



Статистика, учет и аудит, 3(94)2024, стр. 176-192

DOI: <https://doi.org/10.51579/1563-2415.2024.-3.14>

Междисциплинарные исследования в экономике

МРНТИ 06.61.53

УДК 631.587:628.31(574)

ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБЛАСТИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД: ЗАРУБЕЖНЫЙ И КАЗАХСТАНСКИЙ ОПЫТ

Л.М. Бекенова¹, И. В. Штыкова^{2}, Н.А. Кузьмина²*

¹Алматинский гуманитарно-экономический университет, г. Алматы, Казахстан

²Рудненский индустриальный институт, г. Рудный, Казахстан

*Corresponding author e-mail: Iren_2409@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются современные инновационные технологии, применяемые в области очистки сточных вод. Особое внимание уделено принципам работы, преимуществам и областям применения таких технологий, как мембранные биореакторы, анаэробные реакторы, аэробные гранулированные осадки, фотокаталитическая и электрохимическая очистка, а также био- и нанопермембранная. Проведен анализ опыта внедрения данных технологий в различных странах, включая успешные кейсы, демонстрирующие улучшение качества водных ресурсов и повышение эффективности водоочистных систем. Отдельно рассмотрен опыт Казахстана, где применение передовых методов очистки сточных вод становится важным элементом экологической безопасности. Проведен сравнительный анализ эффективности использования технологий в Казахстане и за рубежом, выделены основные факторы, влияющие на успешность их внедрения в условиях страны.

Цель исследования заключается в анализе и оценке применения инновационных технологий в области очистки сточных вод на основе международного и казахстанского опыта, а также в разработке рекомендаций по их внедрению с учетом специфических условий и потребностей Казахстана.

Результатом исследования является выявление наиболее эффективных инновационных технологий очистки сточных вод, их преимущества и возможности адаптации к условиям Казахстана на основе факторного анализа. Разработаны практические рекомендации по их внедрению с целью повышения экологической безопасности, оптимизации очистных процессов и улучшения качества водных ресурсов в стране.

Ключевые слова: инновационные технологии, очистка сточных вод, экологическая безопасность, фотокаталитическая очистка, водоочистительная система, водные ресурсы.

Основные положения. Загрязнение водных ресурсов оказывает серьезное влияние на экологическую систему, здоровье населения и экономическое развитие. Внедрение передовых технологий в очистке сточных вод становится ключевым фактором для устойчивого развития и экологической безопасности. Сравнение казахстанских и зарубежных практик в области очистки сточных вод помогает выявить сильные и слабые стороны национальных систем. Это создает возможности для адаптации успешных международных решений к местным условиям и стимулирует развитие инноваций в республике.

Cite this article as: Bekenova L.M., Shtykova I.V., Kuzmina N.A. Application of innovative technologies in the field of wastewater treatment: foreign and Kazakhstani experience. *Statistics, accounting and audit*. 2024, 3(94), 176-192. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51579/1563-2415.2024.-3.14>



Введение. В условиях стремительного роста населения, индустриализации и урбанизации проблема эффективной очистки сточных вод приобретает все большую значимость как на глобальном, так и на национальном уровнях и является актуальной для разработки эффективных стратегий охраны окружающей среды и устойчивого использования водных ресурсов. Загрязнение водных ресурсов негативно влияет на экологическую систему, здоровье населения и экономическое развитие. В этом контексте применение инновационных технологий в области очистки сточных вод становится ключевым фактором обеспечения устойчивого развития и охраны окружающей среды. Сравнение зарубежных и казахстанских практик в области очистки сточных вод способствует выявлению сильных и слабых сторон национальных систем, позволяя адаптировать успешные международные технологии к местным условиям, а также стимулировать развитие отечественных инноваций. Такой анализ способствует обмену знаниями и опытом между специалистами разных стран, что, в конечном итоге, приводит к повышению общей эффективности систем водоочистки.

Исследование применения инновационных технологий в области очистки сточных вод, основанное на анализе зарубежного и казахстанского опыта способствует улучшению экологической ситуации, поддерживает экономическое развитие и обеспечивает устойчивое будущее для общества. Внедрение передовых технологий очистки сточных вод является необходимым шагом на пути к экологической безопасности и устойчивому развитию как на национальном, так и на глобальном уровнях.

Гипотеза исследования заключается в том, что внедрение инновационных технологий очистки сточных вод, адаптированных к специфическим условиям Казахстана, позволит существенно улучшить качество водных ресурсов, повысить эффективность водоочистных систем и снизить экологические риски.

Внедрение передовых технологий очистки сточных вод необходимо для соответствия международным экологическим стандартам и нормативам, что особенно важно для Казахстана, который активно участвует в международных проектах и сотрудничает с зарубежными партнерами. Соответствие высоким стандартам позволяет стране укреплять свои позиции на глобальном рынке и привлекать иностранные инвестиции в экологический сектор.

Литературный обзор. Повторное использование очищенных сточных вод с рекуперацией энергии является обязательным условием устойчивого развития, которое согласуется с двумя из семнадцати целей в области устойчивого развития: ЦУР 6 (чистая вода и санитария) и ЦУР 7 (недорогостоящая и чистая энергия) [1]. Согласно исследованиям Kehrein, P. et.al., сточные воды следует рассматривать не только как поток отходов, но и как ценный ресурс, поскольку они содержат значительное количество накопленной химической и тепловой энергии, а также питательных веществ [2]. Очищенные сточные воды могут быть использованы в сельскохозяйственных целях, промышленности и т.д., а также для снабжения гидроэлектростанций для получения электроэнергии Zarei, M. [3]. Многими учеными, например, Marin Ugrina, Jelena Milojković [4], M.V.A. Corpuz, A. Buonerba, G. et.al. [5] доказано, что сброс недостаточно очищенных сточных вод в окружающую среду создает значительные риски для здоровья населения и качества экосистем, поэтому очистные сооружения играют решающую роль в обеспечении безопасной окружающей среды, эффективно удаляя загрязняющие вещества и сводя к минимуму сбросы загрязняющих веществ K. Obaideen et.al. [6].

Многие ученые работают над применением инновационных технологий в области очистки сточных вод. Так, например, Kumar и Hong предложили систему IoT с



использованием интеллектуальных датчиков для контроля качества воды на очистных сооружениях [7]. Kodali и соавторы (2019) разработали IoT-систему, основанную на недорогих и надежных микроконтроллерах и датчиках, для мониторинга ключевых параметров (температура сточных вод, расход, уровень воды в резервуарах) с регулярной отправкой уведомлений операторам в случае критических ситуаций [8]. Khatrı и коллеги создали экономически эффективную IoT-систему для мониторинга и контроля уровня pH в режиме реального времени на муниципальных очистных сооружениях [9]. Rishitha and Ullas внедрили IoT-систему для мониторинга уровня воды и выбросов газов (CO₂ и NH₃), обеспечивая высокую эффективность обработки, снижение энергопотребления и эксплуатационных затрат [10]. Hasan и соавторы разработали IoT-систему для интеллектуального мониторинга очистных сооружений, используя датчики для измерения различных параметров (температура, pH, мутность, содержание растворенных твердых веществ и кислорода), которые передавали данные на веб-сервер через модем [11]. Su и коллеги применили IoT для удаленного контроля и управления процессом очистки сточных вод [12].

Таким образом, зарубежные исследования направлены на внедрение инновационных технологий, способствуя повышению эффективности очистных сооружений, снижению затрат и улучшению экологической безопасности, что подтверждено множеством успешных кейсов и научных исследований.

Методы исследования. При разработке и реализации исследования, направленного на изучение проблематики очистки сточных вод в контексте Казахстана и его трансграничных водных ресурсов, были применены следующие методы исследования для получения всестороннего и обоснованного анализа:

- анализ существующих научных трудов, отчетов и нормативных документов, касающихся очистки сточных вод, водных ресурсов Казахстана и влияния трансграничных водохозяйственных аспектов;
- анализ успешных кейсов внедрения инновационных технологий очистки сточных вод в других странах и оценка их применимости в РК;
- использование программных инструментов, в частности, факторный анализ, используемый для выявления факторов, которые могут объяснять наблюдаемые взаимосвязи между различными переменными. Такой анализ в контексте очистки сточных вод в Казахстане может предоставить ценные инсайты для улучшения качества воды и эффективности водопользования, учитывая сложные взаимосвязи между различными природными, техническими и экономическими аспектами.

Эти методы исследования помогут всесторонне изучить проблемы очистки сточных вод в Казахстане, учитывая его зависимость от трансграничных водных ресурсов, и предложить обоснованные решения для их улучшения.

Результаты и обсуждение. В Казахстане перед каждым водоканалом стоит острая проблема хранения продуктов очистки сточных вод и илового осадка, требуя масштабных площадей для сушки и последующей утилизации (захоронения), являясь серьезной нагрузкой на экологию. Поскольку объемы осадка могут быть весьма значительными, его утилизация становится сложной задачей, особенно в крупных городах с высокими показателями водопотребления и сброса сточных вод.

Современные методы очистки сточных вод направлены на улучшение качества воды, минимизацию вредного воздействия на окружающую среду и повторное использование очищенной воды. Автором были рассмотрены основные инновационные технологии, их принципы работы, преимущества и области применения (таблица 1).



Таблица 1 - Основные инновационные технологии, их принципы работы, преимущества и области применения

№	Технологии	Принцип работы	Преимущества	Область применения
1	Мембранные биореакторы (MBR)	микроорганизмы разлагают органику, мембраны фильтруют частицы	компактность, высокая эффективность, возможность повторного использования воды, уменьшение осадков	промышленные предприятия, очистка сточных вод, производство питьевой воды, использование в с/х
2	Аэробные гранулированные осадки (AGS)	микроорганизмы образуют плотные гранулы для обработки загрязненной воды	удаление органических загрязнений и азота; осаждение гранул, уменьшая время обработки; экономия энергии и снижение площади очистных сооружений	муниципальные очистные сооружения, промышленные предприятия
3	Анаэробные реакторы	разложение органики без кислорода	производство возобновляемого биогаза для энергетических нужд; низкие эксплуатационные затраты за счет минимального потребления кислорода; обработка сточных вод	промышленная очистка воды на пищевых и с/х предприятиях, переработка органических отходов
4	Электрохимическая очистка	электролиз расщепляет молекулы органических и неорганических веществ, превращая их в менее токсичные соединения	эффективность, отсутствие химреагентов, применимость в замкнутых системах	очистка промышленных сточных вод, удаления токсичных металлов и нефтепродуктов
5	Фотокаталитическая очистка	ультрафиолетовое излучение и катализаторы для разрушения органических веществ в воде.	эффективное удаление органических веществ, микробов и вирусов; низкие эксплуатационные затраты; удаление стойких загрязнителей	очистка питьевой воды, сточных вод в химической промышленности, фармацевтических производствах
6	Флотация с использованием микропузырьков	микропузырьки для подъемов твердых частиц и масел к поверхности сточных вод,	высокая эффективность удаления масел, жиров и твердых взвесей; энергоэффективный процесс; компактность систем флотации	очистка сточных вод, нефтегазовая промышленность, пищевая промышленность
7	Адсорбция с использованием наноматериалов	углеродные нанотрубки и нанокompозиты для адсорбции загрязняющих веществ	высокая селективность, удаление примесей в низких концентрациях, меньше химреагентов	очистка воды от микропримесей, фармацевтические и химические производства
8	Биофильтрация	микроорганизмы на пористом материале разлагают органику	биологическая очистка при низкой стоимости эксплуатации; применение в малых масштабах	с/х, удаленные поселения, небольшие промышленные объекты

В Казахстане проблема очистки сточных вод остается актуальной ввиду роста промышленного сектора, увеличения объемов бытовых отходов и необходимости соблюдения экологических стандартов. Несмотря на достижения в этой области,



существует потребность в модернизации существующих систем очистки и внедрении новых, более эффективных технологий. Географические особенности Казахстана, где семь из восьми водохозяйственных бассейнов являются трансграничными, существенно усложняют задачу управления водными ресурсами и очистки сточных вод (Китайская Народная Республика, Российская Федерация и страны Центральной Азии). В этом отношении наиболее уязвимы Арало-Сырдарьинский (91%), Жайык-Каспийский (82%), Шу-Таласский (74%), Балхаш-Алакольский (48%) водохозяйственные бассейны, наименее - Тобыл-Торгайский (12%) и Ертысский (20%) водохозяйственные бассейны [13].

Зависимость Казахстана от водохозяйственной политики сопредельных стран создает ряд специфических проблем, требующих внедрения инновационных технологий очистки сточных вод.

1. Зависимость от внешних водных ресурсов:

- влияние на качество воды. трансграничные реки, такие как иртыш, сырдарья и урал, могут поступать на территорию казахстана уже загрязненными сточными водами усложняя очистку и требуя передовых технологий для борьбы с загрязнителями;
- неравномерность водоснабжения. объем и качество водных ресурсов, поступающих из соседних стран, варьируются, создавая нагрузку на системы очистки в казахстане и требуя адаптивных решений.

2. политическая и экономическая нестабильность:

- риски изменения водопотребления. политика соседних стран может снижать объемы воды, поступающие в казахстан, усиливая необходимость очистки и повторного использования воды внутри страны;
- необходимость кооперации. казахстану приходится координировать свои усилия по управлению водными ресурсами с соседними странами.

3. экологическая безопасность и защита водных экосистем:

- предотвращение трансграничного загрязнения. казахстану необходимо обеспечивать высокие стандарты очистки сточных вод, чтобы минимизировать их негативное воздействие на трансграничные водные ресурсы, укрепляя международные отношения и снижая экологические риски;
- сохранение биоразнообразия. инновационные технологии очистки сточных вод помогут сохранить водные экосистемы трансграничных рек.

4. устойчивость и независимость:

- повышение независимости от внешних факторов. внедрение передовых технологий очистки сточных вод снизит зависимость казахстана от качества внешних водных ресурсов и улучшит управление внутренними;
- снижение уязвимости к внешним воздействиям. инновационные технологии помогут уменьшить влияние изменений в водной политике соседних стран и обеспечить стабильное качество воды.

5. Международные обязательства и экологическая ответственность:

- соблюдение международных стандартов. инновационные технологии помогут казахстану соответствовать международным экологическим требованиям и укрепить репутацию;
- участие в трансграничных экологических инициативах. внедрение передовых методов очистки позволит казахстану активно участвовать в защите трансграничных водных ресурсов.

В условиях зависимости от водных ресурсов соседних стран, внедрение инновационных технологий очистки сточных вод становится стратегическим шагом для



укрепления экологической безопасности и устойчивости Казахстана. Понимание развития этих технологий требует учета факторов, влияющих на водопотребление и ресурсы (рисунок 1).



Рисунок 1 - Факторы, влияющие на водопотребление и водные ресурсы

Для выполнения факторного анализа на основе предоставленных данных о водопотреблении и водных ресурсах, автором был сделан расчет основных факторов, влияющих на общий объем потребления воды (таблица 2) [13].



Таблица 2 – Показатели, характеризующие водопотребление и водные ресурсы в РК

Показатель	Ед.изм.	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Потребление воды на душу населения в год	млн. м ³	29,0	29,7	30,4	31,0	32,2	32,7	33,8
Население подключенное к коммунальному водоснабжению	млн.	16,2	16,6	17	17,3	17,8	18,6	18,8
Население не подключенное к коммунальному водоснабжению (самообеспечение)	млн.	29,0	29,7	30,4	31,0	32,2	32,7	33,8
Общее потребление воды	млн. м ³	512,7	531,5	553,6	570,9	604,2	621,9	661,5
Интенсивность использования водных ресурсов, в т.ч. по основным секторам экономики	м ³ /тенге в ценах 2015г.	0,49	0,48	0,46	0,45	0,45	0,42	0,42
сельское, лесное и рыбное хозяйство	м ³ /тенге в ценах 2015г.	5,96	6,31	5,97	6,08	5,37	5,22	4,70
промышленность	м ³ /тенге в ценах 2015г.	0,41	0,37	0,42	0,47	0,48	0,47	0,47
другие виды деятельности	м ³ /тенге в ценах 2015г.	0,13	0,10	0,09	0,05	0,06	0,06	0,07
Использовано пресной воды	млн. м ³	20213	20520	20 659	20 955	20307	19 999	20443
Индекс эксплуатации водных ресурсов	%	13,52	18,39	21,27	21,86	28,16	31,92	30,19
Уровень нагрузки на водные ресурсы	%	30,01	31,14	32,65	32,62	34,10	34,01	34,63
Среднегодовая численность населения	человек	17794 055	18037 776	18276 452	18513 673	18755 665	19000 987	19634 983
Средний тариф на воду	тенге/м ³ без НДС	98,45	99,0	93,53	90,39	86,14	101,24	108,33
Примечание: составлена авторами на основе источника [13].								

Основными факторами могут быть:

- потребление воды на душу населения (млн. м³/чел.);
- количество населения, подключенного к коммунальному водоснабжению (млн.);
- общее количество населения (млн.).

Эти факторы создают контекст, в котором развиваются и внедряются инновационные технологии очистки сточных вод, помогая улучшить управление водными ресурсами и минимизировать их негативное воздействие на окружающую среду.



1 Для начала сформулируем уравнение факторного анализа.
Общее потребление воды (Q) можно выразить как произведение:

$$Q = q \times P, \quad (1)$$

где:

q - потребление воды на душу населения,

P - численность населения.

Но поскольку у нас есть данные как для населения, подключенного к коммунальному водоснабжению, так и для общего населения, уравнение можно уточнить:

$$Q = (q_{comm} \times P_{comm}) + (q_{self} \times P_{self}), \quad (2)$$

где:

q_{comm} - потребление воды на душу населения для подключенного к коммунальному водоснабжению;

P_{comm} - численность населения, подключенного к коммунальному водоснабжению;

q_{self} - потребление воды на душу населения для не подключенного населения;

P_{self} - численность населения, не подключенного к коммунальному водоснабжению.

2. Проведем расчет факторных эффектов.

– эффект изменения численности населения:

$$\Delta QP = (q_{comm} \times \Delta P_{comm}) + (q_{self} \times \Delta P_{self}), \quad (3)$$

– ЭФФЕКТ ИЗМЕНЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ВОДЫ НА ДУШУ НАСЕЛЕНИЯ:

$$\Delta Qq = (\Delta q_{comm} \times P_{comm}) + (\Delta q_{self} \times P_{self}), \quad (4)$$

3. Далее проведем расчеты, определим изменение каждого показателя по годам и рассчитаем вклад каждого фактора в изменение общего потребления воды, где:

Q_t - общее потребление воды в год;

$P_{comm,t}$ - население, подключенное к коммунальному водоснабжению в год;

$P_{self,t}$ - население, не подключенное к коммунальному водоснабжению (самообеспечение) в год;

q_t - потребление воды на душу населения в год (таблица 3).

Таблица 3 – Расчет прироста каждого фактора в изменение общего потребления воды

Год	Q_t (млн. м ³)	$P_{comm,t}$ (млн.)	$P_{self,t}$ (млн.)	$q_{comm,t}$ (млн.м ³ /чел.)	$q_{self,t}$ (млн.м ³ /чел.)	Прирост ΔQ (млн. м ³)
2016	512,7	16,2	29,0	29,0	29,0	-
2017	531,5	16,6	29,7	29,7	29,7	18,8
2018	553,6	17,0	30,4	30,4	30,4	22,1
2019	570,9	17,3	31,0	31,0	31,0	17,3
2020	604,2	17,8	32,2	32,2	32,2	33,3
2021	621,9	18,6	32,7	32,7	32,7	17,7
2022	661,5	18,8	33,8	33,8	33,8	39,6

Примечание: составлена авторами на основе произведенных расчетов.



Результаты факторного анализа прироста общего потребления воды (Q) за 2016-2022 годы графически представлены на рисунке 2, и имеют следующие показатели:

- ΔQ - прирост общего потребления воды (в млн. м³);
- ΔQP - вклад численности населения (в млн. м³);
- ΔQq - вклад изменения потребления на душу населения (в млн. м³).

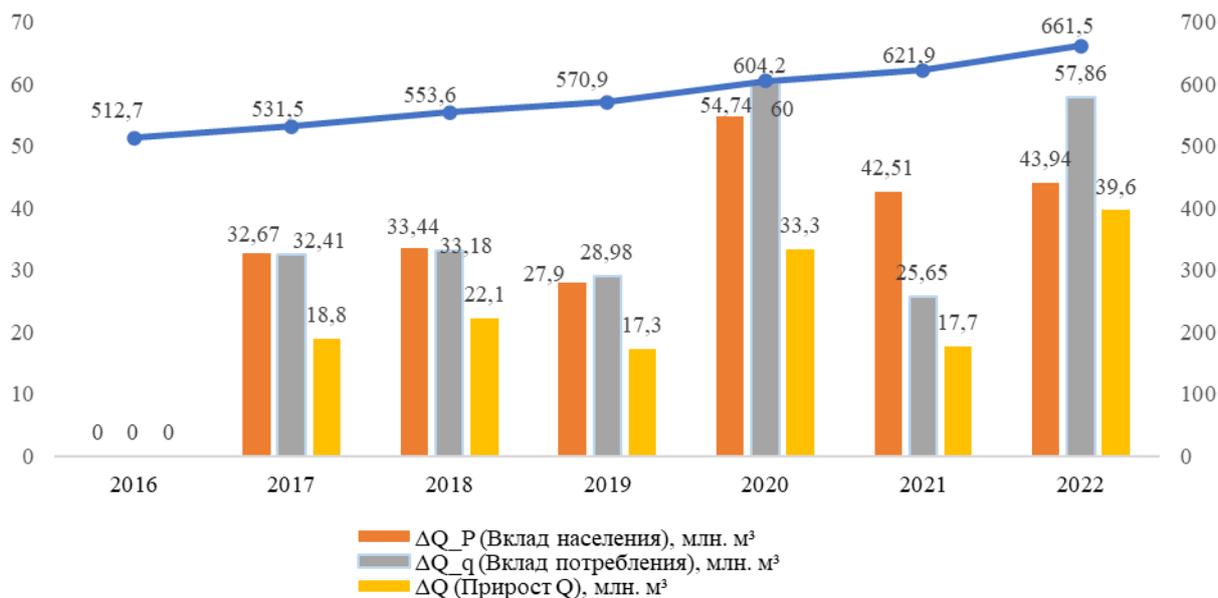


Рисунок 2 - Результаты факторного анализа прироста общего потребления воды (Q) за 2016-2022 годы

Прирост общего потребления воды (ΔQ):

$$\Delta Q = Q_t - Q_{t-1}, \quad (5)$$

где:

Q_t - общее потребление воды в году;

Q_{t-1} - общее потребление воды в предыдущем году.

Вклад численности населения (ΔQP):

$$\Delta QP = q_{t-1} \times (P_t - P_{t-1}), \quad (6)$$

где:

q_{t-1} - потребление воды на душу населения в предыдущем году;

P_t - численность населения в году t ;

P_{t-1} - численность населения в предыдущем году.

Вклад изменения потребления на душу населения (ΔQq):

$$\Delta Qq = P_t \times (q_t - q_{t-1}), \quad (7)$$

где:

q_t - потребление воды на душу населения в году t .

На основе расчета 2017 года получаем следующие значения:



$$Q_{2017} = 531.5 \text{ млн. м}^3$$

$$Q_{2016} = 512.7 \text{ млн. м}^3$$

$$P_{2017} = 16.6 \text{ млн. человек}$$

$$P_{2016} = 16.2 \text{ млн. человек}$$

$$P_{2016} = 16.2 \text{ млн. человек}$$

$$q_{2017} = 29.7 \text{ млн. м}^3$$

$$q_{2016} = 29.0 \text{ млн. м}^3$$

$$\Delta Q = 531.5 - 512.7 = 18.8 \text{ млн. м}^3$$

$$\Delta QP = 29.0 \times (16.6 - 16.2) = 29.0 \times 0.4 = 11.6 \text{ млн. м}^3$$

$$\Delta Qq = 16.6 \times (29.7 - 29.0) = 16.6 \times 0.7 = 11.62 \text{ млн. м}^3$$

Такие же расчеты повторяются для каждого года, результаты которых представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Вклад изменения потребления воды на душу населения по годам

Год	ΔQ , млн. м ³	ΔQP , млн. м ³	ΔQq , млн. м ³
2017	18,8	11,6	11,62
2018	22,1	11,8	10,92
2019	17,3	10,9	6,4
2020	33,3	14,4	18,9
2021	17,7	13,8	3,9
2022	39,6	15,4	24,2

Факторный анализ показывает, что изменение общего потребления воды определяется как численностью населения, так и изменением потребления воды на душу населения.

Наибольший вклад в изменение потребления воды в разные годы вносят разные факторы:

– в 2019 и 2021 годах основным фактором было увеличение численности населения;

– в 2020 и 2022 годах основной вклад внесло увеличение потребления воды на душу населения.

Таким образом, оба фактора оказывают значительное влияние, но в разные годы ведущим фактором был либо рост численности населения, либо изменение потребления на душу населения. Поэтому очистка сточных вод играет критически важную роль как в охране окружающей среды, так и в защите общественного здоровья (таблица 5).



Таблица 5 – Обоснование необходимости очистки сточных вод

№	Ключевые аспекты		Значение	Влияние
1	Охрана водных экосистем	Предотвращение загрязнения водоемов	без надлежащей очистки сточные воды, могут привести к серьезному загрязнению водных экосистем	влияет на флору и фауну, снижает биологическое разнообразие и нарушает естественные процессы
		Предотвращение эвтрофикации	избыток питательных веществ (фосфаты и нитраты) в сточных водах	может привести к эвтрофикации - чрезмерному росту водорослей, вызывая дефицит кислорода и гибель водных организмов
2	Сохранение и устойчивое использование водных ресурсов	Повторное использование воды	очистка сточных вод особенно важна в условиях дефицита водных ресурсов	позволяет повторно использовать их для различных целей, таких как ирригация, промышленное использование или даже питьевые нужды
		Снижение нагрузки на природные источники воды	эффективная очистка и переработка сточных вод уменьшают потребность в заборе воды из рек и водохранилищ	способствует сохранению природных водных ресурсов
3	Защита общественного здоровья	Устранение патогенов и токсинов	сточные воды могут содержать патогены (бактерии, вирусы и паразиты, химические вещества) которые опасны для здоровья человека	очистка сточных вод необходима для удаления этих загрязнителей и предотвращения вспышек инфекционных заболеваний
		Предотвращение загрязнения питьевой воды	без надлежащей очистки сточные воды могут загрязнять подземные и поверхностные воды, используемые для питья	создает риск массовых отравлений и заболеваний
4	Экономические и социальные выгоды	Снижение затрат на здравоохранение	инвестиции в эффективные системы очистки сточных вод могут значительно сократить расходы на здравоохранение, связанные с лечением болезней, вызванных загрязнением воды	положительно сказывается на экономике
		Создание рабочих мест и технологий	развитие и эксплуатация очистных сооружений стимулируют создание рабочих мест, технологий	
5	Социальная и экологическая ответственность	Соблюдение международных стандартов и соглашений	способствует соблюдению международных экологических стандартов и соглашений	направлены на защиту окружающей среды
		Улучшение качества жизни	чистая вода - это основа здоровой жизни	обеспечение доступа к чистой воде для всех

Примечание: Составлена авторами.



Очистка сточных вод не только предотвращает экологические катастрофы и защищает здоровье людей, но и способствует устойчивому развитию, экономической стабильности и улучшению качества жизни. Внедрение инновационных технологий для улучшения качества очистки сточных вод является необходимым шагом, связанных с экологическими, экономическими и социальными аспектами (рисунок 3) [14].

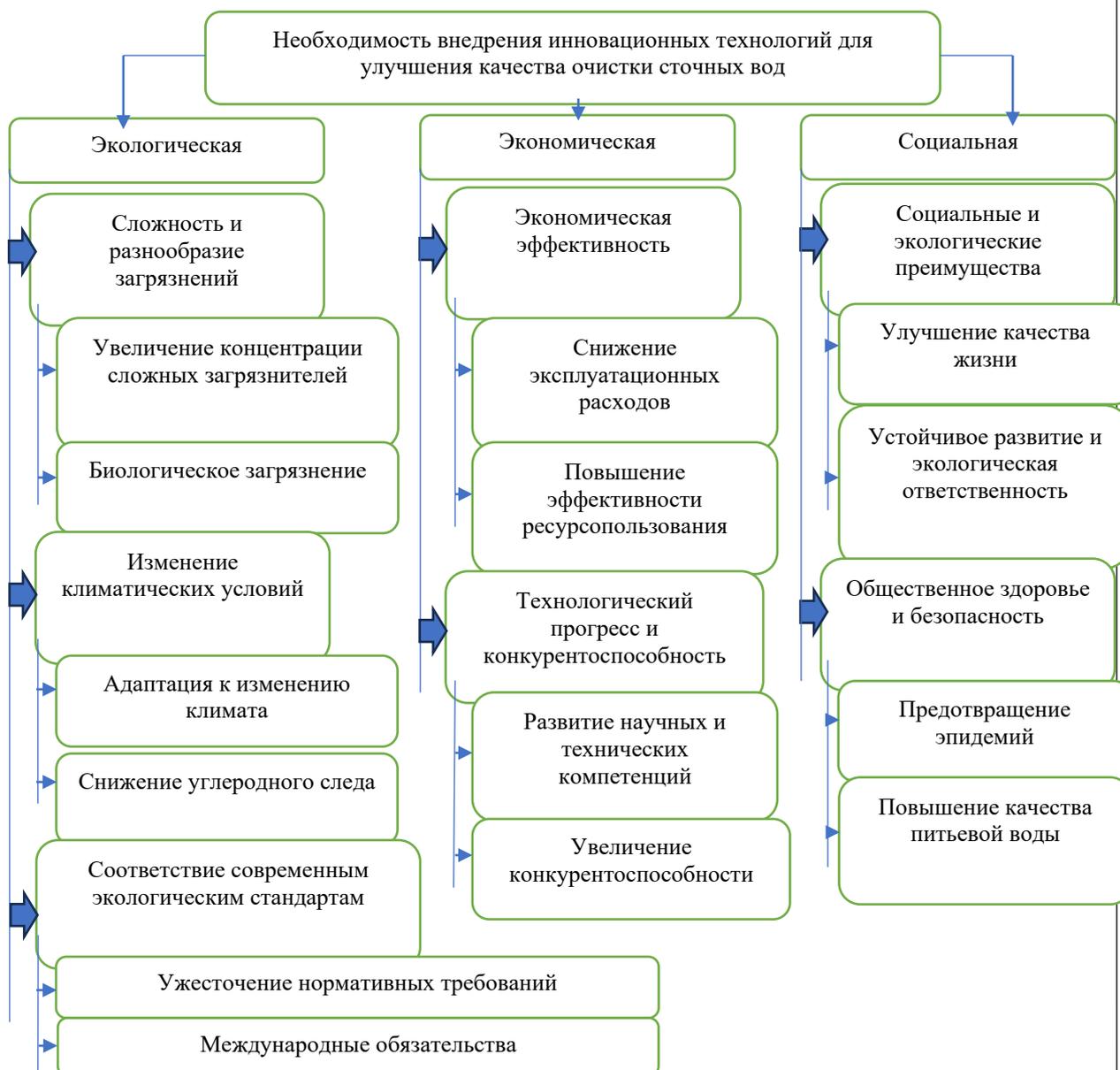


Рисунок 3 - Обоснование необходимости внедрения инновационных технологий для улучшения качества очистки сточных вод

Внедрение инновационных технологий очистки сточных вод не только отвечает текущим вызовам, но и обеспечивает долгосрочную устойчивость и безопасность водных ресурсов, защищая здоровье людей и поддерживая экологическое равновесие. Автором было проведено сравнение эффективности применения инновационных технологий в Казахстане и за рубежом (таблица 6).



Таблица 6 - Сравнение эффективности применения инновационных технологий в Казахстане и за рубежом

№	Применение	Зарубежный опыт	Казахстан
1	Технической и экономической инфраструктурой	внедрение технологий осуществляется быстрее за счет высокой квалификации специалистов и значительных инвестиций в водные ресурсы (Германия, Сингапур)	инфраструктура очистных сооружений требует модернизации, затрудняя внедрение передовых технологий
2	Финансирование и поддержка	вкладывают значительные ресурсы в инновации в области очистки сточных вод	финансирование этой отрасли остается недостаточным для широкомасштабного внедрения инноваций
3	Адаптация к местным условиям	внедрение технологий требует учета климатических, географических и экономических особенностей	необходимо учитывать специфические особенности, такие как засушливый климат и разбросанность населенных пунктов

Факторы, влияющие на успешность внедрения технологий, зависят от:

– инвестиций в инфраструктуру, так как для успешного внедрения технологий необходимы значительные инвестиции в модернизацию существующих очистных сооружений и строительство новых;

– квалификации кадров, которая способствует более эффективному внедрению технологий;

– государственной поддержки и регулирования, где законодательные меры и субсидии на внедрение инноваций играют важную роль в успешности проектов, особенно для промышленных предприятий и сельских регионов;

– адаптации технологий, так как успех внедрения во многом зависит от адаптации инновационных технологий к специфическим условиям каждой страны;

– климатических условий, так как казахстан имеет разнообразные климатические зоны, и важно учитывать влияние температуры, осадков и солнечной радиации на эффективность работы технологий.

Заключение. Внедрение инновационных технологий в Казахстане должно быть нацелено на улучшение качества сточных вод, снижение затрат на очистку и адаптацию к местным условиям. Учитывая особенности региона - доступность водных ресурсов, климат, экономические факторы и требования к качеству воды - можно выделить ключевые направления:

1) В крупных городах (Алматы, Астана, Караганда) мембранные биореакторы могут повысить эффективность очистки.

2) В аграрных регионах (Южно-Казахстанская, Жамбылская области) анаэробные реакторы помогут перерабатывать органические отходы, снижая затраты и экологическое воздействие.

3) В нефтегазовых регионах (Западно-Казахстанская область) технология флотации позволит очищать сточные воды от нефтепродуктов.

4) В сельских районах технология AGS эффективна для компактных очистных сооружений.

5) В металлургических и химических зонах (Восточно-Казахстанская, Павлодарская области) электрохимическая очистка сократит выбросы токсичных веществ.



6) В южных регионах фотокатализ может применяться для очистки от микрозагрязнителей, таких как пестициды и фармацевтические вещества.

7) Биофильтрация будет полезна для удаленных сельских районов, где централизованная очистка затруднена.

Внедрение новых технологий в Казахстане представляет собой сложный процесс, требующий комплексного подхода с учетом различных факторов. Для успешного применения технологий необходимо не только модернизировать альтернативные очистительные системы, но и уделить внимание подготовке квалифицированных кадров и обеспечить необходимый уровень государственной поддержки. Ключевыми направлениями развития должны стать мембранные биореакторы, анаэробные реакторы, фотокаталитические методы и другие технологии, которые могут стать эффективными инструментами для улучшения других ситуаций в стране. Это, в свою очередь, поможет снизить затраты на очистку, повысить доступность чистой воды для всех регионов и снизить негативное воздействие.

Информация о финансировании. Статья подготовлена в рамках грантового финансирования научных проектов Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (AP19679641 «Интегрированное управление атмосферными осадками в городах: модель и механизмы реализации»).

Список литературы

1. United Nations. The UN Sustainable Development Goals; United Nations: New York, NY, USA, 2015. Available at: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/summit> (дата обращения: 07.05.2024).
2. Kehrein, P., van Loosdrecht, M.C., Osseweijer, P., Garfi, M., Dewulf, J., Posada, J. A critical review of resource recovery from municipal wastewater treatment plants-Market supply potentials, technologies and bottlenecks // *Environ. Sci. Water Res. Technol.* – 2020. - Vol.6. - pp.877-910. <https://doi.org/10.1039/C9EW00905A>.
3. Zarei, M. Wastewater resources management for energy recovery from circular economy perspective // *Water-Energy Nexus.* – 2020. - Vol. 3. – pp.170–185. <https://doi.org/10.1016/j.wen.2020.11.001>.
4. Marin Ugrina, Jelena Milojković. Advances in Wastewater Treatment // *Energies.* – 2024. - №17(6). - 1400. <https://doi.org/10.3390/en17061400>.
5. M.V.A. Corpuz, A. Buonerba, G. Vigliotta, T. Zarra, F. Ballesteros, P. Campiglia, V. Belgiorno, G. Korshin, V. Naddeo Viruses in wastewater: occurrence, abundance and detection methods // *Sci. Total Environ.* – 2020. - 745. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140910>.
6. K. Obaideen, N. Shehata, E.T. Sayed, M.A. Abdelkareem, M.S. Mahmoud, A.G. Olabi The role of wastewater treatment in achieving sustainable development goals (SDGs) and sustainability guideline // *Energy Nexus.* – 2022. - 7. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100112>
7. P.M. Kumar, C.S. Hong. Internet of things for secure surveillance for sewage wastewater treatment systems // *Environ. Res.* – 2022. - № 203. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111899>.
8. R.K. Kodali, S.C. Rajanarayanan, S. Yadavilli. IoT Monitoring Setup for Waste Water Treatment, in: 2019 IEEE R10 // *Humanitarian Technology Conference (R10-HTC)(47129)*. -2019. - pp. 169-174. <https://doi.org/10.1109/R10-HTC47129.2019.9042472>.
9. A.K. Somani, S. Srivastava, A. Mundra, S. Rawat (Eds.). *Proceedings of First International Conference on Smart System, Innovations and Computing*, Springer, Singapore. – 2018. - pp. 353-362. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5828-8_34.
10. K. Rishitha, S. Ullas. IoT based Automation in Domestic Sewage Treatment Plant to Optimize Water Quality and Power Consumption, in: 2019 3rd International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC). – 2019. - pp. 306-310. <https://doi.org/10.1109/ICCMC.2019.8819700>.
11. M.S. Hasan, S. Khandaker, M.D.S. Iqbal, M.D. Monirul Kabir. A Real-Time Smart Wastewater Monitoring System Using IoT: Perspective of Bangladesh 2020 2nd International Conference on Sustainable Technologies for Industry 4.0 (STI). – 2020. - pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/STI50764.2020.9350459>.
12. J.-J. Su, S.-T. Ding, H.-C. Chung. Establishing a smart farm-scale piggery wastewater treatment system with the internet of things (IoT) applications // *Water.* – 2020. - №12. - p.1654. <https://doi.org/10.3390/w12061654>.



13. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды РК. 2023 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kazhydromet.kz> (дата обращения: 17.06.2024).
14. Руководство по водным ресурсам и адаптации к изменению климата [Электронный ресурс] // Европейская экономическая комиссия. – Режим доступа: https://unece.org/DAM/env/water/publications/documents/Guidance_water_climate_r.pdf. (дата обращения: 12.07.2024).

References

1. United Nations. *The UN Sustainable Development Goals*. United Nations, New York, USA, 2015. Available online: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/summit>.
2. Kehrein, P., van Loosdrecht, M.C., Osseweijer, P., Garfi, M., Dewulf, J., Posada, J. A critical review of resource recovery from municipal wastewater treatment plants-Market supply potentials, technologies and bottlenecks. *Environ. Sci. Water Res. Technol.*, 2020, 6, 877-910. <https://doi.org/10.1039/C9EW00905A>.
3. Zarei, M. Wastewater resources management for energy recovery from circular economy perspective. *Water-Energy Nexus*, 2020, 3, pp.170–185. <https://doi.org/10.1016/j.wen.2020.11.001>.
4. Marin Ugrina, Jelena Milojković. Advances in Wastewater Treatment. *Energies*, 2024, 17(6), 1400. <https://doi.org/10.3390/en17061400>.
5. M.V.A. Corpuz, A. Buonerba, G. Vigliotta, T. Zarra, F. Ballesteros, P. Campiglia, V. Belgiorno, G. Korshin, V. Naddeo Viruses in wastewater: occurrence, abundance and detection methods. *Sci. Total Environ*, 2020, 745. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140910>.
6. K. Obaideen, N. Shehata, E.T. Sayed, M.A. Abdelkareem, M.S. Mahmoud, A.G. Olabi The role of wastewater treatment in achieving sustainable development goals (SDGs) and sustainability guideline. *Energy Nexus*, 2022, 7. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100112>.
7. P.M. Kumar, C.S. Hong. Internet of things for secure surveillance for sewage wastewater treatment systems. *Environ. Res.*, 2022, 203. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111899>.
8. R.K. Kodali, S.C. Rajanarayanan, S. Yadavilli. IoT Monitoring Setup for Waste Water Treatment, in: 2019 IEEE R10. *Humanitarian Technology Conference (R10-HTC)(47129)*. 2019, pp. 169-174. <https://doi.org/10.1109/R10-HTC47129.2019.9042472>.
9. A.K. Somani, S. Srivastava, A. Mundra, S. Rawat (Eds.). *Proceedings of First International Conference on Smart System, Innovations and Computing*, Springer, Singapore. 2018, pp. 353-362. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5828-8_34.
10. K. Rishitha, S. Ullas. IoT based Automation in Domestic Sewage Treatment Plant to Optimize Water Quality and Power Consumption, in: 2019 *3rd International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, 2019, pp. 306-310. <https://doi.org/10.1109/ICCMC.2019.8819700>.
11. M.S. Hasan, S. Khandaker, M.D.S. Iqbal, M.D. Monirul Kabir. A Real-Time Smart Wastewater Monitoring System Using IoT: Perspective of Bangladesh 2020 *2nd International Conference on Sustainable Technologies for Industry 4.0 (STI)*, 2020, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/STI50764.2020.9350459>.
12. J.-J. Su, S.-T. Ding, H.-C. Chung. Establishing a smart farm-scale piggery wastewater treatment system with the internet of things (IoT) applications. *Water*, 2020, 12, p.1654. <https://doi.org/10.3390/w12061654>.
13. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды РК. 2023 Available at: <https://www.kazhydromet.kz> (дата обращения: 17.06.2024).
14. Руководство по водным ресурсам и адаптации к изменению климата. Европейская экономическая комиссия. Available at: https://unece.org/DAM/env/water/publications/documents/Guidance_water_climate_r.pdf. (дата обращения: 12.07.2024).

АҒЫНДЫ СУЛАРДЫ ТАЗАРТУ САЛАСЫНДА ИННОВАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ҚОЛДАНУ: ШЕТЕЛДІК ЖӘНЕ ҚАЗАҚСТАНДЫҚ ТӘЖІРИБЕ

Л.М. Бекенова¹, И. В. Штыкова^{2*}, Н. А. Кузьмина²

¹Алматы гуманитарлық-экономикалық университеті, Алматы, Қазақстан

²Рудный индустриялық институты, Рудный, Қазақстан

Түйін. Мақалада ағынды суларды тазартуда қолданылатын заманауи инновациялық технологиялар қарастырылады. Мембраналық биореакторлар, анаэробтық реакторлар, аэробтық түйіршікті тұнбалар, фотокаталитикалық және электрохимиялық тазарту, сондай-ақ био- және



нанофльтрация сияқты технологиялардың жұмыс істеу қағидаттарына, артықшылықтарына және қолдану салаларына ерекше назар аударылған. Әртүрлі елдерде бұл технологияларды енгізу тәжірибесіне талдау жасалып, су ресурстарының сапасын жақсарту мен су тазарту жүйелерінің тиімділігін арттыруды көрсететін табысты мысалдар қарастырылған. Қазақстандағы тәжірибе де жеке қарастырылып, ағынды суларды тазартудағы алдыңғы қатарлы әдістерді қолдану экологиялық қауіпсіздіктің маңызды элементі болып табылатыны атап өтілді. Қазақстан мен шет елдерде бұл технологияларды пайдаланудың тиімділігі салыстырмалы талдауға алынып, елдегі олардың сәтті енгізілуіне әсер ететін негізгі факторлар анықталды.

Түйінді сөздер: инновациялық технологиялар, ағынды суларды тазарту, экологиялық қауіпсіздік, фотокаталитикалық тазарту, су тазарту жүйесі, су ресурстары.

APPLICATION OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE FIELD OF WASTEWATER TREATMENT: FOREIGN AND KAZAKHSTANI EXPERIENCE

L. M. Bekenova¹, I. V. Shtykova^{2}, N.A. Kuzmina²*

¹Almaty University of Humanities and Economics, Almaty, Kazakhstan

²Rudnensky Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan

Summary. The article discusses modern innovative technologies used in the field of wastewater treatment. Special attention is paid to the principles of operation, advantages and applications of technologies such as membrane bioreactors, anaerobic reactors, aerobic granular precipitation, photocatalytic and electrochemical purification, as well as bio- and nanofiltration. The analysis of the experience of the implementation of these technologies in various countries, including successful cases demonstrating the improvement of the quality of water resources and increasing the efficiency of water treatment systems. The experience of Kazakhstan is considered separately, where the use of advanced wastewater treatment methods is becoming an important element of environmental safety. A comparative analysis of the effectiveness of the use of technologies in Kazakhstan and abroad is carried out, the main factors influencing the success of their implementation in the country are highlighted.

Keywords: innovative technologies, wastewater treatment, environmental safety, photocatalytic treatment, water treatment system, water resources.

Информация об авторах:

Бекенова Лидия Молдабаевна - кандидат экономических наук, ассоциированный профессор, Алматинский гуманитарно-экономический университет, Алматы, Казахстан e-mail: bekenova1@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0298-6817>.

Штыкова Ирина Владимировна* - магистр, декан высшей школы энергетики и информационных систем Рудненского индустриального университета, Казахстан, г. Рудный, e-mail: Iren_2409@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-2242-032X>.

Кузьмина Наталья Александровна – магистр, преподаватель высшей школы энергетики и информационных систем Рудненского индустриального университета, Казахстан, г. Рудный, e-mail: maksiminatalya@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9875-0042>.

Авторлар туралы ақпарат:

Бекенова Лидия Молдабаевна - экономика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Алматы гуманитарлық-экономикалық университеті, Алматы, Қазақстан; e-mail: bekenova1@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0298-6817>.

Штыкова Ирина Владимировна* – магистр, Рудный индустриялық университетінің энергетика және ақпараттық жүйелер жоғары мектебінің деканы, Қазақстан, Рудный қ., e-mail: Iren_2409@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-2242-032X>.

Кузьмина Наталья Александровна – магистр, Рудный индустриялық университетінің энергетика және ақпараттық жүйелер жоғары мектебінің оқытушысы, Қазақстан, Рудный қ., e-mail: maksiminatalya@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9875-0042>.



Information about author:

Bekenova Lidiya Moldabaevna - Candidate of Economical Sciences, Associate Professor, Almaty University of Humanities and Economics, Almaty, Kazakhstan, e-mail: bekenova_l@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0298-6817>.

Shtykova Irina Vladimirovna* - master, Dean of the Higher School of Energy and Information Systems, Rudny Industrial University, Kazakhstan, Rudny, e-mail: Iren_2409@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-2242-032X>.

Kuzmina Natalya Aleksandrovna – master, teacher at the Higher School of Energy and Information Systems, Rudny Industrial University, Kazakhstan, Rudny, e-mail: maksimatalya@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9875-0042>.

Получено: 11.07. 2024

Принято к рассмотрению: 29.07. 2024

Доступно онлайн: 30.09.2024