



Экологическая безопасность развития электроэнергетики в регионе Центральной Азии

Трофимов Г.Г. ^{a*} , Насиров Т.Х. ^b , Хамидов Ш.В. ^b 

^a Казахстанско-Немецкий университет, ул. Пушкина, 111, Алматы, 050010, Казахстан

^b Институт проблем энергетики АН РУз, ул. Ч. Айтматова, 2-Б, Ташкент, 100052 Республика Узбекистан

ABSTRACT

В статье рассматриваются экологические проблемы дальнейшего развития энергосистем Центральной Азии (ЦА) на базе традиционных и возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Для понимания существующей ситуации с энергетикой и экологией в странах ЦА описан их энергетический профиль и состояние энергетического сектора, используемое топливо, уровень энергоэффективности и износа энергооборудования, уровень потребляемой ими первичной энергии и показана картина распределения выбросов CO₂ в этих странах. Однако, учитывая, что в регионе ЦА Казахстан и Узбекистан лидируют и по потребляемой энергии, и по величине выбросов парниковых газов, в статье в большей степени рассматриваются существующие проблемы именно в этих странах. Вместе с тем предлагаемые выводы и рекомендации статьи в равной степени целесообразны для реализации их во всех странах региона. Показано, что, согласно программному документу ООН об устойчивом развитии, выбор источников электроснабжения должен учитывать не только финансовые затраты, но и экологические последствия. С целью того, чтобы принимаемое решение по выбору источников электроснабжения в регионе ЦА было не только экологически безопасным, направленным на поддержку зеленых проектов, но и способствовало устойчивому развитию страны, предложен механизм применения таксономии, подобный таксономии Европейского союза (ЕС), который позволяет наиболее целесообразно использовать выделяемые финансовые ресурсы. Рассмотрена методология оценки выбросов парниковых газов и загрязняющих веществ в атмосферу тепловыми электростанциями. Показана целесообразность использования накопителей энергии при широкомасштабной интеграции ВИЭ в регионе Центральной Азии.

Подана в редакцию:
11 марта 2023

Принята к публикации:
5 сентября 2023

Доступ онлайн:
26 сентября 2023

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

экологическая
безопасность,
электроэнергетика,
тепловые
электростанции,
выбросы парниковых
газов и загрязняющих
веществ в атмосферу,
возобновляемые
источники энергии,
накопители энергии.

Для корреспонденции: Трофимов Г.Г. ✉ depenergy@mail.ru Казахстанско-Немецкий университет, ул. Пушкина, 111, Алматы, 050010, Казахстан

1. Введение

В настоящее время основной проблемой на планете является изменение климата, последствия которого имеют глобальный характер и беспрецедентные масштабы.

Развитие экономики во всех странах мира, рост народонаселения и увеличение потребления органического топлива способствовали увеличению объемов выбросов парниковых газов в мире.

Парниковые газы поглощают и одновременно излучают лучистую солнечную радиацию в тепловом инфракрасном диапазоне. Они и вызывают парниковый эффект, который впервые еще в 1824 г. был описан французским ученым Жан-Батистом Жозефом Фурье. Основными парниковыми газами в атмосфере Земли являются водяной пар (H_2O), двуокись углерода (CO_2), метан (CH_4), закись азота (N_2O) и озон (O_3).

Одна из основных причин потепления и повышения уровня парниковых газов в атмосфере связана с углекислым газом, выделяемым при сжигании ископаемого топлива, и с деятельностью человека. В целом рост концентрации CO_2 дает примерно 75 % антропогенного усиления парникового эффекта (Всемирный фонд дикой природы. WWF. Климат и энергетика. Простые ответы на сложные вопросы по климату).

Причем именно рост концентрации CO_2 - главный драйвер глобального потепления. Уже после 2040 г., по расчетам экологов, планета может пройти точку невозврата.

Сжигание органического топлива на тепловых станциях при выработке электроэнергии, суммарно обеспечивающее более 2/3 от общей выработки всех электростанций мира, в мировом масштабе является основной причиной антропогенного усиления парникового эффекта. Ископаемое топливо в 2021 г. обеспечивало 83,1 % от энергопотребления в мире (Энергетика и развитие в Центральной Азии: статистический обзор..., 2018). Причем на базе угля вырабатывается 46 % всей электроэнергии мира, на базе газа - 18 %, еще около 3 % - за счет сжигания биомасс.

Поэтому, с целью защиты окружающей биосферы и человеческого общества от воздействий энергетики на окружающую среду, негативно влияющих на изменение климата, необходимо обеспечить развитие электроэнергетики с учетом экологической безопасности.

Рассмотрение существующей ситуации и предлагаемые пути ее разрешения будут не только целесообразны для понимания широкой общественностью накопившихся проблем в регионе и методов их решения, но могут служить началом широкомасштабных исследований в этой области, что, безусловно,

должно быть исключительно важно для практической реализации принципов устойчивого развития региона.

2. Существующая экологическая обстановка в регионе ЦА и энергетический профиль стран региона

В табл. I (Сайт EES ЕАЕС. Мировая энергетика, 2021) приведены выбросы CO₂ в странах ЦА. Как видно из табл. 1, Казахстан и Узбекистан лидируют в этом списке.

Таблица I. Выбросы CO₂ в странах Центральной Азии (по данным EDGAR)

Список стран ЦА по выбросам CO ₂ в мегатоннах за год и доля в % от общих выбросов					
Страна	Казахстан	Кыргызстан	Таджикистан	Туркменистан	Узбекистан
2020, млн т	212,89	9,73	9,21	72,34	122,15
2021, млн т	211,21	10,78	10,13	83,32	125,65
2021, %	0,56	0,03	0,03	0,22	0,33
Место в списке стран мира по эмиссии CO ₂	28	107	109	41	38

В табл. II (Узбекистан: ESG-досье, 2021) показан краткий энергетический профиль этих стран за 2019 г.

Таблица II. Энергетический профиль стран ЦА

Краткий энергетический профиль стран ЦА за 2019 г.					
Страна	Казахстан	Кыргызстан	Таджикистан	Туркменистан	Узбекистан
Установленная мощность электростанций, МВт	23 965	3 869	6 451	5 201	15 948
ТЭС, сжигающие органическое топливо, %	83,8	19,0	11,1	100	88,0

Продолжение табл. II

Производство электроэнергии брутто, млн кВт·ч	106 879	15 100	20 676	22 534	63 021
Производство электроэнергии на ТЭС, %	89,2	8,3	7,3	100	89,7
Потребление топлива на электростанциях и в отопительных установках, тыс. т.у.т.	62 888	472	930	12 613	21 861

По данным агентства Enerdata (www.enerdata.net), Казахстан вошел в десятку наиболее энергоемких экономик мира. Угольная генерация является основным способом выработки электроэнергии и теплоэнергии в Казахстане. Ее доля составляет около 70 %. В 2021 г. на долю угля, по данным Казахстанского оператора рынка электрической энергии и мощности, приходилось более половины от внутреннего потребления первичных энергоресурсов в стране. Причем большая часть сжигаемого на ТЭС угля поставляется из Экибастузского угольного бассейна и отличается высокой зольностью (более 40 %), что делает его обогащение нерентабельным.

Заметим, что угольная отрасль и производство электроэнергии получают субсидии от государства, которые не учитываются в расчете себестоимости электроэнергии (в 2019 г. - 1831,9 млн долл. США; в 2020 г. - 1381,2 млн долл. США, по данным Международного энергетического агентства (МЭА) (Сайт EES ЕАЕС. Мировая энергетика, 2021). Однако низкая цена угля делает его основным источником электрической и тепловой энергии в стране, обеспечивая конкурентоспособность экономики Казахстана. Этому способствует энергетическая инфраструктура, которая на протяжении не одного десятилетия складывалась в стране.

Выбросы CO₂ в 2021 г. составили 212,89 млн т, в 2022 г. - 211,21 млн т, что составляет 0,56 % от общих выбросов в мире (Выбросы CO₂ во всех странах мира, 2021).

Выбросы парниковых газов Казахстана за 1990-2019 гг. приведены на рис. 1 (Страновой доклад о климате и развитии: Казахстан, 2021).

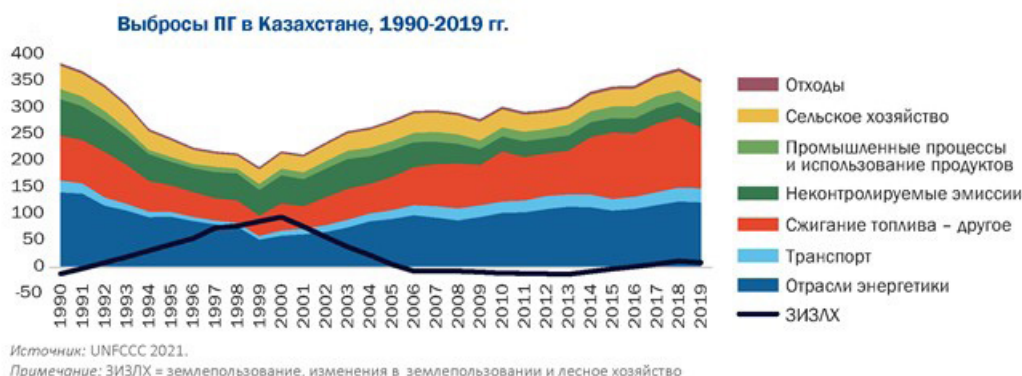


Рис.1. Выбросы парниковых газов Казахстана за период 1990-2019 гг.

В 2019 г. общий объем выбросов парниковых газов в Узбекистане составил 189,2 Мт CO₂-экв. (0,189 Гт CO₂-экв.).

В 2020 г. объем выбросов CO₂ от сжигания топлива в Узбекистане составил 90,37 Мт CO₂, что составляло 0,25 % от общемирового объема. При этом на душу населения страны приходилось 2,71 т CO₂, и по этому показателю Узбекистан занимал 103 место в мире (Сайт EES EAEC. Мировая энергетика, 2021).

Выбросы CO₂ в 2021 г. составили 122,15 млн т, в 2022 г. - 125,65 млн т, что составляло 0,33 % от общих выбросов в мире (Выбросы CO₂ во всех странах мира, 2021). Лидером по выбросам парниковых газов в стране является энергетический сектор, на который приходится 80 % от общего объема выбросов. Еще 15 % приходится на сельское хозяйство.

В (Первый двухгодичный отчет ..., 2021) отмечается, что на долю углекислого газа CO₂ в Узбекистане приходится 99,3 % в суммарных выбросах парниковых газов при сжигании топлива. При этом наибольший вклад в выбросы парникового газа вносит энергетика при производстве электроэнергии (33,6 %).

На рис. 2 приведены выбросы парниковых газов в Узбекистане за период 1990- 2016 гг. (Первый двухгодичный отчет ..., 2021).

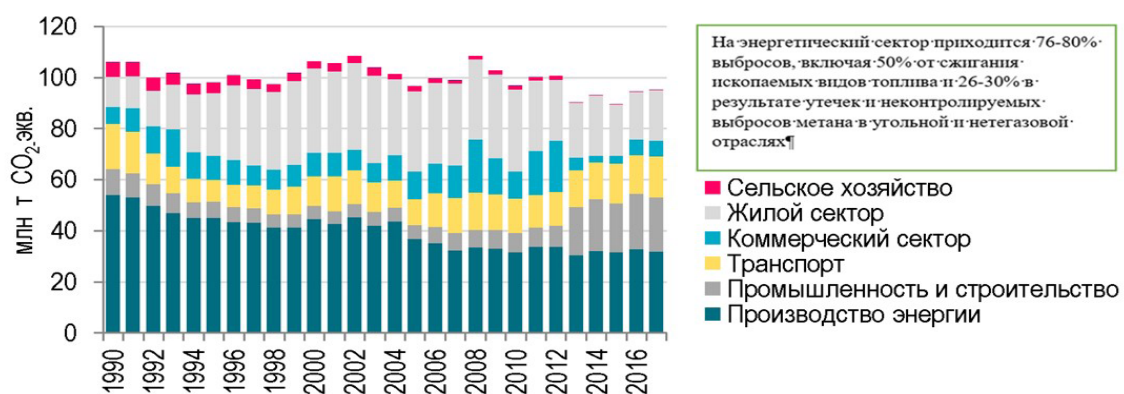


Рис. 2. Выбросы парниковых газов в Узбекистане за период 1990-2016 гг.

Учитывая, что производство электроэнергии в остальных странах ЦА не столь велико (рис. 3) (Энергетика и развитие в Центральной Азии: статистический обзор..., 2018), а ряд предложений по сокращению выбросов в энергетическом секторе может быть использован для всех стран ЦА, в дальнейшем изложении останавливаться на них не будем.

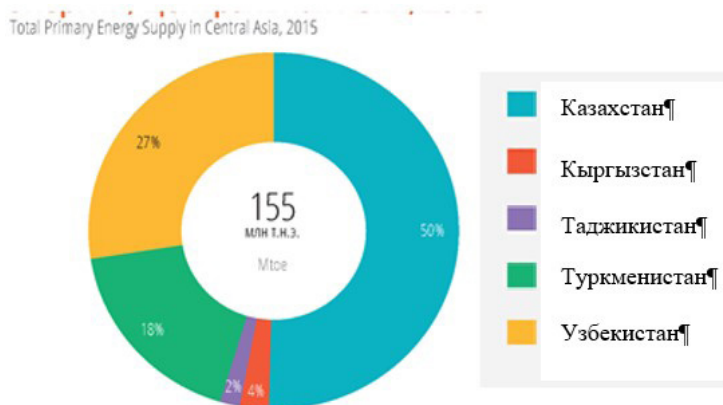


Рис 3. Общее предложение первичной энергии в странах Центральной Азии

Понимая, что изменения климата затрагивают всю мировую экономику и все отрасли промышленности, то для противодействия глобальному потеплению страны региона ЦА, наряду с другими странами мира, стали принимать меры по сокращению выбросов парниковых газов в атмосферу Земли.

3. Пути решения экологических проблем стран Центральной Азии, связанных с энергетикой

Развитие зеленой экономики в мире ставит первоочередную задачу трансформации экономики стран. Для современной энергетики становится актуальным вопрос масштабного влияния отраслей топливно-энергетического комплекса (ТЭК) на экологическую обстановку и здоровье людей. Развитие электроэнергетики в настоящее время определяется обеспечением необходимой степени не только энергетической надежности, но и экологической безопасности генерирующих станций. Естественно, этот курс требует значительных финансовых и интеллектуальных ресурсов. Сегодня при выборе мощности и типа проектируемых электрических станций уже требуется ориентироваться и на экологические последствия от их функционирования, и на минимизацию финансовых затрат.

Решение экологических проблем, связанных с энергетикой в странах ЦА, требует совершенствования и реализации комплекса нормативно-правовых, технологических, организационных и финансовых проблем. Эти аспекты необходимо учитывать в концепции экологической безопасности объектов ТЭК региона. Каждый из этих аспектов имеет десятки разнообразных методов реализации, которые, по нашему мнению, будут более подробно рассмотрены в последующих исследованиях. Поэтому остановимся только на некоторых из них, которые целесообразно рассмотреть в первую очередь.

4. Совершенствование нормативных принципов

При выделении инвестиций для развития энергетического комплекса критически важным является вопрос снижения выбросов парниковых газов. Решение его может предполагать использование ископаемых энергоносителей, но должна быть уверенность в том, что принимаемое решение будет способствовать устойчивому развитию. Использование принципов таксономии помогает отобрать такие проекты.

Таксономия ЕС - это система классификации, устанавливающая список экологически устойчивых видов экономической деятельности.

С целью достижения углеродной нейтральности к 2050 году в конце 2019 г. ЕС принял амбициозный план - Европейский зеленый курс (Зеленый курс ЕС. WECOOP, 2019). Планом действий ЕС по финансированию устойчивого роста в условиях достижения углеродной нейтральности предусмотрено создание таксономии - системы классификации устойчивой экономической деятельности. Прежде всего таксономия направлена на увеличение масштабов устойчивого развития за счет инвестиций при реализации Европейского зеленого курса.

При разработке этого плана ЕС были отобраны экологические цели и предложена система таксономии, которая позволяет оценивать устойчивость экономической деятельности на основе объективных критериев. Причем устойчивой считается только такая экономическая деятельность, которая направлена на реализацию определенных климатических или экологических целей и при этом не наносит существенного ущерба другим целям.

Регламент таксономии ЕС устанавливает шесть экологических задач (Зеленый курс ЕС. WECOOP, 2019):

- смягчение последствий изменения климата;
- адаптация к изменению климата;
- устойчивое использование и защита водных и морских ресурсов;
- переход к экономике замкнутого цикла;
- предотвращение и контроль загрязнения;
- защита и восстановление биоразнообразия и экосистем.

Таким образом, устойчивость экономической деятельности в ЕС оценивается на основе объективных критериев таксономии, которые отбираются и разрабатываются техническими экспертами. Выбираемые критерии таксономии основаны на имеющемся опыте при выполнении отраслевой экспертизы проектов развития. Таксономия ЕС предоставляет компаниям, инвесторам и политикам критерии, в соответствии с которыми экономическая деятельность может обеспечить устойчивое развитие страны.

В странах ЕС был рассмотрен широкий спектр отраслей и различных технологий в них, которые можно отнести к «зеленым» или адаптационным, так как они являются не только эффективными, но и необходимыми для снижения углеродоемкости в процессе масштабных преобразований экономики. Таксономия ЕС позволяет регулировать финансирование «устойчивых» проектов во всех секторах экономики и прежде всего в энергетике, учитывая, что основной источник выбросов в ЕС приходится на этот сектор.

Уровень критериев таксономии и поставленных экологических целей в разных странах мира может сильно различаться между собой. Национальные таксономии во многом отражают особенности экономик и выбранные этими странами пути низкоуглеродного развития.

Самой распространенной считается «зеленая» таксономия (Шульга, 2022). Именно она направлена прежде всего на решение проблем изменения климата на нашей планете.

На государственном уровне планы в области устойчивого развития составляются в соответствии с критериями таксономии. Такой подход к инвестированию проектов позволяет государству, инвесторам и компаниям обеспечить устойчивое развитие страны.

На сегодняшний день таксономия является и стандартом, и ориентиром для всех участников устойчивого финансирования экосистемы ESG (от англ. environmental, social, corporate governance - экологическое, социальное и корпоративное управление) не только в ЕС, где она зародилась, но и в России, Малайзии, Китае и в других странах, которые уже достигли определенных успехов в развитии зеленой таксономии. Поэтому таксономия может с успехом влиять и на компании стран, не входящих в ЕС. Это позволяет инвесторам на основе критериев таксономии оценивать целесообразность инвестиций.

Инициаторами таксономии бывают как государства, так и частные компании. Компании, которые работают в соответствии с таксономией, выигрывают от лучшей репутации и получают от этого конкурентное преимущество.

Национальная таксономия проектов устойчивого развития была утверждена в России в сентябре 2021 г. (Постановление Правительства РФ от 21.09.2021 № 1587..., 2021).

Она преследует следующие цели:

1. Сохранение, охрана или улучшение состояния окружающей среды.
2. Снижение выбросов загрязняющих веществ и предотвращения их влияния на окружающую среду.
3. Сокращение выбросов парниковых газов.
4. Энергосбережение и повышение эффективности использования ресурсов.

Все проекты, созданные на базе критериев таксономии, направлены на достижение целей устойчивого развития.

В РФ на основе национальной таксономии создали Центр зеленого финансирования (Шульга, 2022), который формирует систему финансовых инструментов устойчивого развития.

На основе таксономии страны - участники Евразийского экономического союза разработали гармонизированные подходы к определению проектов устойчивого развития, которые могут дать импульс для развития трансграничных зеленых и адаптационных финансовых инструментов на пространстве ЕАЭС.

В Казахстане Постановлением Правительства от 31 декабря 2021 года № 996 была утверждена таксономия «зеленых» проектов. В данной таксономии содержатся критерии, позволяющие отнести проект к «зеленым» (Постановление Правительства Республики Казахстан № 996 ..., 2021). Одной из категорий таксономии Казахстана является возобновляемая энергия.

Используемые в этой таксономии критерии подобны таксономии ЕС, но они адаптированы к местным условиям (Критерии зеленых проектов государств - членов ЕАЭС, 2023).

В Узбекистане также отмечается интерес к зеленому финансированию. Правительство Узбекистана первым в регионе СНГ и одним из первых в мире приняло решение разместить государственные облигации для финансирования проектов устойчивого развития. В Узбекистане до последнего времени не применялась таксономия при отборе зеленых проектов, хотя возможность создания ее в стране обсуждалась на сессии Всемирного банка Mobilizing Green Finance and Innovative and Effective Green Public Investment в 2021 г. (Узбекистан: ESG-досье, 2021). Для оценки эффективности выделяемых зеленых инвестиций была обозначена необходимость создания таксономии и системы мониторинга выполняемых проектов. Однако в октябре 2023 г. было принято постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан от 25.10.2023 г. № 561 «Об утверждении Национальной «зеленой» таксономии» (В Узбекистане внедряется Национальная «зеленая» таксономия, 2023).

В секторе электроэнергетики могут быть рассмотрены следующие критерии таксономии для инвестиционных проектов по энергоэффективности, где при расчете сокращений выбросов за счет внедрения новых технологий может быть использован комбинированный коэффициент выбросов CO₂-эквивалента:

- повышение энергоэффективности на стороне предложения: передача и распределение электроэнергии;
- повышение энергоэффективности на стороне предложения: выработка электроэнергии на объектах ВИЭ и традиционной тепловой энергетики;
- повышение энергоэффективности на стороне спроса: снижение потребления электроэнергии из-за внедрения энергоэффективных технологий (Шамсиев и др., 2022).

Рассматриваемые вопросы экологической безопасности развития электроэнергетики в регионе ЦА в первую очередь направлены на решение проблем сокращения выбросов CO₂, а следовательно, и изменения климата в регионе. При этом все мероприятия, которые в соответствии с проведенным анализом должны быть предложены, и разработанные на их основе проекты должны соответствовать положениям таксономии, что будет являться гарантом того, что они обеспечат устойчивое развитие.

5. Совершенствование технологических принципов

Тепловые электростанции остаются основным источником выработки электрической энергии в Узбекистане, Казахстане и в Туркменистане.

Модернизация энергетических мощностей. Значительная часть энергоблоков ТЭС Узбекистана, введенных в работу в середине прошлого века, отработала свой парковый ресурс, имеет низкую энергоэффективность (расход топлива на них почти в два раза выше по сравнению с современными энергоблоками) и не отвечает требованиям энергоэффективности. В настоящее время в Узбекистане 85 % имеющихся мощностей по выработке электрической энергии приходится на долю ТЭС. В соответствии с «Концепцией обеспечения Республики Узбекистан электрической энергией на 2020-2030 годы» для обеспечения энергобезопасности страны и ускоренного развития ВИЭ в Узбекистане планируется к 2030 г. ввести 15,6 ГВт новых и модернизированных генерирующих мощностей и вывести из эксплуатации 6,4 ГВт устаревших генерирующих мощностей на ТЭС (Концепция обеспечения Республики Узбекистан..., 2020).

В Казахстане также велик физический износ оборудования ТЭС. В среднем по стране он достиг 66 %, а на отдельных станциях даже превышает критический уровень в 80 % (Трофимов и др., 2021). Как констатировал на расширенном заседании правительства 12 декабря 2022 г. президент Казахстана Касым-Жомарт Токаев, третья часть всех ТЭС в стране отработала более полувека (Официальный сайт Президента Республики Казахстан, 2022). Причем отметим, что здесь речь идет только о физической изношенности самого

оборудования, замена которого необходима хотя бы для того, чтобы снизить высокую аварийность, наблюдаемую в стране в последний год, а не о научно-техническом прогрессе, в соответствии с которым необходимо периодически проводить модернизацию в целях снижения высоких удельных показателей ТЭС, уже не соответствующих требованиям нашего времени. За 30 лет независимости Казахстана не было построено ни одной ТЭС. Почти 83 % выработанной на этих станциях электроэнергии приходится на ТЭС, работающих на угле. Причем большая часть электроэнергии в Казахстане вырабатывается в Северной зоне, тепловые электростанции которой производят более 76 % всей электроэнергии страны. К 2035 г. в стране планируется обеспечить ввод новых генерирующих мощностей суммарной мощностью 17,5 ГВт (Елюбаева, 2022).

Для снижения влияния энергетики на экологию необходимо оценить уровень выброса парниковых газов и загрязняющих веществ в атмосферу и принять соответствующие решения. Решение этих проблем неизбежно связано с вопросами энергетической безопасности каждой из стран ЦА.

Снижение уровня выброса парниковых газов. Разработанные в Узбекистане методические указания по расчету и нормированию «Максимально допустимых удельных выбросов загрязняющих веществ для котельных установок ТЭС» направлены на создание единых нормативных требований к определению максимально допустимых удельных выбросов загрязняющих веществ для тепловых электростанций с целью снижения их влияния на парниковый эффект.

Они были разработаны с учетом «Методики расчета коэффициента выбросов парниковых газов (CO₂-эквивалента)» (Саморегулируемая организация в области энергетического обследования, 2015), утвержденного Исполнительным советом по МЧР «Руководства по расчету коэффициента выбросов энергосистемы» (Версия 07.0), действующего с 31 августа 2018 г. (Отчет 100-го заседания ИС РКИК ООН, 2018).

Рассмотрим «Методику расчета коэффициента выбросов парниковых газов (CO₂-эквивалента)» для проектов при выработке и потреблении электроэнергии (Саморегулируемая организация в области энергетического обследования, 2015). Коэффициент выбросов CO₂ - это эквивалент, который используется для расчетов выбросов в проектах повышения энергоэффективности на объектах электроэнергетики, связанных с выработкой электроэнергии в сеть и проектах, связанных с сокращением потребления электроэнергии. Он определяется как величина средневзвешенных выбросов CO₂ на единицу выработанной электроэнергии (тCO₂/МВт-ч) всех генерирующих установок.

В результате реализации любого проекта, связанного с внедрением энергоэффективных и/или энергосберегающих технологий в секторе электроэнергетики, т. е. влекущим за собой сокращение выбросов парниковых

газов, должна быть оценена и величина парниковых газов, и величина сокращения выбросов по отношению к так называемому базовому уровню. Базовая линия - это сценарий, который происходил бы в отсутствие какой-либо деятельности, приводящей к сокращению выбросов.

В проектах, связанных с выработкой или потреблением электроэнергии, энергетическая базовая линия оценивается как выработка (потребление) электроэнергии (кВт·ч) за определенный промежуток времени (год).

Методология расчета. В соответствии с методологией расчета базовой линии, утвержденной Исполнительным советом МЧР, коэффициент выбросов для энергосистемы рассчитывается как средневзвешенное значение рабочего и введенного диапазона (Отчет 100-го заседания ИС РКИК ООН, 2018).

Используемые весовые значения в течение первого периода кредитования составляют $w_{OM} = w_{VM} = 0,5$. Необходимо учитывать, что различные весовые соотношения должны быть использованы для проектов солнечной и ветровой энергетики ($w_{OM} = 0,75$, $w_{VM} = 0,25$) (Отчет 100-го заседания ИС РКИК ООН, 2018).

Рабочий и введенный диапазоны - это специальные коэффициенты выбросов CO_2 , получаемых при производстве 1 кВт·ч электроэнергии на электростанциях, подключенных к единой энергосети.

Рабочий диапазон может быть определен на основании нескольких подходов, описанных в вышеуказанной методологии, при этом использованы данные о потреблении топлива и выработке электроэнергии на каждой станции. В условиях Узбекистана доля малозатратных станций (ГЭС и ТЭЦ) составляет приблизительно 13,5 %, что является меньше 50 % в среднем за период с 2014 по 2019 г., таким образом, в расчетах будет использоваться простой рабочий диапазон. В соответствии с этим подходом будут использоваться данные со всех станций, подключенных к единой энергосети, за исключением малозатратных (ГЭС и ТЭЦ).

Введенный диапазон определяется как выбросы CO_2 при выработке 1 кВт·ч электроэнергии на станциях, построенных в Узбекистане не более 5 лет назад и объединенных в единую выборку данных. Выработка электроэнергии на 5 выбранных недавно построенных электростанциях составила 20,8 % от общей выработки электроэнергии. Таким образом, в соответствии с действующим методологическим руководством выборка данных не была расширена за счет добавления других более новых станций.

Расчет выбросов CO_2 при выработке электрической энергии на тепловых станциях АО «ТЭС» проводился на основе полученных данных о низшей теплотворной способности потребления топлива.

В случае отсутствия утвержденных на национальном уровне коэффициентов выбросов CO_2 для различных типов топлива использовались по умолчанию коэффициенты, приведенные в специальном руководстве РКИК ООН с 95 % доверительным интервалом (Отчет 100-го заседания ИС РКИК ООН, 2018). В соответствии с этой действующей методологией коэффициент выбросов рабочего диапазона при выработке электроэнергии на ТЭС (без учета конденсационных ТЭС) был рассчитан как средневзвешенное за 3 последних года, по которым имеются данные. Эта величина за период 2017-2019 гг. составила $550 \text{ г CO}_2/\text{кВт}\cdot\text{ч}$.

В Отчете 100-го заседания ИС РКИК ООН (2018) при определении коэффициента выбросов CO_2 при выработке и потреблении электроэнергии в сеть предлагается использовать средневзвешенное значение, рассчитанное как сумму рабочего (среднего) и введенного диапазона, поделенную на два. Этот комбинированный подход и был применен при оценке коэффициента выбросов для энергосистемы Узбекистана.

Для проектов ветровой и солнечной электроэнергетики были применены различные весовые доли, т. е. весовая доля рабочего диапазона составила $WOM = 0,75$ и весовая доля введенного диапазона составила $WBM = 0,25$.

При расчете выбросов CO_2 , образующихся при выработке электрической и тепловой энергии могут быть использованы либо объемы потребляемого топлива, либо количество произведенной энергии ($\text{кВт}\cdot\text{ч}$, Гкал). Следует заметить, что выбросы рассчитывают отдельно для каждого вида топлива, а затем суммируют. Поскольку на электростанциях и крупных котельных есть специализированные лаборатории, то при расчете выбросов CO_2 рекомендуется применять фактические данные о теплотворной способности использованного топлива.

Для уменьшения выбросов CO_2 при производстве электроэнергии в Узбекистане планируется ввести к 2026 г. ВИЭ суммарной мощностью 8000 МВт (в том числе солнечные электростанции (СЭС) общей мощностью 4000 МВт и 8 ветряных электростанций (ВЭС) общей мощностью 4000 МВт) и улучшить систему управления использованием ВИЭ (Министерство энергетики Республики Узбекистан, 2022), а к 2030 г. довести мощности ВИЭ до 9000 МВт.

Расширение использования зеленой энергетики. В Казахстане в целях снижения энергоемкости, воздействия сектора производства электрической энергии на окружающую среду и снижения выбросов парниковых газов был принят Закон РК от 4 июля 2009 года № 165-IV «О поддержке использования возобновляемых источников энергии» (Закон Республики Казахстан..., 2009). Для дальнейшего развития ВИЭ в мае 2013 г. Указом Президента была утверждена Концепция по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике» (Указ Президента Республики Казахстан..., 2013), а в январе 2021 г. был принят новый

Экологический кодекс РК (Экологический кодекс Республики Казахстан..., 2021). Все это позволило Казахстану стать ведущим государством в Центрально-Азиатском регионе, создавшим организационно-правовую основу для перехода к «зеленой экономике».

В Казахстане по итогам 2022 г. действовало 130 объектов ВИЭ, которые выработали 5,1 млрд кВт·ч, что составило 4,5 % общего объема производимой в стране электроэнергии.

К 2035 г. планируется ввести 17,5 ГВт: угольной генерации около 1,5 ГВт; газовой генерации - свыше 5 ГВт; гидроэлектростанций - свыше 2 ГВт; атомной генерации - 2,4 ГВт; ВИЭ - 6,5 ГВт (Елюбаева, 2022). Ввод новых мощностей позволит Казахстану покрыть дефицит базовой и регулировочной мощности и обеспечить энергетическую независимость от энергосистем сопредельных государств. Президент Казахстана в феврале 2021 г. поручил правительству разработать новый закон по вопросам развития альтернативной энергетики (Новый закон об альтернативной энергетике..., 2021).

В Узбекистане, согласно Концепции развития энергетической отрасли, к 2030 г. планировалось внедрение до 5 ГВт СЭС и 3 ГВт ВЭС, затем сроки были пересмотрены, и внедрение указанных мощностей ожидается уже в 2026 г.

Расширение использования накопителей энергии. Однако следует отметить, что выработка электроэнергии от солнечных и ветровых станций зависит только от природных условий, и поэтому она во многом непредсказуема и создает трудности балансировки в энергосистеме. Этот процесс не подконтролен, и диспетчеризация его невозможна, а в энергосистеме в каждый момент должен существовать баланс мощности.

При начавшейся широкой интеграции ВИЭ в энергосистемы всех стран мира появилась новая проблема приведения в соответствие вырабатываемой ими электроэнергии и потребности в электроэнергии со стороны потребителей. В этих условиях, в соответствии с рекомендациями МЭА, для наращивания мощности ВИЭ уже недостаточно увеличивать долю гибких маневренных источников только за счет расширения ГЭС и газовой генерации. Для сглаживания variability генерируемой энергии от ВИЭ, демпфирования их непостоянства целесообразно накапливать энергию для последующего ее использования. Решение проблем, связанных с переменчивым характером ВИЭ, за счет применения разных типов накопителей энергии в Казахстане было показано в работе Трофимова (2021).

Эксперты полагают, что за счет эффективности любых типов накопителей в ближайшие 10 лет среднегодовой темп роста рынка накопителей энергии будет превышать 30 % с тенденцией увеличения их общей емкости и снижения удельной стоимости запасенной энергии. В последние годы на Западе и в США наметился настоящий бум использования накопителей энергии в энергосистемах и, в первую очередь, для обеспечения широкой интеграции ВИЭ. В России уже

в 2020 г. было реализовано несколько проектов по созданию Систем накопления энергии (СНЭ). К сожалению, в энергосистемах стран ЦА накопители энергии отсутствуют. Нам представляется, что использование систем хранения энергии будет способствовать не только процессу расширенного использования зеленой энергетики в энергосистемах региона, но и в значительной степени решению проблемы дефицита маневренных мощностей в ЕЭС Казахстана. С этой целью целесообразно проводить аукционные торги по отбору проектов ВИЭ совместно с отбором проектов СНЭ.

Кроме того, уже необходимо перейти к расширенному размещению в энергосистеме накопителей энергии, способных обеспечить долговременное хранение. Следует отметить, что использование традиционных литий-ионных накопителей энергии при СЭС и ВЭС, с одной стороны, не способно обеспечить большую мощность этих накопителей и возможность долговременного хранения ими энергии, а с другой - создает определенные проблемы, связанные с необходимостью после истечения срока службы их последующей утилизации с вытекающими экологическими последствиями.

Одним из новых вариантов долговременного хранения энергии, способным смягчить многие ограничения, создаваемые другими системами, является криогенная технология хранения энергии LAES (криогенные системы накопления и хранения энергии).

LAES способна обеспечивать как очень большую номинальную мощность, так и емкость для продолжительного хранения энергии. Система основана на проверенной технологии. Все технологическое оборудование, необходимое для создания криогенного накопителя энергии, является общепромышленным и легкодоступным и используется во всем мире для хранения жидкого азота, кислорода и сжиженного природного газа. Это оборудование изготовлено из нержавеющей стали и потому нетоксично, вследствие чего по окончании срока службы сталь можно утилизировать без вреда для окружающей среды. Все оборудование безопасно, в течение многих лет уже используется во многих промышленных процессах и не требует для производства каких-либо особо редких элементов или дорогих компонентов. Стандартные промышленные компоненты, применяемые в системе хранения, снижают коммерческий риск, обеспечивают постоянную циклическую работу без деградации и 40-летний срок службы. Технология не требует наличия преобразователя энергии, в отличие от многих других систем накопления энергии. Комбинация криогенных накопителей совместно с СЭС и ВЭС позволяет заменить пиковые газовые электростанции (Трофимов, Петухов, 2022). Кроме того, эта технология позволяет при работе накопителя получить чистую воду в количестве около 1 м³ на 1 МВт*ч электроэнергии, что очень важно для отдельных регионов ЦА.

Компания Highview Power в Великобритании на базе использования жидкого воздуха для хранения энергии разработала и запатентовала экологически чистую криогенную технологию. Первая опытно-промышленная криоэнергоустановка была построена в 2018 г. рядом с Манчестером. Затем компания построила еще несколько таких установок, которые были названы Liquid Air Energy Storage (LAES).

Расширение использования гидроэнергетических ресурсов региона. Важное значение в регулировании мощности в энергосистеме, снижения экологического воздействия на окружающую среду функционирующих ТЭС/ТЭЦ имеют гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС). Однако в отличие от криогенных накопителей, которые можно разместить практически везде, для применения ГАЭС необходимы соответствующие гидроресурсы.

Вместе с тем для эффективного использования воды в регионе ЦА и создания пиковых мощностей для компенсации влияния ВИЭ предлагается в регионе активизировать усилия по совместному строительству ГЭС, а также ГАЭС, задействовав для этой цели имеющиеся водохранилища суточного и недельного регулирования, (Шамсиев и др., 2022; Хамидов, Шамсиев, 2021). Работы в этом плане уже активизируются. Так, в январе 2023 г. Узбекистан, Кыргызстан и Казахстан подписали дорожную карту по реализации проекта строительства Камбаратинской ГЭС-1 мощностью 1860 МВт, которая будет играть важную роль в обеспечении электричеством и водой все три страны и окажет положительное влияние на снижение вредных выбросов в атмосферу.

Реализация указанных мероприятий будет способствовать повышению экологической безопасности развития электроэнергетики в регионе ЦА.

Выводы

Для обеспечения экологической безопасности развития электроэнергетики в регионе ЦА целесообразно:

- использовать гармонизированные национальные и международные системы для оценки выбросов парниковых газов и загрязняющих веществ в атмосферу тепловыми электростанциями;
- проводить выбор экологически безопасных источников электроснабжения в странах на основе принципов таксономии;
- расширить использование ВИЭ, включая гидроэнергетические ресурсы региона и системы накопления энергии для повышения возможности широкомасштабной интеграции возобновляемых источников энергии.

Список литературы

- Выбросы CO₂ во всех странах мира (2021). Отчет за 2021 год. EDGAR - База данных выбросов для глобальных атмосферных исследований. Дата обращения 10.03.2023. https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2021
- Всемирный фонд дикой природы. WWF. Климат и энергетика. Простые ответы на сложные вопросы по климату. Дата обращения 10.03.2023. <https://wwf.ru/en/what-we-do/climate-and-energy/faq/>
- В Узбекистане внедряется Национальная «зеленая» таксономия (2023). NORMA.UZ. Дата обращения 02.11.2023. https://www.norma.uz/novoe_v_zakonodatelstve/v_uzbekistane_vnedryaetsya_nacionalnaya_zelenaya_taksonomiya
- Елюбаева, А. (2022). Необходимо ввести новые энергосистемы мощностью 17,5 ГВт - Минэнерго. Kapital.kz. 23 февраля. Дата обращения 10.03.2023. <https://kapital.kz/gosudarstvo/103180/neobkhodimo-vvesti-novyue-energositemy-moshchnost-yu-17-5-gvt-min-energo.html>
- Закон Республики Казахстан от 4 июля 2009 года № 165-IV «О поддержке использования возобновляемых источников энергии». Информационно-правовая система РК «Аділет». Дата обращения 10.03.2023. https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z090000165_
- Зеленый курс ЕС. WECOOP. (2019). Дата обращения 10.03.2023. <https://wecoop.eu/ru/glossary/green-deal/>
- Концепция обеспечения Республики Узбекистан электрической энергией на 2020-2030 годы (2020). Дата обращения 10.03.2023. https://minenergy.uz/uploads/1a28427c-cf47-415e-da5c-47d2c7564095_media_.pdf
- Криогенные системы накопления и хранения энергии. ESFC Investment Group. Дата обращения 10.03.2023. <https://esfccompany.com/articles/tekhnologii/kriogennye-sistemy-nakopleniya-i-khraneniya-energii/>
- Критерии зеленых проектов государств-членов Евразийского экономического союза (2023). Дата обращения 10.03.2023.
- Методика расчета выбросов парниковых газов (CO₂-эквивалента). СРО-Э-150 СРО НП «Межрегиональный Альянс Энергоаудиторов». Дата обращения 10.03.2023. <https://sro150.ru/metodiki/371-metodika-rascheta-vybrosov-parnikovyykh-gazov>
- Министерство энергетики Республики Узбекистан: цели, задачи, планы и достижения (2022). Дата обращения 10.03.2023. <https://minenergy.uz/ru/lists/view/10>
- Министерство энергетики Республики Узбекистан (2022). К 2026 году совокупная мощность солнечных и ветряных электростанций в нашей стране достигнет 8000 МВт. Дата обращения 10.03.2023. <https://minenergy.uz/ru/news/view/1801>
- Насиров, Т.Х., Басов, О.В., Тохтахунов, К.А. Энергосберегающие технологии для Узбекистана (Монография). Ташкент: изд-во «Фан ва технология», 2-17.
- Новый закон об альтернативной энергетике поручил создать Токаев (2021). Tengrinews.kz. 25 февраля. Дата обращения 10.03.2023. https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/novyyiy-zakon-alternativnoy-energetike-poruchil-sozdat-tokaev-430064/
- Отчет 100-го заседания ИС РКИК ООН (2018). Расчет коэффициента выбросов в энергетической системе. *Методологическое руководство*, версия 07.0. 31 августа.
- Официальный сайт Президента Республики Казахстан (2022). Глава государства провел расширенное заседание Правительства. 12 декабря. Дата обращения 10.03.2023. <https://www.akorda.kz/ru/glava-gosudarstva-provel-rasshirennoe-zasedanie-pravitelstva-1211322>
- Первый двухгодичный отчет по обновленным данным Республики Узбекистан: подготовлен в соответствии с Рамочной конвенцией ООН об изменении климата (2021). Дата обращения 10.03.2023. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/FBURUzru.pdf>
- Постановление Правительства Российской Федерации от 21.09.2021 № 1587 (с изм. и доп. от 11.03.2023) «Об утверждении критериев проектов устойчивого (в том числе зеленого)

- развития в РФ и требований к системе верификации инструментов финансирования устойчивого развития в Российской Федерации. Дата обращения 20.03.2023. <https://base.garant.ru/402839344/>
- Постановление Правительства Республики Казахстан от 31.12.2021 № 996 «Об утверждении классификации (таксономии) «зеленых» проектов, подлежащих финансированию через «зеленые» облигации и «зеленые» кредиты. Информационно-правовая система РК «Аділет». Дата обращения 10.03.2023. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2100000996>
- Сайт EES EAEC. Мировая энергетика. 2021. Дата обращения 10.03.2023. <https://www.eeseaec.org/>
- Саморегулируемая организация в области энергетического обследования (2015). СРО-Э-150 СРО НП «Межрегиональный Альянс Энергоаудиторов». Дата обращения 10.03.2023. <https://sro150.ru/>
- Страновой доклад о климате и развитии: Казахстан. Группа Всемирного банка. (2021). Дата обращения 10.03.2023. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099430011022226263/pdf/P17736902eb48b0c00878c0c82a69b5a0a0.pdf>
- Трофимов, Г.Г. (2021). Направления развития электроэнергетики Казахстана. Энергетика. *Вестник Союза инженеров-энергетиков Республики Казахстан*. 3(78), 25-27.
- Трофимов, Г.Г., Капенов, Н.Н., Кобзев, А.П. (2021). Проблемы развития энергетической отрасли Казахстана. *Завтра было поздно: экологические риски Казахстана (коллективная монография)*. Алматы: Казахстанско-Немецкий университет, 263-294.
- Трофимов, Г., Петухов, Ю. (2022). Перспективы использования криогенной технологии в энергосистеме Казахстана. *Энергетика*, 4 (83).
- Узбекистан: ESG-досье. (2021). Дата обращения 10.03.2023. https://sber.pro/digital/uploads/2022/09/ESG_Uzbekistan_A3_2_718a6609cc.pdf
- Указ Президента Республики Казахстан от 30 мая 2013 года № 577 «О концепции по переходу Республики Казахстан к «зеленой» экономике. Дата обращения 10.03.2023. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U1300000577>
- Хамидов, Ш.В., Шамсиев, Х.А. (2021) Вопросы интеграции ВИЭ в ОЭС ЦА и рекомендации. *Презентация на Форуме высокого уровня «ЕС - Центральная Азия»*. Energy Charter Secretariat. Дата обращения 10.03.2023. https://www.energycharter.org/fileadmin/ImagesMedia/News/Panel_2_CDC_Energiya_Mr_Shukhrat_Khamidov.pdf
- Шамсиев, Х.А., Шамсиев, Б.Х., Хамидов, Ш.В. (2022). Повышение надежности объединенной энергосистемы Центральной Азии в условиях энергетического перехода. *Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Надежность систем энергетики в условиях энергетического перехода*. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 73, 623-630.
- Шульга, Ю. (2022). Стандарт устойчивости: что такое таксономия и какое отношение она имеет к ESG, Forbes. 05 июля. Дата обращения 10.03.2023. <https://www.forbes.ru/forbeslife/470559-standart-ustojcivosti-cto-takoe-taksonomia-i-kakoe-otnosenie-ona-imeet-k-esg>
- Экологический кодекс Республики Казахстан от 2 января 2021 года № 400-IV ЗРК. Дата обращения 10.03.2023. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400>
- Энергетика и развитие в Центральной Азии: статистический обзор энергетических секторов Казахстана, Кыргызстана, Таджикистана, Туркменистана и Узбекистана. ESCAP. (2018). Дата обращения 10.03.2023. <https://www.unescap.org/resources/energy-and-development-central-asia-2018>

ENVIRONMENTAL SAFETY OF POWER INDUSTRY DEVELOPMENT IN THE CENTRAL ASIAN REGION

Trofimov G.G.^{a*} , Nasirov T.Kh.^b , Khamidov Sh.V.^b 

^a Kazakh-German University, 111, Pushkin str., Almaty, 050010, Kazakhstan

^b Institute of Energy Problems of Academy of Sciences of Uzbekistan, 2-B Ch. Aitmatov str., Tashkent, 100052 Republic of Uzbekistan

Corresponding author: depenergy@mail.ru

<https://doi.org/10.29258/CAJSCR/2023-R1.v2-2/1-22.rus>

ABSTRACT

This research has aimed to investigate the environmental aspects of the further development of energy systems in Central Asia (CA) based on traditional and renewable energy (RE). To analyze the situation at present, the article reviews the energy profiles of Central Asian states, their respective primary energy consumption and overall CO₂ emissions distribution, as well as GHG (greenhouse gas) emissions, current state of the energy sectors, fuel consumption structure, energy efficiency and wear of power equipment, with the focus on Kazakhstan and Uzbekistan as the countries leading power consumption and related emissions in the region. However, the conclusions and recommendations presented in the article are equally appropriate for all Central Asian countries. As per the UN sustainable development policy document, the choice of power supply sources should be guided not only by the analysis of financial costs, but also the assessment of environmental impacts. Thus, in order to ensure such choices are environmentally safe and galvanize green projects, as well as foster sustainable development of target nations, the research team proposes a mechanism of applying a taxonomy similar to that in the European Union (EU) allowing the most expedient use of allocated financial resources. The article presents a methodology for estimating GHG and pollutant emissions into the atmosphere by thermal power plants (TPP), as well as explores the expediency of using energy storage units to support large-scale RE integration across CA with the aim of ensuring eco-safety of energy developments in the region.

ARTICLE HISTORY

Received: March 11, 2023

Accepted: September 5, 2023

Published: September 26, 2023

KEYWORDS

environmental safety, electric power industry, thermal power plant (TPP), greenhouse gas (GHG) and pollutant emissions into atmosphere, renewable energy (RE), energy storage devices

References

- Abduazimova, L. (2023, October 27). V Uzbekistane vnedrjaetsja Nacional'naja «zelenaja» taksonomija. [The National Green Taxonomy is being implemented in Uzbekistan]. NORMA.UZ https://www.norma.uz/novoe_v_zakonodatelstve/v_uzbekistane_vnedryaetsya_nacionalnaya_zelenaya_taksonomiya (in Russian)
- Camoreguliruemaja organizacija v oblasti jenergeticheskogo obsledovanija. (Self-regulatory organization in the field of energy inspection). (2015). SRO-Je-150 SRO NP «*Mezhregional'nyj Al'jans Jenergoauditorov*» - Self-regulatory organization in the field of energy inspection (SRO-E-150) NON-PROFIT PARTNERSHIP "INTERREGIONAL ALLIANCE OF ENERGY AUDITORS". <https://sro150.ru/> (in Russian)
- Eljubaeva, A. (2022, February 23). Neobhodimo vvesti novye jenergosistemy moshhnost'ju 17,5 Gvt - Minjenergo. [It is necessary to introduce new energy systems with a capacity of 17.5 GW - Ministry of Energy.]. *Kapital Centr Delovoj Informacii* - Capital Business Information Center. <https://kapital.kz/gosudarstvo/103180/neobkhodimo-vvesti-novyje-energostemy-moshchnost-yu-17-5-gvt-min-energo.html> (in Russian)
- Energy and development in Central Asia: a statistical overview of the energy sectors of Kazakhstan, Kyrgyzstan, Tajikistan, Turkmenistan and Uzbekistan. (2018, October 03). *Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (ESCAP)*. <https://www.unescap.org/resources/energy-and-development-central-asia-2018> (in Russian)
- GHG Emissions of all world countries. 2021 report. (2021, March 10). *EDGAR Emissions Database for Global Atmospheric Research*. https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2021
- Glava gosudarstva provel rasshirennoe zasedanie Pravitel'stva. [The head of state held an extended meeting of the Government.]. (2022, December 12). *Oficial'nyj sajt Prezidenta Respubliki Kazahstan* - Official website of the President of the Republic of Kazakhstan. <https://www.akorda.kz/ru/glava-gosudarstva-provel-rasshirennoe-zasedanie-pravitelstva-1211322> (in Russian)
- Hamidov, Sh.V., Shamsiev, H.A. (2021) Voprosy integracii VIJe v OJeS CA i rekomendacii. [Issues of integration of renewable energy sources into the UES of Central Asia and recommendations]. Energy Charter Secretariat. https://www.energycharter.org/fileadmin/ImagesMedia/News/Panel_2_-_CDC_Energiya_Mr_Shukhrat_Khamidov.pdf (in Russian)
- Jekologicheskij kodeks Respubliki Kazahstan ot 2 janvarja 2021 goda № 400-IV ZRK. [Environmental Code of the Republic of Kazakhstan dated January 2, 2021 No. 400-IV ZRK.]. *Informacionno-pravovaja sistema normativnyh pravovyh aktov RK «Adilet»* - Information and legal system of regulatory legal acts of the Republic of Kazakhstan "Adilet". <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400> (in Russian)
- K 2026 godu sovokupnaja moshhnost' solnechnyh i vetrjanyh jelektrostancij v nashej strane dostignet 8000 MVt. [By 2026, the total capacity of solar and wind power plants in our country will reach 8000 MW]. (2022, February 03) *Ministerstvo jenergetiki Respubliki Uzbekistan*- Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan. <https://minenergy.uz/ru/news/view/1801> (in Russian)
- Kazahstan - Stranovoj doklad o klimate i razvitii: Rezjume. [Kazakhstan - Country Report on Climate and Development: Summary]. (2022, November 02). Washington, D.C. : World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/099430011022226263/P17736902eb48b0c00878c0c82a69b5a0a0> (in Russian)
- Koncepcija obespechenija Respubliki Uzbekistan jelektricheskoy jenergiej na 2020-2030 gody. [Concept of providing the Republic of Uzbekistan with electrical energy for 2020-2030]. (2020, April 30). *Ministerstvo jenergetiki Respubliki Uzbekistan* - Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan. <https://minenergy.uz/ru/lists/view/77> (in Russian)
- Kriogennye sistemy nakoplenija i hranenija jenerгии. [Cryogenic energy storage systems.]. ESFC Investment Group. <https://esfccompany.com/articles/tekhnologii/kriogennye-sistemy-nakopleniya-i-khraneniya-energii/> (in Russian)
- Kriterii zelenyh proektov gosudarstv-chlenov Evrazijskogo jekonomicheskogo sojuza. [Criteria for green projects of member states of the Eurasian Economic Union]. (2023). *Evrazijskaja*

- Jekonomicheskaja komissija* - Eurasian Economic Commission. https://eec.eaeunion.org/upload/medialibrary/df7/Kriterii-dlya-opublikovaniya-_Modelnaya-taksonomiya_.pdf (in Russian)
- Metodika rascheta vybrosov parnikovyh gazov (CO₂-jekvivalenta). [Methodology for calculating greenhouse gas emissions (CO₂ equivalent)]. SRO-Je-150 SRO NP «*Mezhregional'nyj Al'jans Jenergoauditorov*» - Self-regulatory organization in the field of energy inspection (SRO-E-150) NON-PROFIT PARTNERSHIP "INTERREGIONAL ALLIANCE OF ENERGY AUDITORS". <https://sro150.ru/metodiki/371-metodika-rascheta-vybrosov-parnikovyx-gazov> (in Russian)
- Ministerstvo jenergetiki: celi, zadachi, plany i dostizhenija. (2019, Jule 11). [Ministry of Energy: goals, objectives, plans and achievements]. *Ministerstvo jenergetiki Respubliki Uzbekistan*- Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan. <https://minenergy.uz/ru/lists/view/10> (in Russian)
- Mirovaja jenergetika. [World energy.]. (2021). EES EAEC. <https://www.eeseaec.org/> (in Russian)
- Nasirov, T.H., Basov, O.V., & Tohtahunov, K.A. *Jenergosberegajushhie tehnologii dlja Uzbekistana* (Monografija). [Energy-saving technologies for Uzbekistan (Monograph)]. Tashkent: izd-vo «*Fan va tehnologija*»- Tashkent: publishing house "Fan Va Technology", 2-17. (in Russian)
- Novyj zakon ob al'ternativnoj jenergetike poruchil sozdat' Tokaev. [Tokayev ordered the creation of a new law on alternative energy]. (2021, February 25). TENGRI NEWS. https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/noviy-zakon-alternativnoy-energetike-poruchil-sozdat-tokaev-430064/ (in Russian)
- Otchet 100-go zasedanija IS RKIK OON. Raschet koefficienta vybrosov v jenergeticheskoj sisteme. [Report of the 100th meeting of the UNFCCC EC. Calculation of emission factor in the energy system.]. (2018, August 31). *Metodologicheskoe rukovodstvo*, versija 07.0 - Methodological manual, version 07.0 (in Russian)
- Pervyj dvuhgodichnyj otchet po obnovlennym dannym Respubliki Uzbekistan: podgotovlen v sootvetstvii s Ramochnoj konvenciej OON ob izmenenii klimata. [First biennial update report of the Republic of Uzbekistan: prepared in accordance with the UN Framework Convention on Climate Change]. (2021). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/FBURUzru.pdf> (in Russian)
- Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazahstan «Ob utverzhdenii klassifikacii (taksonomii) «zelenyh» proektov, podlezhashhih finansirovaniju cherez «zelenye» obligacii i «zelenye» kredity ot 31.12.2021 № 996. [Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan "On approval of the classification (taxonomy) of "green" projects to be financed through "green" bonds and "green" loans dated December 31, 2021 No. 996]. (2021). *Informacionno-pravovaja sistema normativnyh pravovyh aktov RK «Adilet»* - Information and legal system of regulatory legal acts of the Republic of Kazakhstan "Adilet". <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2100000996> (in Russian)
- Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii «Ob utverzhdenii kriteriev proektov ustoichivogo (v tom chisle zelenogo) razvitija v RF i trebovanii k sisteme verifikacii instrumentov finansirovanija ustoichivogo razvitija v Rossijskoj Federacii ot 21.09.2021 № 1587 (s izm. i dop. ot 11.03.2023). [Decree of the Government of the Russian Federation "On approval of criteria for sustainable (including green) development projects in the Russian Federation and requirements for the verification system for financing instruments for sustainable development in the Russian Federation dated September 21, 2021 No. 1587 (as amended and supplemented on March 11, 2023)]. (2021). *Informacionno- pravovoj portal Garant* - Information and legal portal Garant. <https://base.garant.ru/402839344/> (in Russian)
- Shamsiev, H.A., Shamsiev, B.H. & Hamidov, Sh.V. (2022). *Povyshenie nadezhnosti ob#edinennoj jenergosistemy Central'noj Azii v uslovijah jenergeticheskogo perehoda*. [Increasing the reliability of the interconnected energy system of Central Asia in the context of the energy transition.]. *Metodicheskie voprosy issledovanija nadezhnosti bol'shih sistem jenergetiki: Nadezhnost' sistem jenergetiki v uslovijah jenergeticheskogo perehoda*. Irkutsk: ISJeM SO RAN. - Methodological issues in studying the reliability of large energy systems: Reliability of energy systems in the context of the energy transition. Irkutsk: ISEM SB RAS 73, 623-630. (in Russian)
- Shul'ga, Ju. (2022, Jule 05). *Standart ustojchivosti: chto takoe taksonomija i kakoe otnoshenie ona imeet k ESG*. [The Sustainability Standard: What is the taxonomy and how does it relate to ESG]. Forbes. <https://www.forbes.ru/forbeslife/470559-standart-ustojcivosti-cto-takoe-taksonomia-i-kakoe-otnoshenie-ona-imeet-k-esg> (in Russian)

- Simple answers to complex climate questions. (2023, March 10). World Wildlife Found. Climate and Energy. <https://wwf.ru/en/what-we-do/climate-and-energy/>
- Trofimov, G., Petuhov, Ju. (2022). Perspektivy ispol'zovanija kriogennoj tehnologii v jenergosisteme Kazahstana. [Prospects for the use of cryogenic technology in the energy system of Kazakhstan.]. *Jenergetika - Energy*, 4 (83). (in Russian)
- Trofimov, G.G., Kapenov, N.N. & Kobzev, A.P. (2021). Problemy razvitija jenergeticheskoj otrasli Kazahstana. [Problems of development of the energy industry in Kazakhstan.]. *Zavtra bylo pozdno: jekologicheskie riski Kazahstana (kollektivnaja monografija)* - Tomorrow was too late: environmental risks of Kazakhstan (collective monograph). Almaty: Kazahstansko-Nemeckij universitet - Almaty: Kazakh-German University, 263-294. (in Russian)
- Trofimov, G.G. (2021). Napravlenija razvitija jelektrojenergetiki Kazahstana. [Directions for the development of the electric power industry in Kazakhstan]. *Jenergetika. Vestnik Sojuza inzhenerov-jenergetikov Respubliki Kazahstan - Energy*. Bulletin of the Union of Energy Engineers of the Republic of Kazakhstan. 3(78), 25-27. (in Russian)
- Ukaz Prezidenta Respubliki Kazahstan ot 30 maja 2013 goda № 577 «O koncepcii po perehodu Respubliki Kazahstan k «zelenoj» jekonomike ot 30 maja 2013 goda № 577. [Decree of the President of the Republic of Kazakhstan dated May 30, 2013 No. 577 “On the concept of the transition of the Republic of Kazakhstan to a “green” economy dated May 30, 2013 No. 577]. (2013). *Informacionno-pravovaja sistema normativnyh pravovyh aktov RK «Adilet»* - Information and legal system of regulatory legal acts of the Republic of Kazakhstan “Adilet”. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U1300000577> (in Russian)
- Uzbekistan: ESG-dos'e. [Uzbekistan: ESG dossier]. (2021). Investfunds <https://investfunds.ru/analytics/326410/download/> (in Russian)
- Zakon Respubliki Kazahstan «O podderzhke ispol'zovanija vozobnovljaemyh istochnikov jenergii ot 4 ijulja 2009 goda № 165-IV». [Law of the Republic of Kazakhstan “On supporting the use of renewable energy sources” dated July 4, 2009 No. 165-IV]. (2009). *Informacionno-pravovaja sistema normativnyh pravovyh aktov RK «Adilet»* - Information and legal system of regulatory legal acts of the Republic of Kazakhstan “Adilet”. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z090000165> (in Russian)
- Zelenyj kurs ES [EU Green Deal]. (2019). WECCOOP. <https://wecoop.eu/ru/glossary/green-deal/> (in Russian)