения (тыс. тенге);</p> <p>x_1 - объем выбросов в атмосферу загрязняющих веществ без очистки на душу населения (кг);</p> <p>x_2 - объем вывезенных твердых бытовых отходов на душу населения (тонн);</p> <p>x_3 - объем утилизированных загрязняющих веществ (тонн);</p> <p>x_4 - доступ к чистой воде (доля населения, обеспеченного питьевой водой из децентрализованных источников водоснабжения) (%).</p>	<p>– увеличение объема выбросов в атмосферу загрязняющих веществ без очистки на душу населения на 1 кг приводит к увеличению объема инвестиций в среднем на 81406,358 тыс. тенге;</p> <p>– увеличение объема вывезенных твердых бытовых отходов на душу населения на 1 тонну приводит к увеличению объема инвестиций в среднем на 37884,947 тыс. тенге;</p> <p>– увеличение объема утилизированных загрязняющих веществ на 1 тонну приводит к увеличению параметра Y в среднем на 32997,714 тыс. тенге.</p> <p>По максимальному коэффициенту $\beta_3=0.993$ следует, что наибольшее влияние на объем инвестиций оказывает фактор объем утилизированных загрязняющих веществ</p>
3	Алматинская область	$Y = 354764,4821 + 1935,6305X_1 - 735,1717X_2 + 2531,2187X_3$ <p>где y - объем инвестиций на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов на душу населения (тыс. тенге);</p> <p>x_1 - объем выбросов в атмосферу загрязняющих веществ без очистки на душу населения (кг);</p> <p>x_2 - объем вывезенных твердых бытовых отходов на душу населения (тонн);</p> <p>x_3 - объем утилизированных загрязняющих веществ (тонн);</p> <p>x_4 - доступ к чистой воде (доля населения, обеспеченного питьевой водой из децентрализованных источников водоснабжения) (%).</p>	<p>– увеличение объема выбросов в атмосферу загрязняющих веществ без очистки на душу населения на 1 кг приводит к увеличению объема инвестиций в среднем на 1935,63 тыс. тенге;</p> <p>– увеличение объема вывезенных твердых бытовых отходов на душу населения на 1 тонну приводит к уменьшению объема инвестиций в среднем на 735,172 тыс. тенге;</p> <p>– увеличение объема утилизированных загрязняющих веществ на 1 тонну приведет к увеличению объема инвестиций в среднем на 2531,219 тыс. тенге.</p>
4	Западно-Казахстанская область	$Y = 6811772,5379 - 209792,5564X_1 - 1362,4044X_2 + 27896,4135X_4$ <p>где y - объем инвестиций на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов на душу населения (тыс. тенге);</p> <p>x_1 - объем выбросов в атмосферу загрязняющих веществ без очистки на душу населения (кг);</p>	<p>– увеличение объема выбросов в атмосферу загрязняющих веществ без очистки на душу населения на 1 кг приводит к уменьшению объема инвестиций в среднем на 209792,556 тыс. тенге;</p> <p>– увеличение объема вывезенных твердых бытовых отходов на душу населения на 1 тонну приводит к уменьшению Y в среднем на 1362,404 тыс. тенге;</p> <p>– увеличение доступа к чистой воде (доли населения, обеспеченного питьевой водой из децентрализованных источников водоснабжения) на 1% приводит к увеличению Y в среднем на 27896,414 тыс. тенге.</p>

№	Регион	Базовая модель	Экономическая интерпретация параметров модели
		<p>x_2 - объем вывезенных твердых бытовых отходов на душу населения (тонн);</p> <p>x_3 - объем утилизированных загрязняющих веществ (тонн);</p> <p>x_4 - доступ к чистой воде (доля населения, обеспеченного питьевой водой из децентрализованных источников водоснабжения) (%).</p>	<p>Наибольшее влияние на резульативный признак оказывает фактор x_2 ($r = - 0.801$).</p>

По всем регионам наблюдается наиболее сильная взаимосвязь между объёмом инвестиций, направляемых на проведение природоохранных мероприятий, и объёмом утилизированных загрязняющих веществ на 1 тонну. Рост объема выбросов в атмосферу загрязняющих веществ без очистки на душу населения на 1 кг. приведёт к поиску дополнительных источников финансирования преимущественно в промышленных регионах Республики Казахстан. Из общего списка исследуемых регионов выделяется Западно-Казахстанская область, где увеличение доступа к чистой воде (доли населения, обеспеченного питьевой водой из децентрализованных источников водоснабжения) на 1% приводит к увеличению объёма инвестиций в среднем на 4%. В меньшей степени прослеживается взаимосвязь между объёмом инвестиций и объемом вывезенных твердых бытовых отходов на душу населения на 1 тонну, в виду того, что проблема твёрдых бытовых отходов решена во всех регионах страны. Несомненно, среди источников финансирования следует рассматривать не только региональные бюджеты, но также банковские структуры и институты развития. Использование механизмов государственно-частного партнёрства в сфере охраны окружающей среды позволит комплексно решать приоритетные экологические проблемы регионов.

С помощью регрессионного анализа по четырем регионам Республики Казахстан (Костанайская область, Алматинская область, Восточно-Казахстанская область, Западно-Казахстанская область) построены модели, описывающие зависимость уровня активности в области инноваций от следующих факторов:

- объем всей инновационной продукции,
- объем реализованной инновационной продукции,
- затраты на инновации,
- количества предприятий, имеющих инновации (таблица 2).

Таблица 2 - Базовые модели, описывающие зависимость уровня активности в области инноваций от выбранных показателей, в исследуемых регионах

№	Регион	Базовая модель	Экономическая интерпретация параметров модели
1	Костанайская область	$y = 7,9620 + 0,6842x_1 - 5,3127x_2 - 131,4471x_4,$ <p>где y - уровень активности в области инноваций, в %; x_1 - объем инновационной продукции, всего; x_2 - объем реализованной инновационной продукции; x_3 - затраты на инновации, всего; x_4 - количество предприятий; x_5 - количество предприятий, имеющие инновации</p>	<p>– увеличение объема инновационной продукции на 1 единицу приводит к увеличению уровня активности в области инноваций в среднем на 0,6842%;</p> <p>– увеличение объем реализованной инновационной продукции на 1 единицу приводит к уменьшению уровня активности в области инноваций в среднем на 5,3127%;</p> <p>– увеличение количества предприятий на 1 единицу приводит к уменьшению уровня активности в области инноваций в среднем на 131,4471%.</p> <p>Наибольшее влияние на уровень активности в области инноваций оказывает фактор x_2 (коэффициент корреляции $r = 0.89$), значит, при построении модели он войдет в регрессионное уравнение первым.</p>
2	Восточно-Казахстанская область	$y = 8,4074 - 0,000102x_1 + 3,5880x_2 + 5,3668x_3,$ <p>где y - уровень активности в области инноваций, в %; x_1 - объем инновационной продукции, всего; x_2 - объем реализованной инновационной продукции; x_3 - затраты на инновации, всего; x_4 - количество предприятий; x_5 - количество предприятий, имеющие инновации</p>	<p>– увеличение объема инновационной продукции на 1 единицу приводит к уменьшению уровня активности в области инноваций в среднем на 0,000102%;</p> <p>– увеличение объем реализованной инновационной продукции на 1 единицу приводит к росту уровня активности в области инноваций в среднем на 3,5880%;</p> <p>– увеличение затрат на инновации на 1 единицу приведет к росту уровня активности в области инноваций на 5,3668%.</p>
3	Алматинская область	$y = - 66,4869 + 0,0010x_1 + 5,2305x_2 + 0,00048x_3,$ <p>где y - уровень активности в области инноваций, в %; x_1 - объем инновационной продукции, всего; x_2 - объем реализованной инновационной продукции; x_3 - затраты на инновации, всего; x_4 - количество предприятий;</p>	<p>– увеличение объема инновационной продукции на 1 единицу приводит к увеличению уровня активности в области инноваций в среднем на 0,001%;</p> <p>– увеличение объем реализованной инновационной продукции на 1 единицу приводит к росту уровня активности в области инноваций в среднем на 5,2305%;</p> <p>– увеличение затрат на инновации на единицу приведет к росту уровня</p>

№	Регион	Базовая модель	Экономическая интерпретация параметров модели
		x_5 - количество предприятий, имеющие инновации	активности в области инноваций на 0,00048%.
4	Западно-Казахстанская область	$y = 3,7074 + 0,0003x_1 - 0,00013x_2 - 0,00014x_3$, где y - уровень активности в области инноваций, в %; x_1 - объем инновационной продукции, всего; x_2 - объем реализованной инновационной продукции; x_3 - затраты на инновации, всего; x_4 - количество предприятий; x_5 - количество предприятий, имеющие инновации	– увеличение объема инновационной продукции на 1 единицу приводит к увеличению уровня активности в области инноваций в среднем на 0,0003%; – увеличение объем реализованной инновационной продукции на 1 единицу приводит к уменьшению уровня активности в области инноваций в среднем на 0,00013%; – увеличение затрат на инновации на единицу приведет к уменьшению уровня активности в области инноваций на 0,00014%. Наибольшее влияние на результативный признак оказывает фактор x_2 ($r = - 0.89$).

В исследуемых регионах наблюдается тесная взаимосвязь между уровнем активности в области инноваций и объёмами инновационной продукции, производимой в регионах, а также затратами на инновации. Как известно, бизнес неохотно стремится на рынок инноваций, т.к. они не позволяют получить максимальную прибыль, что противоречит целевым установкам бизнеса.

С помощью регрессионного анализа составлены модели, описывающие зависимость валового регионального продукта (ВРП) от следующих факторов:

- объем промышленного производства,
- количество малых и средних предприятий,
- объём инвестиций в основной капитал региона,
- объём рабочей силы (таблица 3).

Таблица 3 - Базовые модели, описывающие зависимость валового регионального продукта (ВРП) от выбранных индикаторов, в исследуемых регионах

№	Регион	Базовая модель	Экономическая интерпретация параметров модели
1	Костанайская область	$Y = 14409291,3251 + 0,3626x_1 + 29,402x_2 - 27088,2217x_4$, где y – валовой внутренний продукт (ВРП); x_1 - объем промышленного производства; x_2 - количество малых и средних предприятий, единиц;	– увеличение объема промышленного производства на 1 единицу приводит к увеличению ВРП региона в среднем на 0,363 ед.изм. – увеличение числа малых и средних предприятий на 1 единицу приводит к росту ВРП в среднем на 29,402 ед.изм.

№	Регион	Базовая модель	Экономическая интерпретация параметров модели
		x_3 - объём инвестиций в основной капитал региона, млн.тенге; x_4 - объём рабочей силы, тыс. человек	– увеличение объема рабочей силы на 1 единицу связано со снижением ВРП в среднем на 27088,222 ед.изм.
2	Восточно-Казахстанская область	$Y = 5367419,6938 - 0,5678x_1 - 40,075x_2 + 4,6054x_3$, где y – валовой внутренний продукт (ВРП); x_1 - объём промышленного производства; x_2 - количество малых и средних предприятий, единиц; x_3 - объём инвестиций в основной капитал региона, млн.тенге; x_4 - объём рабочей силы, тыс. человек	– увеличение объема промышленного производства на 1 единицу приводит к снижению валового регионального продукта (ВРП) в среднем на 0,568 ед.изм. – увеличение числа малых и средних предприятий на 1 единицу связано со снижением ВРП в среднем на 40,075 ед.изм. – увеличение объема инвестиций в основной капитал региона на 1 тенге приводит к увеличению ВРП в среднем на 4,605 ед.изм.
3	Алматинская область	$Y = 9651062,7907 - 0,2173x_1 - 111,5528x_2 + 14,7891x_3$, где y – валовой внутренний продукт (ВРП); x_1 - объём промышленного производства; x_2 - количество малых и средних предприятий, единиц; x_3 - объём инвестиций в основной капитал региона, млн.тенге; x_4 - объём рабочей силы, тыс. человек	– увеличение объема промышленного производства x_1 на 1 единицу приводит к снижению валового регионального продукта (ВРП) в среднем на 0,217 ед.изм. – увеличение количества малых и средних предприятий x_2 на 1 единицу приводит к уменьшению ВРП в среднем на 111,553 ед.изм. – увеличение объёма инвестиций в основной капитал региона x_3 на 1 единицу приводит к увеличению ВРП в среднем на 14,789 ед.изм.
4	Западно-Казахстанская область	$Y = - 410194,0209 + 0,3478x_1 + 32,155x_2 + 3,0566x_3$, где y – валовой внутренний продукт (ВРП); x_1 - объём промышленного производства; x_2 - количество малых и средних предприятий, единиц; x_3 - объём инвестиций в основной капитал региона, млн.тенге; x_4 - объём рабочей силы, тыс. человек	– увеличение объема промышленного производства x_1 на 1 единицу приводит к увеличению ВРП в среднем на 0,348 ед.изм. – увеличение количества малых и средних предприятий x_2 на 1 единицу приводит к увеличению ВРП в среднем на 32,155 ед.изм. – увеличение объём инвестиций в основной капитал региона x_3 на 1 единицу приводит к увеличению ВРП в среднем на 3,057 ед.изм

В исследовании выделено 4 типа реакции региональных экономик на потрясения, связанные с периодом пандемии, и введением антироссийских санкций:

1 регионы возвращаются к уже существующему устойчивому пути роста;

2 регионы не смогли возобновить прежний устойчивый путь роста после шока, но выстраивают новую траекторию с таким же темпом роста;

3 регионы не смогли возобновить прежний устойчивый путь роста после шока, но выстраивают траекторию, темп роста которой ниже докризисного;

4 регионы восстанавливаются от шока и выходят на новый, улучшенный путь роста.

Многие тенденции экономического развития регионов, наметившиеся в 2020 году, не получили продолжения в 2022 году из-за резких изменений экономической и геополитической ситуации. В первую очередь, на состояние региональных экономик в текущих условиях оказывает влияние их отраслевая специализация и транспортная доступность в условиях изменения географии товарных потоков. С наиболее серьезными проблемами сталкиваются регионы, специализирующиеся на горно-металлургической промышленности. Более благоприятная ситуация складывается для регионов с высокой долей агропромышленных предприятий.

Прогноз выполнен на основе анализа фактических данных о ВРП на душу населения за 2005–2024 годы, с использованием линейной регрессии. Модель охватывает четыре региона Республики Казахстан и учитывает, как базовый тренд, так и возможные отклонения в зависимости от социально-экономических условий (рисунок 1).

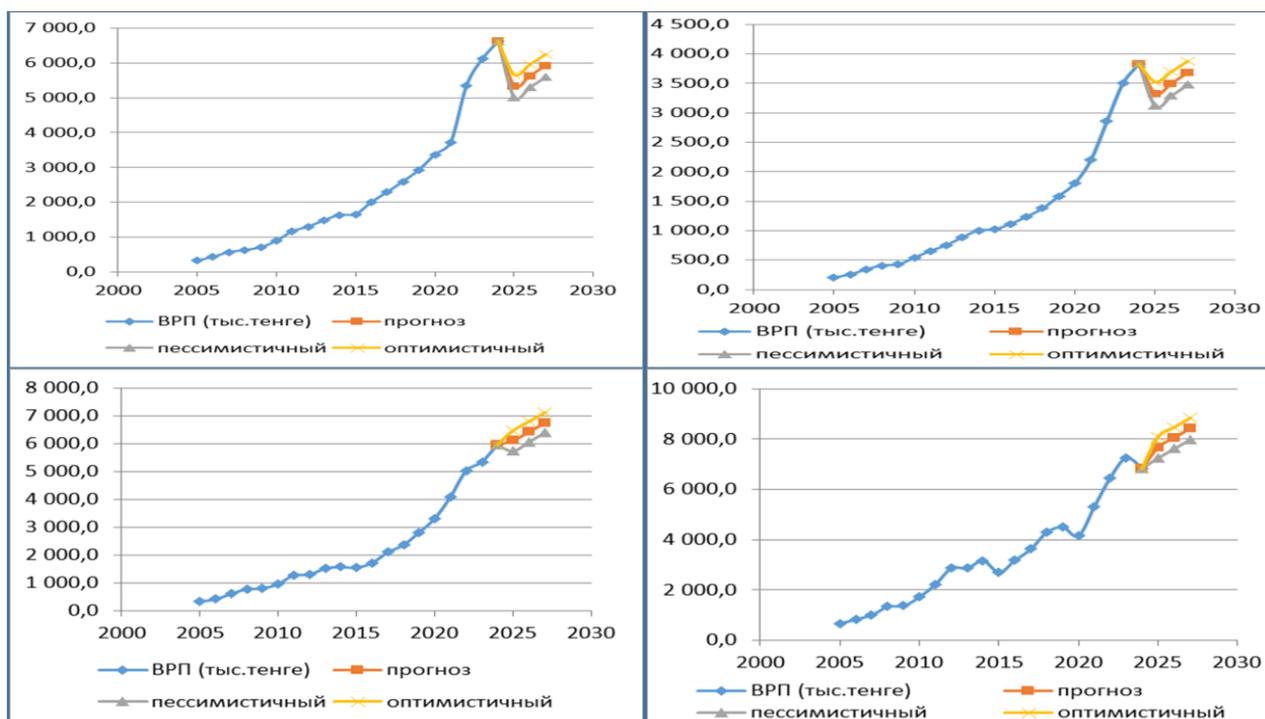


Рисунок 1- Прогноз ВРП на душу населения в отдельных регионах Казахстана (1 – Восточно-Казахстанская область, 2 - Алматинская область, 3 - Костанайская область, 4 – Западно-Казахстанская область)

В таблице 4 представлены обобщённые результаты прогнозного исследования ВРП на душу населения в исследуемых регионах. Рассмотрены три сценария развития: базовый прогноз - предполагает сохранение текущих

экономических тенденций; пессимистичный сценарий - учитывает возможные внешние и внутренние риски: снижение инвестиций, рост инфляции, замедление экономического роста; оптимистичный сценарий - предполагает рост инвестиций, поддержку со стороны государства и устойчивый экономический рост.

Таблица 4 - Обобщение результатов прогнозного исследования ВРП на душу населения

№	Регион	Результаты исследования
1	Костанайская область	<p>Прогноз на 2025–2027 гг. представлен в базовом, пессимистичном и оптимистичном сценариях. В рамках базового сценария в 2025 году ВРП на душу населения составит 6 104,3 тыс. тенге, в 2026 — 6 429,9 тыс. тенге, а к 2027 году достигнет 6 755,5 тыс. тенге. Среднегодовой прирост по базовому варианту составляет около 3,4%, что указывает на устойчивое, но умеренное развитие.</p> <p>Пессимистичный сценарий предполагает более сдержанный рост: с 5 735,9 тыс. тенге в 2025 году до 6 387,1 тыс. тенге в 2027 году. Такое развитие событий может быть обусловлено замедлением инвестиционной активности, внешнеэкономическими рисками или снижением потребительского спроса.</p> <p>Оптимистичный сценарий, напротив, предполагает ускоренный рост: до 6 472,8 тыс. тенге в 2025 году, 6 798,4 тыс. тенге в 2026 и 7 124,0 тыс. тенге в 2027 году. Данная траектория возможна при усилении инвестиций, росте экспорта и эффективном использовании инновационных решений в реальном секторе.</p> <p>Графический анализ подтверждает, что все три сценария — базовый, пессимистичный и оптимистичный — следуют за общей трендовой линией: базовый прогноз находится на её уровне, пессимистичный — несколько ниже, оптимистичный — выше, но в пределах исторически обоснованного диапазона колебаний.</p> <p>Таким образом, в 2025–2027 гг. ожидается продолжение роста ВРП на душу населения, что требует от региональных органов власти и бизнеса стратегического подхода к развитию человеческого капитала, стимулированию инвестиций и повышению эффективности управления экономическими процессами.</p>
2	Восточно-Казахстанская область	<p>Прогноз на 2025–2027 гг. отражает умеренное замедление темпов роста с возможным краткосрочным спадом. Согласно базовому сценарию, в 2025 году ВРП сократится до 5 333,0 тыс. тенге, а затем начнет восстанавливаться, достигая 5 625,2 тыс. тенге в 2026 году и 5 917,3 тыс. тенге в 2027 году. Среднегодовой темп прироста в этом варианте составляет около 5,3% с учетом временного снижения в 2025 году.</p> <p>Пессимистичный сценарий предполагает более выраженное снижение с 5 002,4 тыс. тенге в 2025 году до 5 586,7 тыс. тенге в 2027 году. Такая динамика может быть обусловлена внешнеэкономическими рисками, снижением экспортной выручки или ростом инфляционного давления.</p>

№	Регион	Результаты исследования
		<p>В оптимистичном варианте прогнозируется устойчивое восстановление с ростом до 6 247,9 тыс. тенге к 2027 году. Это возможно при условии сохранения высоких цен на сырьевые ресурсы, стимулирования частных инвестиций и эффективной государственной политики поддержки бизнеса.</p> <p>Графический анализ подтверждает, что все три сценария развиваются вблизи ранее наблюдавшегося тренда, при этом пессимистичный вариант лишь умеренно отклоняется вниз, а оптимистичный демонстрирует плавную восходящую траекторию. Характерно, что после резкого роста 2021–2023 гг. происходит временная стабилизация, что может свидетельствовать о насыщении текущей модели роста и необходимости перехода к более сбалансированной экономике.</p> <p>Таким образом, в 2025–2027 гг. ВРП региона, по прогнозам, сохранит положительную динамику, несмотря на возможную коррекцию в 2025 году. Это требует от органов управления адаптивной экономической политики, направленной на диверсификацию экономики, повышение производительности труда и укрепление внутреннего спроса.</p>
3	Алматинская область	<p>Построенная на основе фактических данных трендовая линия подтверждает наличие устойчивой восходящей траектории, указывающей на долгосрочную закономерность роста региональной экономики. Особенно стабильная динамика наблюдается с 2010 года, что делает прогнозные оценки более надёжными и обоснованными.</p> <p>Прогноз на 2025–2027 гг. разработан в трех сценариях: базовом, пессимистичном и оптимистичном. В базовом сценарии ожидается краткосрочное снижение показателя до 3 318,8 тыс. тенге в 2025 году, за которым последует постепенное восстановление: 3 499,0 тыс. тенге в 2026 году и 3 679,1 тыс. тенге в 2027 году. Такое снижение может быть связано с корректировкой после резкого роста в предыдущие годы.</p> <p>Пессимистичный сценарий предполагает более существенное снижение — до 3 115,0 тыс. тенге в 2025 году с умеренным восстановлением до 3 475,3 тыс. тенге к 2027 году. Это может быть обусловлено внешнеэкономическими вызовами, снижением инвестиций и нестабильной макроэкономической ситуацией.</p> <p>Оптимистичный вариант, напротив, предполагает устойчивый рост: с 3 522,7 тыс. тенге в 2025 году до 3 882,9 тыс. тенге в 2027 году. Данный сценарий возможен при благоприятной инвестиционной конъюнктуре, росте производительности труда и продолжении структурных реформ.</p> <p>Графический анализ подтверждает близость всех трёх сценариев к общей трендовой линии: базовый прогноз следует основной траектории, пессимистичный отклоняется вниз, а оптимистичный — вверх, но в пределах реального диапазона колебаний. Это указывает на разумный уровень неопределённости и сбалансированный подход к оценке рисков.</p> <p>Таким образом, несмотря на возможные краткосрочные колебания, в среднесрочной перспективе ВРП на душу населения сохраняет потенциал к восстановлению и росту. Это требует от</p>

№	Регион	Результаты исследования
		региональных властей и бизнес-сообщества гибкой политики, ориентированной на повышение устойчивости экономики, инвестиционную привлекательность и поддержку человеческого капитала
4	Западно-Казахстанская область	<p>Построенная на основе фактических данных линия тренда указывает на восходящую траекторию, несмотря на колебания, наблюдаемые в 2015–2016 и 2020 гг. Особенно устойчивый рост наблюдается в период 2021–2023 гг., что повышает достоверность прогнозных сценариев.</p> <p>На 2025–2027 гг. представлен прогноз в трех вариантах: базовом, пессимистичном и оптимистичном. Согласно базовому сценарию, в 2025 году ВРП составит 7 673,7 тыс. тенге, в 2026 — 8 045,1 тыс. тенге, а в 2027 году достигнет 8 416,4 тыс. тенге. Среднегодовой прирост в прогнозный период составляет порядка 3,1%.</p> <p>Пессимистичный сценарий предполагает более сдержанную динамику: с 7 253,5 тыс. тенге в 2025 году до 7 996,2 тыс. тенге в 2027 году. Это может быть обусловлено внешнеэкономическими вызовами, нестабильностью на сырьевых рынках или снижением экспортной активности.</p> <p>В оптимистичном сценарии предполагается ускоренное развитие экономики с ростом ВРП до 8 093,9 тыс. тенге в 2025 году и 8 836,6 тыс. тенге к 2027 году. Достижение этих показателей возможно при благоприятной конъюнктуре, росте производительности, активном привлечении инвестиций и реализации крупных инфраструктурных проектов.</p> <p>Графический анализ подтверждает, что все три сценария остаются в пределах реального исторического диапазона и тяготеют к долгосрочному тренду. Базовый прогноз находится близко к фактической линии, пессимистичный — немного ниже, оптимистичный — выше, демонстрируя потенциал роста при активной поддержке экономики.</p> <p>Таким образом, в ближайшие годы ожидается сохранение позитивной динамики ВРП, что требует продолжения стратегических мер по поддержке экономического роста, модернизации производства и стимулированию инвестиционной активности.</p>

Социальный блок показателей затрагивает сразу несколько важнейших параметров общественного благополучия: занятость, доходы населения, демографические тенденции, развитие медицинской сферы. Кроме того, в рамках блока учитывается ряд дополнительных показателей (количество правонарушений на душу населения и охват населения дошкольными учреждениями). Оценки регионов существенно варьирует в разрезе отдельных количественных показателей социального блока. Наблюдается незначительное среднее снижение уровня безработицы на 2,38%, с вариациями от -0,075% до 0,065%, что свидетельствует о стабилизации рынка труда. Ожидаемая продолжительность жизни при рождении демонстрирует рост на 1,72%, что является показателем улучшения условий и качества жизни. Рост реальных

денежных доходов населения ожидается на уровне 206,69% в среднем, что отражает значительное улучшение экономического благосостояния граждан. Уменьшение социального неравенства подтверждается ростом доли доходов, наименее обеспеченных 40% населения в общих доходах на 11.02% в среднем, с изменениями от 10.99% до 11.05%. Также отмечается снижение материнской и младенческой смертности на 4,19%, что свидетельствует о повышении уровня здравоохранения. Показатель отношения среднедушевых доходов населения к стоимости жилья увеличивается на 17,45%, что указывает на улучшение доступности жилья.

Управленческий блок показателей затрагивает несколько параметров, связанных с интеграцией концепции устойчивого развития в региональное управление. Особенностью блока является присутствие в нем трех качественных показателей: интеграции концепции устойчивого развития в планы развития областей, отражение в планах развития регионов климатических рисков и наличие публичной стратегии в области охраны окружающей среды. В планы развития всех регионов Казахстана имплементированы ЦУР, но существует определённый разброс по отдельным ЦУР. Например, ЦУР в области экологии в наименьшей степени представлены в планах развития Карагандинской и Алматинской областей (мероприятия только по 2 из 5 ЦУР, связанных с экологической ситуацией). По двум другим качественным показателям (отражение в планах развития регионов климатических рисков и наличие публичной стратегии в области охраны окружающей среды) казахстанские регионы представлены не в полном объеме. Еще одним ключевым аспектом является образование, где наблюдается заметный прогресс. Оценка качества школьного образования по результатам теста PISA показывает существенное улучшение. Эти данные указывают на повышение качества образовательной системы и усилия по улучшению учебных программ и методик обучения. Ощущение личной, имущественной и общественной безопасности показывает значительное увеличение на 17.03%, достигая прогнозный уровень (80.00%). Наблюдаемый рост свидетельствует о повышении эффективности мер по обеспечению безопасности и снижению уровня преступности, а также улучшению взаимодействия правоохранительных органов с населением.

Экологический блок затрагивает сразу несколько важнейших аспектов: воздействие на окружающую среду (в том числе на атмосферы и водные объекты), обращение с отходами, охраняемые природные территории и зеленые насаждения. Кроме того, в рамках блока учитывается ряд эколого-экономических показателей (энергоёмкость ВРП и относительный объем инвестиций на охрану окружающей среды). Ситуация в регионах существенно отличается в разрезе отдельных количественных показателей экологического блока: по некоторым из них в большинстве регионов фиксируется высокая прозрачность и положительная динамика, в то время как другие остаются «проблемной» зоной. Особое внимание уделяется удовлетворённости населения качеством экологической обстановки, которая демонстрирует рост на 25.15%. Это улучшение не только отражает растущее осознание экологических вопросов, но и подчеркивает усилия, направленные на повышение экологической

безопасности и качества жизни. Доступ к услугам водоснабжения, который является критически важным аспектом экологического благополучия, увеличивается на 13.11% в сельских районах и на 2.01% в городских условиях. Это улучшение свидетельствует о развитии инфраструктуры и усилиях по обеспечению доступа к чистой питьевой воде, что является фундаментальным фактором для улучшения качества жизни и здоровья населения. Эти данные отражают общие усилия по улучшению экологических условий и повышению уровня жизни, что важно для достижения целей устойчивого развития.

Экологические ЦУР (ЦУР 6, 13 и 15) интегрированы в программы развития практических всех регионов Казахстана, что свидетельствует об имплементации данных ЦУР на региональный уровень (таблица 5).

Таблица 5 - Отражение ЦУР в программных документах регионов Республики Казахстан

Области	ЦУР 6: Чистая вода и санитария	ЦУР 7: Недорогостоящая и чистая энергия	ЦУР 13: Борьба с изменением климата	ЦУР 14: Сохранение морских экосистем	ЦУР 15: Сохранение экосистем суши
Абайская область	+	+	+	-	+
Актюбинская область	+	+	+	-	-
Акмолинская область	+	-	+	-	+
Алматинская область	-	-	-	-	+
Восточно-Казахстанская область	+	+	+	-	+
Жамбылская область	+	+	+	-	+
Жетысу область	+	-	+	-	+
Западно-Казахстанская область	+	+	+	-	+
Карагандинская область	-	-	+	-	+
Костанайская область	+	-	+	-	+
Кызылординская область	-	-	-	-	-
Мангыстауская область	+	+	+	+	+
Павлодарская область	+	-	+	-	+
Северо-Казахстанская область	+	-	+	-	+
Улытау область	+	+	+	+	+

В рамках реализации проекта по созданию Платформы ЦУР для Центральной Азии проводилась работа по локализации ЦУР в 4 областях Казахстана (Жетісу, Абай, Ұлытау, Кызылординской области). Концепция локализации включала следующие аспекты: роль ЦУР в формировании региональной политики и роль местных исполнительных органов власти в достижении ЦУР.

Относительно содержательного аспекта отражения экологических ЦУР в планах развития регионов необходимо отметить, что наблюдается формальный подход, который выражен в общих формулировках, отсутствии

учета специфики ЦУР и конкретизации, упрощённом понимании механизмов решения экологических проблем. Также при анализе программных документов регионов выявлены значительные расхождения в том, как в них учитываются цели устойчивого развития. На примере 4 регионов (Восточно-Казахстанская область, Алматинская область, Костанайская область, Западно-Казахстанская область) представлен содержательный аспект фрагмента мониторинга планов развития на 2021-2025гг., который подтверждает отсутствие пристального внимания местных исполнительных органов власти к экологической проблематике на региональном уровне (таблица 6).

Таблица 6 - Мониторинг отражения экологических ЦУР в планах развития отдельных регионов Казахстана

Регион Казахстана	Цель 6: Чистая вода и санитария	Цель 7: Недорогостоящая и чистая энергия	Цель 13: Борьба с изменением климата	Цель 14: Сохранение морских экосистем	Цель 15: Сохранение экосистем суши
План развития Алматинской области	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Направление 2: Регион – комфортный и безопасный для проживания. Цель 2: Улучшение экологического состояния, восстановление численности редких и исчезающих видов диких животных на территории ГПР «Иле-Балхаш» и сохранение экосистем водных объектов и рыбных ресурсов
План развития Восточно-Казахстанской области	Цель 15. Улучшение экологической обстановки Цель 16. Обеспечение населения централизованным водоснабжением и водоотведением	Цель 15. Улучшение экологической обстановки	Цель 15. Улучшение экологической обстановки	Отсутствует	Цель 15. Улучшение экологической обстановки
План развития Западно-Казахстанской области	2 направление - Регион комфортный и безопасный для проживания Цель 2.2 - Улучшение экологической ситуации в регионе	2 направление - Регион комфортный и безопасный для проживания Цель 2.2 - Улучшение экологической ситуации в регионе	2 направление - Регион комфортный и безопасный для проживания Цель 2.2 - Улучшение экологической ситуации в регионе	Отсутствует	2 направление - Регион комфортный и безопасный для проживания Цель 2.2 - Улучшение экологической ситуации в регионе
План развития Костанайской области	2. Регион комфортный и безопасный для проживания 2.3. Обеспечение населения качественной питьевой водой 2.5. Улучшение	Отсутствует	2. Регион комфортный и безопасный для проживания 2.5. Улучшение экологической ситуации в регионе	Отсутствует	2. Регион комфортный и безопасный для проживания 2.5. Улучшение экологической ситуации в регионе

Регион Казахстана	Цель 6: Чистая вода и санитария	Цель 7: Недорогостоящая и чистая энергия	Цель 13: Борьба с изменением климата	Цель 14: Сохранение морских экосистем	Цель 15: Сохранение экосистем суши
	экологической ситуации в регионе				

Но учитывая, что анализировались планы развития регионов до 2025г., в исследовании составлен прогноз расходов на охрану окружающей среды (рисунок 2).

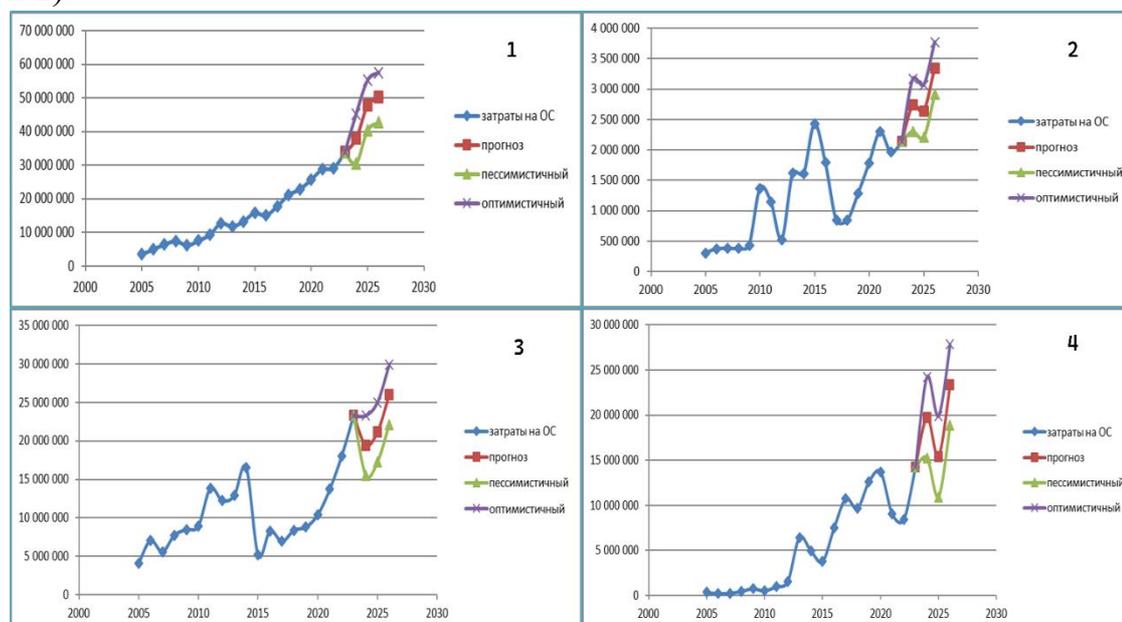


Рисунок 2 - Прогноз расходов на охрану окружающей среды в отдельных регионах Казахстана (1 – Восточно-Казахстанская область, 2 - Алматинская область, 3 - Костанайская область, 4 – Западно-Казахстанская область)

В 2026 году по всем сценариям прогнозируется значительный прирост расходов на охрану окружающей среду, особенно по базовому и оптимистичному вариантам, что может быть связано с реализацией в данных регионах новых этапов программ по модернизации экологических объектов или вступлением в силу новых регламентов.

Графический анализ подтверждает, что все три сценария тяготеют к трендовой линии: базовый прогноз практически совпадает с ней, пессимистичный — ниже на 10–15%, а оптимистичный — выше, но в пределах допустимого диапазона отклонений. Это указывает на сбалансированность прогнозных оценок и их соответствие фактической динамике.

Таким образом, в исследуемых регионах наблюдается устойчивая тенденция роста затрат на охрану окружающей среды, что требует от региональных органов власти и заинтересованных организаций соответствующего планирования бюджетных ресурсов и координации действий, особенно в контексте возможного увеличения нагрузки на финансирование в 2026 г.

Экономический анализ прогнозного объема инновационной продукции выполнен на основе анализа фактического объема инновационной продукции за 2005–2024 гг. и построения линии тренда с применением линейной регрессии по четырем регионам Республики Казахстан. Помимо базового прогноза, рассчитаны также оптимистичный и пессимистичный сценарии, отражающие возможные колебания объемов инновационной продукции в зависимости от экономической ситуации, уровня поддержки инноваций и инвестиционной активности.

В исследовании проанализированы 3 сценария: базовый прогноз — отражает наиболее вероятный объем инновационной продукции при сохранении текущих темпов развития и уровня господдержки; пессимистичный сценарий — учитывает возможное снижение инновационной активности, ограниченность финансирования и неблагоприятные макроэкономические условия; оптимистичный сценарий — предполагает рост инвестиций в научно-техническое развитие, расширение программ поддержки инноваций и активное внедрение новых технологий (рисунок 3).

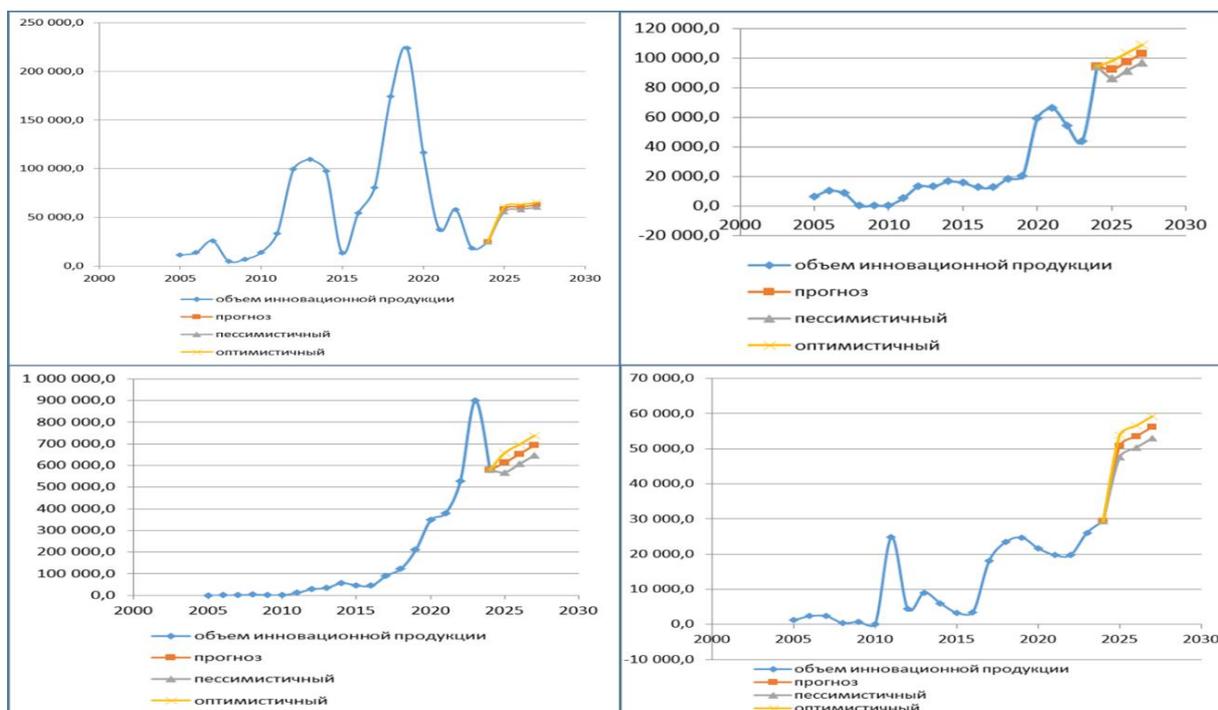


Рисунок 3- Прогноз объемов инновационной продукции в отдельных регионах Казахстана (1 – Восточно-Казахстанская область, 2 - Алматинская область, 3 - Костанайская область, 4 – Западно-Казахстанская область)

В исследуемых регионах несмотря на краткосрочные колебания, объем инновационной продукции сохраняет положительную динамику в среднесрочной перспективе. Это создаёт предпосылки для дальнейшего роста при условии проведения гибкой экономической политики, усиления инвестиционной привлекательности и стимулирования научно-технического прогресса.

Заключение. Принципы отбора ключевых показателей, отражающих ситуацию в регионах, а также соответствующие инструменты регулирования, включают:

– фокус на оценке устойчивости развития региона в соответствии с принципами устойчивого развития территории, определенными международными организациями и научным сообществом с учетом ЦУР;

– учет лучших практик мониторинга достижения ЦУР на региональном уровне, рекомендаций ОЭСР, ООН-Хабитат, международных стандартов ISO в сфере устойчивого развития территорий, а также опыта ведущих исследовательских групп и организаций; адаптация для оценки регионов общенациональных показателей ЦУР;

– обеспечение сравнимости и сопоставимости показателей для всех регионов;

– использование показателей, значения которых могут оцениваться в динамике и данные по которым публикуются/обновляются на регулярной основе.

Оценка разрыва между текущими и прогнозными значениями показателей, характеризующими достижения целей устойчивого развития, в отдельных регионах Казахстана, показал, что наибольший прогресс регионами достигнут в части показателей социального блока, в то время как в части экологического блока результаты остаются точками для роста и развития. Для экономического блока характерна наибольшая вариация значений между отдельными регионами.

Список литературы

1. Biermann F., Kanie N., Kim R.E. Global governance by goal-setting: the novel approach of the UN Sustainable Development Goals // *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 2017, no. 26–27, pp. 26-31. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.01.010>

2. Stafford-Smith, M., Griggs, D., Gaffney, O. et al. Integration: the key to implementing the Sustainable Development Goal // *Sustain Sci*. 2017, no. 19, pp. 911–919. URL: <https://doi.org/10.1007/s11625-016-0383-3>

3. Biermann F. Earth system governance World politics in the post-environmental age // *Routledge handbook of Global Environmental politics*, 2 edition. 2022, pp. 283-294. URL: <https://doi.org/10.4324/9781003008873>

4. Hanan A.-S., El-Maghrabi M., Osorio R., Israel, Verbeek, Jos. Sustainable Development Goal Diagnostics: The Case of the Arab Republic of Egypt // *World Bank Working Paper*. 2018, pp. 5-8.

5. Browne K., Dzebo A., Iacobuta G., Onbargi A.F., Shawoo Z., Dombrowsky I., Fridahl M., Gottenhuber S., Persson Å. How does policy coherence shape effectiveness and inequality// *Implications for sustainable development and the 2030 Agenda: Sustainable Development*. 2023, no. 31(5), pp. 3161–3174. URL: <https://doi.org/10.1002/sd.2598>

6. Wang Y, Wang M, Huang B, Li S, Lin Y. Evaluation and Analysis of Poverty-Stricken Counties under the Framework of the UN Sustainable Development

Goals: A Case Study of Hunan Province, China // Remote Sensing. 2021, no. 13(23), pp. 1-23. URL: <https://doi.org/10.3390/rs13234778>

7. Савруков А.Н., Савруков Н.Т. Методический подход и критерии оценки эффективности государственного управления в регионах // Финансы и кредит.- 2017. - № 7(23). - С. 388–402.

8. Антонова М.А. Теоретико-методологические основы изучения устойчивого развития регионов // Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. - 2013. - № 4(36). - С. 113-119.

9. Тюренкова Е.Н. Паспорт региона как один из методов анализа проблем регионального развития // Стратегия устойчивого развития регионов России. - 2014.- № 22. - С. 37–40.

10. Бобылев С.Н. Устойчивое развитие: методология и методики измерения: учеб. пособие / С. Н. Бобылев, Н. В. Зубаревич, С. В. Соловьева, Ю.С. Власов. - М.: Экономика, 2011. - С. 339-346.

11. Turgel I.D., Panzabekova A.Zh., Symaniuk N. V. Development of regulatory impact institute under digitization process: experience of Russia and Kazakhstan // Bulletin of the National academy of sciences of Republic of Kazakhstan. 2019, no. 5(381), pp. 97-104.

12. Хащенко, В.А. (2011). Субъективное экономическое благополучие и его измерение: построение опросника и его валидизация. *Экспериментальная психология*, 4(1), 106–127. URL: https://psyjournals.ru/journals/exppsy/archive/2011_n1/36684

13. Трынов Д. В. Актуальные тенденции исследования социального самочувствия / Д. В. Трынов, А. С. Коптяева. — Текст : непосредственный // Стратегии развития социальных общностей, институтов и территорий : материалы VI Международной научно-практической конференции (Екатеринбург, 27-28 апреля 2020 г.) : в двух томах. — Издательство Уральского университета : Екатеринбург , 2020. — Т. 1. — С. 64-69.

14. Horton CJ, Walsh LC, Rodriguez A and Kaufman VA (2024) The diversity of well-being indicators: a latent profile analysis. *Front. Psychol.* 15:1304074. doi: 10.3389/fpsyg.2024.1304074

15. Никонова Я. И. Исследование взаимосвязи инноваций и экономического роста национальных экономик // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2016. – Т. 15. – С. 2001–2005. – URL: <http://e-koncept.ru/2016/96319.htm>

16. Хромов Е.А. Региональный экономический рост: сущность и факторы его формирующие (теоретический аспект) // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2020. № 3-2. С. 297-302; URL: <https://vael.ru/ru/article/view?id=1045>

17. Базуева Е.В., Радионова М.В. Эконометрическая оценка влияния социальных индикаторов на динамику регионального экономического роста (на примере субъектов Приволжского федерального округа) // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2020. Т. 13. № 2. С. 56–70. DOI: 10.15838/esc.2020.2.68.4

18. Портер М. Международная конкуренция. Конкурентные преимущества стран / Майкл Портер; пер. с англ. И. В. Квасюка [и др.]. – Москва: Альпина Паблишер, 2017. – 947 с.

RESEARCH ON COLLABORATIVE INNOVATION IN THE GUANGDONG-HONG KONG-MACAO GREATER BAY AREA URBAN CLUSTER

An Mingming
Ural Federal University, Russia

Abstract: The Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area (GBA) is a key national strategy aimed at cultivating a world-class urban cluster and an international center for technological innovation. This paper examines the mechanisms, current status, and challenges of collaborative innovation within the bay area urban cluster. By analyzing the policy framework, distribution of innovation resources, and intercity connections, the study identifies key barriers restricting collaborative development, such as institutional differences and uneven resource allocation. The paper proposes strategic recommendations to strengthen the collaborative innovation ecosystem, including enhancing institutional alignment, optimizing resource flow, and jointly building and sharing innovation platforms. The findings contribute to the understanding of cross-border regional innovation systems and provide policy insights for promoting the integrated development of the Greater Bay Area.

Keywords: Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area; Collaborative Innovation; Urban Cluster; Innovation Ecosystem; Regional Integration

1. Introduction

The formation of urban agglomerations has become a dominant feature of the global economic geography, and innovation is the core driving force of regional competitiveness. The Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area covers nine cities in Guangdong Province and two Special Administrative Regions, representing a unique practice of regional integration under the framework of 'one country, two systems'[i]. In the process of geopolitics, relationships, and competition, promoting deep collaborative innovation in the region is crucial for transforming it into a global innovation hub.[ii] However, the differences between cities in legal systems, market rules, and innovation capabilities pose significant challenges[iii]. This article aims to systematically examine the collaborative innovation pattern of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area, assess its effectiveness, and explore paths for deeper integration.

2. Literature Review

The Greater Bay Area government provides various policy support to promote collaboration among knowledge networks, universities, and industries, as well as corporate innovation[iv] ; The carbon tax policy in the Greater Bay Area promotes the improvement of ecological efficiency in inland multimodal transport at ports within the Bay Area; the climate change policies of the Special Administrative Regions contribute to the enhancement of ecological policies in the Bay Area.[v] ; There is a positive correlation between unified legal systems, the intensity of financial regulation in the Greater Bay Area, and the economic performance of the Greater Bay

Area^[vi]. However, due to the heterogeneity of the political systems in the three regions, efforts to strengthen regional resilience cooperation are still in their early stages, and the development and improvement of coordinated resilience policies, interconnected infrastructure, and open and inclusive cross-border communities need to be further enhanced.

The Greater Bay Area high-speed rail network facilitates intercity collaborative innovation in areas such as labor pools, knowledge spillovers, talent mobility, and shared services^[vii]; The clustering of information networks and professional service industries in the Greater Bay Area cities is gradually showing new dynamics and trends of interactive integration, and the advancement of urban network infrastructure is helping to refine industries^[viii]. Public data openness allows innovative resources to form closely connected collaborative networks across regions^[ix]. It helps promote substantive cooperation among enterprises. Convenient transportation, network infrastructure, and the sharing of online resources contribute to improving the efficiency of coordinated economic development within the region.

In the context of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area, existing literature has examined policy arbitrariness, economic synergy, and connectivity infrastructure, noting that effective collaboration relies on the cross-boundary flow of talent, capital, information, and technology. However, few studies provide a comprehensive analysis of the multi-dimensional innovation ecosystem and the specific frictions that hinder collaboration. This gap calls for a thorough investigation into how the diverse innovation actors across the Greater Bay Area interact and co-evolve.

3. The Current Status and Mechanisms of Collaborative Innovation in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

The Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area has established a preliminary collaborative innovation framework driven by top-level policy design and bottom-up market forces. The key mechanisms include:

Policy Coordination: The central and local governments have issued multiple plans to align with innovation strategies. Specific policies for the construction of major cooperation platforms are as follows:

Table 1 Institutional Innovation and Management System in the Greater Bay Area

Policy Issuance Time and Department	Name of Cooperation Zone	Institutional Innovation
On August 29, 2023, the State Council released the "Development Plan for the Shenzhen Park of the Hetao Shenzhen-Hong Kong Science and	Hetao Shenzhen-Hong Kong Science and Technology Innovation	Promote key policy innovations such as the international mobility of innovative talents, facilitation of customs clearance for scientific research materials, cross-border flows of research data, cross-border use of research funds, and cross-border protection of intellectual property. ^[x] . primarily focuses on cross-

Policy Issuance Time and Department	Name of Cooperation Zone	Institutional Innovation
Technology Innovation Cooperation Zone"	Cooperation Zone	border research funding and resource flows, legal and regulatory alignment with Hong Kong, and talent policies including mutual recognition of professional qualifications and tax incentives ^{[xi][xii]} .
September 5, 2021 Central Committee of the Communist Party of China and the State Council "Overall Plan for the Construction of the Hengqin Guangdong-Macao In-Depth Cooperation Zone"	Hengqin Guangdong-Macao In-Depth Cooperation Zone	The tiered management model of 'first-tier' (between Hengqin and Macau) and 'second-tier' (between Hengqin and other mainland regions), coupled with granting the cooperation zone the authority for institutional innovation in taxation, finance, talent, and other areas through laws and regulations, has achieved the separation of administrative jurisdiction and economic management. ^[xiii]
On August 26, 2010, the State Council officially approved the 'Overall Development Plan for the Qianhai Shenzhen-Hong Kong Modern Service Industry Cooperation Zone'.	Qianhai Shenzhen-Hong Kong Modern Service Industry Cooperation Zone	Establish the 'Qianhai Cooperation Bureau,' implement a special management system combining 'One Country, Two Systems' with 'One City, Two Systems,' and grant Qianhai preferential policies such as 'leasing instead of land acquisition. [xiv]. Implemented 14 nationwide "first-of-its-kind" and "first batch" financial policies, built 18 clusters including international venture capital, large commodity trading, and others, started construction of the International Data Industry Park, and the 'Global Service Providers Program' has attracted a total of 201 enterprises ^[xv] .
February 18, 2019, Central Committee of the Communist Party of China and the State Council's "Outline Development Plan for the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area"	Nansha Guangdong-Hong Kong-Macao Comprehensive Cooperation Demonstration Zone	Focusing on the three directions of regulatory coordination, factor mobility, and collaborative governance, efforts are being made to promote institutional breakthroughs in key areas such as market access, mutual recognition of qualifications, cross-border data, and financial openness in Guangdong, Hong Kong, and Macau, and to establish a new mechanism for integrated cross-regional governance ^[xvi] .

Joint Funding Programs: Guangdong-Hong Kong Joint Innovation Funding Program, Guangdong-Hong Kong Universities '1+1+1' Joint Funding Program, Guangdong-Macao Technology Innovation Joint Funding Program, Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area Youth Entrepreneurship Funding Program, Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area Venture Capital Guidance Fund^[xvii].

Transportation Facilities: Major transportation projects, represented by the Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge, span a total length of 55 kilometers and have a designed lifespan of up to 120 years, serving as a key hub connecting Hong Kong, Zhuhai, and Macau.^[xviii], greatly shortening the time and space distance between the east and west banks of the Pearl River Estuary, effectively promoting the movement of people and goods^[xix]. Although the physical connection has been fundamentally improved, its potential has not yet been fully realized. Due to factors such as coordination among the three regions, differences in legal systems, and customs clearance procedures, the actual traffic flow and economic impact of the Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge after opening are still below the initial expectations.^{[xx][xxi]}

Cross-border technology platforms: Such as the Shenzhen-Hong Kong Youth Innovation and Entrepreneurship Base and jointly established laboratories across three regions, actively building innovation carriers like technology business incubators, innovation alliances, and proof-of-concept centers, providing innovation entities with 'one-stop' services for research and development, financing, and commercialization^{[xxii][xxiii]}. These platforms, through government-led and university-enterprise cooperation models, promote the sharing of research equipment and the cross-border flow of technological achievements, effectively integrate innovative resources and elements within the region, significantly enhance the efficiency of collaborative innovation, and provide solid infrastructure support for building an international center of technological innovation.^{[xxiv][xxv]}。

Talent Mobility: The density of technology and innovation talents within the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area significantly increased from 2010 to 2020. Data shows that Shenzhen has a significantly higher density both per capita and per unit area compared to other cities, making it the core area for talent agglomeration^[xxvi].

Cross-border capital flows: despite the risk warnings brought by global financial fluctuations, the cross-border capital account openness in the region has established a stable funding supply network. Research shows that venture capital flows, through the mechanism of capital account openness, provide ample financing channels for technology enterprises within the Greater Bay Area, supporting innovation and entrepreneurial activities.^[xxvii]

19. Analysis of Key Challenges and Obstacles

Despite making progress, several deep-rooted obstacles hinder the full realization of the collaborative innovation potential of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area:

Institutional and Regulatory Differences: The core challenge faced by the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area lies in institutional borders (Political Border) and cost borders (Cost Border). Different legal systems (such as Hong Kong's common law and the mainland's civil law) lead to inconsistent standards in intellectual property protection for cross-border projects, hindering the efficient integration of innovation resources.^{[xxviii][xxix]}

In addition, regulatory costs are also one of the limiting factors—cross-border data flows must comply with privacy and cybersecurity regulations in different regions

(such as the Data Security Law in mainland China and the Personal Data (Privacy) Ordinance in Hong Kong), resulting in additional compliance costs for companies when accessing cross-border markets.[xxx]

Despite agreements like CEPA attempting to reduce trade barriers, institutional coordination in the fields of high technology and intellectual property remains insufficient, limiting the development potential for high-quality integration in the Greater Bay Area.[xxx]

Innovation capacity and uneven resource distribution: Innovation resources are highly concentrated in core cities such as Shenzhen and Hong Kong, leading to significant gaps with peripheral cities, which may result in a 'siphoning effect' rather than a diffusion effect^{[xxxii][xxxiii]}.

Fragmented innovation chain: Industry and innovation chains are often divided by city boundaries, and the connections between different parts of the Greater Bay Area in upstream R&D and downstream commercialization are weak.^{[xxxiv][xxxv]}

Barriers to the flow of elements: Restrictions on the mobility of professionals, differences in funding application rules, and cross-border data obstacles continue to constrain the optimal allocation of innovation resources^{[xxxvi][xxxvii][xxxviii]}.

20. Strategic Recommendations for Strengthening Collaborative Innovation
To address these challenges, the following strategic recommendations are proposed:

Deepen institutional connectivity: Explore 'soft connectivity' mechanisms, such as mutual recognition of professional qualifications, unified standards for new technologies, and coordinated regulation.

Optimizing the spatial layout of innovation resources: Encourage the establishment of university branches, satellite laboratories of research institutions, and regional headquarters of tech companies in different cities of the Greater Bay Area to promote the formation of a multi-center innovation network.

Building a strong shared platform: Strengthen the functions of existing cooperation zones and develop new virtual and physical platforms covering the entire Greater Bay Area, providing accessible technology transfer, joint patents, and startup acceleration.

Foster a unified market for innovation factors: Implement concrete measures to promote the flow of talent, capital, and data, including streamlined visa policies, cross-border financial services that support innovation, and secure data exchange protocols.

Cultivating a collaborative culture: Promote joint educational programs, researcher exchange networks, and industry-academia-research alliances to build trust and shared identity among innovators in the Greater Bay Area.

21. Conclusion

The Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area has enormous potential to become a leading global innovation hub, but this depends on its ability to transcend administrative boundaries and foster truly deep collaboration. This study outlines the mechanisms, obstacles, and potential pathways for strengthening the collaborative innovation ecosystem in the Greater Bay Area. Success requires continuous efforts in institutional innovation, resource sharing, and trust-building among all stakeholders. Future research should focus on quantitatively measuring the outcomes of collaborative innovation policies and tracking the evolution of cross-border innovation

networks over time.

References

- [1] Hao Rumeng, Zhou Liang, Yan Su, Wang Yiyi, Guo Jinyan, Li Qing, & Yang Yang. (2025). Evolution characteristics and hazard assessment of landfall typhoons in the Guangdong–Hong Kong–Macao Greater Bay Area. *Journal of Guangdong Ocean University*, 45(4), 77-84.
- [1] Jamie Peck, Matthew Sparke, Dimitar Anguelov, Jun Zhang, (2025). On the frontier of party-state capitalism: Mapping the geopolitical economies of China's Greater Bay Area. *Geoforum*, 164, 104302.
- [1] Chunzi Shao, Xiaoxin Chen, Rui Liu, Jiabin Li, (2025). Legal unification, financial regulatory intensity, and the enhancement of economic performance in the Greater Bay Area. *International Review of Economics & Finance*, 103, 104447.
- [1] Yang Zhao, Yang Yongquan, Ma Jian, Angela Lu, Xu Xuanhua,(2024). Policy-induced cooperative knowledge network, university-industry collaboration and firm innovation: Evidence from the Greater Bay Area. *Technological Forecasting and Social Change*, 200, 123143.
- [1] Coco Du, Christine Loh,(2020). Toward a more open and collaborative climate change policy framework in Hong Kong and Macao within the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*, 18(3), 179-187.
- [1] He, X., Zhang, J., & Chen, Y. (2024). Regulatory harmonization and financial market integration in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Journal of Banking & Finance*, 163, 107132.
- [1] Bokai Fan, Yuan Zang,(2026). High-speed rail networks and intercity collaborative innovation: An agglomeration-network externalities perspective. *Research in Transportation Business & Management*, 64, 101538.
- [1] Yutao Zhou, Wei Duan, Shaobo Wang, Xiaobo Lin, Zhen Wang, Yingjun Luo, (2025). Urban information flow networks, service industry agglomeration and their heterogeneous interactive effects: Evidence from the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Cities*, 166, 106285.
- [1]Qingfeng Luo, Jingyuan Wang, (2025). Cross-regional collaborative innovation in the era of data openness: a factor mobility perspective. *Technology in Society*, 83, 102989.
- [1] State Council. (2023). Development Plan for the Shenzhen Park of Hetao Shenzhen-Hong Kong Science and Technology Innovation Cooperation Zone[EB/OL]. Retrieved from http://www.gov.cn/zhengce/content/2023-08/29/content_5743185.htm
- [1] The State Council. (2021).Overall Plan for the Construction of the Hetao Shenzhen-Hong Kong Science and Technology Innovation Cooperation Zone[EB/OL]. Retrieved from http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-04-07/content_5598355.htm.
- [1] Shenzhen Municipal People's Government. (2023). Supporting Measures for Hetao Shenzhen-Hong Kong S&T Cooperation Zone[EB/OL]. Retrieved from http://www.sz.gov.cn/gkmlpt/content/10/10629/post_10629997.html

^[1] Li, K., & Tang, X. Q. (2022). Hengqin Guangdong-Macao Deep Cooperation Zone: Conceptual innovation and institutional construction. *Hong Kong and Macao Studies*, (1):14.

^[1] Tian, C. J., Sun, Y. T., & Huang, Z. W. (2025). Crowdfunding-based guidance and control of urban elevated walkways throughout the life cycle: A case study of Qianhai Shenzhen-Hong Kong Modern Service Industry Cooperation Zone. *City Planning Review*, 49(3), 45-56.

^[1] State Council. (2022). Overall Plan for Further Deepening Reform and Opening Up of the China (Shanghai) Pilot Free Trade Zone Lin-gang Special Area[EB/OL]. Retrieved from http://www.gov.cn/zhengce/content/2022-09/15/content_5710032.htm.

^[1] Guangdong Provincial People's Government. (2023). Implementation Plan for Promoting Cross-border Data Flow in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area[EB/OL]. Retrieved from http://www.gd.gov.cn/zw/gk/wjk/qbwj/yfb/content/post_4390121.html

^[1] Li Qijun, Guo Leixian, Lei Yi, Cheng Qingyi, & Sima Xiao. (2022). Analysis of spatial linkages and optimization of coordinated development policy mechanisms in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area from a policy perspective. *Geographical Research*, 42(2), 269-282.

^[1] Jing, Q. (2020). Continuous steel box girders and reinforced concrete structures in the Main Bridge Project of Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge. *Journal of Zhejiang University - SCIENCE A (Applied Physics & Engineering)*.

^[1] Zhang, Y., & Du, J. L. (2023). An impact study of the Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge on regional tourism integration development in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Tropical Geography*, 43(7), 1275-1287.

^[1] Yin, X., & Wang, Y. (2018). Evaluation and Prediction of the Impact of the Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge on Zhuhai's Related Industries. Zhuhai Party School.

^[1] Wang, P., Qi, X., Shi, T., Wang, G., Liao, S., Liu, K., & Han, Y. (2023). Recognition and Motion Prediction Methods of Differential Driving Behavior Based on Spatial-temporal Mixed Traffic of Left-right Rudder Vehicles on Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge. In *Proceedings of the 2023 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*.

^[1] Chen, Z., Song, L., & Hu, S. (2024). Study on Problems and Countermeasures of Collaborative Development of Industrial Innovation in Guangdong, Hong Kong and Macao Greater Bay Area. *Journal of Applied Humanities and Social Sciences*, 7(3), 13-14.

^[1] Li, P., & Shi, D. (2024). Research on High-Quality Development of Industrial Parks in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. Institute of Industrial Economics, Chinese Academy of Social Sciences.

^[1] Wang, Z., & Sun, J. (2023). Research on the construction and development path of the “government-industry-university-research-finance-application-service” innovation ecosystem network in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Journal of Central China Normal University (Natural Sciences)*, 53(2), 255-262.

^[1] Shen, C., Yang, Z., Lam, F., et al. (2025). Scientific and technological

innovation cooperation network of the Greater Bay Area in South China: A social network analysis. *PLOS ONE*, 32(6), 1-15.

^[1] Sun, D., & Liu, Y. (2022). Spatial distribution characteristics and influencing factors of scientific and technological innovation talents in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Geographical Science*, 42(9), 1560-1575.

^[1] Zhao, X. J., & Wang, S. X. (2020, December 20). Research on risk measurement of cross-border capital flows in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Urban Insight*, (6).

^[1] Chen, R., & Li, Z. (2024). Research on the Development of Cross-border E-commerce in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area under the New Dual Circulation Strategy and RCEP Integration. *Journal of Applied Humanities and Social Sciences*, 7(7), 27-28.

^[1] Dai, J., Li, M., Song, M., & Liu, X. (2023). Border Effect in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area Based on Commuting Flow. Shenzhen Branch of China Academy of Urban Planning & Design, Department of Civil Engineering, Tsinghua University, Research Institute of Highway, Ministry of Transport.

^[1] Macau Electronic Financial Industry Trade Promotion Association. (2017). Financial Innovation. *International Economic Review*, 59(3), 1209-1267.

^[1] Ho, C. W. L. (2023). Convergence in the regulation of artificial intelligence software as medical device in the Guangdong–Hong Kong–Macao Greater Bay Area of China. *PLOS ONE*, 18(6), 1-15.

^[1] Wang, Z., & Wang, L. (2022). Spatial inequality of innovation resources and its effect on regional innovation performance: Evidence from the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Sustainability*, 14(15), 9456.

^[1] Yang, C., & Li, T. (2021). Agglomeration, diffusion, and regional inequality in innovation: The case of the Greater Bay Area in China. *Growth and Change*, 52(3), 1514-1536.

^[1] Li, Y., & Wang, X. (2022). Collaborative innovation in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area: The challenge of bridging the upstream and downstream of the innovation chain. *Regional Studies*, 56(8), 1375-1388.

^[1] Chen, S., & Zhao, M. (2021). Fragmented innovation systems: Examining the barriers to cross-city collaboration in the Greater Bay Area. *Technological Forecasting and Social Change*, 173, 121104.

^[1] Zhang, Y., & Qian, X. (2023). Institutional Barriers to Talent Mobility in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area: A Policy Analysis. *Journal of Contemporary China*, 32(143), 789–807.

^[1] Fang, C., & Huang, L. (2022). The Impact of Fiscal Fragmentation on Cross-border R&D Collaboration: Evidence from the Greater Bay Area. *Research Policy*, 51(8), 104578.

^[1] Cheng, Z., & Zhang, J. (2023). Data Localization and Innovation Networks: A Case Study of Shenzhen-Hong Kong Technology Clusters. *Telecommunications Policy*, 47(6), 102589.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРНОЙ ДИНАМИКИ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В КАЗАХСТАНЕ И УЗБЕКИСТАНЕ

советник ректора Балыбердин М.И.
*Уральский государственный педагогический университет
Екатеринбург, Российская Федерация*

д.э.н., профессор Тургель И.Д.
*Уральский федеральный университет,
Екатеринбург, Российская Федерация*

Аннотация. Статья посвящена анализу современного состояния систем высшего образования в Казахстане и Узбекистане с акцентом на динамику количества вузов, развитие филиалов иностранных университетов. Рассматриваются регуляторные основы, региональные диспропорции и тенденции приватизации.

Ключевые слова: высшее образование, вузы Казахстана, вузы Узбекистана, филиалы иностранных университетов, приватизация образования, Центральная Азия, образовательная статистика.

Введение. Системы высшего образования Казахстана и Узбекистана переживают этап активной трансформации под влиянием глобализации, экономических реформ и государственной политики интернационализации. В условиях стратегической важности человеческого капитала для социально-экономического развития региона изучение динамики вузовского сектора приобретает особую актуальность. В Казахстане функционирует 117 вузов различных организационно-правовых форм, тогда как в Узбекистане их число достигло 191 к началу 2023/2024 учебного года. Эти показатели отражают не только количественный рост, но и качественные изменения – увеличение доли частных и иностранных учреждений. Цель исследования – проанализировать структурные изменения, регуляторные рамки и перспективы развития высшей школы в Узбекистане и Казахстане.

Методология. Анализ проведен на основе статистических данных официальных источников — Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам РК, Министерства высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан, а также нормативно-правовых актов. Используются методы сравнительного анализа, статистического обобщения и контент-анализа документов.

Хронологические рамки охватывают 2015–2023 гг. для оценки динамики, дополненные прогнозами на 2025–2026 гг. Данные верифицированы по отчетам stat.gov.kz, gov.uz и международным рейтингам QS World University Rankings. Для расширения эмпирической базы привлечены материалы научных публикаций и экспертных оценок.

Высшая школа Казахстана и Узбекистана.

Современная система высшего образования Казахстана насчитывает 117 вузов, распределенных по категориям: 11 национальных исследовательских университетов, 27 государственных (некоммерческие акционерные общества), 2 международных, 15 акционированных, 47 частных, 1 автономный (Назарбаев Университет) и 14 негосударственных некоммерческих (рисунок 1). Такая диверсификация отражает переход от монополии государственных учреждений к рыночным механизмам [1].

Особую проблему представляет доступность образования в моногородах: в 20 таких территориях функционируют лишь 4 вуза — Экибастузский инженерно-технический институт им. К. Сатпаева, Центрально-Казахстанский институт технологии и менеджмента (Балхаш), Карагандинский государственный индустриальный университет (Темиртау) и Рудненский индустриальный институт. Это создает диспропорции в подготовке кадров для промышленных регионов.[2]

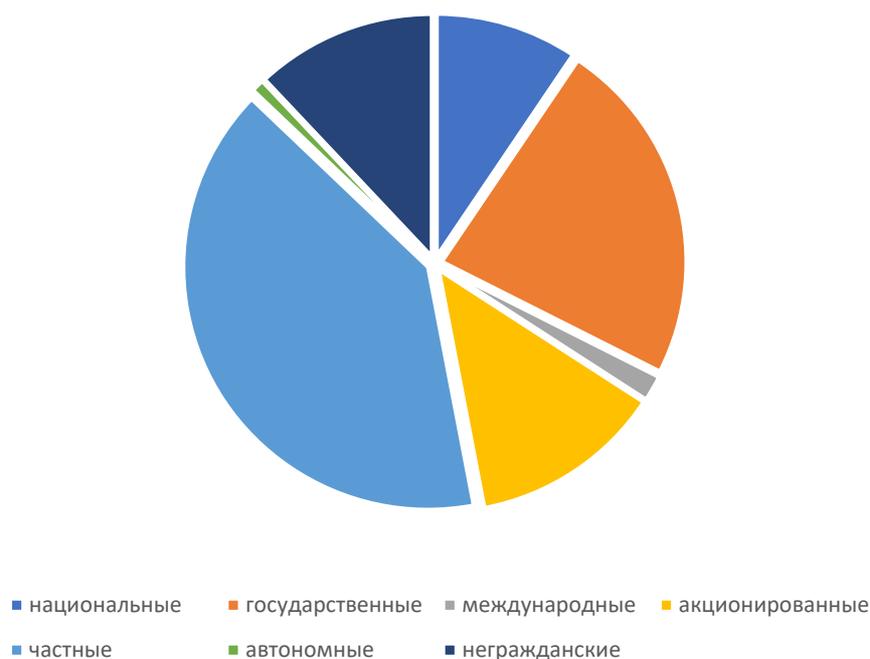


Рисунок 1 – Количество ВУЗов в РК

Регуляторная база филиалов закреплена Законом РК от 27 июля 2007 г. № 319-III «Об образовании», допускающим деятельность международных школ и филиалов на основании лицензий. Таким образом, разрешены только филиалы, имеющие статус международных школ. В настоящее время открыто 12 филиалов зарубежных ВУЗов. В 2022 году:

1. Открылся филиал Российского университета нефти и газа им. И.М. Губкина на баз Атырауского университета нефти и газа им. Утебаева.

2. Осуществлено партнёрство с университетом Аризоны на базе Северо-Казахстанского университета им. Козыбаева – по направлениям педагогика и ИКТ, биологические, физические и химические науки, производственные отрасли и агрономия.

3. Открыт филиал НИЯУ МИФИ на базе КазНУ им. аль-Фараби – защищённые высокопроизводительные вычислительные системы по направлению физика элементарных частиц и космофизика.

4. Университет DeMontfort в Алматы [3].

В 2023 году открылись:

1. филиал университета Herriot-Watt (Шотландия) на базе Актюбинского регионального университета имени К.Жубанова по инженерным и техническим направлениям.

2. Филиал Сеульского национального университета науки и технологии на базе Кызылординского университета им. Коркытата.

3. Филиал Университета экономики Г. Быдгощ (Польша) на базе Университета Шакарим.

4. Филиал политехнического университета Марке (Италия) на базе Жетысуского университета им. И. Жансугурова.

5. Мастерская Лу Бань на базе Восточно-Казахстанского университета им. Д. Серикбаева.

6. Казахско-немецкий институт устойчивой инженерии на базе YessenovUniversity.

7. Филиал Гонконгского университета CITYU в SatbayevUniversity.

8. Филиал НИУ «Ташкентский институт инженерной ирригации и механизации сельского хозяйства» на базе Казахского национального аграрного университета [4].

Этот процесс повышает международную конкурентоспособность, но требует гармонизации стандартов дипломов и контроля качества.

В Узбекистане на 2023 г. действовало 191 вузов (+24% к 2022 г.), включая 26 зарубежных (13,6% от общего числа) и 42 негосударственных (+4100% с 2019 г.):

- государственных и негосударственных высших образовательных организаций, реализующих учебные планы и программы дисциплин в соответствии государственными образовательными стандартами направлений и специальностей высшего образования;

- научно-педагогических учреждений, выполняющих исследовательские работы по нормативно-правовому и научно-методическому обеспечению высшего образования;

- уполномоченных государственных органов по управлению высшим образованием, а также подведомственных им предприятий, учреждений и организаций.

Высшее образование имеет две ступени: бакалавриат и магистратуру. Количество зарубежных высших образовательных организаций растет с каждым годом и в 2023 году ставило 26 единиц (13,6% от общего числа). Число действующих негосударственных высших образовательных организаций в 2023

году достигло 42 единиц (против 1 в 2019 году, прирост составил 4100%, рисунок 2) [5].

Двухступенчатая структура (бакалавриат — магистратура) ориентирована на Болонский процесс. Региональное распределение характеризуется доминированием Ташкента (82 вуза), что аналогично проблемам Казахстана. Рост обусловлен либерализацией рынка образования после 2017 г. и государственной программой «Узбекистан-2030».



Рисунок 2 – Число государственных и негосударственных высших образовательных организаций Узбекистана, единиц

Данное увеличение достигалось за счет распределения по регионам, представленного на рисунке 3.

г. Ташкент	82 95,2%	Кашкадарьинская	9 200%
Самаркандская	15 87,5%	Хорезмская	8 166,7%
Бухарская	11 120%	Сурхандарьинская	7 0,0
Ферганская	11 57,1%	Наманганская	6 100%
Респ. Каракалпакстан	10 66,7%	Джизакская	5 150%
Андижанская	10 150%	Навоийская	4 100%
Ташкентская	10 100%	Сырдарьинская	3 200%

Рисунок 3 – Распределение числа действующих высших образовательных организаций по регионам Узбекистана на начало 2022-2023 учебного года, единиц

Системы высшего образования Казахстана и Узбекистана демонстрируют динамичный рост и диверсификацию: в Казахстане функционирует 117 вузов с акцентом на национальные исследовательские университеты и филиалы

зарубежных учреждений (12 к 2023 г.), в Узбекистане — 191 вуз с резким увеличением негосударственных (42, +4100% с 2019 г.) и зарубежных (26, 13,6%). Эти изменения отражают либерализацию рынка, интернационализацию и ориентацию на Болонский процесс, но выявляют диспропорции – концентрацию вузов в мегаполисах (Ташкент, Алматы) и ограниченную доступность в моногородах или регионах.

Перспективы развития.

Гармонизация регуляторных рамок, стандартов дипломов и контроля качества филиалов повысит конкурентоспособность. Прогноз на 2025–2026 гг. предполагает дальнейший рост за счет программ «Узбекистан-2030» и казахстанских реформ, с фокусом на промышленные регионы и инновационные партнерства для укрепления человеческого капитала в Центральной Азии.

HIGHER EDUCATION IN KAZAKHSTAN AND UZBEKISTAN: COMPARATIVE ANALYSIS OF DEVELOPMENT

Balyberdin M.I.,
Advisor to the Rector
Ural State Pedagogical University
Yekaterinburg, Russian Federation

Turgel I.D.,
Doctor of Economics, Professor
Ural Federal University,
Yekaterinburg, Russian Federation

Abstract. This article analyzes the current state of higher education systems in Kazakhstan and Uzbekistan, focusing on the dynamics of the number of universities, the development of branches of foreign universities, and comparisons with Russia from 2015 to 2023. It examines regulatory frameworks, regional disparities, and trends in privatization.

Keywords: higher education, universities in Kazakhstan, universities in Uzbekistan, branches of foreign universities, privatization of education, Central Asia, educational statistics

Список использованных источников

1. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. Высшее образование в Республике Казахстан: стат. сб. – Астана: Бюро нац. статистики, 2023. – 150 с.
2. Закон Республики Казахстан от 27 июля 2007 г. № 319-III «Об образовании» // Ведомости Парламента Республики Казахстан. – 2007. – № 13. – Ст. 77.

3. Семь филиалов иностранных университетов откроются в Казахстане [Электронный ресурс] // Inform.kz. – 2025. – URL: <http://inform.kz> (дата обращения: 15.11.2025).

4. Статистика образования Республики Казахстан, 2023–2025 [Электронный ресурс] // Бюро национальной статистики РК. – URL: <http://stat.gov.kz> (дата обращения: 15.11.2025).

5. Министерство высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан. Отчет о деятельности за 2023 год. – Ташкент: МВО НИ РУз, 2023. – 200 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО	3
ИМПЛЕМЕНТАЦИЯ ЦУР В РЕГИОНАЛЬНУЮ ПОЛИТИКУ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН.....	5
MEASURING FINTECH ADOPTION USING MACHINE LEARNING: IMPLICATIONS FOR BANK RISK	10
БЕТОНЫ ВАРИАТРОПНОЙ СТРУКТУРЫ ДЛЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ: АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ...15	
РЕТРОСПЕКЦИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИИ В УСЛОВИЯХ НЕУРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА.....	20
ОТ ЗВОНКА К СДЕЛКЕ: ПРЕОДОЛЕНИЕ БАРЬЕРА НЕДОВЕРИЯ В ТЕЛЕМАРКЕТИНГЕ ПРИ ВЫКУПЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ПРОБЕГОМ.....	24
ИНКЛЮЗИВНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ - СОЗДАНИЯ БЛАГОПРИЯТНОЙ СРЕДЫ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ.....	30
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК ИННОВАЦИОННЫЙ МЕТОД В ПРЕПОДАВАНИИ РУССКОГО ЯЗЫКА.....	37
РАЗРАБОТКА АЛЮМИНИЕВОГО ПОРОШКА ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КАК ЭЛЕМЕНТ СТИМУЛИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ В ПРИГРАНИЧНЫХ РЕГИОНАХ.....	42
MODERN APPROACHES TO FORMING A FAVORABLE INDOOR MICROCLIMATE THROUGH ENERGY-EFFICIENT WALL ENVELOPE STRUCTURES.....	46
A PROBABILITY -BASED GENERATION CAPACITY EXPANSION MODEL FOR PLANNING ELECTRIC POWER SYSTEMS.....	50
ENERGY MANAGEMENT SYSTEM FOR ISLANDED MICROGRIDS CONSID ERING DROOP CONTROL SETTINGS AND UNCERTAINTY IN RENEWABLE ENERGY AND LOAD.....	64
УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ПРИГРАНИЧНЫХ РЕГИОНОВ КАЗАХСТАНА И ИМПЛЕМЕНТАЦИЯ ЦУР В КОНТЕКСТЕ РЫНКА	80
MICROALGAE AS AN ACTIVE STAGE IN BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT	88

INCREASING THE ECOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL EFFICIENCY OF COARSE CRUSHING ASPIRATION SYSTEMS OF JSC «SSMPA»	92
DOES OUTWARD FOREIGN DIRECT INVESTMENT IS CONDUCIVE TO BILATERAL EXPORT SOPHISTICATION OF HOME AND HOST COUNTRIES? A CASE STUDY OF KAZAKHSTAN AND CHINA AS A HOME COUNTRY	98
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В ОТДЕЛЬНЫХ РЕГИОНАХ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН.....	107
RESEARCH ON COLLABORATIVE INNOVATION IN THE GUANGDONG-HONG KONG-MACA0 GREATER BAY AREA URBAN CLUSTER.....	131
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРНОЙ ДИНАМИКИ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В КАЗАХСТАНЕ И УЗБЕКИСТАНЕ.....	139



СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «КОМПЛЕКСНОЕ РАЗВИТИЕ ТЕРРИТОРИЙ ПРИГРАНИЧНЫХ РЕГИОНОВ КАЗАХСТАНА И РОССИИ: НОВЫЕ ВЫЗОВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ»

*в рамках исследований Рудненского индустриального университета по проекту
АР19679796 «Исследование факторов развития регионов с учетом
межрегиональных связей и государственного регулирования»*

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР *БОЖКО Л.Л.*

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: А.Д. ЖУКОВСКИЙ (ОТВЕТ.РЕДАКТОР),
О.А.АКМАЛОВА, А.К. АБЖАТОВА, М.А. АФАНАСЬЕВ.

ПОДПИСАНО В ПЕЧАТЬ 23.12.2025Г. ФОРМАТ 60X90/16

Печ.л. 10,3. Тираж 500. Заказ 2003

Типография Рудненского индустриального университета

111500, г. Рудный, ул. 50 лет Октября, 38

Телефон (71431)50703

Отпечатано способом ролевой струйной печати



ISBN 978-601-7994-86-0



